

Rapport d'étude

Monétarisation des impacts sur le bruit des projets routiers

Avril 2014



Rédacteur(s)

Hélène LE MAÎTRE – Sétra –CSTM-DEOST

Téléphone : 33 (0) 1 60 52 33 02

mél : helene.le-maitre@cerema.fr

Préambule

Le rapport Boiteux de 2001 sur l'évaluation économique des projets de transport a proposé des valeurs tutélaires de coût du bruit par personne exposé et par niveau de bruit. Cependant, les avantages de bruit ne sont généralement pas intégrés au bilan socio-économique dans les évaluations standard pratiquées par le Ministère.

En effet, la méthode de monétarisation telle qu'issue du rapport Boiteux de 2001 nécessite d'utiliser des modèles de prévision du bruit et d'en déduire, à partir des prévisions de trafic, une cartographie de l'exposition des logements aux niveaux de bruit retenus dans le rapport Boiteux. La mise en œuvre dans le cadre du bilan socio-économique nécessite alors de simuler cette exposition à différents horizons, en fonction des niveaux de trafic correspondants. Or, les évaluations sont en général réalisées à un stade des études où le tracé n'est pas assez précis pour déterminer le nombre de logements exposés et leur niveau d'exposition.

De plus, en théorie, il faudrait disposer des cartes de bruit stratégiques, en situation de référence et en situation de projet, et leurs projections sur la durée d'évaluation du projet. En pratique, on dispose en général d'une carte de bruit sur la situation existante uniquement. Ce manque de données ne permet pas de mener des calculs de bruit précis, spécifiques à chaque projet, à partir de valeurs du coût des nuisances sonores par personne exposée par an et par niveau de bruit.

Cependant, des données de trafics, mesurées et prévisionnelles sur l'infrastructure sont calculées lors de l'évaluation du projet.

Dans le cadre des travaux du groupe du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective sur l'évaluation des investissements publics sous la présidence d'Emile Quinet et à la demande du groupe, le Sétra a développé une méthode permettant de calculer des coûts monétaires des nuisances sonores routières exprimées en €/veh.km, pouvant être appliquée à des données de trafic prévisionnelles ou simulées selon des environnements caractéristiques de population exposée.

Ce rapport reprend tout d'abord les concepts de base de calcul de bruit. Il revient ensuite sur les principales méthodes de monétarisation du bruit et les valeurs et études de référence en Europe.

Ensuite, une méthode de type top-down est appliquée en utilisant des cartes de bruit stratégiques en France et permet d'obtenir des coûts moyens du bruit.

La quatrième partie est basée sur une méthode de type bottom-up qui permet de calculer un coefficient de marginalité du bruit à partir d'un modèle d'émission propagation de bruit simplifié.

Enfin, une application est proposée sur un cas d'aménagement sur place en utilisant une carte de bruit stratégique, puis avec la méthode simplifiée sans carte de bruit.

Ce rapport a une visée exploratoire et illustrative. Il ne vise pas à prescrire une méthode de valorisation des coûts monétaires du bruit, mais à explorer certaines pistes méthodologiques pour estimer des coûts marginaux de bruit sur la base d'une information encore incomplète sur la localisation précise des populations exposées.

Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

1 - Généralités sur le bruit	6
1.1 - Les indicateurs de bruit	6
1.2 - Effets des nuisances sonores.....	7
2 - Méthodes de valorisation.....	9
2.1 - Approche top-down	9
2.2 - Approche bottom-up.....	10
2.3 - Quelques valeurs et études de référence européennes	11
3 - Les valeurs du rapport Boiteux 2	13
3.1 - Une approche basée sur la méthode des prix hédonistes.....	13
3.2 - Prise en compte des effets sanitaires.....	13
3.3 - Coût des nuisances sonores selon le niveau d'exposition	13
3.4 - Simplification de la méthode dans l'instruction-cadre de 2007	14
3.5 - Mise en œuvre du calcul du coût du bruit dans les évaluations socio-économiques	14
4 - Les valeurs transférées du rapport HEATCO proposées par le CGSP	16
5 - Calcul de coût moyen du bruit sur des sections routières	19
5.1 - Données utilisées.....	20
5.2 - Hypothèses de calcul.....	21
5.3 - Résultats pour les sections routières.....	21
5.4 - Comparaison aux coûts de l'étude INFRAS/IWW (2008)	23
6 - Calcul du niveau marginal de bruit	26
6.1 - Calcul du niveau de bruit : hypothèses générales.....	26
6.2 - Calcul du niveau marginal de bruit à partir d'un unique point émetteur i	27
6.3 - Simulation sur une autoroute 2*2voies, avec revêtement drainant	32
6.4 - Simulation sur une route 2*1voies, avec revêtement ancien	36
6.5 - Test de cohérence avec une approche simplifiée	38
6.6 - Coefficient de marginalité et niveau marginal de bruit.....	41
7 - Calcul du coût marginal à partir du coût moyen dans le rapport Quinet.....	42
8 - Calcul du coût marginal du bruit routier à partir d'hypothèses de densité	44
8.1 - Hypothèses de densité.....	44
8.2 - Calcul du coût marginal de bruit routier	46
9 - Exemple de calcul sur un cas réel.....	48
9.1 - Projet testé	48
9.2 - Calcul des populations exposées	48
9.3 - Calcul du coût moyen : application des coûts en €/personne exposée et par an	49
9.4 - Calcul du coefficient de marginalité.....	49
9.5 - Utilisation directe des coûts marginaux en €/veh.km	51
9.6 - Synthèse du test sur cas réel	51
10 - Conclusion et suites envisagées	53
Bibliographie	54

Page laissée blanche intentionnellement

1 - Généralités sur le bruit

1.1 - Les indicateurs de bruit

1.1.1 - Quelques rappels sur la notion de bruit et sa mesure

On rappelle que le bruit est dû à une variation de la pression de l'air, appelée "pression acoustique", autour de sa valeur habituelle (la pression atmosphérique, de l'ordre de 1015 hPa). Cette pression acoustique s'étend de $2 \cdot 10^{-5}$ (limite de l'audition) à 20 Pa (seuil de la douleur) pour les bruits audibles par l'homme. Une échelle logarithmique de mesure, appelée "niveau de pression acoustique", est utilisée. Elle s'exprime en décibels (dB).

Afin de refléter au mieux la perception humaine du bruit, il a fallu tenir compte de la sensibilité fréquentielle de l'oreille en modulant les basses et hautes fréquences par une pondération : il s'agit du dB pondéré A ou dB(A). La sensibilité de l'oreille humaine aux niveaux de bruit mesurés en dB(A) est illustrée sur l'échelle suivante :

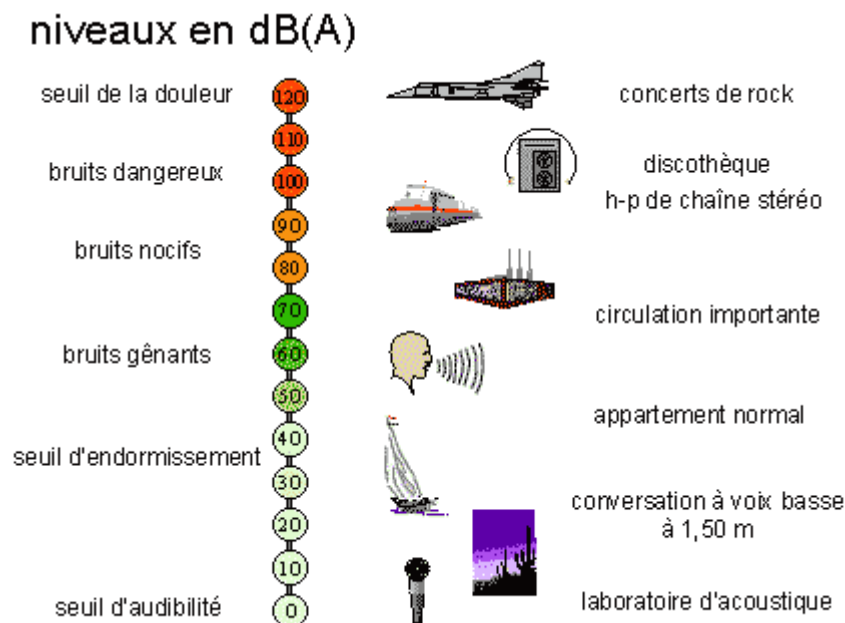


Figure 1 : Perception du bruit par l'oreille humaine selon le niveau sonore en dB(A) (source : DDASS des Pays de la Loire – Ministère de la Santé)

1.1.2 - Indicateurs de bruit couramment utilisés

Il existe deux grandes familles d'indicateurs de bruit :

- les indicateurs caractérisant un événement sonore ponctuel (le passage d'une voiture par exemple) ;
- les indicateurs décrivant une exposition de long terme (prise en compte du cumul des bruits sur une période donnée).

Plusieurs exemples d'indicateurs sont donnés dans le tableau suivant :

Evènement sonore	Exposition de long terme
• L_{max} : il s'agit du niveau sonore maximum perçu pendant la période de mesure. Cet indicateur est le plus répandu sur le plan international pour décrire un événement sonore. • SEL (Sound exposure level) : cet indicateur intègre la durée T de l'évènement sonore ; il s'agit du niveau de bruit qui aurait été produit en 1 seconde avec la même énergie que le bruit réellement perçu pendant la période T considérée.	• L_{Aeq}(T) : il s'agit du niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit réellement perçu pendant la période T considérée. Il se calcule de la manière suivante : $L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_T 10^{\frac{LA(\Delta T_i)}{10}} \Delta T_i \right)$ pour une mesure pendant la période T où ΔT_i est l'intervalle de temps entre deux mesures et LA est le niveau sonore mesuré pendant l'intervalle ΔT_i. • L_{den} : il s'agit du niveau de bruit moyen sur une journée, pondéré pour les périodes jour (6h-18h), soirée (18h-22h) et nuit (22h-6h) selon la gêne ressentie. Il se calcule de la manière suivante : $L_{den} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L(jour)}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L(soirée)+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L(nuit)+10}{10}} \right) \right]$ • L₉₀ : il s'agit du niveau de bruit atteint ou dépassé pendant 90 % du temps d'exposition. Cet indicateur caractérise le niveau du bruit de fond. • L₁₀ : il s'agit du niveau de bruit atteint ou dépassé pendant 10 % du temps d'exposition. Cet indicateur caractérise le niveau du bruit de crête.

Tableau 1 : Description des différents indicateurs utilisés sur le plan international pour mesurer le bruit des transports

1.2 - Effets des nuisances sonores

Les principaux effets du bruit sur la population sont généralement regroupés en deux catégories : les effets sanitaires et la gêne.

1.2.1 - Effets sanitaires des nuisances sonores

Les études menées jusqu'à présent sur l'impact du bruit mettent en avant de nombreux effets sanitaires. Ces effets sont à la fois physiologiques et psychologiques :

- **les effets sur le système auditif** : le système auditif est endommagé (exposition à des niveaux sonores supérieurs à 120 dB), ce qui peut entraîner une surdité partielle ou totale ;
- **les effets extra-auditifs** : on peut citer l'altération du sommeil (durée d'endormissement plus longue, éveils nocturnes,...) pouvant entraîner des répercussions importantes sur le long terme (fatigue chronique excessive, baisse de la vigilance diurne, anxiété,...), et les effets sur la santé mentale (stress, comportements agressifs) ;
- éventuellement, le système cardio-vasculaire peut connaître des désordres (hypertension, troubles ischémiques, risque accru d'arrêts cardiaques), tout comme le système endocrinien (sécrétion d'hormones liées au stress) et le système immunitaire (capacités de défenses réduites).

Ces derniers effets, de même que ceux qualifiés d'extra-auditifs, sont difficiles à établir et nécessitent de poursuivre les études menées sur le sujet. De plus, la plupart de ces effets ne sont observables qu'à long terme, si bien qu'il est difficile d'isoler la part à mettre sur le compte du bruit (rôle de la consommation de tabac, de l'alimentation, des facteurs environnementaux, de la qualité de l'air, ...). L'exemple des effets sur le système cardio-vasculaire illustre parfaitement cette difficulté.

Des études complémentaires doivent aussi être menées sur les conséquences actuellement mal connues de la multi-exposition (exposition à différentes sources de bruit) et de la co-exposition (bruit couplé à de hautes températures, une exposition à des agents chimiques,...).

1.2.2 - Gêne causée par les nuisances sonores

Aux effets sanitaires s'ajoutent les effets qualifiés de subjectifs, au premier rang desquels figure la gêne. Chaque individu a une réponse différente à l'exposition au bruit, qui varie en fonction de ses prédispositions physiologiques et psychologiques, de la source d'émission, ... Des relations entre la gêne (part de la population adulte qui est gênée) et le niveau d'exposition existent toutefois dans le secteur des transports, en fonction du mode de l'émetteur (routier, aérien ou ferroviaire).

Cette connaissance des relations entre le niveau d'exposition et la part de personnes gênées reste toutefois très imparfaite. Le niveau d'exposition n'explique en effet qu'une part de la gêne ressentie, d'autres paramètres doivent aussi être pris en compte (durée d'exposition, fréquence, paramètres non-acoustiques,...).

2 - Méthodes de valorisation

La valorisation des nuisances sonores des transports se fait par des approches "*top-down*" ou "*bottom-up*", avec les particularités suivantes :

- la perception des nuisances sonores est différente selon la période de la journée (le bruit est en particulier plus gênant la nuit) et selon le mode de transport responsable du bruit auquel la population est exposée (route ou fer) ;
- une partie du coût du bruit peut être internalisée grâce à la mise en place d'équipements spécifiques (murs anti-bruit, revêtement silencieux pour les chaussées,...) : il faut veiller à ce que ces effets soient exclus de la valorisation, afin d'éviter les doubles-comptes.

2.1 - Approche top-down

L'approche top-down est une approche globale, visant à établir le coût total des nuisances sonores générées par le secteur des transports. Éventuellement, un coût moyen du bruit par véhicule peut ensuite être déduit de ce coût global. La méthode se base sur l'exposition de la population aux nuisances sonores.

2.1.1 - Cartographie de l'exposition de la population

Il s'agit dans un premier temps d'estimer le nombre de personnes exposées au bruit. Cette estimation se base sur l'exploitation de relevés effectués sur le terrain. En France, ces relevés sont généralement menés dans le cadre de la réalisation des cartes de bruits stratégiques en application de la Directive 2002/49/EC ou des études d'impacts.

Les relevés de population exposée sont exprimés en fonction de différents niveaux de bruit. Ils sont ensuite croisés avec des données de population, afin d'établir la cartographie des personnes exposées.

2.1.2 - Monétarisation des impacts

A partir de la cartographie établie précédemment, il est possible de déduire les impacts de l'exposition aux nuisances sonores. Cette estimation se base sur l'utilisation :

- **de fonctions dose-réponse pour les impacts sanitaires** : plusieurs relations existent entre le niveau d'exposition au bruit et le risque relatif pour certains effets sur la santé, tels que le risque relatif d'infarctus ou les perturbations du sommeil ;
- **des relations en fonction du niveau d'exposition pour les effets liés à la gêne** : il existe des études établissant une corrélation entre la part de population gênée (ou très gênée) et le niveau du bruit.

La monétarisation vient à la suite de cet inventaire des effets de l'exposition au bruit. Elle est faite en distinguant les impacts sanitaires de ceux associés à la gêne, qui sont monétarisés selon des méthodes différentes :

- les effets sanitaires sont valorisés avec des méthodes d'évaluation des dommages (coût des médicaments prescrits, pertes de production,...) et d'évaluations contingentes (perte de qualité de vie due à une surdité partielle ou totale, valeur d'une année de vie perdue,...) ;
- la gêne est monétarisée à l'aide de méthodes d'évaluations contingentes (consentement à payer pour réduire le niveau sonore) ou de préférences révélées (prix hédonistes pour évaluer la perte de valeur foncière liée à une exposition au bruit).

2.1.3 - Désagrégation par catégorie de véhicule, type de voie,...

L'approche top-down fournit en résultat un coût **moyen** par véhicule. Le coût global des nuisances sonores dues aux transports doit donc être ventilé selon les catégories pour lesquelles un coût moyen est attendu. Ces catégories peuvent concerner :

- le type de véhicule, pour un coût différencié pour les VL, PL, trains,... ;
- la densité de la zone traversée, pour un coût différencié pour les zones urbaines, rurales,... ;
- le type de motorisation, pour un coût différencié pour les moteurs selon leur niveau de bruit (valable pour les vitesses inférieures à 50 km/h) ;
- ...

La ventilation se fait au prorata des parcours au sein de chacune de ces catégories sur l'ensemble du périmètre d'étude (en v.km ou en train.km), éventuellement pondérés par des coefficients de correction prenant en compte les niveaux d'émission, différents selon les types de véhicules.

2.2 - Approche bottom-up

L'approche dite "*bottom-up*" est une approche individuelle, qui déduit le coût marginal de l'externalité étudiée à partir des effets d'un véhicule isolé. La méthode dite de "cheminement des incidences" (*Impact Pathway Approach*) est couramment utilisée pour mettre en œuvre cette approche. Elle consiste à reproduire le processus de pollution par un véhicule quelconque, de sa cause initiale (émissions de polluants) à ses conséquences finales (impacts négatifs sur la santé, le bâti et les écosystèmes).

L'application de la méthode de "cheminement des incidences" permet une grande latitude dans le choix du véhicule suivi, qui peut être différencié selon :

- la silhouette : véhicule particulier, poids lourd,... ;
- le mode de conduite : accélérations brusques, vitesse régulière,... ;
- le type de zone traversée : urbaine, rurale,... ;
- ...

Cette large palette de choix permet de valoriser le coût du bruit en fonction de situations bien plus variées que celles proposées par une approche top-down. Mais elle impose en contrepartie une bonne connaissance des niveaux d'émissions sonores, en fonction des différents paramètres retenus pour décrire ces multiples situations.

Les formules de prévision du bruit permettent de calculer ces niveaux. Un modèle de propagation est ensuite appliqué à ces niveaux d'émissions sonores, afin de tenir compte de l'influence des conditions météorologiques (température, vent,...) et de la topographie (rôle du relief et de la végétation, réflexion sur les bâtiments,...). Ce travail permet d'évaluer l'impact de l'ajout d'un véhicule sur l'exposition des populations (par rapport à une situation que l'on peut qualifier "de référence", où le véhicule ne circulerait pas).

La suite de la démarche est similaire à celle entreprise avec l'approche "top-down" :

- les populations supplémentaires exposées au bruit suite à l'ajout d'un véhicule sont quantifiées, à l'aide des résultats de propagation du son et de données de populations ;
- les impacts sur la population du bruit émis par un véhicule supplémentaire sont ensuite estimés à l'aide de fonctions dose-réponse (effets sur la mortalité, le sommeil,...) et/ou de relations entre la gêne et le niveau sonore ;
- ces effets sont finalement monétarisés à l'aide de méthodes comme les évaluations contingentes, prix hédonistes, coût des dommages, ...

La valeur alors obtenue est généralement donnée pour un parcours d'un kilomètre pour un véhicule donné, afin d'obtenir un coût marginal des nuisances sonores.

2.3 - Quelques valeurs et études de référence européennes

L'étude HEATCO

L'étude HEATCO propose dans l'annexe E de son livrable 5 (*Derivation of fall-back values for impacts due to noise*) des coûts annuels par personne exposée, en fonction du niveau sonore exprimé en Lden¹. Comme pour la pollution atmosphérique, cette étude a privilégié une approche bottom-up afin de prendre en compte les caractéristiques des véhicules (modes, niveaux de trafic, distribution des vitesses,...) et les spécificités des sites d'exposition (densité de population, topologie,...).

Deux scénarios sont modélisés : un scénario de référence et un scénario avec projet. Les dommages causés par les nuisances sonores (effets sur la santé et gêne) sont monétarisés pour chacun de ces scénarios :

- les effets sanitaires, liés à une exposition à long terme, sont évalués à l'aide de fonctions dose-réponse (principalement valable pour des niveaux sonores supérieurs à 70 dB(A)) et monétarisés avec les valorisations proposées par la Commission Européenne² (valeur d'une année de vie perdue, coût d'un jour d'hospitalisation,...) ;

- la gêne est estimée à partir des relations proposées par la Commission Européenne et monétarisée selon deux méthodes différentes, à savoir des évaluations contingentes (menées en Allemagne, Hongrie, Norvège, Espagne, Suède et Grande-Bretagne) d'une part et des méthodes de prix hédonistes d'autre part.

La différence des coûts entre les deux scénarii permet de donner le coût des nuisances sonores en fonction du niveau de bruit atteint au voisinage du projet. En valorisant la gêne avec des méthodes différentes, l'étude HEATCO peut proposer deux coûts annuels du bruit par personne exposée (en fonction du niveau sonore en Lden) : une valeur centrale basée sur des évaluations contingentes et une valeur haute basée sur la méthode des prix hédonistes.

Ces coûts sont transférés à chaque pays de l'Union Européenne par l'intermédiaire du PIB par habitant de chaque pays (pondération des coûts obtenus par le ratio "PIB par habitant du pays / PIB par habitant de l'UE").

Plusieurs études européennes autres que le programme HEATCO ont abordé la question de la monétarisation du bruit depuis le rapport Boiteux de 2001. Les principales études aboutissant à des coûts en €/ct /vkm sont résumées dans les tableaux suivants (on renvoie le lecteur au rapport [1] pour une bibliographie plus détaillée).

¹ Il faut noter que les périodes retenues sont différentes de celles utilisées en France (soirée de 19 à 23 h et nuit de 23 à 7 h).

² Ces valorisations sont extraites de la mise à jour de l'étude ExternE, effectuée en 2005 [III-31].

		UNITE - Deliverable 11 (2003)	INFRAS/IWW (2004)	INFRAS (2008)	DR – SETRA – D4E (2003)
Année de base		1998	2000	2000	2000
Coût des nuisances sonores (€/vkm)	Urbain	Jour : [7,7 ; 25,8] Nuit : [23,3 ; 78,3]	22,7	Jour : [7 ; 17] Nuit : [12,8 ; 31]	Autoroutes : 0,1 Routes nationales : 0,6 Routes départementales : 0,5
	Périurbain			Jour : [0,4 ; 1,1] Nuit : [0,7 ; 2]	
	Interurbain	Jour : [0,01 ; 3] Nuit : [0,02 ; 5,1]		Jour : [0,06 ; 0,13] Nuit : [0,11 ; 0,23]	
Méthode appliquée		Méthode bottom-up	Méthode top-down	Méthode bottom-up (Impact Pathway Approach)	Coûts d'évitement
Remarques		Même relations dose-réponse que celles utilisées dans HEATCO pour les effets sanitaires.	Une évaluation par une méthode bottom-up a aussi été réalisée et reprise dans l'étude INFRAS (2008).	Résultats obtenus dans INFRAS/IWW (2004) par une méthode bottom-up. Valeurs différenciées selon le volume de trafic qui circule (faible ou dense).	

Tableau 2 : Coût des nuisances sonores pour les PL (en €/vkm)

		UNITE - Deliverable 11 (2003)	INFRAS/IWW (2004)	INFRAS (2008)	DR – SETRA – D4E (2003)
Année de base		1998	2000	2000	2000
Coût des nuisances sonores (€/vkm)	Urbain	Jour : [0,22 ; 1,50] Nuit : [0,53 ; 4,50]	0,94	Jour : [0,76 ; 1,85] Nuit : [1,39 ; 3,37]	Autoroutes : 0,02 Routes nationales : 0,06 Routes départementales : 0,05
	Périurbain			Jour : [0,04 ; 0,12] Nuit : [0,08 ; 0,22]	
	Interurbain	Jour : [0,001 ; 0,12] Nuit : [0,002 ; 0,19]		Jour : [0,01 ; 0,014] Nuit : [0,01 ; 0,03]	
Méthode appliquée		Méthode bottom-up	Méthode top-down	Méthode bottom-up (Impact Pathway Approach)	Coûts d'évitement
Remarques		Même relations dose-réponse que celles utilisées dans HEATCO pour les effets sanitaires.	Une évaluation par une méthode bottom-up a aussi été réalisée ; ses résultats ont été repris dans l'étude INFRAS de 2008.	Cette étude reprend les résultats d'INFRAS/IWW (2004) obtenus par la méthode bottom-up. Les valeurs sont différenciées selon le volume de trafic qui circule (faible ou dense).	

Tableau 3 : Coût des nuisances sonores pour les VL (en €/vkm)

3 - Les valeurs du rapport Boiteux 2

L'instruction cadre d'évaluation de 2007, en vigueur en 2013 [18], reprend les valeurs du rapport Boiteux 2, dont le calcul est détaillé dans cette partie, puis propose une méthode simplifiée à mettre en œuvre dans les projets de transport. On constate cependant qu'extrêmement peu d'évaluations prennent en compte les avantages liés au bruit à l'heure actuelle, ce qui est justifié soit par l'utilisation de la méthode simplifiée qui conduit à ignorer les variations de bruit de moins de 2dB, soit par la complexité de la méthode à mettre en œuvre.

3.1 - Une approche basée sur la méthode des prix hédonistes

Pour la valorisation des nuisances sonores, le groupe de travail présidé par Marcel Boiteux en 2001 s'est basé sur un rapport synthétisant les études menées depuis 1970 sur la corrélation entre le niveau de bruit ambiant et la dépréciation des prix de l'immobilier [17]. Ces études s'appuient sur la méthode des prix hédonistes, qui consiste à identifier la baisse des valeurs de l'immobilier consécutive à une exposition à des niveaux sonores plus élevés. Les prix révélés par ces enquêtes permettent de donner un coût aux nuisances sonores, en fonction de différents niveaux de bruit. Ce coût est donné sous la forme de taux de dépréciation des loyers :

L _{Aeq} de jour en façade (en dB(A))	[60 ; 65]	[65 ; 70]	[70 ; 75]	> 75
Dépréciation (en % par dB(A))	0,8 %	0,9 %	1 %	1,1 %

Tableau 4 : Dépréciations des valeurs immobilières en fonction des niveaux d'exposition au bruit déterminées par enquête

3.2 - Prise en compte des effets sanitaires

Les valeurs ci-dessus sont basées sur la dépréciation de l'immobilier due à l'exposition au bruit. Elles révèlent donc uniquement le coût accordé par la population à la gêne occasionnée par le bruit. Le rapport Boiteux préconise d'y ajouter le coût des effets sanitaires. Afin d'éviter les doubles-comptes, le groupe de travail a partagé ces effets en deux catégories : ceux pouvant être pris en compte dans la gêne (notamment les perturbations du sommeil) et ceux dits de long terme (problèmes cardio-vasculaires, problèmes de surdité,...), qui apparaissent pour des niveaux d'exposition supérieurs à 70 dB(A) (65 dB(A) la nuit). Seuls ces derniers sont intégrés à la valeur du bruit, via une majoration de 30 % de la valeur de la gêne établie précédemment. Le groupe de travail indique que cette approche est fragile et reste à perfectionner (besoin d'approfondir les connaissances sur l'évaluation des nuisances sonores nocturnes et sur les effets sanitaires à long terme d'une exposition au bruit).

3.3 - Coût des nuisances sonores selon le niveau d'exposition

Les taux de dépréciation finalement retenus par le groupe Boiteux permettent de déduire le coût du bruit en fonction de la valeur locative du logement exposé. Comme cette valeur dépend fortement de la zone de résidence, son emploi amènerait une large dispersion du coût du bruit. Le coût de l'exposition au bruit pour deux logements de caractéristiques identiques et soumis à une même exposition sonore peut être différent et le groupe de travail a décidé de fixer une valeur locative V du logement égale à 473 €₂₀₀₀ (555 €₂₀₀₀ pour un logement individuel et

346 €₂₀₀₀ pour un logement collectif), conformément au prix du loyer mensuel au m² du secteur locatif publié par l'INSEE en 1996 (5,49 €/m²).

Au final, les recommandations du rapport Boiteux sur la valeur à accorder aux nuisances sonores peuvent être résumées dans le tableau suivant :

L _{Aeq} de jour en façade (en dB(A)), noté L _j	Valorisation de la nuisance de jour V _j	Valorisation de la nuisance de nuit V _n
< 55	0	0
[55 ; 60]	$0,5 \cdot [0,004 \cdot (L_j - 55)] \cdot V$	$0,5 \cdot [0,004 \cdot (L_j - 50)] \cdot V$
[60 ; 65]	$0,5 \cdot [0,008 \cdot (L_j - 60) + 0,02] \cdot V$	$0,5 \cdot [0,008 \cdot (L_j - 55) + 0,02] \cdot V$
[65 ; 70]	$0,5 \cdot [0,009 \cdot (L_j - 65) + 0,06] \cdot V$	$0,5 \cdot [0,009 \cdot (L_j - 60) + 0,06] \cdot V$
[70 ; 75]	$0,5 \cdot [0,013 \cdot (L_j - 70) + 0,105] \cdot V$	$0,5 \cdot [0,013 \cdot (L_j - 65) + 0,105] \cdot V$
> 75	$0,5 \cdot [0,0143 \cdot (L_j - 75) + 0,17] \cdot V$	$0,5 \cdot [0,0143 \cdot (L_j - 70) + 0,17] \cdot V$

Tableau 5 : Valeurs proposées dans le rapport Boiteux pour le coût des nuisances sonores (en €2000 par logement exposé par an)

Cette valeur V doit être indexée sur le taux de croissance du PIB (corrélation avec le prix de l'immobilier d'habitation sur de longues périodes).

3.4 - Simplification de la méthode dans l'instruction-cadre de 2007

L'instruction cadre de 2007 [18] propose une simplification de la méthode du rapport Boiteux 2 : « dans tous les cas, on ne tiendra pas compte d'une modification des niveaux sonores induite par le projet inférieure à 2 dB(A) ». La simplification pour le réseau existant revient finalement à faire une sélection du réseau sur lequel on applique le calcul des avantages liés au bruit.

3.5 - Mise en œuvre du calcul du coût du bruit dans les évaluations socio-économiques

Dans la pratique, le calcul des avantages de bruit n'est jamais intégré au bilan socio-économique dans les évaluations standard pratiquées par le Ministère³, à la fois à cause de raisons pratiques (l'obtention des données suffisantes pour mener le calcul), et à cause de la simplification qui conduit à considérer les effets à partir de variations de 2dB.

La méthode de monétarisation nécessite d'utiliser des modèles de prévision du bruit et d'en déduire, à partir des prévisions de trafic, une cartographie de l'exposition des logements aux niveaux de bruit retenus dans le rapport Boiteux. La mise en œuvre dans le cadre du bilan socio-économique nécessiterait de simuler cette exposition à différents horizons, en fonction des niveaux de trafic correspondants. Or les évaluations sont en général réalisées à un stade des études où le tracé n'est pas assez précis pour déterminer le nombre de logements exposés et leur niveau d'exposition.

³ Certaines études acoustiques réalisées dans le cadre des études préalables proposent une monétarisation des effets du bruit selon la méthodologie recommandée dans l'Instruction cadre de 2007 (voir l'exemple du prolongement de l'A16). Ce travail n'est toutefois pas systématique et intervient généralement après l'évaluation socio-économique du projet.

Il s'agit, pour pouvoir appliquer la méthode du rapport Boiteux 2, d'obtenir les niveaux de bruit auxquels sont exposés les riverains de l'infrastructure, en référence et en projet. Il faut donc avoir une cartographie du bruit sur le réseau concerné par le calcul de bruit. Or les cartes de bruit en situation de référence et en situation de projet, et projetées sur la durée de l'évaluation sont rarement voire jamais disponibles.

Pour le réseau nouveau, le niveau de bruit peut augmenter de 2dB ou plus, mais pour le réseau existant sur lequel on prévoit une variation de trafic, les niveaux marginaux de bruit sont a priori bien plus faibles que 2dB s'il n'y a pas de mise en place de murs anti-bruit notamment.

La pratique actuelle consiste donc dans la très grande majorité des cas à donner une valeur nulle aux avantages en terme de bruit des projets routiers. C'est partant de ce constat que le rapport de la mission présidée par Emile Quinet sur le calcul socio-économique des investissements publics [16] a proposé des valeurs en euros/veh.km, à multiplier donc directement par le trafic. Pour le mode routier, les valeurs proposées sont des valeurs moyennes et non des valeurs marginales. La partie suivante revient sur la détermination des coûts dans le rapport Quinet de 2013, puis les parties suivantes se concentrent sur la détermination de coûts marginaux à partir des hypothèses de coût en €/dB/personne exposée et par an prises par le rapport Quinet de 2013.

4 - Les valeurs transférées du rapport HEATCO proposées par le CGSP [16]

Cette partie présente la méthodologie employée par le CGSP (Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective) pour mettre à jour les valeurs du rapport HEATCO au cas français, puis le passage des valeurs par tranche horaire au passage de valeurs journalières applicables directement au TMJA (taux moyen journalier annuel).

Dans la méthodologie utilisée par le CGSP pour appliquer les valeurs HEATCO au cas français, seuls les coûts sociaux occasionnés par la gêne et les effets sur le système cardio-vasculaire engendrés par les nuisances sonores sont utilisés, sur la base des travaux de HEATCO et de l'Agence Européenne de l'Environnement.

La gêne

La gêne est monétarisée grâce aux travaux de HEATCO, corrigés de l'inflation, du pouvoir d'achat, de la population moyenne par foyer et du taux de taxation indirecte pour la France en 2011.

Les effets sur la santé

HEATCO propose de ne prendre en compte les effets du bruit sur la santé (limités aux effets sur le système cardio vasculaire) qu'à partir d'un seuil arbitraire de 70dB.

Le CGSP a revu ce seuil à la baisse et utilise les hypothèses d'un rapport de l'Agence Européenne de l'Environnement, paru en 2010 [12] pour expliquer le lien entre exposition au bruit et morbidité de certaines pathologies du système cardio-vasculaire. Les pathologies considérées sont celles de HEATCO : l'infarctus du myocarde, l'angine de poitrine et l'hypertension.

La méthodologie employée consiste à utiliser des fonctions exposition réponse pour déterminer la morbidité des différentes pathologies. Les risques de base⁴ utilisés sont ceux fournis par HEATCO.

La formule suivante a été appliquée :

Coût total(niveau de bruit) = coût de la gêne(niveau de bruit) + somme pour chacune des pathologies($RR_{\text{pathologie}}(\text{niveau de bruit}) - 1 \times BR_{\text{pathologie}} \times \text{coût d'un malade}_{\text{pathologie}}$)

Où $RR_{\text{pathologie}}(\text{niveau de bruit})$ est le risque relatif de la pathologie pour le niveau de bruit niveau de bruit

$BR_{\text{pathologie}}$ est le risque de base de contracter la pathologie

NB : les valeurs utilisées ici pourraient être mises à jour à partir des travaux de l'ANSES [15]. Cependant, ici nous reprenons la méthodologie du CGSP.

Au niveau européen, le rapport de CE Delft/INFRAS (2001) [13] a repris les valeurs du rapport HEATCO [7] en €/personne exposée et par an pour différents niveaux de bruit pour calculer des coûts marginaux, présentés ci-dessous.

⁴ Les « risques de base » (ou « base risk ») représentent la morbidité des pathologies en l'absence d'exposition au bruit

Résultats

Les valeurs suivantes ont été calculées par le CGSP sur la base du rapport de CE Delft/INFRAS (2001) [13] pour les VL et PL :

Type de véhicule	Période de la journée	Trafic	Urbain	Péri-urbain	Rural
Véhicule léger	Jour	Dense	9,9	0,5	0,1
		Peu dense	24,1	1,5	0,1
	Nuit	Dense	18,1	1	0,1
		Peu dense	43,9	2,9	0,4
Poids lourd	Jour	Dense	91,3	5,1	0,8
		Peu dense	221,4	14,3	1,6
	Nuit	Dense	166,5	9,3	1,4
		Peu dense	403,5	2,6	3

Tableau 6 : coût marginal de bruit jour et nuit en €/2009/veh.km (Source : travaux internes CGSP sur la base de CE Delft/INFRAS, 2011)

Afin de pouvoir l'appliquer aux TMJA, des coûts journaliers ont été calculés par le Sétra en calculant les trafics de jour et de nuit à partir des débits suivants tirés de la note d'information Sétra n°78 [14] :

VL		6h-22h	6h-18h	18h-22h	22h-6h
routes interurbaines	longues distances	17	17	19	110
	régional	17	17	19	120
routes urbaines		16,95	16,04	20,4	143
PL		6h-22h	6h-18h	18h-22h	22h-6h
routes interurbaines	longues distances	19	17	27	51
	régional	18	16	34	73
routes urbaines		17,54	15,04	35	91

Tableau 7 : débits horaires en fonction du type de route

En considérant pour simplifier que, dans le tableau ci-dessus :

- les routes interurbaines longue distance correspondent à de la rase campagne (rural) ;
- les routes interurbaines régionales correspondent à de l'urbain diffus (péri-urbain);
- les routes urbaines correspondent à de l'urbain dense.

on en déduit les coûts du bruit présentés dans le tableau ci-dessous (en €/100veh.km).

	Trafic	Urbain	Péri-urbain	Rural
VL	Dense	10,4	0,5	0,1
	Peu dense	25,2	1,6	0,1
PL	Dense	97,9	6,7	1,1
	Peu dense	237,4	13,3	2,2

Tableau 8 : coûts du bruit journaliers en €₂₀₁₀/veh.km

5 - Calcul de coût moyen du bruit sur des sections routières

L'objet de cette partie est de calculer des coûts moyens du bruit à partir de données de cartes de bruit stratégiques (CBS) françaises. Il convient de rappeler que, pour l'évaluation des projets, ce sont les coûts marginaux qui sont pertinents. Le passage de coûts moyens aux coûts marginaux, dans le cas où l'on a des CBS, se fait dans la suite de ce rapport par le calcul d'un coefficient de marginalité calculé en fonction du projet étudié.

La méthodologie suivie dans cette partie est une méthodologie de type top down, comme schématisé sur la figure 2.

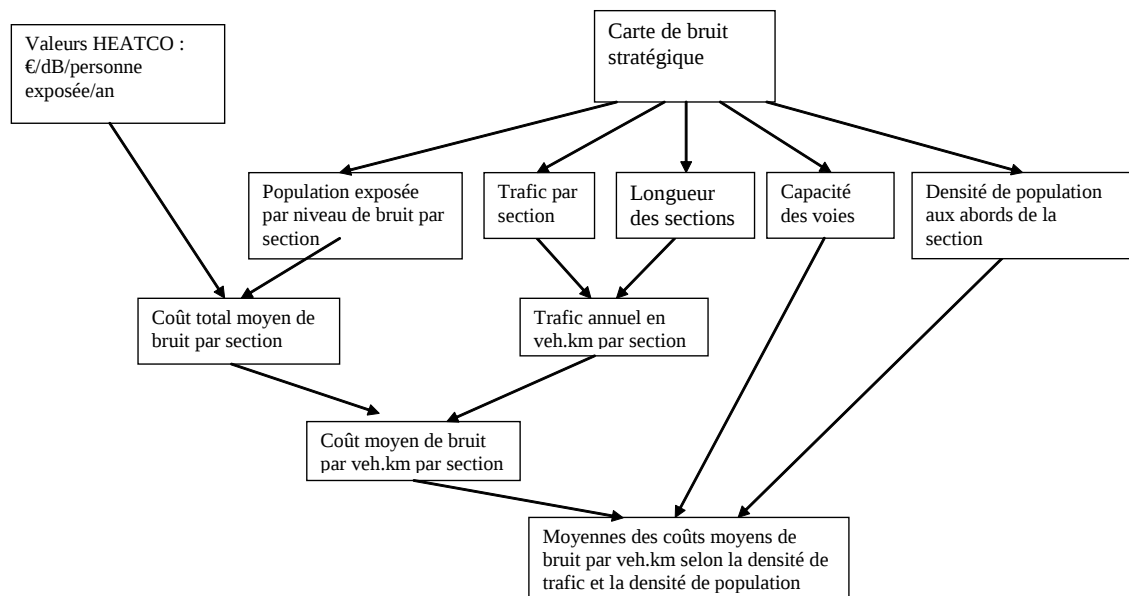


Figure 2 : Méthode de calcul du coût moyen du bruit à partir de CBS

A partir des données de coût du bruit par niveau d'exposition présentées dans le rapport du CGSP "L'évaluation socio-économique des investissements" [15] et de cartes de bruit stratégiques, des coûts moyens sont calculés sur un échantillon de sections disponibles. Ces sections sont définies comme des tronçons homogènes en termes d'urbanisation autour de l'infrastructure et de trafic. Les cartes de bruit stratégiques utilisées ici sont celles réalisées pour l'échéance de 2007.

Les coûts ainsi obtenus sont ensuite croisés avec les types de route, les densités des communes où se situent les sections, ainsi que la densité de trafic sur la section.

Les cartes de bruit stratégiques

Le Parlement européen et le Conseil de l'Union Européenne ont adopté la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement. Cette directive, adoptée le 25 juin 2002, impose la réalisation de "cartes de bruit stratégiques" pour les grandes agglomérations (plus de 100 000 habitants) et les grandes infrastructures de transports (TMJA supérieur à 8 200 véhicules/jour pour la route et à 82 trains/jour pour le fer).

Celles-ci doivent fournir un diagnostic de l'exposition sonore des populations. La loi transposant cette directive dans le droit français, adoptée en 2005, a fixé deux échéances pour la réalisation des cartes de bruit stratégiques :

- le 30 juin 2007 pour les agglomérations de plus de 250 000 habitants et pour les infrastructures supportant un trafic supérieur à 16 400 véhicules/jour pour la route et à 164 trains/jour pour le fer ;
- le 30 juin 2012 pour les autres agglomérations et les autres infrastructures de transport visées par la directive.

La réalisation des cartes de bruit stratégiques, outre la production d'éléments graphiques (cartes d'exposition en Lden et en Ln, cartes de dépassement des valeurs limites, cartes d'évolution des niveaux sonores,...), s'accompagne d'une restitution de données sous forme de tableaux (nombre de personnes vivant dans les bâtiments d'habitation exposés, nombre de bâtiments de santé ou d'enseignement exposés, surfaces exposées à différents niveaux sonores en km²) et d'un résumé non technique présentant les résultats de l'étude et la méthodologie employée pour son élaboration. Ces cartes de bruit stratégiques doivent ensuite servir de base à l'adoption de plans d'actions visant à prévenir ou à réduire les niveaux de bruit (« Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement »). Ces dispositifs (cartes de bruit stratégiques et plans d'actions) seront ensuite révisés tous les cinq ans. Deux guides méthodologiques détaillant la mise en application pratique de cette directive ont été publiés, respectivement par le Sétra pour les infrastructures routières et ferroviaires et par le CERTU pour les agglomérations.

5.1 - Données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont les données ayant servi à l'élaboration de cartes de bruit stratégiques. Il s'agit donc de sections routières pour lesquelles sont disponibles les trafics, les longueurs, la population exposée à différents niveaux de bruits, le type de voie (autoroute, départementale, nationale ou communale).

A partir des coordonnées des sections, les densités des communes par lesquelles elles passent ont été ajoutées.

La définition de la densité prise en compte ci-dessous est définie selon la densité de la commune par laquelle passe le milieu de la section étudiée. Les classes de densité prises ici correspondent à celles qui ont été proposées dans le rapport du CGSP [15].

hab/km ²	Interurbain ou rase campagne	Urbain diffus ou périurbain	Urbain		
			Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette	< 37	37-450	450-1 500	1 500-4 500	> 4 500
Densité moyenne	25	250	750	2 250	6 750

Tableau 9 : Hypothèses de densité

5.2 - Hypothèses de calcul

Les coûts des nuisances sonores pris en compte ici sont les suivants :

Lden	coût	Lden	coût
51	11	66	210
52	21	67	235
53	32	68	261
54	43	69	290
55	54	70	321
56	65	71	354
57	75	72	390
58	86	73	429
59	97	74	470
60	108	75	514
61	119	76	560
62	130	77	609
63	150	78	661
64	168	79	716
65	188	80	774

Tableau 10 : Valeurs du coût des nuisances sonores en centimes d'€₂₀₁₀ par personne exposée et par an (source : Travaux internes du CGSP sur la base de CE Delft/INFRAS (2008), HEATCO (2006) et EEA, 2010)

Les CBS donnant des populations exposées par tranches de bruit, on utilise ici les valeurs suivantes :

Lden	coût
55-60	75,4
60-65	136,2
65-70	248,8
70-75	427,6
75-80	715,2

Tableau 11 : Valeurs du coût des nuisances sonores en €₂₀₁₁ par personne exposée, par an et par tranche de bruit

Les coûts par section par an sont ensuite divisés par le trafic annuel (365*TMJA) et la longueur afin d'obtenir les coûts moyens par véhicule.km.

5.3 - Résultats pour les sections routières

Les tableaux ci-dessous détaillent les coûts moyens de bruit routier obtenus selon différentes catégories.

5.3.1 - Critère de classification des valeurs

Les types de catégories sont déterminés après une analyse des potentielles variables explicatives (trafic, densité de trafic, type de route, densité communale de la commune traversée).

Ci-dessous, la variable densité correspond à une densité communale et c'est une variable qui peut prendre 3 valeurs (urbain, péri-urbain ou interurbain). La variable congestion peut prendre 2 valeurs, 0 si le trafic est inférieur à 80% de la capacité et 1 sinon.

Le type de route peut être autoroute, nationale, départementale ou communale. Les R^2 des deux régressions présentées ci-dessous sont de 0.17.

Variable	Valeur estimée des paramètres	Erreur type	Valeur du test t	Pr > t
Constante	95.9	21.6	4.4	<.0001
Vitesse	-0.77	0.13	-5.8	<.0001
Densité	0.004	0.0009	4.1	<.0001
Type de route	-5.9	3.9	-1.5	0.13

Tableau 12 : Recherche des déterminants du coût du bruit, régression 1

Variable	Valeur estimée des paramètres	Erreur type	Valeur du test t	Pr > t
Constante	-24.9	5.6	-4.4	<.0001
Densité	0.006	0.0009	6.2	<.0001
Type de route	13.1	2.13	6.1	<.0001
Congestion	-5.9	3.9	-1.5	0.13

Tableau 13 : Recherche des déterminants du coût du bruit, régression

5.3.2 - Coûts moyens calculés à partir des CBS

On calcule les coûts moyens à partir des CBS de 2007 et 2012, en les répartissant selon : le type de route et la densité de la zone dans laquelle ils se situent.

Type de peuplement	Type d'infrastructure	Nb d'observations	Coût total des nuisances sonores en €2010/1000v.km	Écart-type	Minimum	Maximum
Rural	Autoroute	13	0.78	0.59	0.11	2.07
	Nationale ou départementale	40	3.35	4.69	0.00	20.17
Semi-urbain	Autoroute	29	3.14	4.94	0.00	21.81
	Nationale ou départementale	618	7.35	18.53	0.00	260.78
	Communale	127	35.08	51.82	0.09	398.78
Urbain	Autoroute	24	8.99	13.79	0.92	62.36
	Nationale ou départementale	382	9.75	14.39	0.00	165.39
	Communale	408	48.45	81.81	0.00	850.31
Urbain dense	Autoroute	8	13.24	24.51	0.37	73.18
	Nationale ou départementale	207	15.72	24.45	0.00	258.05
	Communale	672	58.41	95.55	0.00	1342.53
Urbain très dense	Autoroute	3	22.40	9.54	11.49	29.21
	Nationale ou départementale	49	28.96	35.30	0.22	209.20
	Communale	98	66.29	53.80	0.48	291.46

Tableau 14 : coûts moyens de bruit sans décomposition du trafic en €₂₀₁₁/1000veh.km calculés à partir de CBS de 2007 et 2012

5.4 - Comparaison aux coûts de l'étude INFRAS/IWW (2008)

Pour comparaison, les valeurs de coûts marginaux en euros/veh.km calculées à partir de l'étude de CE Delft/INFRAS (2011) sont les suivantes :

	Trafic	Urbain	Péri-urbain	Rural
VL	Dense	10,4	0,5	0,1
	Peu dense	25,2	1,6	0,1
PL	Dense	95,5	6,5	1,0
	Peu dense	231,6	12,7	2,1

Tableau 15 : coût marginal de bruit journalier en €2011/1000veh.km de l'étude INFRAS

Les valeurs ci-dessus ont été calculées avec les hypothèses suivantes :

Transport mode Area	Road		
	Rural	Suburban	Urban
Road/rail track class	131	221	521
Traffic volume - low	2'400	1'200	800
Traffic volume - high	6'800	4'800	2'650
Average speed	130	80	40
Traffic mix (HDV, disc breaks)	15%	10%	5%
Specific additives (dB(A))			+3.2

Figure 3: Hypothèses de trafic des coûts marginaux du rapport: External costs of transport.: INFRAS/IWW, 2000 [9]

On reprend les parts PL ci-dessus pour en déduire les valeurs pour le trafic tous véhicules :

Trafic tous véhicules	Urbain	Péri-urbain	Rural
Dense	14,7	1,1	0,2
Peu dense	35,5	2,7	0,4

Tableau 16 : coût marginal de bruit journalier en €2011/1000veh.km déduits de l'étude INFRAS

NB : dans le tableau ci-dessus il s'agit de coûts marginaux tandis que les premiers résultats présentés sont des coûts moyens. Les résultats ne sont donc pas strictement comparables.

Les coûts obtenus à partir des CBS sont très variés au sein de chaque catégorie, les catégories définies ici ne permettant pas de représenter la spécificité de chaque section en termes de structure de trafic, d'urbanisation autour de l'infrastructure, de pentes, etc.

On observe cependant que les coûts moyens obtenus sont relativement faibles par comparaison avec les coûts marginaux d'INFRAS. Le rapport INFRAS s'étant basé sur des cas types et non des cas réels, les hypothèses de répartition de population autour de l'infrastructure (précisées dans l'annexe et fortes notamment en interurbain) peuvent expliquer les valeurs en moyenne plus fortes.

Les trafics utilisés dans les simulations faites dans le cadre du rapport INFRAS semblent très faibles en interurbain, s'il s'agit de TMJA et non de trafic horaire. Ces faibles trafics peuvent expliquer des coûts marginaux forts.

De plus, les hypothèses d'INFRAS ne considèrent qu'un seul type de voie par catégorie de densité alors qu'avec les cartes de bruit, plusieurs types de voies peuvent entrer dans chaque catégorie. En effet, les catégories sont définies par la densité de trafic et la densité de population uniquement. Par exemple, dans la catégorie interurbaine, les caractéristiques choisies dans les cas types du rapport INFRAS correspondent à des caractéristiques autoroutières avec 15% de PL.

Dans le cas français, les parts PL peuvent aller de 6% à 36 % sur les autoroutes, et la catégorie interurbaine des CBS ne se limite pas aux autoroutes mais comprend aussi des nationales et départementales présentant des caractéristiques variées (nombre de voies, vitesse limite, pente etc.). Or, pour des routes plus petites comme des départementales à trafic et à densité de trafic moins élevés, les valeurs de coût marginal de bruit sont, par exemple, a priori plus faibles que pour une autoroute à fort trafic, à densité autour de l'infrastructure équivalente.

Les coûts de bruit étant très spécifiques au projet, on observe dans les catégories indiquées dans le tableau ci-dessus une grande diversité de cas qui permettent d'obtenir les valeurs moyennes comparables à celles du rapport INFRAS.

* *

*

On observe donc que les coûts calculés varient fortement en fonction de la section considérée. De plus, intuitivement le coefficient de marginalité dépend également à la fois du projet et, surtout, de la structure de trafic considérée (dense ou peu dense, part de PL).

Les parties suivantes s'attachent à calculer des coefficients de marginalité à partir des équations d'émission et de propagation du bruit, puis cherchent une méthode de prise en compte du bruit intégrant la densité communale de façon plus précise que par les indicateurs.

6 - Calcul du niveau marginal de bruit

Cette partie vise à déterminer le coefficient de marginalité du coût du bruit selon la méthode résumée dans la figure ci-dessous. Il s'agit de déterminer la fonction du coût du bruit, puis de la dériver par rapport au trafic VL et PL. L'approche suivie dans cette partie est de type bottom-up. Dans un premier temps, le niveau de bruit est déterminé en fonction du trafic, des caractéristiques de la route etc. Dans un second temps, des hypothèses de densité de population autour de l'infrastructure sont utilisées afin de quantifier les populations impactées par niveau de bruit. Le coût marginal peut enfin être déduit du niveau marginal de bruit croisé avec la population autour de l'infrastructure.

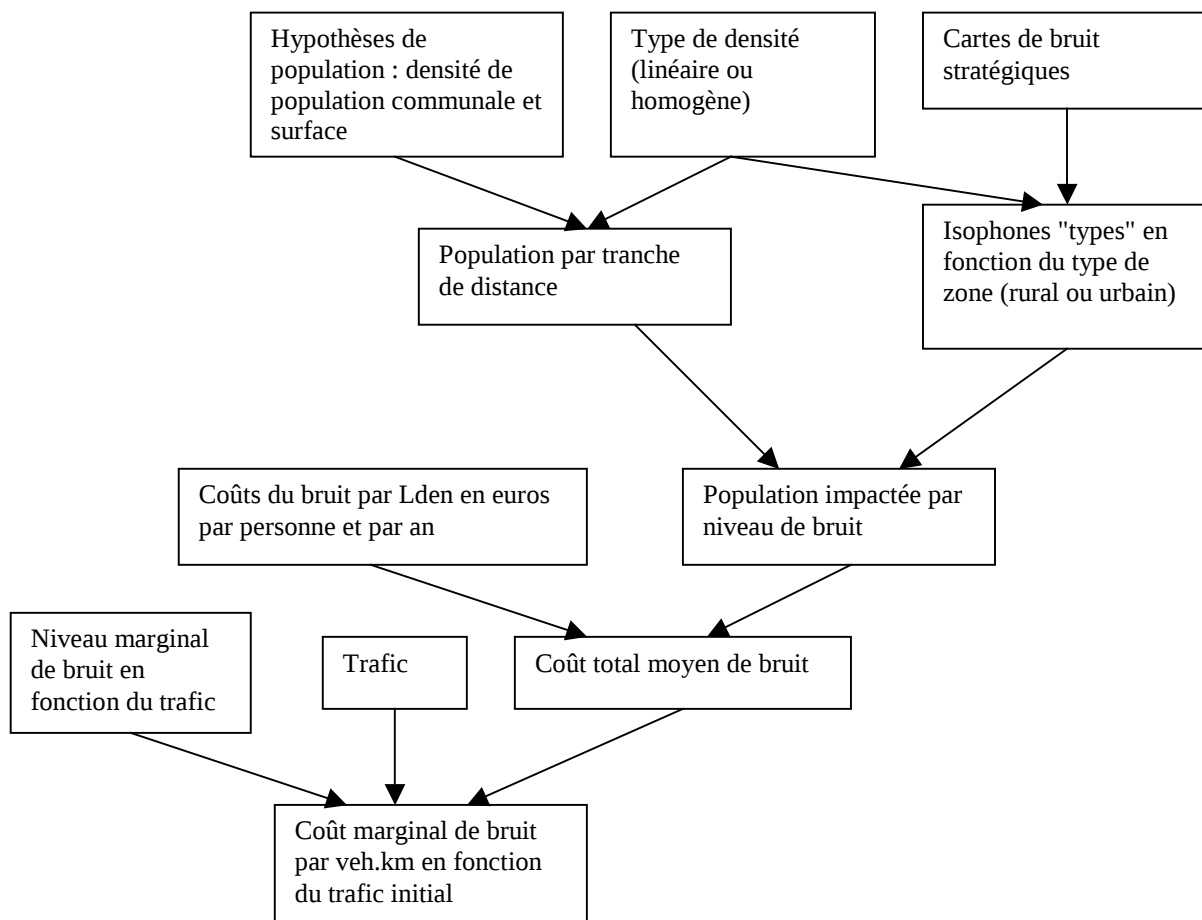


Figure 4 : Méthode de calcul du coût marginal de bruit

6.1 - Calcul du niveau de bruit : hypothèses générales

Dans un premier temps, la fonction donnant le niveau de bruit en fonction du trafic et du type de route est déterminée à partir des recommandations des guides Sétra *Prévision du bruit routier* de juin 2009.

Chaque voie est modélisée par des sources ponctuelles séparées par une distance l_i :

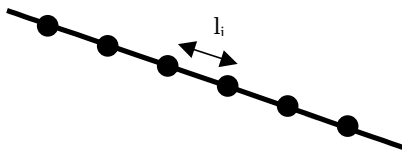


Figure 5 : Modélisation d'une voie par des sources ponctuelles

La première étape consiste à calculer le niveau de bruit L_{eq} en un récepteur qui se trouve à une distance d du "point de trafic" émetteur i . On somme (avec des sommes acoustiques) les L_{eq} :

Pour une voie, $L_{eq\ total} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_{eq,i}/10} \right)$, avec $L_{eq,i}$ fonction du point i et de sa distance au récepteur et N le nombre de sources ponctuelles considérées.

6.2 - Calcul du niveau marginal de bruit à partir d'un unique point émetteur i

Cette partie détaille le calcul du niveau de pression acoustique équivalent L_{eq} en un récepteur qui se trouve à une distance d du "point de trafic" émetteur i et à une date t .

$$L_{eq,i} = 10 \log \left(\sum_j 10^{L_{j,iH}/10} \right), \text{ niveau de pression acoustique équivalent}$$

avec $L_{j,i,H}$ niveau de bruit dans une bande de tiers d'octave donné j

Les émissions sont calculées pour un point i dans un premier temps et pour un tiers d'octave donné, la somme des sources ponctuelles se fait par des sommes acoustiques du type : $L_1 \oplus L_2 = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10})$ pour L_1 et L_2 niveaux de bruit donnés.

Le calcul de bruit est généralement décomposé en deux termes : tout d'abord, les émissions L_{AWi} dépendent de la vitesse des véhicules, de l'état de la chaussée, etc. La deuxième partie de l'équation A_{iH} est relative à la propagation du bruit.

$$L_{i,H} = L_{AWi} - A_{iH}$$

avec i source ponctuelle

L_{AWi} niveau de puissance acoustique d'une source S_i dans une bande de tiers d'octave donné

A_{iH} atténuation due à la propagation entre S_i et R en conditions homogènes dans une bande d'octave donnée

6.2.1 - Emissions : calcul de Lawi

$$L_{AWi} = [(L_{W/mVL} + 10 \log Q_{VL}) \oplus (L_{W/mPL} + 10 \log Q_{PL})] + 10 \log l_i + R(j)$$

avec l_i distance entre 2 sources = longueur en m de la portion de ligne source représentée par la source Si

$R(j)$ spectre du bruit routier (dépend de la chaussée) normalisé à 0 dB

Q_{VL} débit horaire des VL

Q_{PL} débit horaire des PL

$L_{W/mVL}$ puissance d'émission sonore par mètre de ligne source pour un débit de 1 VL/h (dit "débit unitaire")

$L_{W/mPL}$ puissance d'émission sonore par mètre de ligne source pour un débit de 1 PL/h (dit "débit unitaire")

$$L_{W/mVL} = L_{Amax} - 10 \log V - 4,4$$

avec V vitesse (fonction du débit, voir paragraphe ci-dessous)

L_{Amax} niveau de bruit d'un véhicule au passage

$$L_{Amax} = L_{roulement} \oplus L_{moteur}$$

$L_{roulement}$ et L_{moteur} sont de la forme : $L = a + b \log(V/c)$

avec a, b et c des constantes variant suivant le type de voie⁵

V la vitesse

$$\text{Donc } L_{Amax} = (a_{roulement} + b_{roulement} \log(V/c_{roulement})) \oplus (a_{moteur} + b_{moteur} \log(V/c_{moteur}))$$

$$L_1 \oplus L_2 = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10})$$

6.2.2 - Calcul de la vitesse en fonction du débit

La méthode de calcul d'écoulement des flux sur les arcs autoroutiers est celle préconisée par le rapport technique de novembre 2001 publié par le Sétra : *Fonction temps-débit sur les autoroutes interurbaines – Rénovation des relations entre temps de parcours et débit pour la simulation du trafic.*

⁵ Les formules sont présentées en p110-111 du guide Sétra *Prévision du bruit routier, tome 1*, les valeurs de a, b et c , pour la composante roulement et la composante moteur ont des domaines de validité limités.

Les temps de parcours en charge tk_{mV} pour les VL et tk_{mC} pour les Camions ou PL, en minutes par kilomètre, sont obtenus par les relations :

$$tk_{mV} = tk_{0V} \times \left[1 + \gamma_V \times \left(\frac{Q_V + e \times Q_C}{\kappa} \right)^{\alpha_V} \right] \text{ pour les VL} \quad (1)$$

$$tk_{mC} = tk_{0C} \times \left[1 + \gamma_C \times \left(\frac{Q_V + e \times Q_C}{\kappa} \right)^{\alpha_C} \right] \text{ pour les PL} \quad (2)$$

- tk_{0V} et tk_{0C} , temps de parcours des VL et PL de l'arc à vide en minutes par kilomètre,
- γ_V et γ_C , proportions d'augmentation du temps à la saturation, sont calculés selon les formules $\gamma_V = \frac{t_V^*}{tk_{0V}} - 1$ et $\gamma_C = \frac{t_C^*}{tk_{0C}} - 1$; t_V^* et t_C^* , temps critiques par unité de distance
- e , coefficient d'équivalence entre PL et VL
- α_V et α_C , paramètres de congestion
- Q_V et Q_C , flux de VL et PL utilisés pour le calcul du temps de parcours (en véhicules par heure), sont obtenus à partir des facteurs de concentration χ_V et χ_C d'après les formules $Q_V = x_V \times \chi_V$ et $Q_C = x_C \times \chi_C$ où x_V et x_C désignent les flux affectés VL et PL en TMJA/24 (en véhicules par heure).
- κ est la capacité de l'arc par sens en uvp

6.2.3 - Propagation : calcul de AiH

L'effet de propagation est décomposé en trois termes :

$$A_{i,H} = A_{div} + A_{atm} + A_{front}$$

avec A_{div} atténuation due à la divergence géométrique

A_{atm} atténuation due à l'absorption due à l'absorption atmosphérique

A_{front} atténuation due à l'effet de sol (sol, talus, diffraction) = $f_H(d)$

D'après le guide *Prévision du bruit routier* [4],

$$A_{div} = 20 \log d + 11 \text{ et } A_{atm} = \alpha d / 1000$$

avec d distance entre la source et le récepteur R

$$\text{soit } A_{i,H} = 20 \log d + 11 + \alpha d / 1000 + f_H(d)$$

6.2.4 - Effet de la distance sur le niveau de bruit marginal

Le niveau marginal de bruit est défini ici comme la dérivée du niveau de bruit en dB par rapport au trafic.

Dans cette partie, on cherche donc à dériver le niveau marginal de bruit $\frac{\partial L_{i,H}}{\partial \text{trafic}}$ par rapport à la distance pour observer l'effet de la distance sur le niveau marginal de bruit.

Rappel : Le calcul de bruit se décompose en deux termes : tout d'abord, les émissions L_{AWi} dépendent de la vitesse des véhicules, de l'état de la chaussée, etc. La deuxième partie de l'équation A_{iH} est relative à la propagation du bruit.

$$L_{i,H} = L_{AWi} - A_{iH}$$

Avec i source ponctuelle

L_{AWi} niveau de puissance acoustique d'une source S_i dans une bande de tiers d'octave donné

A_{iH} atténuation due à la propagation entre S_i et R en conditions homogènes dans une bande d'octave donnée

Or,

L_{AWi} dépend du trafic et des caractéristiques de la voie mais pas de la distance au récepteur

A_{iH} dépend de la distance de la source ponctuelle au récepteur et des caractéristiques de propagation mais pas du trafic.

$$\text{Par conséquent, } \frac{\partial L_{i,H}}{\partial \text{trafic}} = \frac{\partial (L_{AWi} - A_{iH})}{\partial \text{trafic}} = \frac{\partial L_{AWi}}{\partial \text{trafic}}.$$

Comme L_{AWi} dépend du trafic et des caractéristiques de la voie mais pas de la distance au récepteur, on a $\frac{\partial L_{i,H}}{\partial \text{trafic} \partial d} = \frac{\partial (L_{AWi} - A_{iH})}{\partial \text{trafic} \partial d} = \frac{\partial L_{AWi}}{\partial \text{trafic} \partial d} = 0$

La distance joue sur le niveau de bruit mais pas sur le niveau de bruit marginal. En effet, la formule analytique ci-dessus indique :

$$\frac{\partial^2 L_{eq,i}}{\partial d \partial \text{trafic}} = \frac{\partial^2 \left(10 \log \left(\sum_j 10^{L_{j,iH}/10} \right) \right)}{\partial d \partial \text{trafic}} = \frac{\partial^2 \left(10 \log \left(\sum_j 10^{\frac{L_{AWi} - A_{iH}}{10}} \right) \right)}{\partial d \partial \text{trafic}} = 0 \text{ car}$$

$$\frac{\partial^2 L_{i,H}}{\partial d \partial \text{trafic}} = \frac{\partial^2 (L_{AWi} - A_{iH})}{\partial d \partial \text{trafic}} = \frac{\partial^2 (L_{AWi})}{\partial d \partial \text{trafic}} - \frac{\partial^2 (A_{iH})}{\partial d \partial \text{trafic}} \text{ et } \frac{\partial (L_{AWi})}{\partial d} = 0 \text{ et } \frac{\partial (A_{iH})}{\partial \text{trafic}} = 0 \text{ donc}$$

$$\frac{\partial^2 L_{i,H}}{\partial d \partial \text{trafic}} = 0$$

Deux tests sont réalisés sur A_{front} , avec $A_{\text{front}} = \log(d)$ et $A_{\text{front}} = 1/d^2$ pour tester la variabilité des résultats en fonction de la fonction utilisée pour la propagation.

Les niveaux de bruit marginaux ne varient pas selon la fonction utilisée.

Trafic par sens	$A_{\text{front}} = 0$	$A_{\text{front}} = \log(d)$	$A_{\text{front}} = 1/d^2$
400	0.00627	0.00627	0.00627
600	0.00372	0.00372	0.00372
800	0.00117	0.00117	0.00117
1000	- 0.00148	- 0.00148	- 0.00148

Tableau 17 : niveau de bruit marginal $d(L_{\text{aeq}}) / d(\text{trafic VL})$ sur autoroute 2*2 voies à 100 m de la source ponctuelle pour un trafic PL par sens de 100 vh/h

Distance (en m)	$A_{\text{front}} = 0$	$A_{\text{front}} = \log(d)$	$A_{\text{front}} = 1/d^2$
100	54.62	50.17	54.78
200	48.24	43.08	48.38
500	39.27	33.17	39.38
1000	31.79	24.96	31.86

Tableau 18 : niveau de bruit L_{aeq} en fonction de la distance du récepteur à la source sur autoroute 2*2 voies pour un trafic VL par sens de 1 000vh/h avec 10 % de PL

Par la suite, on prend donc un A_{front} nul pour les calculs.

6.2.5 - Effet du nombre de points d'émission sur le niveau de bruit marginal

La dérivée du niveau de bruit par rapport au trafic dépend du nombre de points d'émission. Des tests ont donc été effectués avec différents nombre de points d'émissions, 1, 10 ou 20, pour les VL et pour les PL : au lieu de concentrer l'émission en un point, celle-ci est étalée sur plusieurs points, comme présenté sur le schéma ci-dessous. La distance récepteur – point d'émission varie donc selon le point d'émission et on somme « acoustiquement » le bruit émis par chaque point.

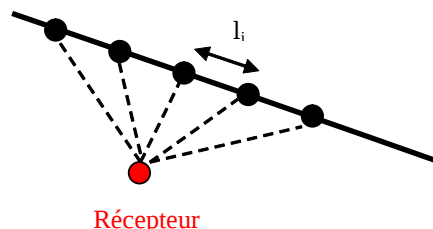


Figure 6 : Modélisation d'une voie par plusieurs sources ponctuelles

Les simulations effectuées suggèrent que le nombre de points d'émission ne semble pas jouer à volume d'émission donné sur le niveau marginal de bruit.

6.3 - Simulation sur une autoroute 2*2voies, avec revêtement drainant

Les calculs sont effectués dans une première approche à partir d'une unique source ponctuelle i , à partir des caractéristiques d'une autoroute 2*2 voies, avec un revêtement de type R1, jeune. Les composantes du L_{moteur} et $L_{\text{roulement}}$ sont prises pour les VL et PL en allure stabilisée, sur route horizontale. Les domaines de validité en vitesse des valeurs utilisées pour le bruit roulement et le bruit moteur sont de 20 km/h à 130 km/h en allure stabilisée.

Les tests sont faits avec un trafic PL constant de 100veh/h par sens quand on étudie le bruit marginal VL et un trafic VL constant de 1000veh/h par sens quand on étudie le bruit marginal PL.

Détail des hypothèses :

Caractéristiques des émissions

Trafic	X	Trafic horaire par sens ⁶	t_vide (min/km)	α	γ	Équivalence VL/PL e	Capacité K
VL	2.7	1 000	0.5	4	0.4	2.5	3460
PL	1.1	100	0.7	1	0.2		

Tableau 19 : Caractéristiques des courbes débit-vitesse pour une autoroute 2*2voies, avec revêtement drainant

Trafic par sens	a_roulement	b_roulement	Croulement	a_moteur	b_moteur	C_moteur	d _i
VL	73.3	31	90	64.3	31.3	90	100
PL	82.5	30	90	73.8	13	80	

Tableau 20 : Caractéristiques des émissions sonores des véhicules pour une autoroute 2*2voies, avec revêtement drainant

Caractéristiques de la propagation

α varie en fonction du tiers d'octave considéré.

⁶ Les trafics par heure par sens sont des TMJA/48

6.3.1 - Résultats

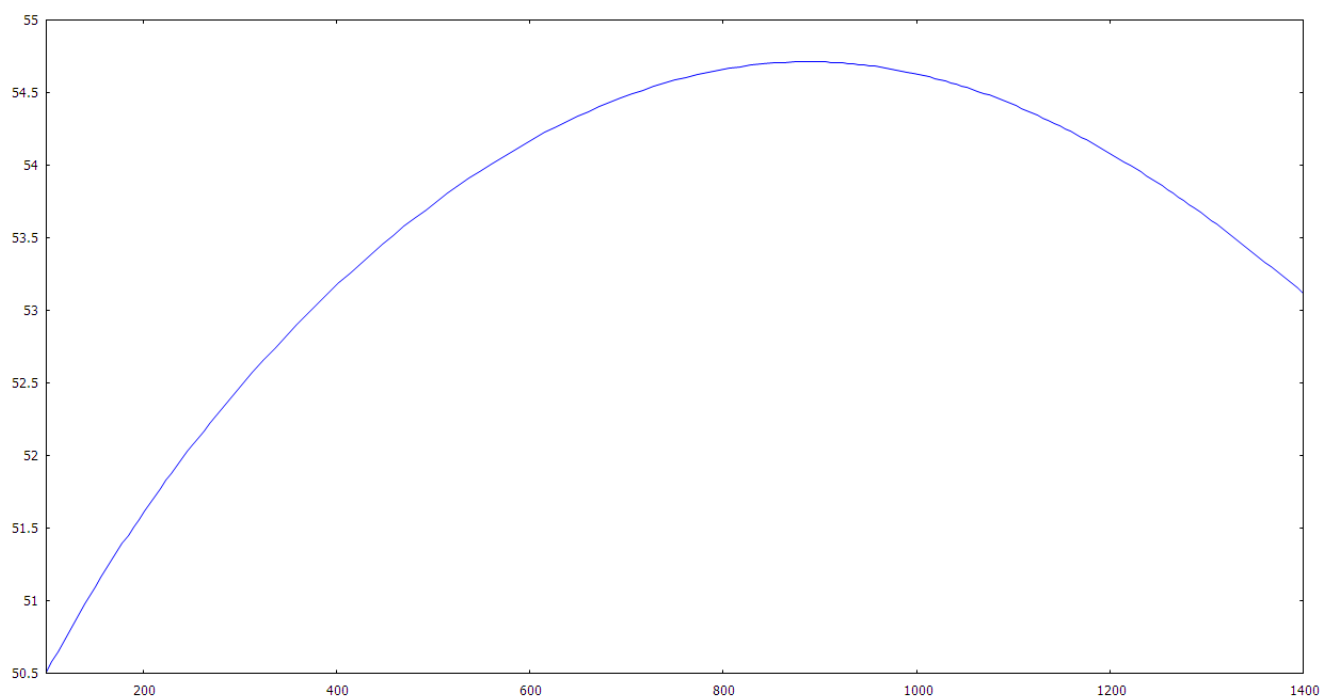


Figure 7 : Niveau de bruit Leq en dB à 100m de la source ponctuelle en fonction du trafic VL par sens en veh/h (pour un trafic PL de 100veh/h)

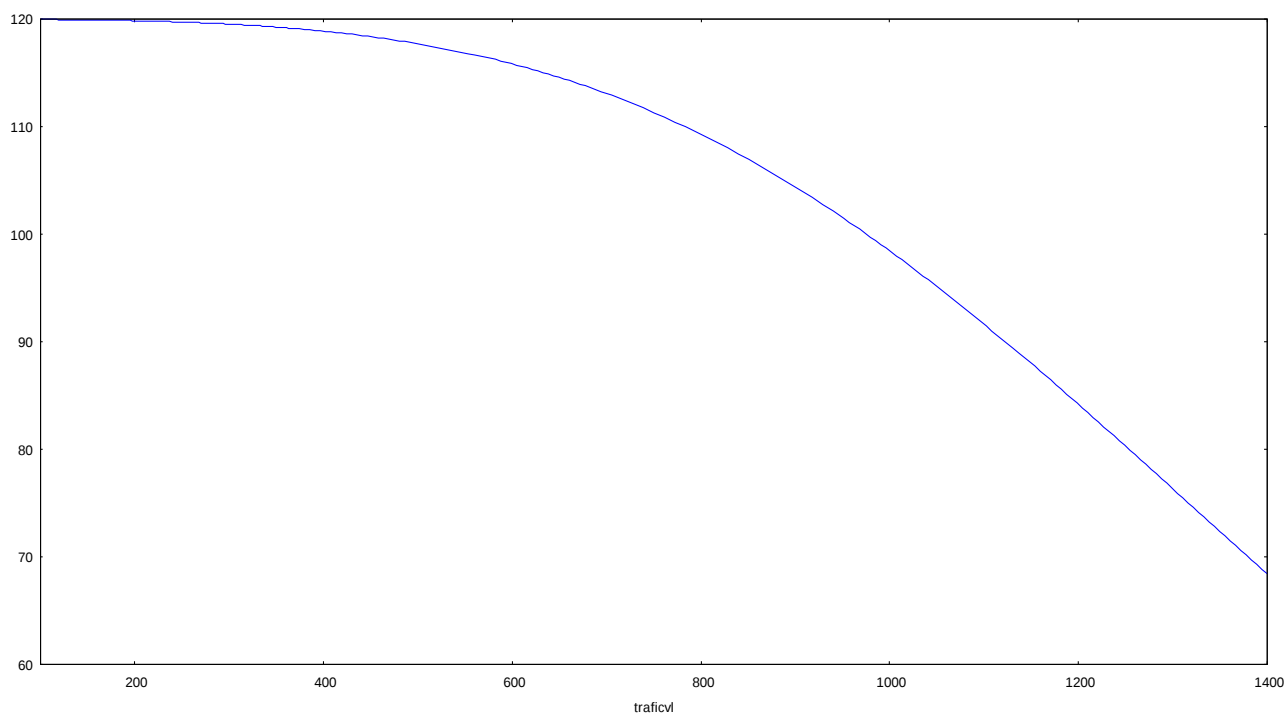


Figure 8 : Vitesse des VL en km/h en fonction du trafic VL par sens en veh/h (pour un trafic PL de 100veh/h)

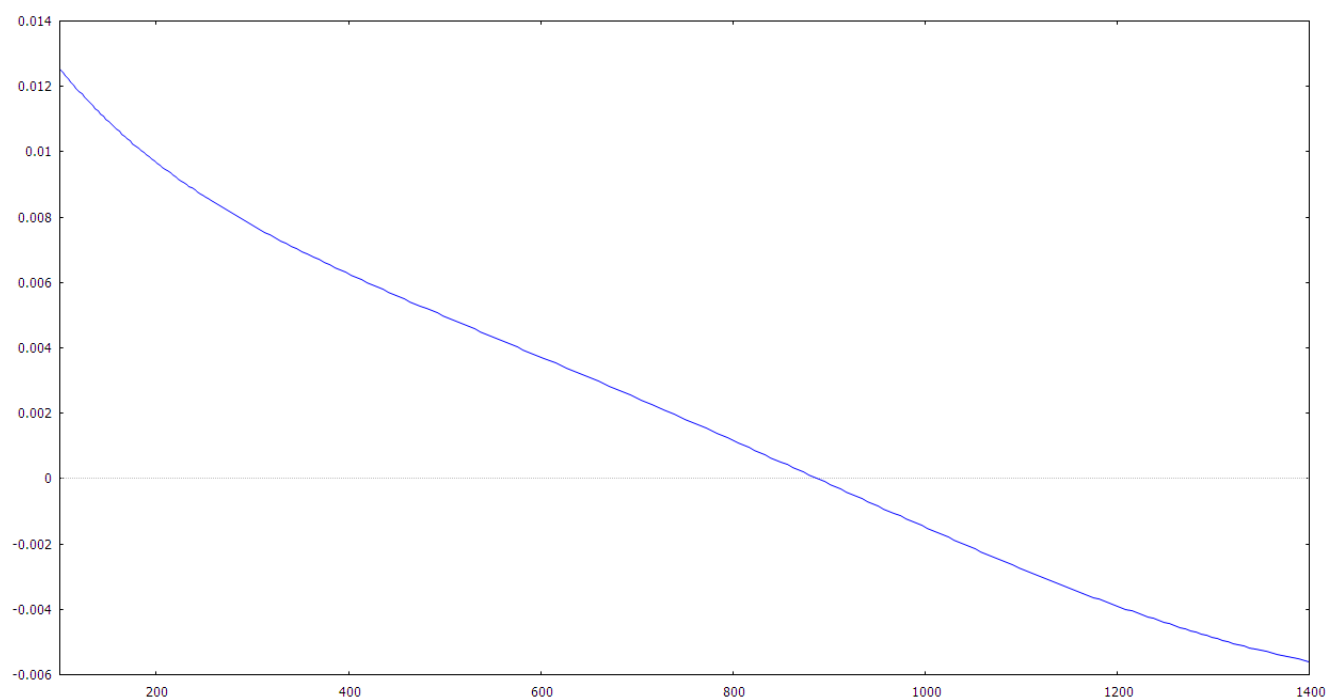


Figure 9 : Niveau de bruit marginal des VL en fonction du trafic VL par sens en veh/h (pour un trafic PL de 100veh/h)

Les coefficients de marginalité obtenus pour une route 2*1 voies 7 m sont compris entre 0.1 et 6% en situation peu congestionnée et deviennent négatifs en cas de congestion plus importante.

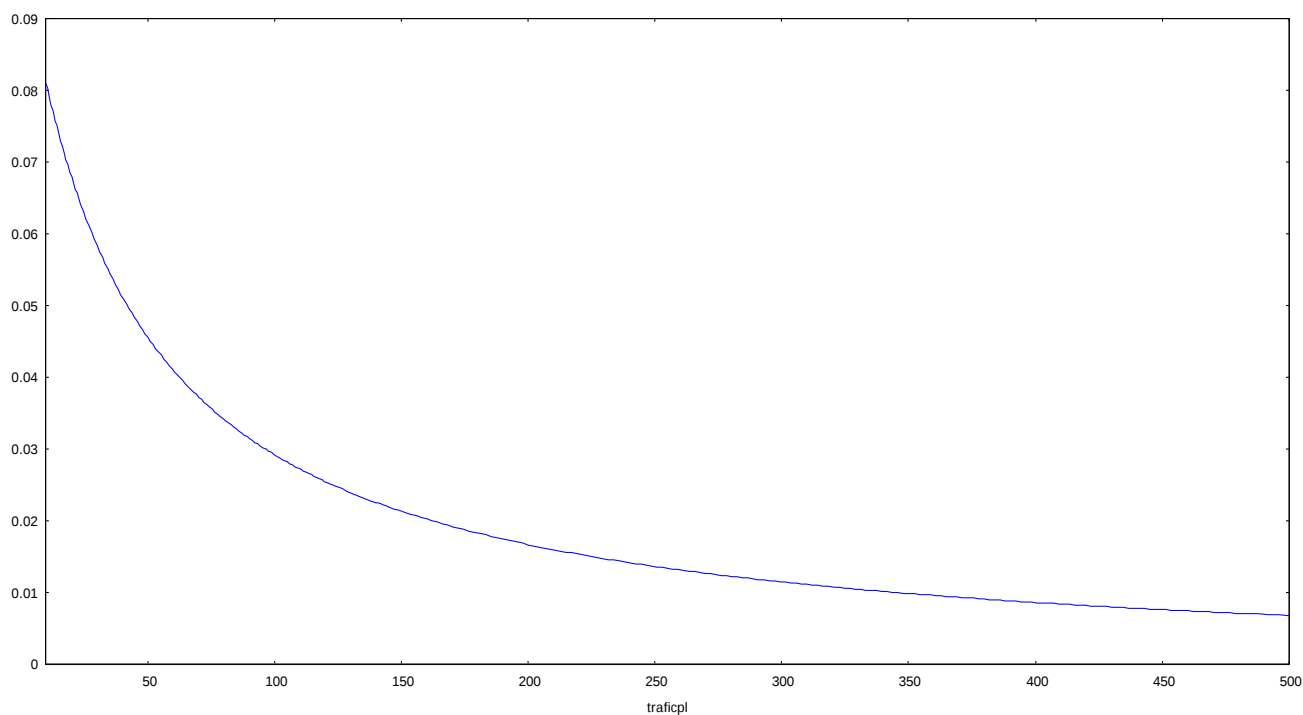


Figure 10 : Niveau de bruit marginal des PL en fonction du trafic PL par sens en veh/h (pour un trafic VL de 1000veh/h)

6.3.2 - Effet de la vitesse sur le niveau de bruit marginal

Les graphiques ci-dessus montrent que, pour les VL, à partir d'un certain seuil, le niveau de bruit marginal est négatif. Ceci est dû au fait que la vitesse diminue.

Cependant, il est probable que quand on augmente le trafic et que l'on rentre dans le domaine congestionné, l'allure ne soit plus stabilisée, et donc que les caractéristiques d'émissions utilisées ne soient plus valables. De plus, il faut noter que les courbes débit-vitesse ont également un domaine de validité limité dès que l'on entre en congestion.

Cependant, dans les graphiques ci-dessus, jusqu'à un trafic par heure de 1 200 véhicules par sens (VL+PL), qui correspond à une vitesse pour les VL de 80 km/h, on peut considérer que l'on reste dans le domaine de validité des courbes débit vitesse et que l'allure reste stable.

Afin d'observer la sensibilité du niveau de bruit marginal en fonction de la composante moteur, un test a été effectué en accélération avec

$$a_{\text{moteur vl}} = 68.2, b_{\text{moteur vl}} = 38.6, c_{\text{moteur vl}} = 90.$$

$$\text{On rappelle que } L_{\text{moteur}} = a_{\text{moteur}} + b_{\text{moteur}} \log(V / c_{\text{moteur}})$$

Ces valeurs sont théoriquement valables pour des vitesses de 100 à 130 km/h.

Un deuxième test est effectué en accélération avec $L_{\text{moteur}}=70$ (valeur pour les vitesses de 20 à 100 km/h).

Ces deux tests ont pour effet d'augmenter la composante moteur des émissions des VL, qui l'emporte sur la composante roulement sur une plage de vitesse plus grande. Autrement dit, lorsque la composante moteur augmente, le bruit d'émission du moteur d'un véhicule est plus important que le bruit de roulement (i.e. l'effet de la vitesse) sur une plage de vitesse plus large. Ainsi, le niveau de bruit marginal augmente quand le trafic augmente car l'effet relatif de la diminution des vitesses due au véhicule supplémentaire diminue.

Pour les PL, le niveau de bruit du moteur est le même quelle que soit l'allure.

Trafic par sens	Vitesse VL (km/h)	Allure stabilisée	Accélération	Accélération, $L_{\text{moteur}}=70$
800	109	0.00117	0.000986	0.00209
900	104	- 0.000157	- 0.0004770	0.00116
1000	98	- 0.00148	- 0.00192	0.000379
1100	92	- 0.00275	- 0.00329	- 0.000162
1200	84	- 0.00389	- 0.00452	- 0.000368

Tableau 21 : niveau de bruit marginal $d(L_{\text{aeq}})$ / $d(\text{trafic VL})$ sur autoroute 2*2 voies à 100 m de la source ponctuelle pour un trafic PL de 100 vh/h

Ces résultats montrent que l'augmentation de la composante moteur, en utilisant des paramètres valables en accélération et non plus en allure stabilisée, augmente le niveau de bruit marginal de l'ordre de 15 à 30%. L'effet vitesse apparaît prépondérant sur la composante moteur (i.e. le niveau de bruit marginal devient négatif) pour des trafics de plus de 1000 VL/heure par sens.

6.3.3 - Effet de l'utilisation de tranches horaires sur le niveau de bruit marginal

Dans cette partie, on teste l'effet de la tranche horaire sur laquelle est réalisé le calcul sur le niveau marginal de bruit.

On utilise les débits horaires suivants :

		6h-18h	18h-22h	22h-6h
routes interurbaines	VL	17	19	110
	PL	17	27	51

Tableau 22 : Débits horaires

Les tests sont effectués pour un trafic en TMJA de 19 200 VL (soit 400 VL/h si on utilise des TMJA/24 par sens) avec 10 % de PL.

	6h-18h	18h-22h	22h-6h	Calcul journalier sur la base d'une pondération des colonnes précédentes	Calcul journalier sur la base d'une utilisation directe des TMJA/24
VL	0.0051	0.00660	0.0328	0.0146	0.00837
PL	0.0121	0.0149	0.0762	0.0339	0.0185

Tableau 23 : Niveau marginal de bruit par tranche horaire et par jour

On observe que l'utilisation de débits par tranche horaire fait varier les niveaux marginaux de bruit, bien que les ordres de grandeur restent les mêmes : le niveau marginal de bruit reste de l'ordre du centième de dB dans le cas ci-dessus.

6.4 - Simulation sur une route 2*1voies, avec revêtement ancien

Les calculs sont effectués ici à partir des caractéristiques d'une route 2*1 voies 7m, avec un revêtement de type R1, ancien. Les composantes du L_{moteur} et $L_{\text{roulement}}$ sont prises pour les VL et PL en allure stabilisée, sur route horizontale. Les domaines de validité en vitesse des valeurs utilisées pour le bruit roulement et le bruit moteur sont de 20 km/h à 130 km/h en allure stabilisée.

Les tests sont faits avec un trafic PL par sens constant de 10veh/h quand on étudie le bruit marginal VL et un trafic VL par sens constant de 100veh/h quand on étudie le bruit marginal PL.

Détail des hypothèses :

Caractéristiques des émissions

Trafic	X	Trafic horaire par sens	t_{vide} (min/km)	α	γ	Équivalence VL/PL e	Capacité K
VL	1.6	100	0.66	2.6	0.41	3	1350
PL	1.4	10	0.75	1.6	0.24		

Tableau 24 : Caractéristiques des courbes débit-vitesse pour une route 2*1voies, 7m

Trafic	a _{roulement}	b _{roulement}	C _{roulement}	a _{moteur}	b _{moteur}	C _{moteur}	d _i
VL	73.3+4	31	90	64.3	31.3	90	100
PL	82.5+2.4	30	90	73.8	13	80	

Tableau 25 : Caractéristiques des émissions sonores des véhicules pour une route 2*1voies

Caractéristiques de la propagation

α varie en fonction du tiers d'octave considéré

Figure 11 : Vitesse des VL en fonction du trafic VL par sens en veh/h (pour un trafic PL de 10veh/h)

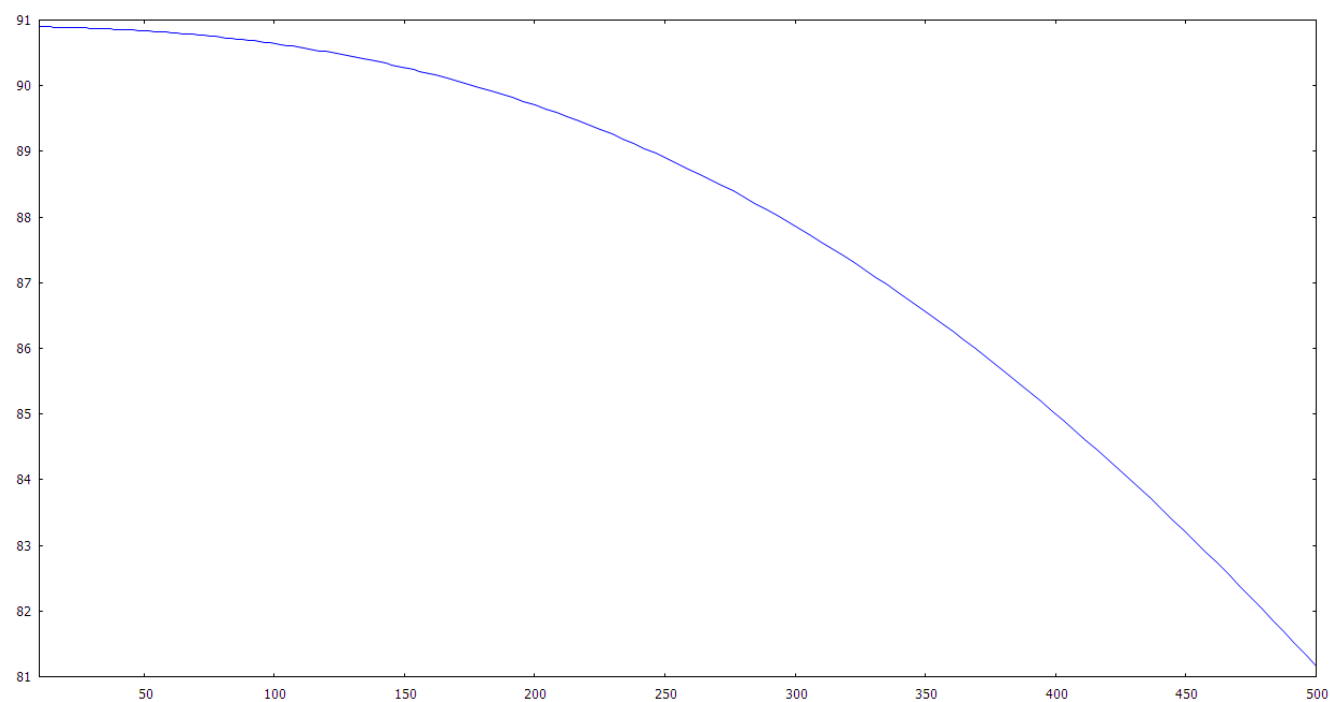


Figure 12 : Niveau de bruit marginal des VL en fonction du trafic VL par sens en veh/h (pour un trafic PL de 10veh/h)

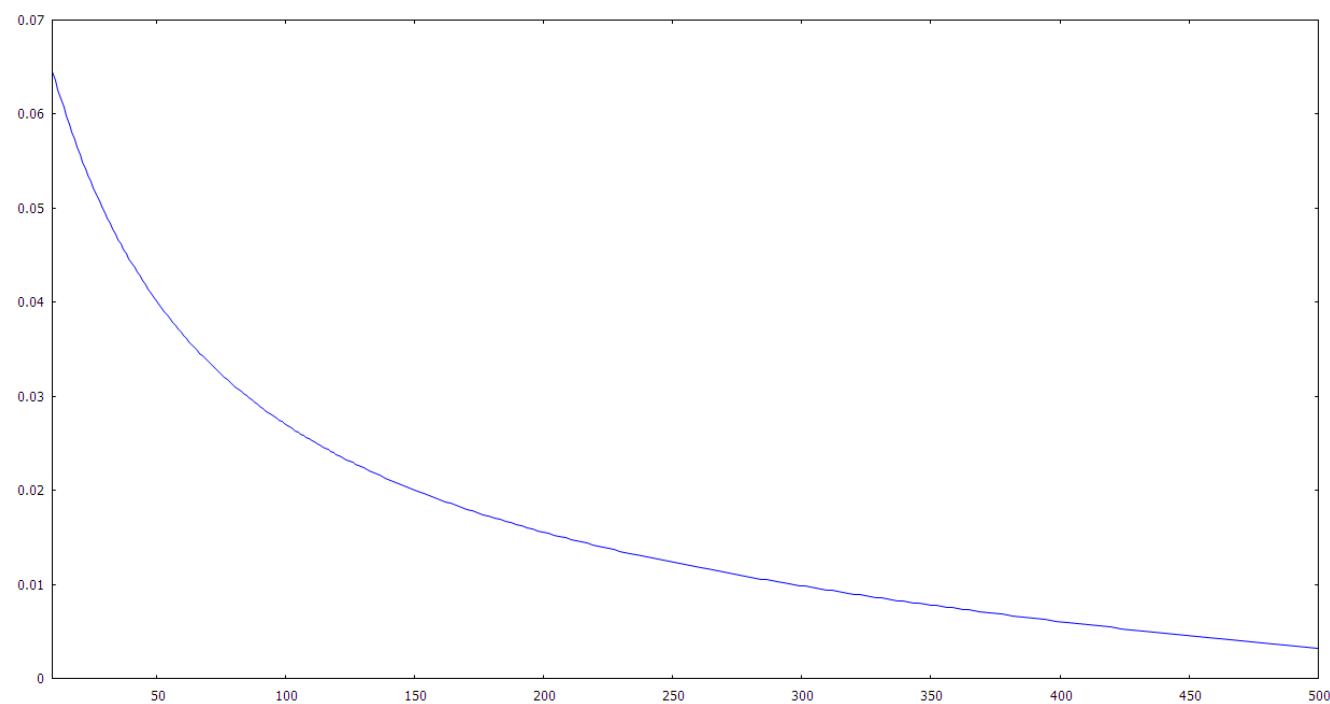
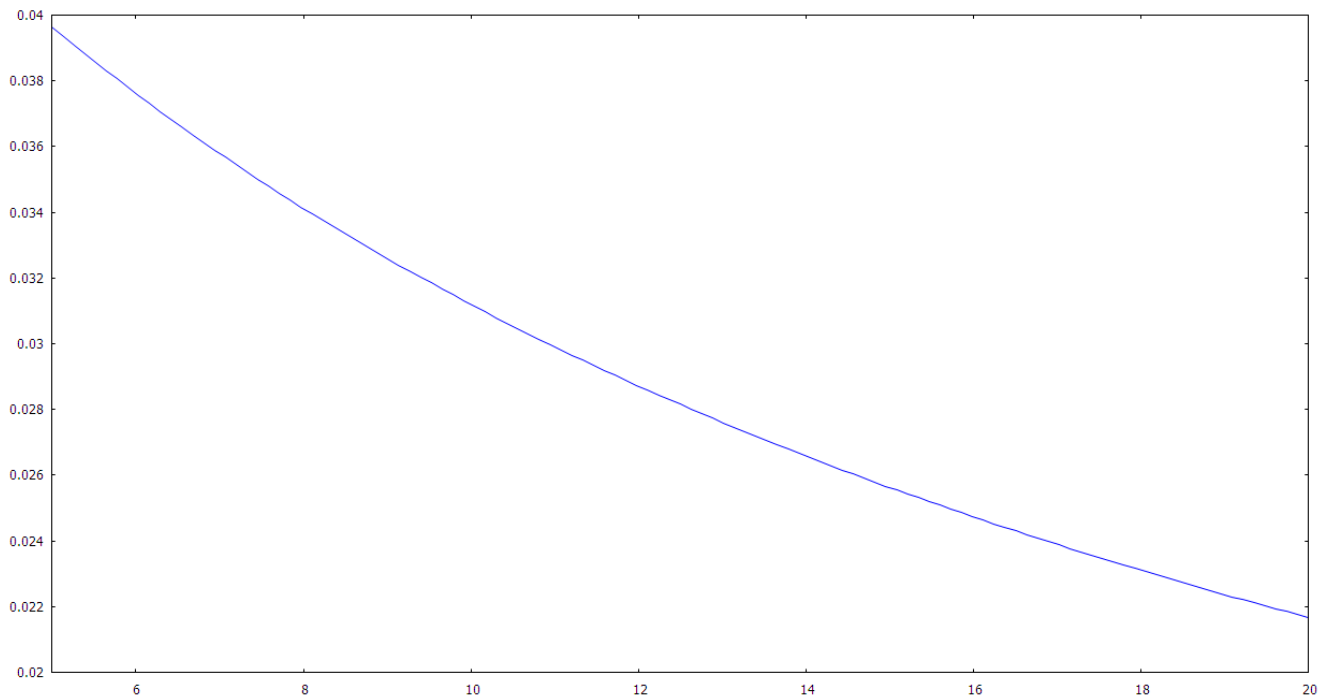


Figure 13 : Niveau de bruit marginal des PL en fonction du trafic PL par sens en veh/h (pour un trafic VL de 80 veh/h)



Les niveaux de bruit marginal obtenus pour une route 2*1 voies 7 m sont compris entre 0.01 et 0.06 dB selon le trafic pour les VL.

6.5 - Test de cohérence avec une approche simplifiée

Pour vérifier les ordres de grandeur obtenus en niveau marginal, on fait un test simple en se positionnant à 1 m de la source⁷, en considérant uniquement un trafic VL puis uniquement un trafic PL et en dérivant L_{AWi} par rapport au trafic.

On considère ici pour simplifier que le débit Q est égal au trafic divisé par 24 : on ne prend pas en compte les courbes débit-vitesse.

$$L_{AWi} = (L_{W/m} + 10 \log Q) + 10 \log l_i + R(j)$$

avec l_i distance entre 2 sources = longueur en m de la portion de ligne source représentée par la source S_i .

$R(j)$ spectre du bruit routier

Q débit horaire = $T/24$ avec T trafic journalier

$L_{W/m}$ puissance d'émission sonore par mètre de ligne source pour un débit de 1 véhicule/h (dit "débit unitaire")

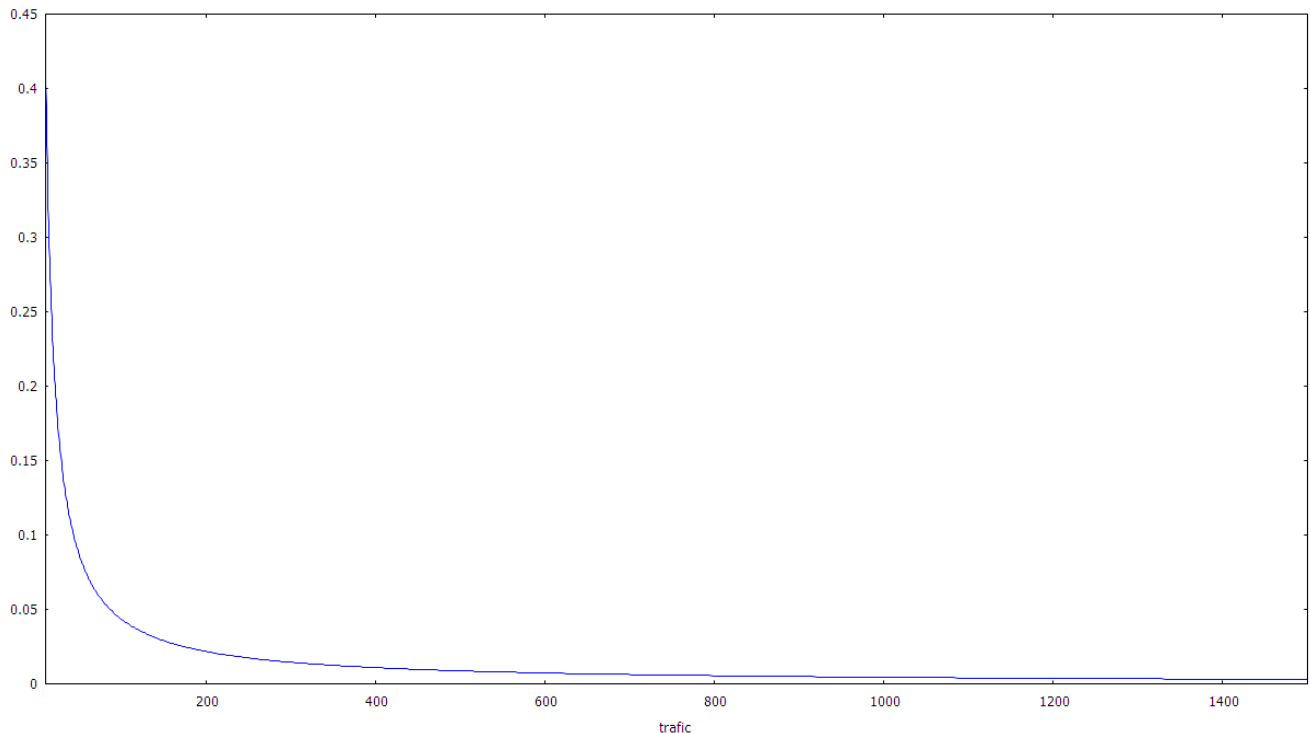
Le niveau marginal de bruit est alors :

$$\frac{\partial L_{AWi}}{\partial T} = \frac{10}{T \log(10)}$$

⁷ Le fait de se positionner à 1 m de la source permet d'utiliser directement $L_{W/mVL}$ sans avoir à prendre en compte les effets de propagation dans cette approche numérique simplifiée à l'extrême.

On obtient les résultats suivants pour le bruit marginal:

Figure 14 : Niveau de bruit marginal pour un trafic journalier VL uniquement, selon l'approche simplifiée



NB : Les trafics considérés ici sont des TMJA, et non des véhicules par heure et par sens comme dans l'approche complète.

Pour un trafic de VL uniquement, sans trafic PL prédéfini (contrairement à ce qui est fait dans l'approche complète), on obtient des valeurs entre 40% avec des trafics extrêmement faibles, et qui sont autour de 1% pour des trafics autour de 500 véhicules par heure. On obtient donc des ordres de grandeur cohérents avec ceux de l'approche complète, avec des trafics mixtes VL et PL et avec prise en compte des courbes débit-vitesse.

On se situe en effet en un point de la courbe en log tel que l'ajout d'un niveau de bruit supplémentaire ne modifie que très peu le niveau de bruit.

Si on ajoute un trafic PL déjà existant, on a

$$L_{AWi} = [(L_{W/mVL} + 10 \log Q_{VL}) \oplus (L_{W/mPL} + 10 \log Q_{PL})] + 10 \log l_i + R(j)$$

$$\text{soit } L_{AWi} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{W/mVL} + 10 \log Q_{VL}}{10}} + 10^{\frac{L_{W/mPL} + 10 \log Q_{PL}}{10}} \right) + 10 \log l_i + R(j)$$

avec l_i distance entre 2 sources= longueur en m de la portion de ligne source représentée par la source S_i .

$R(j)$ spectre du bruit routier

Q débit horaire = $T/24$ avec T trafic journalier

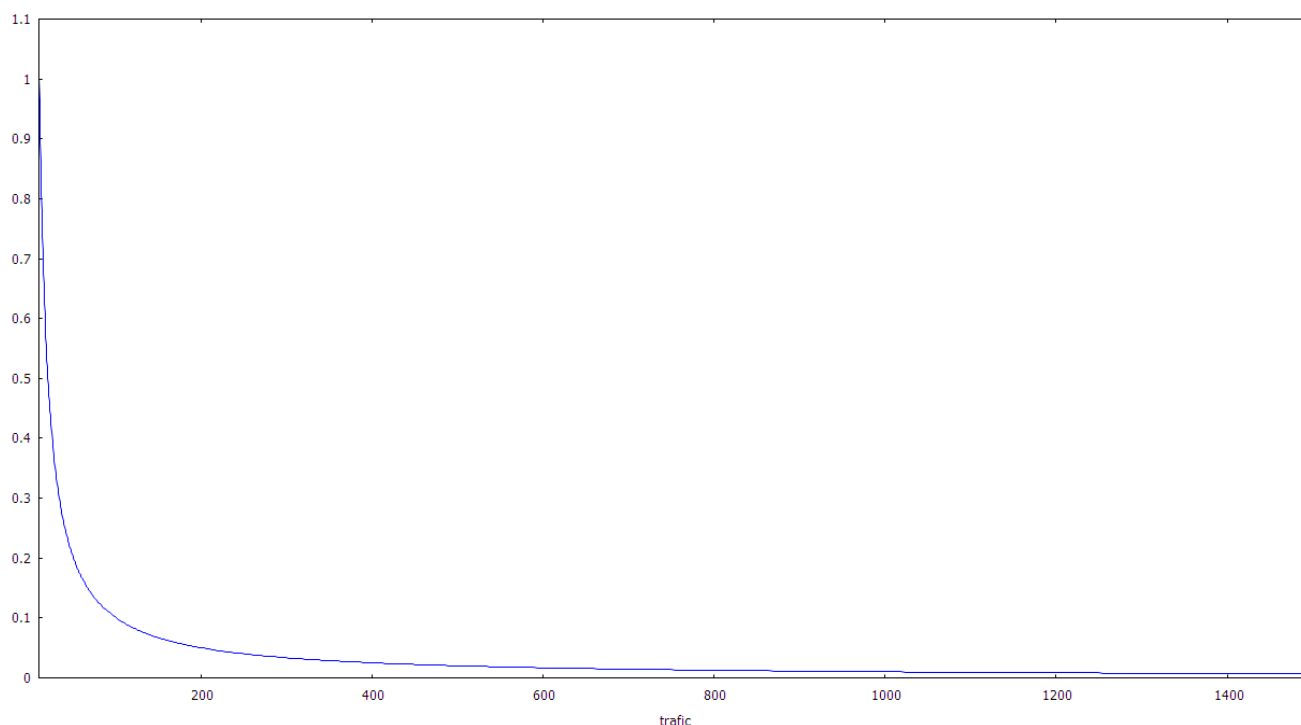
$L_{W/m}$ puissance d'émission sonore par mètre de ligne source pour un débit de 1 véhicule/h (dit "débit unitaire")

En prenant le bruit d'un VL à 60 dB et celui d'un PL à 65 dB, on obtient :

$$\text{Alors, } \frac{\partial L_{AWi}}{\partial T} = \frac{10^{\frac{60+10\log(T/24)}{10}+1}}{T \left(10^{\frac{60+10\log(T/24)}{10}+1} + 10^{\frac{65+10\log Q_{PL}}{10}} \right)}$$

Le niveau marginal de bruit VL, si on a 10 % de trafic PL quel que soit le trafic VL est présenté dans la figure ci-dessous.:

Figure 15 Niveau de bruit marginal en fonction du trafic journalier VL avec 10% de PL, selon l'approche simplifiée



On obtient ici aussi des résultats comparables en ordre de grandeur à ceux trouvés par les approches plus complètes.

6.6 - Coefficient de marginalité et niveau marginal de bruit

Le niveau marginal de bruit calculé dans les parties précédentes, est défini comme la dérivée du

niveau de bruit par rapport au trafic, soit, en notant B le niveau de bruit et T le trafic : $\frac{\partial B}{\partial T}$.

On définit le coefficient de marginalité de la façon suivante : $\frac{\frac{\partial B}{\partial T}}{\frac{B}{T}}$.

Trafic par sens VL+PL par heure par sens		Type de voie	Coefficient de marginalité
500, 25% PL	VL	autoroute 2*2 voies	5.7 %
1100, 10% PL	PL	autoroute 2*2 voies	60 %
110, 10% PL	VL	route 2*1voies	6.2 %
90, 12% PL	PL	route 2*1voies	11 %

Les coefficients de marginalité du bruit, selon cette approche restent entre 5 et 60%. Les coefficients de marginalité des PL sont plus importants que ceux des VL, notamment en situation de congestion (sur autoroute 2*2 voies avec un trafic horaire de 11000veh dans le tableau ci-dessus).

Les valeurs sont globalement plus faibles que l'ordre de grandeur de 40% évoqué dans le rapport HEATCO.

7 - Calcul du coût marginal à partir du coût moyen dans le rapport Quinet

La fonction de bruit B est définie dans un premier temps à partir des équations d'émission et de propagation du bruit des guides SETRA « Prédiction du bruit routier » (2009) et des courbes débit-vitesse⁸.

Ensuite, afin de calculer des coûts marginaux la notion de coefficient d'équivalence acoustique est introduite. Ces coefficients sont calculés en estimant l'équation suivante :

$$B(Q_{VL}, Q_{PL}) = B(Q_{VL} + aQ_{PL})$$

Les coefficients d'équivalence VL/PL calculés sur des routes plates à trafic peu dense sont les suivants :

Coefficient d'équivalence acoustique	Trafic peu dense	Trafic dense
Autoroute	4	8
Voie rapide urbaine	7	7
Voie urbaine	10	11

Tableau 26 : Coefficients d'équivalence acoustique VL/PL

Afin de déduire des coûts moyens de bruit à partir des coûts totaux et des coefficients d'équivalence acoustique, les parts de PL suivantes sont prises selon le type de voie : 12% pour le RRN hors autoroutes concédées, 20 % pour les autoroutes concédées et 6% pour le réseau routier hors RRN.

Les coûts moyens sont définis tels que : $c_{moyen} = c_{moy,VL} \times part_{VL} + c_{moy,PL} \times part_{PL}$, avec

$$c_{moy,PL} = a * c_{moy,VL}$$

On en déduit enfin les coûts marginaux VL et PL qui sont définis de la façon suivante :

Coût marginal des VL :

$$c_{marg,VL} = \frac{dB}{d(Q_{VL} + aQ_{PL})}$$

Coût marginal des PL :

$$c_{marg,PL} = a \times \frac{dB}{d(Q_{VL} + aQ_{PL})}$$

avec Q_{VL}, Q_{PL} trafics horaires VL et PL

B fonction du niveau de bruit

a coefficient d'équivalence acoustique VL/PL

⁸ Pour le détail de la composition de la fonction de bruit $B(Q_{VL}, Q_{PL})$, le lecteur est renvoyé au rapport d'étude du Sétra Monétarisation des impacts sur le bruit des projets routiers, à paraître en février 2014.

Deux modélisations sont effectuées, la première considérant des trafics denses et la seconde des trafics peu denses. Un trafic est défini comme dense quand il est supérieur à 80 % de la capacité de la route considérée.

Type de peuplement	Type d'infrastructure	Coût moyen des nuisances sonores en € ₂₀₁₀ /1000v.km à utiliser quand on ne connaît pas la composition du trafic ⁹	Coût moyen VL	Coût moyen PL	Coût marginal VL	Coût marginal PL
Rural	Autoroute	0.78	0.5	1.9	0.03	0.1
	Nationale ou départementale	3.35	1.9	13.6	0.12	0.8
	Communale ¹⁰	16.75	10.5	115.2	0.63	6.9
Semi-urbain	Autoroute	3.14	2.0	7.8	0.12	0.5
	Nationale ou départementale	7.35	3.3	23.4	0.20	1.4
	Communale	35.08	16.9	168.6	1.01	10.1
Urbain	Autoroute	8.99	5.6	22.5	0.34	1.3
	Nationale ou départementale	9.75	5.7	39.7	0.34	2.4
	Communale	48.45	31.5	314.6	1.89	18.9
Urbain dense	Autoroute	13.24	8.3	33.1	0.50	2.0
	Nationale ou départementale	15.72	9.1	64.0	0.55	3.8
	Communale	58.41	37.9	379.3	2.28	22.8
Urbain très dense	Autoroute ¹¹	22.40	14.0	56.0	0.84	3.4
	Nationale ou départementale	28.96	16.8	117.9	1.01	7.1
	Communale	66.29	43.0	430.5	2.58	25.8

Tableau 27 – Valeurs du coût des nuisances sonores, exprimées en euros 2010 / 1 000 véhicule.kilomètre pour le mode routier en trafic peu dense,

Les valeurs correspondant à des routes communales en zone rurale n'ont pas été calculées à partir de cartes de bruit faute de données suffisantes. Le coût moyen donné ci-dessus a été calculé de manière à garder le même écart constaté, pour les zones de type semi-urbain et urbain, entre les coûts pour des routes nationales et départementales et les coûts des routes communales (à savoir, un facteur 5).

Les coûts moyens et marginaux selon le type de trafic (VL ou PL) ont ensuite été calculés selon la même méthode que pour les autres catégories.

⁹ NB : les coûts moyens sans distinction de type de véhicule ne sont valides que si la répartition VL/PL sur l'axe considérée est cohérente avec l'hypothèse de répartition faite pour le calcul: ils ne sont à utiliser que si la répartition VL PL est inconnue, et supposée égale à la répartition indiquée précédemment..

¹⁰ En l'absence de données suffisantes concernant les routes communales, la valeur présentée ici a été calculée par homothétie avec les valeurs en zone semi-urbaine.

¹¹ Pour l'urbain très dense, la valeur pour les autoroutes a été calculée avec un échantillon de 3 seulement. Les valeurs faibles proviennent d'une faible part de la population affectée par des niveaux de bruit de 70 à 80 dB qui peuvent s'expliquer par la présence de murs antibruits ou par la situation géographique de l'infrastructure (en zone industrielle par exemple).

8 - Calcul du coût marginal du bruit routier à partir d'hypothèses de densité

8.1 - Hypothèses de densité

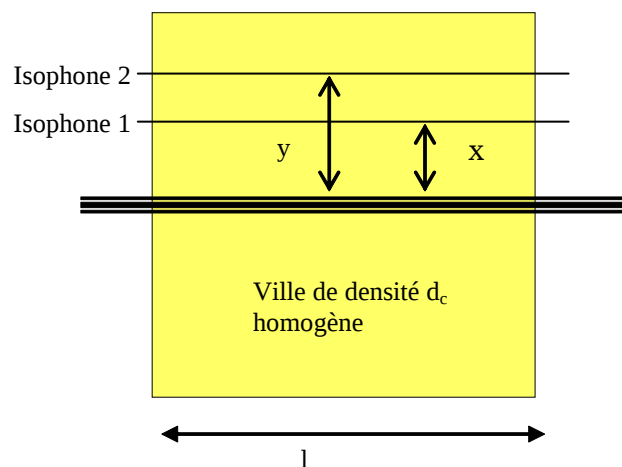
Afin de pouvoir appliquer les coûts marginaux de bruit ci-dessus aux populations autour de l'infrastructure, deux types d'hypothèses sont faites sur la répartition de la population autour de l'infrastructure étudiée. Le calibrage de ces hypothèses est fait sur les coûts moyens déterminés par les cartes de bruit de façon à minimiser l'écart entre les coûts moyens calculés à partir des données de population des cartes de bruit, et des coûts calculés en faisant des hypothèses sur la répartition de la population.

8.1.1 - Urbanisation homogène

Calcul théorique

Le premier type d'urbanisation correspond à de l'urbain. On considère que l'urbanisation est homogène et les villes sont carrées. La densité de population dans chaque isophone est donc égale à la densité de population communale d .

On peut en déduire la population présente entre les isophones comprises entre les distance x et y de l'infrastructure : $pop_{x,y} = ld(y - x)$ avec l longueur de l'arc considéré.



Calibrage des isophones-type

Afin de calibrer les isophones "type", on compare les populations calculées "à la main" avec les populations par classe de bruit, données par les cartes de bruit stratégiques.

Le calibrage des isophones basées sur une hypothèse de densité homogène est fait à partir de 226 sections routières correspondant à de l'urbain dense.

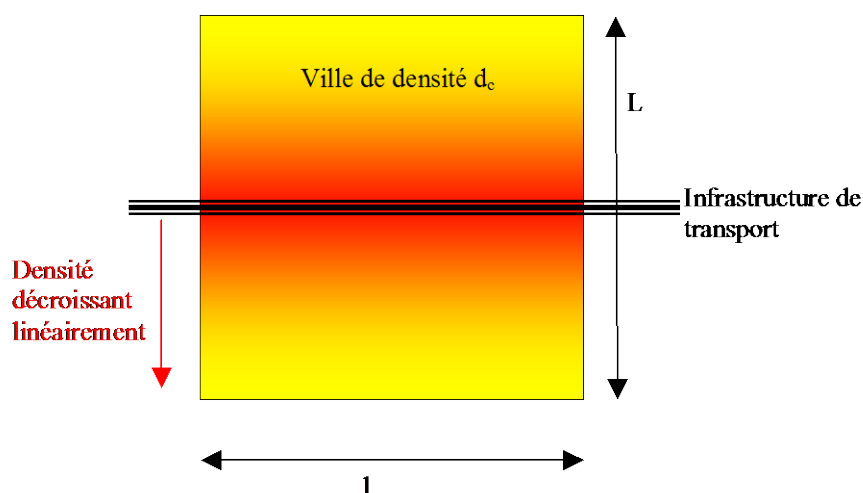
On sélectionne, parmi les 226 sections en urbain, celles dont la longueur est inférieure ou égale à la "largeur" communale afin que la densité communale soit applicable. Il reste alors 165 sections.

Isophone (classe de Lden)	Distance des isophones à l'infrastructure (en km)	Moyenne des écarts de population	Ecart type des écarts de population
70-80	0.005	-69	439
65-70	0.015	-208	472
60-65	0.1	33	660
55-60	0.2	-15	862
50-55	0.3	-340	1089

Tableau 28 : Distances "type" des isophones en urbain à l'infrastructure à partir des cartes de bruit

8.1.2 - Densité linéaire

Le deuxième type d'urbanisation correspond à de l'interurbain, on considère que la densité décroît linéairement depuis l'infrastructure.

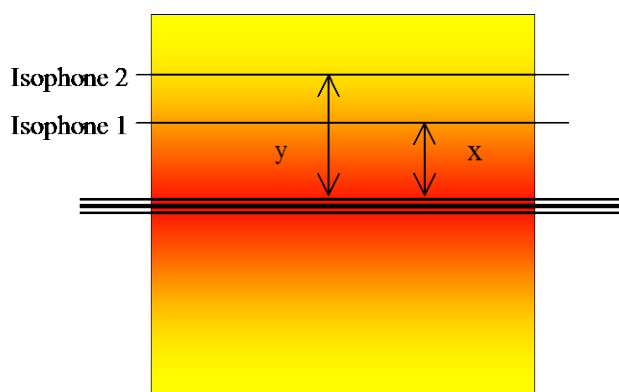


La densité à la distance d de l'infrastructure est donc $d_d = \frac{2d_c}{L}(L - d)$

Avec $L = \sqrt{\text{su perficie}}$ = "largeur" de la ville

d_c densité de la commune par laquelle passe l'arc

On peut en déduire la population présente entre les isophones comprises entre les distance x et y de l'infrastructure :



$$pop_{x,y} = l \int_x^y \left(\frac{2d_c}{L} (L - d) \right) \partial d \text{ avec } l \text{ largeur de l'arc considéré.}$$

Calibrage des isophones-type

Afin de calibrer les isophones "type", on compare les populations calculées selon les formules ci-dessus avec les populations par classe de bruit données par les cartes de bruit stratégiques.

Le calibrage des isophones basé sur une hypothèse de densité linéaire est fait à partir de 16 sections routières correspondant à de la rase campagne.

Isophone (classe de Lden)	Distance des isophones à l'infrastructure (en km)	Moyenne des écarts de population	Ecart type des écarts de population
70-80	0.01	-10	15
65-70	0.015	-139	223
60-65	0.1	-351	342
55-60	0.2	-658	570
50-55	0.36	-1801	2120

Tableau 29 : Distances "type" des isophones à l'infrastructure en interurbain à partir des cartes de bruit

8.2 - Calcul du coût marginal de bruit routier

Dans la partie 5, il est montré que le niveau marginal de bruit dépend très peu de la distance. Cependant, afin de calculer le coût marginal du bruit, il est nécessaire de connaître la population impactée à qui appliquer le coût par dB supplémentaire dû à la variation marginale de trafic, donc les isophones.

Deux méthodes peuvent être utilisées à ce stade : soit l'utilisation de cartes de bruit stratégiques, si elles sont disponibles, soit l'utilisation de distances type d'isophone et des densités des communes traversées par l'infrastructure.

8.2.1 - Calcul direct à partir des cartes de bruit

On considère que les populations données dans les cartes de bruit ont un niveau marginal de bruit donné par le coefficient calculé ci-avant. On considère que l'augmentation de trafic est marginale et que, par conséquent, elles ne changent pas de classe de bruit.

On applique ainsi, à chaque personne impactée, le niveau marginal de bruit par veh.km multiplié par le coût du bruit correspondant au niveau moyen de bruit dans lequel la personne est placée.

NB : cette méthode est applicable quand on a une augmentation marginale de bruit, donc pour une augmentation de trafic sur une section donnée pré-existante. Par contre, lors d'une création d'infrastructure, le coût marginal sera égal au coût moyen (cf. coûts moyens calculés partie 4).

8.2.2 - Calcul à partir de la densité de la commune traversée

Si on ne dispose pas de cartes de bruit stratégiques, on peut appliquer les coefficients de marginalité aux coûts calculés à partir des populations impactées calculées selon la méthode présentée dans la partie 6.1.

La méthode consiste à calculer des coûts moyens à partir des populations impactées par niveau de bruit, obtenues selon le type de densité (homogène ou linéaire), avec les formules données dans la partie 6.1. et les distances des isophones calculées à partir des cartes de bruit stratégiques.

Les coefficients de marginalité dépendent du trafic initial sur l'infrastructure et du type d'infrastructure. Le coefficient de marginalité est déterminé selon la méthode présentée en partie 5, de préférence en utilisant les coefficients de marginalité calculés en distinguant les périodes de la journée.

Cependant, il faut noter que cette méthode induit une erreur potentiellement importante sur les populations exposées calculées. Des tests de sensibilité sont donc nécessaires lors de l'utilisation de cette méthode (par exemple, de + ou – 100 %).

On peut également noter que les sections de voies utilisées dans les modèles de trafic ne vont pas de commune en commune, donc l'utilisation de cette méthode, bien que simplifiées, nécessite de constituer des "sous-sections" d'arcs, ce qui, sur un réseau de plusieurs milliers d'arcs suppose l'implémentation d'une méthode automatisée.

Sinon, sur les arcs les moins impactés par le projet évalué, il pourrait être possible d'utiliser des coûts moyens par types de voies auquel on applique un coefficient de marginalité, également par type de voie.

9 - Exemple de calcul sur un cas réel

Dans cette partie, on applique 3 différentes méthodes de calcul de la variation de coût de bruit entre une situation de projet et une situation de référence.

Les deux premières méthodes correspondent à des méthodes pour lesquelles un coût moyen est calculé, en fonction des populations exposées, auquel on applique un coefficient de marginalité, calculé au cas par cas en fonction du trafic et du type de voie.

La différence entre ces deux méthodes réside dans le calcul des populations exposées au bruit. La première méthode utilise directement des cartes de bruit stratégique tandis que la deuxième méthode calcule les populations exposées à partir d'hypothèses sur les densités de communes traversées par l'infrastructure et leur type d'urbanisation.

La troisième méthode consiste à utiliser directement des coûts en €/veh.km aux différences de trafic entre la situation de projet et la situation de référence.

9.1 - Projet testé

Le projet testé ici est un aménagement sur place. Il s'agit de la section de l'A77 concédée dans la Nièvre, d'une longueur de 18 km, qui traverse les communes de Neuvy-sur-Loire à Cosnes-Cours-sur-Loire.

Le trafic en 2004 sur cette section, en TMJA est de 8 250 veh.jour après mise en service (avec 17 % de PL), et 6 750 en situation de référence (données du bilan ex-post).

9.2 - Calcul des populations exposées

9.2.1 - Données de la carte de bruit stratégique de 2012

La carte de bruit stratégique fournit, après mise en service, les populations exposées par niveau de bruit suivantes :

75 dB et plus	70-75 dB	65-70 dB	60-65 dB	55-60 dB
0	4	28	10	456

9.2.2 - Calcul des populations impactées à partir de la méthode simplifiée

Les caractéristiques des communes traversées par l'infrastructure sont les suivantes :

Commune	Longueur du tronçon en projet en km	Superficie de la commune traversée	Densité de population de la commune traversée (hab/km ²)
Neuvy-sur-Loire	6	2081	67
La Celle-sur-Loire	6	2171	37
Myennes	4	719	83
Cosne-Cours-sur-Loire	2	5378	212

NB : ce travail de reconstitution des tronçons par commune à la main est chronophage.

On calcule les populations impactées à partir des formules en urbanisation linéaire :

Commune	75 dB et plus	70-75 dB	65-70 dB	60-65 dB	55-60 dB
Neuvy-sur-Loire	0	0	0	44	91
La Celle-sur-Loire	0	0	0	23	48
Myennes	0	0	0	141	298
Cosne-Cours-sur-Loire	0	0	0	17	30
TOTAL	0	0	0	225	467

Les résultats de la méthode simplifiée sont relativement proches de données de la CBS, bien que les populations exposées aux niveaux de bruit les plus forts soient sous-estimées.

9.3 - Calcul du coût moyen : application des coûts en €/personne exposée et par an

On applique les valeurs suivantes :

Lden	coût
55-60	75,4
60-65	136,2
65-70	248,8
70-75	427,6
75-80	715,2

Valeurs CAS 2013 du coût des nuisances sonores en €₂₀₁₀ par tranche de niveau de bruit

Le coût total en 2004 est de **44 k€** avec la CBS et de **66 k€** avec le calcul des populations exposées à partir des densités.

Ce coût est le coût total en situation de projet. Cependant, la carte de bruit, réalisée dans le cadre des CBS est réalisée dans a situation existante. Il n'existe pas de carte de bruit en situation de référence.

On utilise donc le coefficient de marginalité du bruit, pour le calcul duquel la diffusion du bruit n'intervient pas, afin de connaître la différence de coût du bruit entre la situation de référence et la situation de projet.

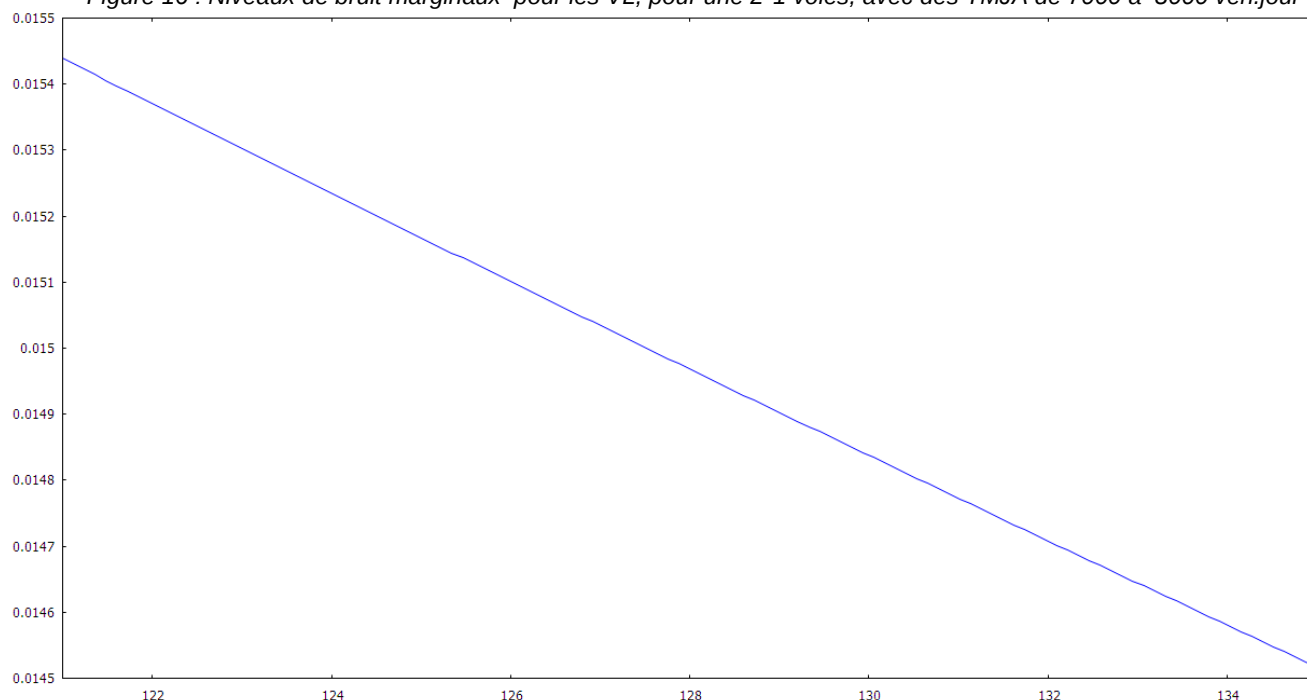
9.4 - Calcul du coefficient de marginalité

Le problème, une fois le coût moyen déterminé, est de choisir le coefficient de marginalité à utiliser. Il s'agit de savoir :

- si on utilise celui qui correspond au premier des véhicules qui arrivent en plus sur l'infrastructure ou celui du dernier véhicule supplémentaire ;
- si l'on utilise le coefficient de marginalité qui correspond à une 2*1 voie ou celui qui correspond à une autoroute ;
- comment on pondère le coefficient de marginalité entre les VL et les PL, qui ont des coefficients de marginalité différents.

Les niveaux marginaux de bruit peuvent être considérés comme linéaires avec le trafic pour des variations de trafic de l'ordre de 1000 véhicules jour, comme le montre le graphique ci-dessous.

Figure 16 : Niveaux de bruit marginaux pour les VL, pour une 2*1 voies, avec des TMJA de 7000 à 8000 veh.jour



Les niveaux marginaux de bruit sont alors les suivants :

10 ⁻² dB	VL	PL
autoroute	2.2	5.1
2*1 voies	1.4	8.4

La variation de coût entre projet et référence, pour un an, est comprise, avec les CBS et les niveaux de bruit marginaux indiqués ci-dessus, entre 0.6 k€ et 4 k€.

En utilisant la méthode simplifiée sans CBS, on obtient entre 0.9 k€ et 6 k€.

La méthode simplifiée permettant de reconstruire les populations exposées en fonction de la densité des communes traversées et du type d'urbanisation a donc permis, sur ce cas, d'obtenir des résultats satisfaisants. Le "découpage" des tronçons du réseau modélisé par commune traversée est long à faire à la main.

Cependant, deux possibilités pourraient être explorées : soit le découpage des réseaux par tronçon via un petit programme, soit l'utilisation d'une densité moyenne par tronçon des communes traversées pondérée par la longueur de chaque sous-tronçon. Une automatisation de cette méthode paraît donc faisable.

9.5 - Utilisation directe des coûts marginaux en €/veh.km

On applique les valeurs suivantes, issues du rapport Infras de 2011 (cf. partie 4.4).

	Trafic	Péri-urbain	Rural
VL	Dense	0,5	0,1
	Peu dense	1,6	0,1
PL	Dense	6,7	1,1
	Peu dense	13,3	2,2

Tableau 30 : coûts du bruit journaliers en €2010/1000veh.km

La différence de coût en référence – projet est, pour un an, suivant les hypothèses prises :

En k €	Péri-urbain	Rural
Dense	10	2
Peu dense	23	3

La variation de coût entre projet et référence, pour un an, est donc comprise, avec les CBS et les coûts en €/veh.km, entre 2 k€ et 23 k€.

9.6 - Synthèse du test sur cas réel

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

CBS et valeur par dB	Calcul des populations à partir des densités communales et valeur par dB	Coût moyen	Coût moyen * 6% ¹²	Coût marginal de l'étude Infras
0.6 à 4 k€	0.9 à 6 k€	19 k€	1.14 k€	2 à 23 k€

Tableau 31 : synthèse des valeurs obtenues sur l'étude de cas

En utilisant la méthode de l'instruction-cadre de 2007, reprenant les valeurs Boiteux 2, étant donné que le projet considéré est un aménagement sur place, les variations de niveaux de bruit (que l'on peut calculer ci-dessus à partir des niveaux marginaux de bruit indiqués dans la partie 8.4), sont inférieurs à 2dB sur toutes les sections considérées. La valeur donnée au bruit aurait donc été nulle.

9.6.1 - Conclusion sur l'utilisation de méthode simplifiée pour les populations exposées

Avec la méthode utilisant des coûts moyens puis un coefficient de marginalité calculé à partir du trafic et du type de voie,

- la variation de coût entre projet et référence, pour un an, est comprise, **avec les CBS**, entre **0.6 k€ et 4 k€** ;
- **en utilisant la méthode simplifiée sans CBS**, on obtient entre **0.9 k€ et 6 k€**.

¹² Le coefficient de marginalité de 6 % est le coefficient tous véhicules retenu dans le rapport du CAS.

La méthode simplifiée proposée dans ce rapport pour le calcul des populations exposées a donc permis ici d'obtenir des résultats satisfaisants.

Etant donné l'absence de carte de bruit sur l'ensemble du territoire, et la taille des réseaux pris en compte dans l'évaluation des projets de transport, la méthode simplifiée semble, d'après cette application sur un cas, être un compromis raisonnable pour faire face au manque de cartes de bruit stratégiques tout en conservant a minima des données de densité des communes traversées.

Ce calcul pourrait être amélioré par la suite sur deux points :

- l'utilisation de cartes de bruit stratégiques plus récentes ;
- l'utilisation de critères supplémentaires qui permettraient d'affiner ce calcul rapide des populations exposées, comme la part de PL dans le trafic par exemple.

9.6.2 - Comparaison entre l'utilisation de coûts moyens et coefficients de marginalité ou l'utilisation de coûts en €/veh/km

En appliquant directement les coûts en €/veh.km du rapport du CGSP, la variation de coût entre projet et référence, pour un an, est comprise, **entre 2 k€ et 23 k€**. Elle est donc du même ordre de grandeur, bien qu'un peu plus forte, que lorsqu'on utilise la méthode à partir de la carte de bruit stratégique complétée de coefficients de marginalité.

Les hypothèses prises pour le calcul de ces valeurs ne sont toutes pas précisées dans les rapports Infras. Cependant, d'après les données disponibles sur le rapport Infras (2011), les trafics utilisés semblent faibles, ce qui expliquerait les différences de valeurs obtenues.

Le calcul "complet" avec reconstitution du coût moyen puis du coefficient de marginalité permet une évaluation un peu plus fine que l'utilisation de coûts en €/veh.km, que ce soit au niveau de la prise en compte de la densité des agglomérations, au niveau de la structure de trafic ou au niveau du type de voie.

10 - Conclusion et suites envisagées

Ce rapport propose une première approche de calcul des coûts marginaux, à partir des coûts des dommages marginaux de bruit des populations exposées utilisés dans INFRAS/IWW (exprimés en euros/dB/personne/an) et de fonctions de propagation-atténuation de bruit explicites en fonction des conditions de trafic (volume, composition, vitesse).

Les principales conclusions des calculs effectués sont les suivantes :

- les coûts obtenus ici semblent plutôt faibles avec des coefficients de marginalité de l'ordre de quelques % ou dizaines de %, voire négatifs en cas de congestion ;
- le coefficient de marginalité peut s'appliquer directement au coût moyen car il ne semble pas varier en fonction de la distance.

Le principal problème pour l'application de coûts marginaux de bruit reste la connaissance des populations impactées. Les cartes de bruit stratégique permettent d'obtenir ces populations de manière fiable, mais jamais en projection et à la fois en référence et projet, ce qui nécessite une méthode simplifiée. La méthode testée ici propose un calcul en fonction de la densité de population de la commune, mais cette méthode demande, en contrepartie de cette simplification, l'implémentation de tests de sensibilité.

Les résultats obtenus sur le cas réel testé semblent cependant satisfaisants. Les valeurs obtenues, selon l'utilisation de CBS ou non et l'utilisation de coûts en veh.km ou de coûts marginaux reconstitués, restent toutes du même ordre de grandeur. De plus, la méthode semble applicable à l'échelle d'un projet "complet", c'est à dire en évaluant les effets sur le bruit de l'ensemble du réseau impacté par le projet, au lieu de se limiter à une section comme dans le cas testé. Le calcul suivant les méthodes présentées ici pourrait ainsi être ajouté aux outils de calcul socio-économique déjà existants, à condition d'intégrer les densités des communes traversées dans les caractéristiques du réseau.

Des approfondissements peuvent être conduits sur la question du coefficient de marginalité, qui semble très faible, et sur ce qu'il se passe en situation de congestion, l'approche menée ici ayant conduit à des coefficients de marginalité négatifs en congestion. Ce résultat n'est pas contre-intuitif mais mérite des approfondissements.

Des calculs en situation "réelle", avec une modélisation du bruit plus précise, à partir d'un modèle de bruit complet permettraient d'approfondir l'approche présentée ici et de vérifier les coefficients de marginalité obtenus.

De plus, des données plus complètes de cartes de bruit stratégiques (notamment, les parts de PL ou la présence ou non d'un mur antibruit) permettraient d'affiner les calculs et le calibrage faits à partir des cartes de bruit stratégiques.

Les coûts calculés ici concernent uniquement le mode routier. Le problème se pose différemment en ferroviaire, selon que l'on crée une nouvelle infrastructure, auquel cas on peut raisonner en coût moyen, ou que l'on augmente la longueur des trains, auquel cas il faudrait calculer des coûts marginaux. La même méthode de calcul pourrait potentiellement être appliquée au mode ferroviaire.

Bibliographie

- [1] Monétarisation des externalités environnementales, Rapport d'études, Sétra, 2010.
- [2] Bruit et études routières – Manuel du chef de projet. Sétra, CERTU, 2001, 235 p.
- [3] External costs of transport in Central and Eastern Europe. MAIBACH, M., SCHREYER, C., SCHNEIDER, C., HERRY, M. OCDE, décembre 2002.
- [4] Prévion du bruit routier – Calcul des émissions sonores dues au trafic routier. Guide méthodologique. Sétra, juin 2009, 122 p. (référence Sétra : 0924-1).
- [5] Prévion du bruit routier – Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008). Guide méthodologique. Sétra, juin 2009, 122 p. (référence Sétra : 0924-2).
- [6] Production des cartes de bruit stratégiques. Guide méthodologique. Sétra, août 2007, 108 p. (référence SETRA : 0736W).
- [7] Derivation of fall-back values for impacts due to noise – Annex E to HEATCO deliverable 5. BICKEL, P. IER, février 2006, 31 p.
- [8] External costs of transport: update study. INFRAS/IWW, 2004, 168 p.
- [9] External costs of transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe,. INFRAS/IWW, 2000, 333 p.
- [10] Deliverable 3: Marginal cost methodology – UNITE, mars 2001, 58 p.
- [11] Handbook on estimation of external costs in the transport sector – IMPACT, M. Delft, December 2007, 332 p.
- [12] Good practice guide on noise exposure and potential health effects, European Environment Agency, 2010.
- [13] External costs of transport: update study for 2008. CE Delft, INFRAS, Fraunhofer, 2011, 163 p.
- [14] Calcul prévisionnel du bruit routier, note d'information Sétra n°78, avril 2007.
- [15] Evaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental, ANSES, 2013.
- [16] Commissariat Général à la stratégie et à la Prospective, L'évaluation socio-économique des investissements publics, Rapport de la mission présidée par Emile Quinet, septembre 2013.
- [17] Évaluer les effets des transports sur l'environnement : le cas des nuisances sonores, J.-M., KAIL, LAMBERT, J., QUINET, E. Rapport n° 16. CADAS, 1999, 81 p.
- [18] Projet d'instruction relative aux méthodes d'évaluation économique des investissements routiers interurbain, MEDDE, mai 2007.

Résumé

Dans le cadre des travaux du groupe du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective sur l'évaluation des investissements publics sous la présidence d'Emile Quinet et à la demande du groupe, le Sétra a développé une méthode permettant de calculer des coûts monétaires des nuisances sonores routières exprimées en €/veh.km, pouvant être appliquée à des données de trafic prévisionnelles ou simulées selon des environnements caractéristiques de population exposées.

Ce rapport reprend tout d'abord les concepts de base de calcul de bruit. Il revient ensuite sur les principales méthodes de monétarisation du bruit et les valeurs et études de référence en Europe. Ensuite, une méthode de type top-down est appliquée en utilisant des cartes de bruit stratégiques en France et permet d'obtenir des coûts moyens du bruit. La quatrième partie est basée sur une méthode de type bottom-up qui permet de calculer un coefficient de marginalité du bruit à partir d'un modèle d'émission propagation de bruit simplifié. Enfin, une application est proposée sur un cas d'aménagement sur place sans l'utilisation d'une carte de bruit stratégique.

Ce rapport a une visée exploratoire et illustrative. Il ne vise pas à prescrire une méthode de valorisation des coûts monétaires du bruit, mais à explorer certaines pistes méthodologiques pour estimer des coûts marginaux de bruit sur la base d'une information encore incomplète sur la localisation précise des populations exposées.

Sur le même thème

Évaluation des projets de transports - Enseignements et pistes ouverts par le rapport Quinet sur l'évaluation socio-économique des investissements publics. Cerema, 2014.

Valise pédagogique – calcul socio-économique. Sétra, 2012.

Monétarisation des externalités environnementales. Sétra, 2010.

Connaissance et prévention des risques - Développement des infrastructures - Énergie et climat - Gestion du patrimoine d'infrastructures
Impacts sur la santé - Mobilités et transports - Territoires durables et ressources naturelles - Ville et bâtiments durables

Document consultable et téléchargeable sur le site <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.
Référence : 1402w – ISRN : CEREMA-DTécITM-2014-002-1

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction technique infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris, 77171 Sourdun - Tél. : +33 (0)1 60 52 31 31
Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public - Siret 130 018 310 00016 - www.cerema.fr