



PREMIER MINISTRE

**Commissariat général
à la stratégie
et à la prospective**

**Département
Développement durable**

**RAPPORTS
& DOCUMENTS**

Juillet 2013

**La prise en compte du bruit
dans les investissements
de transport**

**Contribution
Aurélien Croq
Hélène Le Maître**

Tome 2

Rapport
« *L'évaluation socioéconomique des investissements publics* »

Groupe de travail
présidé par Émile Quinet

Sommaire

1	<i>Le bruit : comment le mesurer</i>	5
2	<i>Les effets du bruit.....</i>	6
3	<i>Les rapports Boiteux.....</i>	7
4	<i>Le cadre légal français conduit à internaliser un certain nombre de contraintes, indépendamment de l'évaluation socioéconomique</i>	9
5	<i>Les méthodes de prise en compte du bruit peuvent être ajustées selon le niveau de détail disponible pour la réalisation de l'évaluation socioéconomique</i>	10
6	<i>Recommandations</i>	17
7	<i>Bibliographie</i>	19
	<i>Annexe A – Méthodologie de l'étude HEATCO</i>	21
	<i>Annexe B – Comparaison des méthodes Boiteux et HEATCO</i>	27
	<i>Annexe C – Coûts des nuisances sonores pour le mode routier.....</i>	29
	<i>Annexe D – Coûts moyens des nuisances sonores pour le mode ferroviaire</i>	37

Les nuisances sonores peuvent être provoquées par de multiples sources (différents type de véhicules trains, avions, etc.), d'intensité variable (selon le niveau de trafic par exemple) et leurs impacts potentiels dépendent de la densité de peuplement des zones exposées au bruit.

Cette note s'intéresse tout d'abord à la quantification du bruit puis à la monétarisation de la gêne résiduelle. Il s'agit en effet de monétariser la gêne une fois que toutes les mesures nécessaires ont été prises pour respecter les seuils et dispositions prévus par la loi et le règlement et qui peuvent conduire à des surcoûts.

1 Le bruit : comment le mesurer

La sensibilité de l'oreille humaine varie avec le logarithme de l'énergie sonore et selon les fréquences. La mesure du bruit se fait donc en dB, échelle logarithmique et prend compte grâce à une pondération des fréquences dite « pondération A », la réponse différente de l'oreille aux différentes fréquences.

La monétarisation des effets du bruit nécessite également de prendre en compte de manière différente les bruit selon la période de la journée à laquelle ils se produisent. Pour chaque période il convient de définir un indicateur. La Commission européenne¹ a retenu le niveau $L_{A,eq}$ [exprimé en dB(A)] qui correspond au niveau de bruit constant sur la période qui aurait été produit en utilisant la somme des énergies sonores des bruits effectivement ressentis sur la période.

Ce niveau est calculé pour trois périodes : « *day* » de 7 h à 19 h, « *evening* » de 19 h à 23 h et « *night* » de 23 h à 7 h². Les trois indices peuvent ensuite être agrégés selon la formule suivante³ :

$$L_{DEN} = 10 \log \left(\frac{12}{24} * 10^{\frac{LD}{10}} + \frac{4}{24} * 10^{\frac{LE+5}{10}} + \frac{8}{24} * 10^{\frac{LN+10}{10}} \right)$$

Où LD, LE et LN correspondent aux niveaux $L_{A,eq}$ calculés respectivement pour le jour (7 h – 19 h), la soirée (19 h – 23 h) et la nuit (23 h – 7 h), sur la façade la plus exposée.

Dans cette formule d'agrégation, outre le système de pondérations des différentes périodes, qui est fonction de la durée qu'ils couvrent, les bruits en soirée et la nuit sont majorés respectivement de 5 et 10 dB (A) afin de prendre en compte le surcroît de gêne qu'ils occasionnent.

(1) *Handbook on estimation of external costs in the transport sector, 2008, CE Delft.*

(2) Les seuils retenus en France sont « *day* » de 6 h à 18 h, « *evening* » de 18 h à 22 h et « *night* » de 22 h à 6 h.

(3) L_{DEN} permet donc une approche « moyennée » mais ne prend pas en compte les événements de bruit individuellement. Il s'agit de disposer d'une méthode applicable en pratique et la plus documentée possible en ce qui concerne l'étape de monétarisation.

Les indicateurs grand public

On notera enfin les travaux récents de Bruitparif et Acoucity visant à produire, d'ici 2014, un indice acoustique fondé sur une échelle de 1 à 10 et donc plus compréhensible pour le public. La création probable de cet indice ne remet pas en cause la pertinence scientifique et l'intérêt du L_{den} .

Il conviendra cependant de s'assurer que les résultats de l'évaluation socioéconomique et ses hypothèses soient présentées de manière à être compréhensibles pour le grand public et éventuellement qu'ils soient exprimés en utilisant un nouvel indice de ce type.

Le point de mesure du bruit est de nature à influencer les résultats obtenus. La réglementation française prévoit une mesure à 2 m en amont de la façade, ce qui conduit à prendre en compte à la fois l'onde sonore incidente et l'onde sonore réfléchie. Ces mesures seront en règle générale supérieures de 3 dB à celles en champ libre.

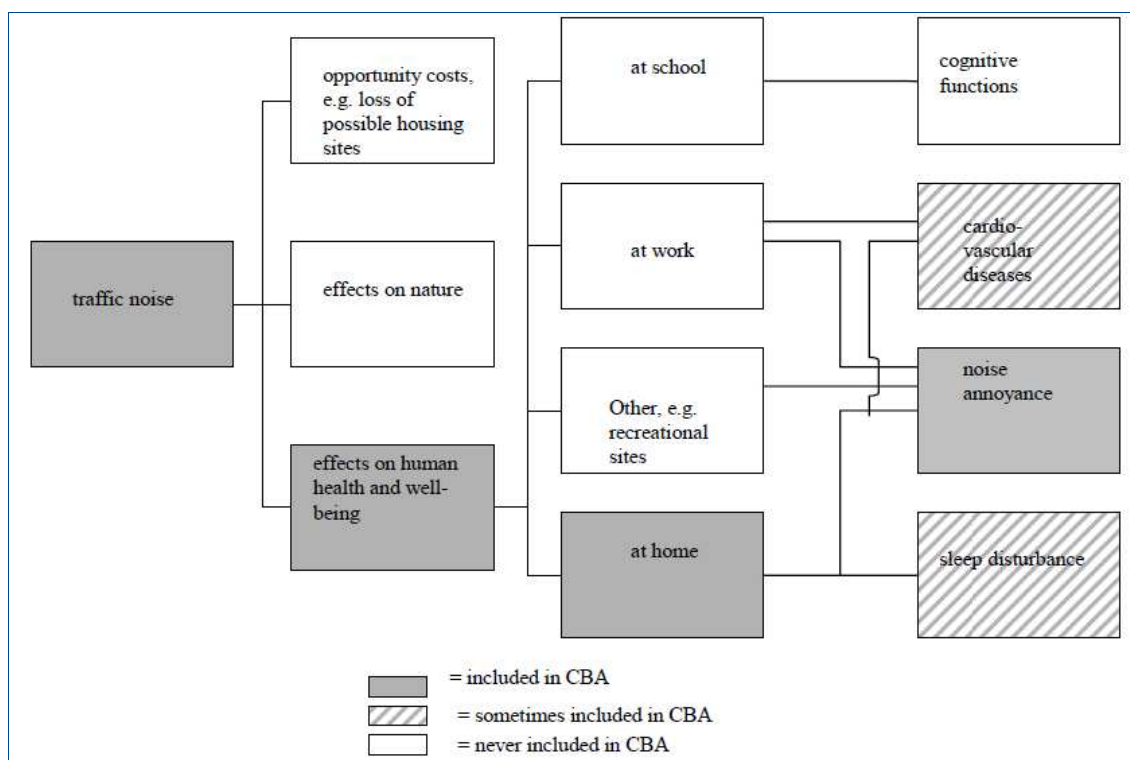
2 Les effets du bruit

La gêne ressentie est l'effet le plus reconnu du bruit, cependant plusieurs études ont mis en évidence des effets sanitaires¹ et psycho-sociaux² des nuisances sonores. On notera parmi les plus étudiés les effets sur le système cardio-vasculaire et les troubles du sommeil. Il peut cependant également s'agir de troubles cognitifs ; Les effets de nuisances sonores peuvent également concerner la nature ou le foncier lorsque certaines zones deviennent impropres au développement d'une activité humaine ou perturbent un écosystème. Comme le montre le schéma suivant, hormis les troubles cardiovasculaires et du sommeil la plupart des effets sont difficiles à prendre en compte dans une analyse coûts-bénéfices :

(1) De Kluizenaar Y., Passchier-Vermeer, W. Miedema, H.M.E. (2001) *Adverse effects of noise exposure on health – a state of the art summary. TNO report 2001.171, Leiden.*

(2) Nijland, Van Wee, 2008, *Noise valuation in ex-ante evaluations of major road and railroad projects.*

Figure : Effets des nuisances sonores



Source : Nijland, Van Wee, 2008, *Noise valuation in ex-ante evaluations of major road and railroad projects*

Les études et résultats présentés dans cette note prennent en compte la gêne et dans certains cas (précisés dans le texte) les effets sur le système cardiovasculaire et les troubles du sommeil les plus courants.

3 Les rapports Boiteux

a) Le rapport Boiteux I

Le rapport Boiteux I, publié en 1994, prend déjà en compte le coût des nuisances sonores et se fonde sur des évaluations du coût total du bruit (à l'échelle nationale) pour en déduire une valeur tutélaire de 900 FF₁₉₉₂/personne gênée.

La méthodologie employée est la suivante :

- le coût total du bruit est supposé égal à 0,3 % du PIB, sur la base d'une revue de littérature mêlant évaluations du consentement à payer et coûts d'évitement ;
- pour chaque niveau de bruit un pourcentage de personnes gênées est évalué et multiplié par une évaluation du nombre de personnes exposées à ce niveau (à l'échelle nationale) ;
- on en déduit, par division du coût total par le nombre de personnes gênées, la valeur tutélaire proposée.

Il s'agit donc d'une méthode peu robuste d'un point de vue théorique et difficile à appliquer : comment évaluer le nombre de personnes gênées par l'infrastructure¹ ? La définition même de la notion de gêne restant à éclaircir. Les effets sur la santé ne sont pas pris en compte, même s'il est possible qu'une partie de la gêne soit une conséquence des troubles du sommeil déclenchés par l'exposition au bruit.

Cette première approche était destinée à obtenir un premier ordre de grandeur approximatif pour l'introduction de cette externalité dans l'évaluation des projets.

b) Le rapport Boiteux II

En 2001, le rapport Boiteux II a proposé une méthodologie plus évoluée et plus robuste de monétarisation du bruit se fondant sur la dépréciation foncière et immobilière observable lorsqu'une habitation est exposée à un décibel supplémentaire. Cette dépréciation n'est cependant pas linéaire, le dommage marginal augmentant avec le niveau d'exposition.

Sur la base d'une revue de littérature le groupe de travail a proposé les valeurs suivantes :

Tableau 1 - Dépréciation des valeurs immobilières en fonction des niveaux d'exposition au bruit

Leq de jour en façade en dB (A)	55 à 60	60 à 65	65 à 70	70 à 75	Au-delà de 75
% dépréciation/décibel	0,4 %	0,8 %	0,9 %	1 %	1,1 %

Source : *Externalités du transport, CGP, 2001*

La robustesse théorique de la méthode (l'utilisation de préférences révélées limitant les biais) ne permet cependant pas une application pratique simple étant donnée la nature des données nécessaires pour sa mise en application². Il s'agit en effet, pour pouvoir réaliser le calcul final, de déterminer les niveaux de bruit au voisinage de l'infrastructure et le nombre de biens concernés. Les estimations d'impact unitaire sur les prix, fournis dans le rapport (en moyenne nationale pour des raisons d'équité territoriale et sociale) permettent d'en déduire la valorisation globale des nuisances sonores. Finalement cette méthodologie n'a été que très peu appliquée, dans les phases amont des projets interurbains du moins, eu égard aux incertitudes sur le tracé définitif de l'infrastructure et donc sur les logements exposés, et aux incertitudes sur les décisions relatives aux mesures de protection mises en œuvre pour le projet. Cependant l'obligation d'évaluation environnementale conduit à mener pour tous les projets des analyses de bruit là où des problèmes résiduels sont susceptibles de demeurer. Les données nécessaires à l'application de la méthode « Boiteux II » sont alors disponibles.

Par ailleurs, les effets sur la santé sont pris en compte, de façon peut-être incomplète : les valeurs pour les niveaux de bruit > 70 dB (A) sont augmentées de 30 % pour tenir compte de ces effets. En outre il est possible qu'une partie de la gêne soit une conséquence des troubles du sommeil déclenchés par l'exposition au bruit et se retrouve dans la monétarisation de la dépréciation des valeurs immobilières.

(1) De nombreux facteurs co-causaux complexifient également l'analyse: les facteurs de contexte géographique (présence de façade silencieuse par exemple) ou de contexte individuels et sociaux.

(2) Monétarisation des externalités environnementales, 2010, SETRA.

Une meilleure prise en compte du bruit dans les évaluations socioéconomiques nécessite donc la définition de valeurs tutélaires plus faciles d'utilisation, au moins pour les phases amont des projets interurbains.

Cette note reprend très largement les méthodologies et réflexions menées à l'initiative de la Commission européenne ; la plupart sont fondées sur les résultats des projets IMPACT¹ (CE Delft/INFRAS 2008), HEATCO (2006), INFRAS/IWW (2004), CE Delft/INFRAS (2011, mise à jour des travaux réalisés dans le cadre du projet IMPACT) et sur les travaux faits en France par les CETE et le Sétra ; ceux-ci sont fondés sur des études qui fournissent les paramètres élémentaires (valeur de la vie humaine, dépréciation immobilière, atteintes à la santé, ...) issus de travaux scientifiques amont.

4 Le cadre légal français conduit à internaliser un certain nombre de contraintes, indépendamment de l'évaluation socioéconomique

Avant de détailler les méthodes de ces projets il convient de remarquer qu'en dehors de tout cadre d'évaluation la législation française implique une limitation réglementaire des externalités des nuisances sonores.

C'est la loi du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit qui rassemble pour la première fois l'ensemble des thématiques de la lutte contre les nuisances sonores. Elle prévoit de prendre en compte les nuisances sonores liées à la construction ou la modification d'infrastructures de transport terrestre, notamment grâce à un classement des infrastructures selon le niveau de bruit et de trafic. Elle prévoit également de résorber les « points noirs du bruit² » et met en place une taxe sur les décollages d'aéronefs destinée à financer l'aide à l'insonorisation des riverains.

Cette loi est complétée, dans le cas plus particulier du bruit routier, par l'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières qui définit des niveaux maximaux admissibles. Dans le cas des infrastructures ferroviaires, c'est l'arrêté du 8 novembre 1999 applicable aux infrastructures ferroviaires qui rappelle les indicateurs de gêne pertinents (différenciés entre jour et nuit) et fixe les niveaux maximaux admissibles.

Ces dispositions conduisent donc le maître d'œuvre à internaliser en large partie (voire parfois au-delà) le coût des nuisances sonores, le coût total du bruit devra donc être évalué en tenant compte de l'obligation relative à ces seuils dont le respect implique des dépenses qui doivent être comptabilisées dans le coût de l'ouvrage et clairement identifiées³ ; ce n'est que la nuisance résiduelle qu'il convient de monétariser. Prenons le cas d'un ouvrage qui produirait sans précaution particulière un niveau sonore de 70 dB (A), et supposons que la réglementation limite son niveau d'émission à 60 dB (A) ; alors le maître d'ouvrage devra prendre des dispositions techniques pour que l'émission ne dépasse pas ce seuil. Plus précisément, la pratique actuelle veut que ce seuil soit apprécié au niveau de trafic maximum de l'infrastructure, la gêne

(1) *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*, CE Delft/INFRAS, 2008.

(2) Il s'agit des zones les plus exposées aux nuisances sonores.

(3) Cela permet d'avoir une vision plus correcte de l'enjeu environnemental au niveau du projet, et, au-delà, d'alimenter les retours sur expérience et donc les estimations/provisions à prévoir lors des phases amont des études de projet.

résiduelle se situera donc nettement en-dessous de ces seuils en général. Dans ces conditions, le coût d'un niveau sonore de 60 dB (A) – voire moins compte-tenu de la remarque précédente – devra être pris en compte dans la monétarisation des effets externes, l'abaissement de 70 à 60 (ou au niveau atteint grâce aux mesures de protection) ayant été compté dans le coût de l'ouvrage. Sur les réseaux existants, l'impact de la mise en service de l'infrastructure pourra être considéré comme négligeable tant que le pourcentage d'impact sur le trafic en l'absence du projet reste faible (le bruit variant schématiquement selon le logarithme du trafic). Cependant pour les impacts de trafic plus importants, l'impact bruit (positif ou négatif) est susceptible d'être d'un ordre de grandeur comparable à l'impact (résiduel, rappelons-le) estimé au voisinage de l'infrastructure existante.

5 Les méthodes de prise en compte du bruit peuvent être ajustées selon le niveau de détail disponible pour la réalisation de l'évaluation socioéconomique

a) Méthode détaillée

Lorsque l'exposition prévisionnelle des populations au bruit est disponible, les valeurs de l'étude HEATCO peuvent être utilisées.

Cette situation se présente surtout pour des projets urbains et/ou à des stades d'études avancés.

Depuis la publication du rapport Boiteux, l'étude HEATCO (2006) a permis de proposer un ensemble de valeurs, exprimées en €/personne exposée/an sur la base d'une revue de littérature extensive. Ces valeurs sont recommandées par la Commission européenne dans le *Handbook of external costs in the transport sector (CE Delft/INFRAS)*, publié en 2008 et mis à jour en 2011¹.

Méthodologie de l'étude HEATCO

L'étude HEATCO fonde ses résultats sur l'utilisation du travail de Navrud (2002)² qui consiste en une revue de littérature extensive³, prenant en compte des études utilisant la méthode des préférences révélées, d'autres la méthode des préférences déclarées et concernant les bruits liés aux transports routier, ferroviaire et aérien. Navrud a ainsi pu déterminer une valeur moyenne pour la gêne liée au bruit dans l'Union européenne : 25 €₂₀₀₂/dB(A) (L_{den})/foyer exposé/an⁴. Cette valeur doit cependant être convertie pour le cas français, en 2011 et par personne exposée⁵. On trouve alors **11 €₂₀₁₁/dB(A) (L_{den})/personne exposée/an**.

(1) CE Delft/INFRAS, *External Costs of Transport in Europe Update 2008*

(2) Navrud, *The State of the Art on Economic Valuation of Noise 2002*

(3) Les travaux de Navrud reprennent 64 études, réalisées entre 1980 et 1995 pour plus de 45 d'entre elles.

(4) Voir annexe A

(5) On a : 25 €₂₀₀₂/dB(A) (L_{den})/foyer exposé/an en valeur moyenne européenne, soit 22 €₂₀₀₂/dB(A) (L_{den})/foyer exposé/an une fois corrigé du taux de taxation indirecte en 2002 en Europe (18,5 %) et du PIB par habitant (celui de la France est 4,3 % plus élevé que la moyenne européenne) afin d'obtenir un facteur de coût spécifique du cas français. En corrigeant de l'inflation (14,2% entre 2002 et 2011), on obtient 25,1 €₂₀₁₀/dB(A) (L_{den})/foyer exposé/an, puis du nombre de personnes par foyer (2,3 en France en 2011) : 10,9 €₂₀₁₀/dB(A) (L_{den})/personne exposée/an.

À cette valeur, doit être ajoutée la valeur monétaire des effets des nuisances sonores sur la santé. L'étude HEATCO reprend la méthodologie de l'étude UNITE (2003)¹ qui monétarise les effets du bruit sur le système cardiovasculaire, trois pathologies sont prises en compte : les infarctus du myocarde, les angines de poitrine et l'hypertension. L'annexe A détaille les hypothèses utilisées.

Ces valeurs ont été recalculées pour le cas français, la méthodologie employée est détaillée en annexe. Les valeurs sont présentées en €2011/personne exposée/an, elles sont considérées par le Sétra² comme des valeurs de référence pertinentes selon l'état actuel de l'art :

**Tableau 2 - Valeur tutélaire en €₂₀₁₀/personne exposée/an
selon le niveau sonore d'exposition (facteur de coût)**

Lden	Trafic routier	Trafic ferroviaire	Trafic aérien
50	-	-	-
51	11	-	16
52	21	-	32
53	32	-	49
54	43	-	65
55	54	-	81
56	65	11	98
57	75	21	114
58	86	32	130
59	97	43	146
60	108	54	163
61	119	65	179
62	130	75	196
63	150	86	226
64	167	97	253
65	187	108	283
66	209	119	315
67	233	130	351
68	259	150	390
69	287	167	433
70	317	187	479
71	350	209	528
72	385	233	581
73	422	259	637
74	462	287	698
75	505	317	762
76	550	350	830
77	597	385	902
78	648	422	978
79	701	462	1 059
80	757	505	1 143

Source : HEATCO (2006), calculs

(1) UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency, Deliverable 11 Environmental Marginal Cost Case Studies, 2003.

(2) Sétra, Monétarisation des externalités environnementales, 2010.

L'utilisation de ces valeurs nécessite une masse de données précises importante : il s'agit en effet de déterminer l'ensemble des logements (et des personnes) exposés au bruit et le niveau d'exposition précis auquel elles sont, chacune, soumises. Cette méthode n'est donc pas applicable en phase amont (notamment lors du débat public¹).

Les cartes de bruit stratégiques

La législation européenne a rendu obligatoire la production de cartes de bruit stratégiques (CBS) pour l'ensemble des grandes agglomérations et infrastructures de transport telles que : les agglomérations comprenant plus de 100 000 habitants, les grands axes routiers dont le trafic annuel est supérieur à 3 millions de véhicules, les grands axes ferroviaires dont le trafic annuel est supérieur à 30 000 passages de trains et les aéroports de plus de 50 000 mouvements par an.

Ces CBS doivent être réexaminées tous les 5 ans et contiennent une estimation :

- du nombre de personnes vivant dans les bâtiments d'habitation et du nombre d'établissements de santé et d'enseignement situés dans les zones correspondant aux intervalles (exprimés en dB (A) [55, 60], [60, 65], [65, 70], [70, 75], [75,...] en L_{den} et [50, 55], [55, 60], [60;65], [65, 70], [70,...] en L_n ;
- du nombre de personnes vivant dans les bâtiments d'habitation et du nombre d'établissement de santé et d'enseignement exposés à des niveaux sonores dépassant les valeurs limites soit pour la route 68 dB (A) en L_{den} et 62 dB (A) en L_n ;
- de la superficie totale en km² exposée à des valeurs L_{den} supérieures à 55, 65 et 75 dB (A).

b) Méthode approchée

Lorsque les informations sur l'exposition au bruit sont plus limitées (niveau d'étude de l'APS par exemple), les résultats de l'étude réalisée par le Sétra² et du rapport *External costs of transports* réalisée par CE Delft et INFRAS exprimés en €/v.km, sont une alternative lorsque l'on ne dispose pas d'information détaillée sur l'exposition au bruit, ce qui est le cas général, seules prévisions de trafic sont disponibles.

Dans le cas où le nombre de personnes exposées au bruit (avec un niveau de détail suffisant) n'est pas disponible, mais où l'on connaît simplement le trafic et la zone dans laquelle l'infrastructure doit passer, il devient nécessaire de disposer de données en €/v.km qui permettent la prise en compte du bruit directement en fonction des résultats des modèles de trafic, exprimés dans la même unité.

De telles valeurs ont été déterminées par le Sétra en 2013³ pour le cas du transport routier français à partir d'une analyse extensive de projets routiers déjà réalisés et sur la base des valeurs en €/personne exposée/an présentées plus haut. CE Delft/INFRAS a publié en 2011⁴ des valeurs en €/v.km pour des situations moyennes du transport ferroviaire européen, sur la base des résultats de l'étude INFRAS 2004 en modélisant un certain nombre de situation selon :

(1) Les valeurs proposées dans le tableau 2 sont comparées à celles proposées dans le rapport Boiteux II dans l'annexe C.

(2) Voir Annexe D, Sétra (2014), Note sur les coûts des nuisances sonores pour le mode routier.

(3) Voir tome 2, Sétra (2013), Monétarisation des impacts sur le bruit des projets routiers, Rapport d'étude – Juin 2013.

(4) CE Delft/INFRAS, *External costs of transport in Europe – Update study for 2008, 2011.*

- la période considérée (journée ou nuit) ;
- la densité estimée du trafic (dense ou limité) ;

puis en déterminant dans chaque situation le coût moyen et le coût marginal¹ d'un véhicule.kilomètre supplémentaire, selon le type de le type de véhicule (véhicule léger, poids lourd, train de passager ou de fret, etc.).

Ces coûts marginaux ou moyens du bruit, exprimés en €/v.km pour un certain nombre de situations, peuvent être utilisés directement en sortie des modèles de transport.

Tableau 3 : coûts moyens de bruit sans décomposition du trafic en €2011/1000 véhicule.kilomètre calculés à partir de CBS de 2007 et 2012

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

(1) L'annexe B précise la distinction à opérer entre coûts marginaux et coûts moyens.

Tableau 4 – Valeurs du coût des nuisances sonores, exprimées en €2010/1000 véhicule.kilomètre pour le mode routier en trafic peu dense

Type de peuplement	Type d'infrastructure	Coût moyen des nuisances sonores en € ₂₀₁₀ /1000v.km	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	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	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

Source : Sétra (2014) et calculs (Voir Annexe D, Sétra (2014), Note sur les coûts des nuisances sonores pour le mode routier)

Pour déduire les coefficients de coût du bruit en situation de trafic dense à partir des coûts du bruit en situation de trafic peu dense, on utilise les coefficients suivants :

- Pour les autoroutes :
 - o pour avoir un coût PL : on multiplie par 1.3
 - o pour les VL on multiplie par 0.7

- Pour les autres routes non urbaines :
 - o pour avoir les coûts VL et PL, on multiplie les coûts VL et PL en trafic peu dense par 0.9

- Pour les routes urbaines :
 - o pour avoir un coût PL : on multiplie par 1.1
 - o pour les VL on multiplie par 1.0.

Tableau 5 - Valeurs du coût marginal des nuisances sonores, exprimées en €₂₀₁₀/v.km pour le mode ferroviaire

Type de véhicule	Période de la journée	Trafic	Urbain	Péri-urbain	Rural
Train de passager	Jour	Dense	0,31	0,014	0,017
		Peu dense	0,61	0,027	0,033
	Nuit		1,02	0,045	0,056
Train de fret	Jour	Dense	0,55	0,027	0,034
		Peu dense	1,3	0,052	0,065
	Nuit		2,2	0,088	0,11

Source : CE Delft-INFRAS (2011) et calculs

Tableau 6 - Valeurs du coût moyen des nuisances sonores, pour le mode ferroviaire

	€/ 1000 tonne.km ou 1000 passager.km	€/train.km
train de passager	2,64	0,57
train de fret	6,12	2,29

Source : CE Delft-INFRAS (2011) et calculs (Voir Annexe E, Sétra (2014), Note sur les coûts moyens des nuisances sonores pour le mode ferroviaire)

Tableau 7 - Densité de population des zones traversées par l'infrastructure

hab/km ²	Interurbain	Urbain diffus	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

L'étude CE Delft-INFRAS ne propose cependant pas de définition précise des seuils de trafic et de densité de population permettant de déterminer le cas dans lequel se trouve le projet. Les seuils retenus arbitrairement sont ceux de l'étude du Sétra et pourront évoluer grâce à des travaux ultérieurs.

Dans le cas du transport ferroviaire, lorsque le trafic moyen journalier est supérieur à 100 trains on considèrera qu'on se trouve dans une situation de trafic dense¹.

(1) Ce seuil de 100 trains/jour est le double de celui retenu dans le Décret n° 95-21 du 9 janvier 1995 relatif au classement des infrastructures de transports terrestres et modifiant le code de l'urbanisme et le code de la construction et de l'habitation. Le décret prévoit qu'à partir d'un trafic de 50 trains/jour les infrastructures ferroviaires doivent être recensées et classées.

a. Précautions d'emploi des valeurs en €/v.km

L'utilisation de ces valeurs en v.km doit cependant se faire avec plusieurs précautions¹.

Les effets de bord

L'utilisation des différentes valeurs en €/v.km peut conduire à des résultats erronés lorsque les effets de bord ne sont pas pris en compte.

Prenons le cas de l'évaluation d'un projet pour lequel la situation de référence est évaluée avec des valeurs correspondant à un trafic « peu dense ». Supposons également que la situation avec projet soit évaluée avec des valeurs correspondant à un trafic « dense » (il y a une hausse de trafic sur l'axe considéré).

On observe que les valeurs correspondant à un trafic « dense » sont plus de deux fois inférieures à celles correspondant à un trafic « peu dense ». Si le trafic évolue peu (une augmentation d'un facteur inférieur à deux) alors le coût total des nuisances sonores obtenu² dans la situation avec projet sera inférieur à celui dans la situation de référence.

Un résultat plus cohérent est obtenu si les calculs sont réalisés en utilisant dans la situation de référence et celle avec projet les valeurs en €/v.km correspondant à une même densité de trafic.

Cohérence entre l'approche en €/v.km et les valeurs en €/personne exposée/an

Pour les valeurs calculées par le Sétra est évidente étant donné la méthodologie suivie.

Les valeurs marginales pour le mode ferroviaire, issues du rapport CE Delft/INFRAS font partie d'un ensemble cohérent de valeurs fournies pour le mode routier et le mode ferroviaire. La cohérence des valeurs pour le mode routier fournies dans le rapport CE Delft/INFRAS avec les valeurs en €/personne exposée/an présentées dans le tableau 2 est indirectement vérifiée sur un cas particulier par le Sétra. Le coût total des nuisances sonores obtenu en réalisant un calcul avec les valeurs en €/personnes exposées/an telles que présentées dans HEATCO (2006) et reprises dans l'étude CE Delft/INFRAS (2008) permet de déduire des coûts moyens en €/v.km dans le cas du projet considéré (pour différents types de véhicules et différents milieux). Ces coûts moyens sont du même ordre de grandeur que ceux présentés dans le tableau 3.

Il conviendrait de réaliser de telles comparaisons pour des projets ferroviaires afin de garantir la cohérence des valeurs marginales en €/v.km avec celles présentées dans le tableau 2 dans des situations représentatives du cas français. Ces comparaisons permettraient également d'ajuster au mieux les seuils séparant les situations urbaines, périurbaines et rurales et ceux permettant d'opérer une distinction en trafics dense et peu dense. Des travaux ultérieurs du Sétra pourraient également permettre de calculer des valeurs spécifiques du cas français, pour différentes situations de trafic, en suivant la même méthodologie que celle utilisée pour obtenir les valeurs en €/v.km pour le mode routier.

(1) Les hypothèses de calcul spécifiques au mode routier sont précisées dans la note sur les coûts des nuisances sonores pour le mode routier (Voir Annexe D, Sétra (2014), Note sur les coûts des nuisances sonores pour le mode routier).

(2) Le coût total se calcule en multipliant les valeurs en €/v.km par le trafic correspondant, en v.km.

b. Le cas particulier du bruit dû au transport aérien

Etant donnée la grande diversité des situations locales dans le cas des aéroports : corridors aériens, densité de population ou type d'avions transitant par l'aéroport (court, moyen ou long courrier), mais également des politiques de long terme visant à limiter l'impact du bruit aérien, on ne présente pas d'estimation de coûts en v.km ou par évènement atterrissage-décollage. Le *Handbook* de la Commission européenne¹ recommande des études spécifiques permettant d'utiliser les valeurs déterminées par le projet HEATCO (en €/dB/personnes exposées/an, présentées dans le tableau 2) ou raffinant encore sur le cas d'espèces la valorisation des nuisances sonores.

c. Scénario d'évolution

De la même manière que dans le rapport Boiteux II, la règle d'évolution retenue pour ces valeurs est celle d'une indexation sur l'évolution du PIB. Le rapport Boiteux II a justifié une telle indexation sur le lien observé à long terme entre prix de l'immobilier et PIB. La cohérence des valeurs HEATCO avec les valeurs déterminées par la méthode des prix hédonistes permet d'utiliser cette même règle.

6 Recommandations

Selon la qualité des données disponibles au moment de l'évaluation de l'infrastructure différentes méthodes sont donc possibles.

Recommandation : Dans le cas où des cartes d'exposition prévisionnelle au bruit des populations existent le groupe recommande dans l'immédiat l'utilisation : de la méthode HEATCO et des valeurs tutélaires qui en sont issues.

Bien que non spécifique du cas français cette méthode permet de prendre en compte des niveaux de bruits faibles, plus fortement valorisés qu'avec la méthode Boiteux II. La méthode permet également d'utiliser l'indicateur L_{den} , comme recommandé par la Commission européenne. Les effets sur la santé sont également pris en compte grâce à un raisonnement scientifique documenté (bien que de manière non spécifique au cas français).

(1) *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*, CE Delft/INFRAS, 2008.

Recommandation : La méthode reposant sur l'emploi de valeurs en €/v.km ne doit être utilisée qu'en l'absence des cartes d'exposition prévisionnelle au bruit des populations. Cette évaluation qui ne rend pas pleinement compte des spécificités du projet peut permettre de détecter les situations de forte sensibilité au bruit et être l'occasion de modifier le projet pour en réduire les effets néfastes sur ce plan. Dans le cas d'une infrastructure en site neuf on utilisera les valeurs moyennes tandis que pour les axes sur lesquels une variation de trafic est prévue, on appliquera les coefficients de marginalité proposés.

Le groupe recommande la poursuite des travaux de modélisation du Sétra, au fur et à mesure de la disponibilité de cartes de bruit stratégiques supplémentaires. Ces travaux pourront viser à: produire des valeurs spécifiquement françaises pour le mode ferroviaire, étudier le cas d'infrastructures en zones très denses, et affiner la règle de calcul en fonction de l'ampleur des variations de trafic.

Recommandation de principe : Il convient, pour les phases amont des projets, de provisionner une estimation du coût des mesures de protection contre le bruit

(le cas échéant selon les diverses options de tracé), étant rappelé que celles-ci doivent assurer le respect des obligations réglementaires en matière de bruit.

À plus long terme, le groupe recommande :

- une meilleure prise en compte des impacts sanitaires du bruit. Si les fonctions exposition-réponse sont largement décrites elles ne couvrent souvent que les pathologies du système cardio-vasculaire et peu d'études quantifient également leurs conséquences (en journées d'hospitalisations, absentéisme, etc.) et les propensions à payer afin d'éviter de contracter les pathologies. On notera de plus que les coûts présentés sont plus souvent des coûts moyens que marginaux. Enfin, l'évaluation de ces effets est rendue plus complexe encore du fait que ces effets apparaissent à long terme et soient le plus souvent multi-causaux (le bruit n'est qu'un facteur d'explication). Ici encore une étude spécifique dans le cas français pourrait être bénéfique ;
- la détermination de propensions à payer, spécifiques du cas français et exprimées €/personne gênée/an. Le projet HEATCO a déjà mené ce type de travaux pour différents pays européens. L'utilisation des courbes exposition-gêne publiées par la Commission européenne¹ permet d'utiliser ces valeurs à partir de données quantifiant l'exposition des populations au bruit. Une fois ces valeurs déterminées de nouvelles modélisations permettront d'en déduire des valeurs exprimées en €/personne exposée/an pour la méthode détaillée ou en €/v.km pour la méthode approchée.

(1) *Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance*, 2002, EC.

7 Bibliographie

Babisch W. "Road traffic noise and cardiovascular risk". Noise Health 2008;10:27-33

Bickel, Schmid (IER), Tervonen, Hämekoski, Otterström, Anton (EKONO), Enei, Leone (ISIS), van Donselaar, Carmigchel (NEI), Environmental Marginal Cost Case Studies, UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5th Framework RTD Programme. IER, University of Stuttgart, Stuttgart, January 2003.

Bickel (2004), « Derivation of fall-back values for impacts due to noise, Annex E to HEATCO Deliverable 5 », HEATCO

Boiteux, M. (1994) « Transports : pour un meilleur choix des investissements ». Commissariat général au Plan, La Documentation Française, Paris.

Boiteux, M. et L. Baumstark (2001) « Transports : choix des investissements et coût des nuisances »; chapitre VI « La valeur de la vie humaine ».

Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Umwelt (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten

CE Delft (2004), "Marginal costs of infrastructure use - towards a simplified approach"

CE Delft/INFRAS (2008), "Handbook on estimation of external costs in the transport sector"

CE Delft/INFRAS (2011), "External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008"

Centre d'études techniques de l'équipement de l'est (2012) « Département du Haut Rhin – Mise à jour du classement sonore des voies routières »

European Commission (2002), « Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance», EU's future noise policy, WG2 – Dose/Effect

European Environment Agency (2010) "Good practice guide on noise exposure and potential health effects", EEA Technical report No 11/2010

European Commission (2005) ExternE - Externalities of Energy – Methodology 2005 Update. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

ExternE : Externalities of Energy : Methodology 2005 Update. European Commission

HEATCO (2003) « Valuation of noise – Position paper of the working group on health and socio-economic aspects», Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment

HEATCO (2006) "Deliverable 4 Economic values for key impacts valued in the Stated Preference surveys", Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment

HEATCO (2006) "Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines", Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment

HEATCO (2006) "General Issues in Costing Analysis: Units of account, Base years, and Currency conversion Annex B to HEATCO Deliverable 5", Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment

INFRAS (2004) "External costs of transport - Update Study", Final report

INSEE (2006), « Enquête logement », Institut national de la statistique et des études économiques

Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer (Mars 2004 mise à jour le 27 mai 2005) « Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport »

Navrud, S. (2002) "The State of the Art on Economic Valuation of Noise. Report prepared for the European Commission", DG Environment. April 14th 2002.

Nijland et Van Wee (2008) "Noise valuation in ex-ante evaluations of major road and railroad projects", EJTIR 8(3), September 2008, pp. 216-226

de Palma, Lindsey, Quinet, Vickerman (2011) "A handbook of transport economics", Edward Elgar

Schmid, Bickel, Friedrich (2001) "Deliverable 4 : External cost calculation for selected corridors", RECORDIT Real cost reduction of door-to-door intermodal transport

SESP/MTETM (2006), Politique de lutte contre le bruit dans les transports routiers, Les comptes des transports en 2005 (tome 2)

Sétra (2002), ICTAVRI, Rapport du groupe de travail

Sétra (2007) « Calcul prévisionnel de bruit routier - Profils journaliers de trafic sur routes et autoroutes interurbaines », Note d'information n°77, Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagements

Sétra (2007), « Production des cartes de bruit stratégiques des grands axes routiers et ferroviaires », Guide méthodologique, Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagements

Sétra (2010) « Monétarisation des externalités environnementales », Rapport d'études, Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagements

Sétra (2013), « Monétarisation des impacts sur le bruit des projets routiers », Rapport d'étude, Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagements

Annexe A – Méthodologie de l'étude HEATCO

1) Méthodologie de l'étude HEATCO

Les valeurs HEATCO permettent de prendre en compte deux effets, d'une part la gêne et d'autre part les effets sur la santé. Le coût de la gêne représente la plus grande part du coût des nuisances.

a) La gêne

L'étude HEATCO utilise une valeur moyenne pour la gêne liée au bruit dans l'Union Européenne : 25€₂₀₀₂/dB(A) (L_{den})/foyer exposé/an.

Cette **valeur a été déterminée par Navrud sur la base d'une revue de littérature extensive**, fondée à la fois sur des études utilisant les méthodes des préférences révélées et déclarées.

La revue de littérature réalisée par Navrud couvre **32 études européennes et 22 études réalisées dans d'autres pays**. Dans le cas des études européennes la qualité du travail réalisé réside dans la **comparaison de résultats d'études utilisant des méthodologies diverses : méthode des prix hédonistes, préférences déclarées, approche par les coûts d'isolation, perte des gains de productivité, dépenses gouvernementales**. Les études internationales (qui concernent majoritairement les États-Unis) utilisent en revanche presque exclusivement la méthode des prix hédonistes.

Les études fournissant des résultats en taux de dépréciation/dB aboutissent à des taux de dépréciation compris entre 0,21 % et 1,7 % par décibel et sont donc en ligne avec les valeurs Boiteux II. L'annexe C montre que ces dernières sont, bien que distinctes, proches de celles produites par l'étude HEATCO. Les études fournissant des résultats en €/dB (A)/personne exposées ont, elles, été directement utilisées pour trouver les valeurs données par HEATCO.

b) Les effets sur la santé

Les effets sur la santé sont pris en compte, selon les hypothèses suivantes d'occurrence :

Table 2.2 Exposure-response functions for health effects from noise considered.

	Relative risk (de Kluizenaar et al. 2001)	Base risk	Survival probability	Specific endpoint	Impact per case
Myocard infarction Threshold: 70 dB(A)	$(0.5 + 0.008 * L_{den})$	0.005	0.7	expected cases years of life lost days in hospital days absent from work	7 years of life lost 18 days in hospital 70 days absent from work
Angina pectoris (hosp. admission) Threshold: 70 dB(A)	$(0.5 + 0.008 * L_{den})$	0.0015		expected cases days in hospital days absent from work	14 days in hospital 58 days absent from work
Hypertension (hospital admission) Threshold: 70 dB(A)	$(0.5 + 0.007 * L_{den})$	0.0015			17 days in hospital

Source : HEATCO, Annex E, 2006

Les valeurs tutélaires d'une année de vie humaine et des coûts d'hospitalisation et d'absence permettant la monétarisation sont les suivants :

Table 3.1 Monetary values (European average) for valuing health effects (€₂₀₀₂ factor costs)

Impact	€ ₂₀₀₂ per unit
Year of life lost (YOLL) due to long-term exposure	40300
Hospital day	310
Hospital day cardiology	590
Absentee costs per day	84

Source : HEATCO, Annex E, 2006

On remarquera que les troubles du sommeil ne sont volontairement pas pris en compte en tant que coûts de santé afin d'éviter tout double compte avec les coûts associés à la gêne et permettre ainsi l'addition de ces deux coûts.

2) Mise à jour de l'approche HEATCO

Les valeurs fournies par dans le rapport HEATCO doivent cependant être d'une part recalées homothétiquement au cas français et d'autre part mises à jour (pour la monétarisation des effets sur la santé) afin de tenir compte des recommandations de la Commission concernant la valeur de la vie humaine (un recalage homothétique étant également nécessaire).

La mise à jour de la méthode HEATCO a également permis de prendre en compte le résultat de travaux récents de l'Agence européenne de l'environnement (AEE¹).

(1) Good practice guide on noise exposure and potential health effects, European Environment Agency, 2010.

a) 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.

HEATCO a proposé un coût (pour la gêne) de 25 €₂₀₀₂/dB/foyer exposé/an. Une fois l'ensemble des corrections effectuées on trouve : 11,2 €₂₀₁₁/dB/personne exposée/an, pour le cas français.

Cette valeur ne dépend pas du niveau de bruit auquel est soumise la personne. À ce stade la progression du coût social du bruit est donc linéaire en le niveau de bruit (en dB(A), L_{den}).

b) Les effets sur la santé

Le rapport HEATCO (2006) prend en compte les effets du bruit sur la santé (limités aux effets sur le système cardio vasculaire) à partir d'un seuil arbitraire de 70 dB.

La mise à jour des valeurs proposée dans le rapport a conduit à prendre en compte les travaux de l'Agence européenne de l'environnement (AEE), ce qui modifie à la baisse ce seuil ainsi que, à la marge, les hypothèses sur le lien entre exposition au bruit et morbidité des pathologies du système cardio-vasculaire prises en compte dans les travaux HEATCO : l'infarctus du myocarde, l'angine de poitrine et l'hypertension.

Comparatif des hypothèses utilisées pour les effets sur la santé

Pathologie	Infarctus du myocarde		Angine de poitrine		Hypertension	
	Mise à jour	HEATCO	Mise à jour	HEATCO	Mise à jour	HEATCO
Risque de base	0,005	0,005	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
L _{den} \Risque relatif						
55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
56	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	1,00
57	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	1,00
58	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	1,00
59	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	1,00
60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	1,00
61	1,00	1,00	1,00	1,00	1,13	1,00
62	1,00	1,00	1,00	1,00	1,13	1,00
63	1,01	1,00	1,01	1,00	1,13	1,00
64	1,01	1,00	1,01	1,00	1,13	1,00
65	1,02	1,00	1,02	1,00	1,13	1,00
66	1,03	1,00	1,03	1,00	1,13	1,00
67	1,04	1,00	1,04	1,00	1,13	1,00
68	1,05	1,00	1,05	1,00	1,13	1,00
69	1,06	1,00	1,06	1,00	1,13	1,00
70	1,07	1,00	1,07	1,00	1,13	1,00
71	1,09	1,07	1,09	1,07	1,13	1,00
72	1,11	1,08	1,11	1,08	1,13	1,00
73	1,13	1,08	1,13	1,08	1,13	1,01
74	1,15	1,09	1,15	1,09	1,13	1,02

- La prise en compte du bruit dans les investissements de transport -

75	1,17	1,10	1,17	1,10	1,13	1,03
76	1,20	1,11	1,20	1,11	1,13	1,03
77	1,22	1,12	1,22	1,12	1,13	1,04
78	1,25	1,12	1,25	1,12	1,13	1,05
79	1,29	1,13	1,29	1,13	1,13	1,05
80	1,32	1,14	1,32	1,14	1,13	1,06

Source : HEATCO (2006), AEE (2010), calculs

Note : L'AEE présente dans son rapport des *odds risk*. Toutefois les risques de base restent faibles devant l'unité et le produit du *relative risk* par le risque de base est également faible devant 1 on fait donc l'approximation *odds risk* = *relative risk*.

Les risques de base utilisés sont ceux fournis par HEATCO.

Lorsque les risques étaient donnés fonction de L_{day} et non L_{DEN} on a utilisé l'approximation $L_{day} = L_{DEN} - 2$ selon la recommandation de l'AEE.

Enfin pour chaque pathologie des coûts par cas ont été mis à jour, d'une part par le biais d'un recalage homothétique et d'autre part en tenant compte de la valeur d'une année de vie perdue.

Comparatif des coûts par cas utilisés, en €₂₀₁₀ pour la France

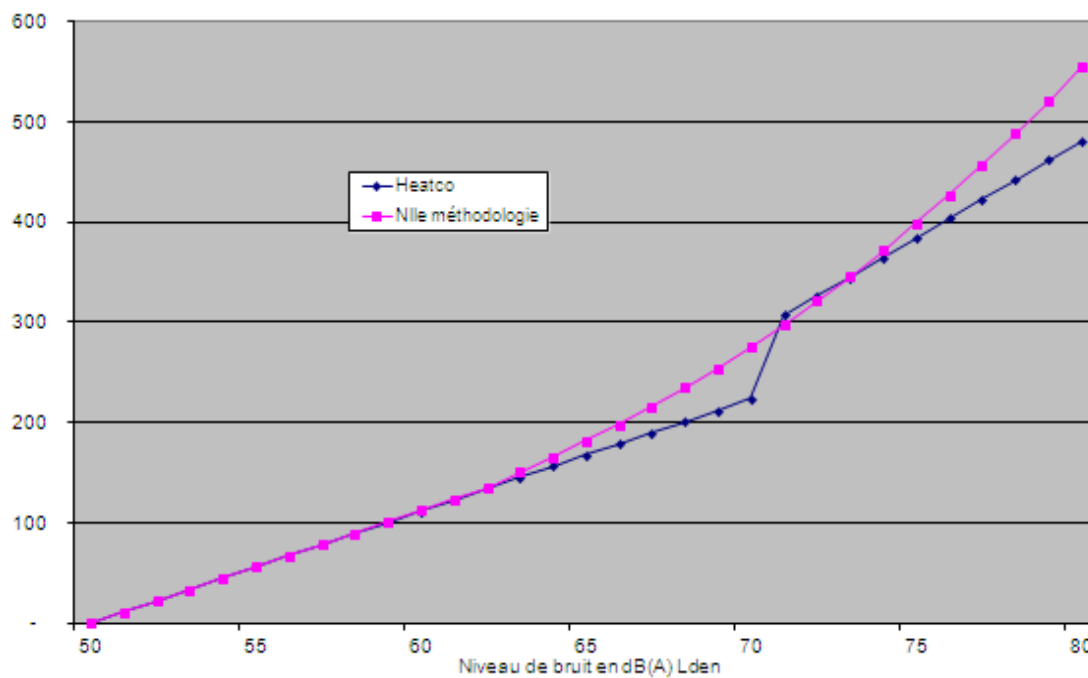
Coût par cas, en € ₂₀₁₀	Infarctus du myocarde	Angine de poitrine	Hypertension
HEATCO	128 812	16 502	4 594
Mise à jour	267 833	16 502	4 594

Source : calculs

a) Résultats

Dans le cas où l'on considère une valeur d'une année de vie de 40 300 €₂₀₀₂ on obtient le résultat présenté plus bas avec la méthode utilisée pour mettre à jour les valeurs HEATCO.

Coûts du bruit en €₂₀₁₀/personne exposée/an



Source : calculs

Dans le cas d'une valeur de l'année de vie de 115 000 €₂₀₁₀ on obtient les valeurs présentées dans le corps de la note (cf. tableau 2). Le graphique suivant présente une comparaison des valeurs mises à jour avec celles du rapport HEATCO.

Annexe B – Comparaison des méthodes Boiteux et HEATCO

On l'a vu, la comparaison des deux méthodes implique de prendre des hypothèses sur le prix moyen à la location et en France et sur le nombre de personnes par foyer.

Les dernières données publiées par l'INSEE valent pour l'année 2006 (la prochaine publication aura lieu en 2013). En 2006, le loyer mensuel moyen s'est établi en France à 425 €, soit 461 €₂₀₁₁. Selon Eurostat le nombre moyen de personnes par foyer en France est de 2,3 (en 2011), on trouve alors un loyer mensuel moyen par personne de 200 €₂₀₁₁, soit un loyer annuel par personne de 2 405 €₂₀₁₁.

On peut alors en déduire les résultats suivant :

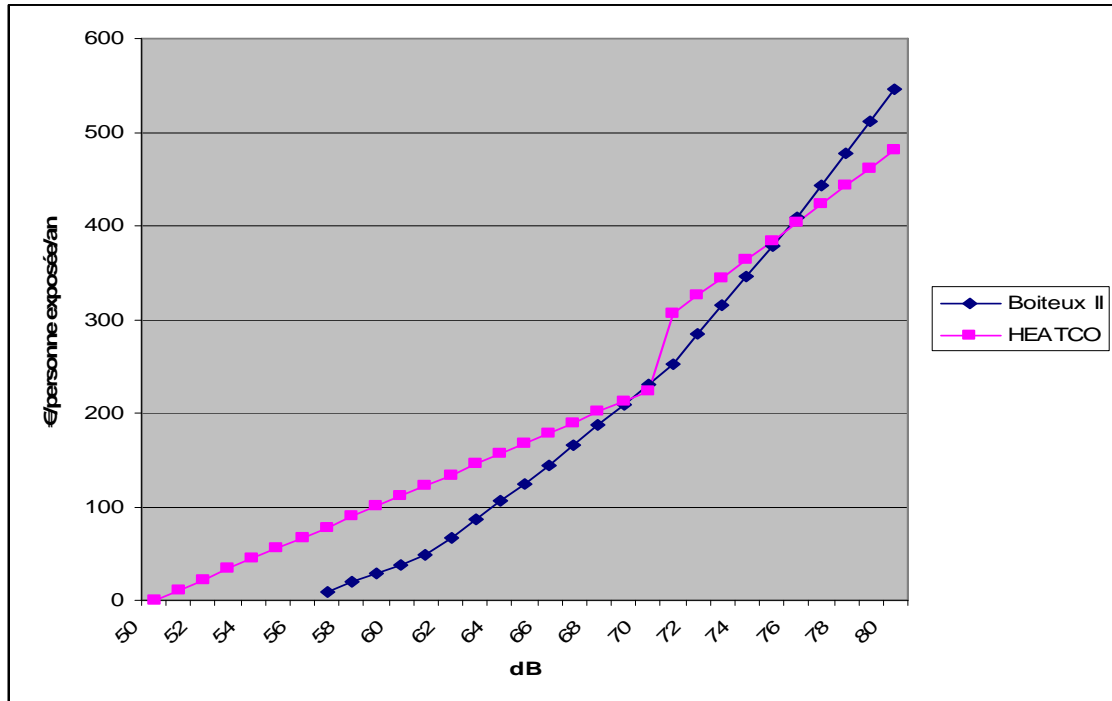
Obtention de coûts du bruit en €₂₀₁₁/personne exposée/an selon la méthode Boiteux II

dB (L _{eq} jour)	Taux de dépréciation Boiteux II (en %)	Majoration due aux effets sanitaires (en %)	Dépréciation/dB (€/personne exposée/an)	Dépréciation cumulative (€/personne exposée/an)
50			0	0
51			0	0
52			0	0
53			0	0
54			0	0
55	0,4		9,6	9,6
56	0,4		9,6	19,2
57	0,4		9,6	28,9
58	0,4		9,6	38,5
59	0,4		9,6	48,1
60	0,8		19,2	67,4
61	0,8		19,2	86,6
62	0,8		19,2	105,8
63	0,8		19,2	125,1
64	0,8		19,2	144,3
65	0,9		21,6	166,0
66	0,9		21,6	187,6
67	0,9		21,6	209,3
68	0,9		21,6	230,9
69	0,9		21,6	252,6
70	1	30	31,3	283,8
71	1	30	31,3	315,1
72	1	30	31,3	346,4
73	1	30	31,3	377,7
74	1	30	31,3	408,9
75	1,1	30	34,4	443,3
76	1,1	30	34,4	477,7
77	1,1	30	34,4	512,1
78	1,1	30	34,4	546,5
79	1,1	30	34,4	580,9
80	1,1	30	34,4	615,3

Source : CGSP

Finalement on obtient la comparaison suivante :

Comparaison des valeurs obtenues selon les méthodes Boiteux II et HEATCO (€₂₀₁₀/personne exposée/an)



Source : CGSP

Note : Afin de rendre la comparaison plus pertinente on tient compte du fait que les valeurs Boiteux II se concernent des niveaux de bruit mesurés en journée alors que les résultats d'HEATCO sont donnés pour des niveaux de bruit moyen mesurés sur la journée entière. On applique alors la conversion $L_{Aeq,jour} = L_{den} - 2^1$.

Les deux méthodes donnent donc des résultats proches mais distincts, la principale différence étant que les résultats HEATCO donnent une valeur plus importante aux niveaux de bruit inférieurs à 75 dB et permettent de monétariser les nuisances à partir d'un seuil plus faible.

(1) Cette conversion est celle utilisée par l'Agence européenne de l'environnement dans sa publication *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*, EEA, 2010.

Annexe C – Coûts des nuisances sonores pour le mode routier



Note sur les coûts des nuisances sonores pour le mode routier

CSTM-13-075/HLM

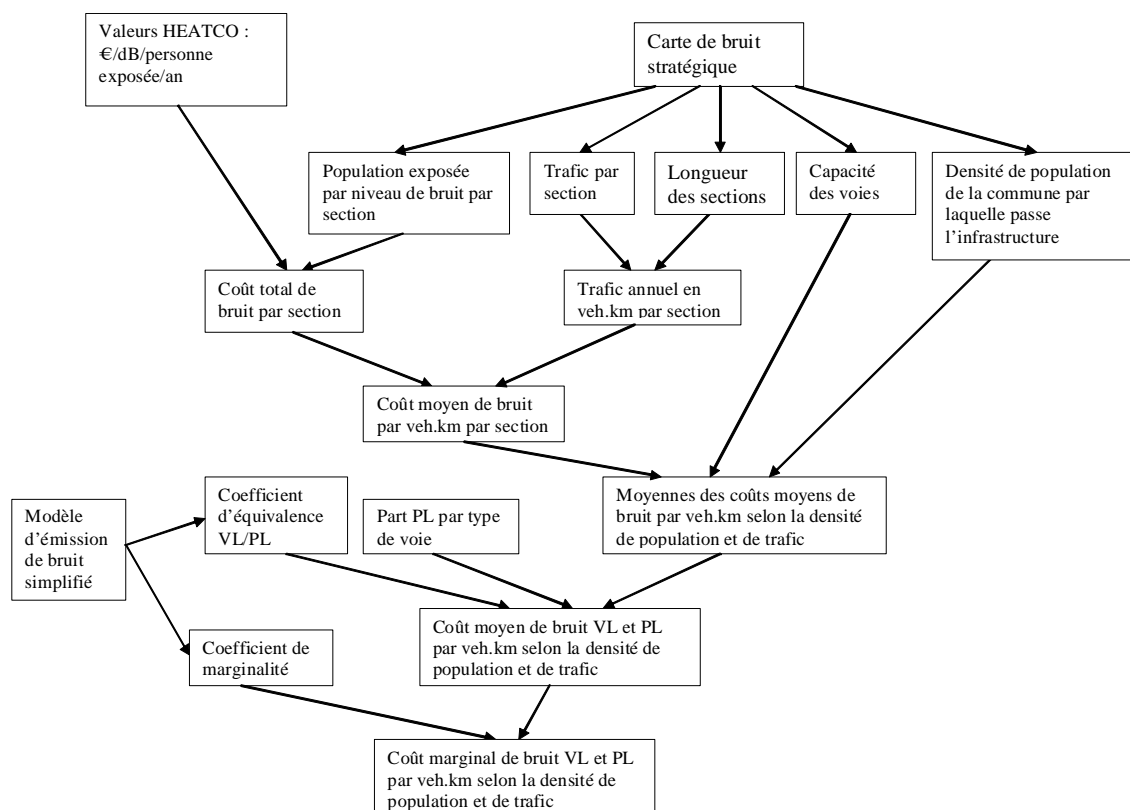
Cette note présente des calculs de coûts moyens et marginaux du bruit routier à partir de données de cartes de bruit stratégiques françaises.

Le rapport *External costs of transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe. INFRAS/IWW, 2000*, propose des coûts marginaux VL et PL calculés à partir de valeurs en euros/dB/personne/an similaires. A ce stade, la description de la méthode employée dans le rapport INFRAS/IWW pour calculer des coûts marginaux, n'est pas suffisamment explicite pour pouvoir la contre-expertiser ni la transposer sur des cas français. Le SETRA a reconstruit une démarche complète de calcul des coûts marginaux, à partir des coûts des dommages marginaux de bruit des populations exposées utilisés dans HEATCO (exprimées en euros/dB/personne/an), de cartes de bruit stratégiques françaises et de fonctions de propagation-atténuation de bruit explicites en fonction des conditions de trafic (volume, composition, vitesse).

Détermination des coûts totaux

La méthodologie suivie dans cette partie est une méthodologie de type top down, comme schématisé sur la figure 1.

Figure 1 : Méthode de calcul du coût marginal du bruit à partir de cartes de bruit stratégiques (CBS)



A partir des données de coût du bruit par niveau d'exposition 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 et pour l'échéance de 2012. 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.

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 la section étudiée.

Les classes de densité prises ici sont les suivantes :

Tableau 1 : Hypothèses de densité

hab/km ²	Rural	Semi-urbain	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

Hypothèses de calcul

Les CBS donnant des populations exposées par tranches de bruit, on utilise ici les valeurs suivantes (moyennes des valeurs des tranches de 5 dB) :

Tableau 2 : Valeurs du coût des nuisances sonores en €₂₀₁₁ par tranche de bruit

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

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.

Résultats pour les sections routières

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

Tableau 3 : coûts moyens de bruit sans décomposition du trafic en €₂₀₁₁/1000veh.km calculés à partir de CBS de 2007 et 2012

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

Modélisation du coefficient de marginalité

La fonction de bruit B est définie dans un premier temps à partir des équations d'émission et propagation du bruit des guides SETRA « Prédiction du bruit routier » (2009) et des courbes débit-vitesse¹.

Ensuite, afin de calculer des coûts marginaux la notion de coefficient d'équivalence acoustique a 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 :

(1) 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 SETRA *Monétarisation des impacts sur le bruit des projets routiers*, à paraître en février 2014 .

Tableau 4 : Coefficients d'équivalence acoustique VL/PL

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

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

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.

Tableau 5 – Valeurs du coût des nuisances sonores, exprimées en euros 2010 / 1 000 véhicule.kilomètre pour le mode routier en trafic peu dense

Type de peuplement	Type d'infrastructure	Coût moyen des nuisances sonores en € ₂₀₁₀ /1000v.km	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 ¹	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 ²	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

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.

La valorisation annuelle de l'externalité bruit totale est obtenue en multipliant le coût moyen unitaire par le nombre véhicules.kilomètres sur l'année (soit 365* Trafic Moyen Journalier Annuel).

Les coûts de bruit ont été également calculés en situation de trafic dense. Pour déduire les coefficients de coût du bruit en situation de trafic dense à partir des coûts du bruit en situation de trafic peu dense, on utilise les coefficients suivants :

- Pour les autoroutes :
 - o pour avoir un coût PL : on multiplie par 1.3 ;

(1) 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.

(2) 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).

- pour les VL on multiplie par 0.7 ;
- Pour les autres routes non urbaines :
 - pour avoir les coûts VL et PL, on multiplie les coûts VL et PL en trafic peu dense par 0.9 ;
- Pour les routes urbaines :
 - pour avoir un coût PL : on multiplie par 1.1 ;
 - pour les VL on multiplie par 1.0.

Ces coefficients prennent en compte la variation de niveau de bruit émis par les PL et les VL en situation de trafic dense. Pour une unité de trafic supplémentaire, le coût marginal diminue quand la vitesse augmente. Cependant, le coefficient d'équivalence acoustique VL/PL augmente. Ainsi, pour les autoroutes, 1 PL = 8 VL en situation de trafic dense et 1 PL = 4 VL en situation de trafic peu dense. Pour une unité de trafic supplémentaire, on a donc plus d'« équivalents VL » en situation de trafic dense qu'en situation de trafic peu dense.

Au final, le coefficient de correction pour les PL est donc supérieur à 1 tandis que celui des VL est inférieur à 1.

Exemples d'utilisation des coûts du bruit pour le mode routier

1. Exemple d'utilisation des valeurs correspondant à du trafic dense

Route congestionnée avec faible variation de trafic en situation de projet :

On considère une nationale, 2*2 voies normale en semi-urbain de capacité 2400uvp/h. Cette route supporte un trafic de 30 000 veh.jour (en TMJA) en situation de référence et 25000 en situation de projet, dont 20 % de PL dans les 2 cas.

On calcule le flux horaire Q_e en uvp en situation de référence et de projet. Dans le cas présenté, $Q_e = Q_v + eQ_c$ avec $Q_v = x_v \times \chi_v$ 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). Ici, $\chi_v = 1.6$, $\chi_c = 1.1$ et $e=3$, donc en situation de référence $Q_e = 30000/24 * (1-20%) * 1.6 + 30000/24 * 3 * 20% * 1.1 = 2425 > 1920$ (=80%*capacité) et en situation de projet $Q_e = 2020 > 1920$.

Comme on est en situation de trafic dense, et qu'il s'agit d'une variation marginale de trafic, on applique alors les coûts marginaux urbains en situation de trafic dense.

Les avantages annuels de bruit du projet sont donc :

Pour les VL : $0.9 * (25\ 000 - 30\ 000) * (1 - 20\%) * \text{coût_marginal_semi_urbain_VL} / 1000 * 365$

Pour les PL : $0.9 * (25\ 000 - 30\ 000) * 20\% * \text{coût_marginal_semi_urbain_PL} / 1000 * 365$

Les avantages de bruit sont donc de 723 € par an.

2. Exemple d'utilisation des valeurs quand on ne connaît pas la composition du trafic

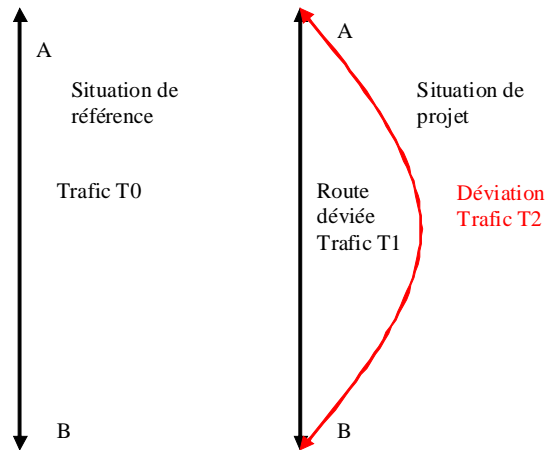
On considère un projet de construction d'une route 2*1 voies normale en interurbain. Le trafic prévu est de 12 000 veh.jour (le trafic prévu n'est donc pas dense). Si l'on ne connaît pas la répartition du trafic VL et PL, on applique les coûts tous véhicules, soit le coût moyen pour les nationales et départementales en zone rurale

Les coûts annuels de bruit du projet sont donc : $12\ 000 * 3.35 * 365 / 1000$ soit 14.7 k€.

3. Exemple de déviation

On prend le cas d'une déviation. En situation de référence, la route, qui est en zone urbaine, supporte un trafic moyen journalier annuel T0. En situation de projet cette route est déviée par

une autoroute en zone de type urbain diffus. Les trafics en situation de projet sont de T1 pour la route déviée et T2 pour la nouvelle autoroute.



Afin de calculer les coûts du bruit du projet, on affecte à la variation de trafic T1-T0 de l'infrastructure déjà existante le coût marginal en urbain¹ et on affecte au trafic de la nouvelle autoroute le coût moyen en urbain diffus.

Au final les avantages annuels de bruit du projet sont donc :

$$[(T1-T0)*\text{coût_marginal_urbain} - T2*\text{coût_moyen_urbain_diffus}] / 1000 * 365$$

(1) Si l'évolution relative du trafic est notable, il faudrait évaluer plus spécifiquement le coût évité en tenant compte de son caractère non marginal.

Annexe D – Coûts moyens des nuisances sonores pour le mode ferroviaire



Note sur les coûts moyens des nuisances sonores pour le mode ferroviaire

CSTM-13-075/HLM

Cette note présente le calcul de coûts moyens du bruit ferroviaire pour la France à partir du rapport Infrac de 2011.

La méthode est une méthode de type top-down. Il s'agit de déterminer le coût total de bruit ferroviaire puis d'en déduire les coûts moyens pour les trains de fret et de passagers à partir des trafics et des coefficients d'équivalence acoustique des trains de fret et de voyageurs.

Nombre de personnes exposées par niveau de bruit pour le mode ferroviaire

Les valeurs suivantes sont données dans le rapport Infrac de 2011 :

Tableau 6 : Millions de personnes exposées par tranche de bruit

Lden	Millions de personnes exposées sur une année
55-60	2.299
60-65	0.533
65-70	0.307
70-75	0.17
75-80	0.122

Coûts des nuisances sonores

Les valeurs suivantes (moyennes des valeurs des tranches de 5 dB) sont utilisées :

Tableau 7 : Valeurs du coût des nuisances sonores en €₂₀₁₁/personne exposée/an par tranche de bruit

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

On obtient le coût total de 482M€ pour une année.

Détermination des coûts par véhicule.km

Le coût moyen est calculé en allouant le coût total du mode ferroviaire au trafic de trains de fret et de voyageur. Un coefficient d'équivalence acoustique est pris égal à 4 pour les trains de fret et à 1 pour les trains de passagers (ces coefficients sont tirés du rapport Infras de 2011). Enfin, des hypothèses de taux d'occupation des véhicules ont été utilisées pour obtenir des valeurs en €/passager.km ou tonne.km.

Le trafic total est de 517 millions de train.km dont 409 millions de train de passagers.kilomètres et 108 millions de trains de fret.kilomètre. Les taux d'occupation sont de 217passagers par train et 375tonnes par train (Source : rapport Infras 2011).

On obtient les valeurs suivantes :

Tableau 3 : Valeurs du coût moyen des nuisances sonores, pour le mode ferroviaire

	€/ 1000 tonne.km ou 1000 passager.km	€/train.km
train de passager	2.64	0.57
train de fret	6.12	2.29

NB : Dans le rapport Infras pour les valeurs Européennes, la distinction fret/passager est bien moins marquée car les taux d'occupation moyens de pays observés sont de 126 passagers par train et 527 tonnes par train.