

Politique de lutte contre le bruit dans les transports ferroviaires

Résumé et principaux résultats

Dans le cadre de l'article 12 de la loi de finances rectificative pour 2002, le groupe technique de la Commission des comptes transport de la nation a retenu en 2007 le sujet « politique de lutte contre le bruit ferroviaire » pour mettre en valeur « les résultats obtenus par rapport aux moyens financiers publics engagés ».

L'évaluation développée dans le cadre de cette étude se limite aux situations de gêne sonore causées par la seule activité ferroviaire, alors que les nuisances liées à l'environnement sonore sont souvent le fruit de sources sonores multiples (situations de multi-exposition, avec des sources de bruit des transports routier, aérien et ferroviaire) et qu'une approche plus globale serait également utile.

Le transport ferroviaire est responsable de nuisances sonores variables suivant le type de train et le milieu dans lequel il est effectué. Les mesures de réduction du bruit englobent les actions sur les infrastructures et les actions sur le matériel roulant. Compte tenu des sources de données disponibles, seules des actions sur les infrastructures ont cependant pu être considérées dans le contexte de cette étude.

Compte tenu de la diversité des situations rencontrées, il n'a pas été possible de réaliser une évaluation globale de cette politique au niveau national. L'approche retenue consiste donc à s'intéresser à quelques cas représentatifs des conditions de circulation et des milieux récepteurs.

L'évaluation des nuisances sonores liées au transport ferroviaire dépend étroitement de la configuration du site : densité de population, existence d'obstacles influençant la propagation du bruit, nature du sol, conditions météorologiques, ... Une modélisation de la génération et de la propagation du bruit a permis de déterminer la densité de population minimale autour d'une infrastructure de transport ferroviaire pour qu'un dispositif anti-bruit soit rentable.

Les résultats font apparaître une grande variabilité des coûts sociaux des nuisances sonores en fonction des techniques de valorisation utilisées. En règle générale, la méthode issue de l'instruction cadre du 25 mars 2004 donne des résultats proches de la méthode de consentement à payer de IWW Infrac. Les valeurs centrales HEATCO se situent également plutôt en dessous des valeurs issues de l'instruction cadre.

Globalement, l'étude des dispositifs montre que:

- L'écran anti-bruit ne semble se justifier au regard de l'approche retenue que dans les zones urbaines ou périurbaines (densités supérieures à 125 hab/km²).
- La tranchée ouverte ne semble se justifier que dans les zones urbaines (densités supérieures à 500 hab/km²).
- L'absorbeur de vibrations du rail se justifie dans les zones urbaines ou périurbaines et exceptionnellement en zone rurale.

Cependant, il ne s'agit là que de tendances générales : si localement la densité de population est élevée, ces dispositifs peuvent être pertinents même en zone rurale.

Dans la pratique, d'autres dispositifs anti-bruit sont également couramment utilisés comme le merlon, le meulage, le freinage disque ou composite et l'isolation acoustique des logements. Globalement, c'est souvent la conjugaison d'une réduction à la source et de dispositifs fixes qui peut conduire à la meilleure efficacité comme le montre le projet STAIRRS qui, par une autre approche que celle développée ici, a analysé l'efficacité des différents dispositifs anti-bruit.

Enfin, il existe d'autres méthodes pour réduire le bruit mais plus difficilement évaluables dans le cadre d'une approche simplifiée : réduire les vitesses des trains, choisir un tracé des lignes ferroviaires minimisant les nuisances sonores pour les populations, choisir des équipements réducteurs de bruit lors des renouvellements voies-ballast et acquérir du bâti le long des lignes.

Politique de lutte contre le bruit dans les transports ferroviaires

Les moyens engagés

La lutte contre les nuisances sonores a mobilisé 1,7 milliards d'euros en 2005, ce qui représente 4,7 % de la dépense consacrée à la protection de l'environnement (l'économie de l'environnement en 2005, Ifen).

Les dépenses visant à lutter contre le bruit inhérent aux transports (tous modes) ont progressé de 34 % en 2005 pour atteindre 866 millions d'euros. En 2005, elles dépassent les dépenses liées à l'isolation acoustique des logements, jusqu'alors plus élevée. Ainsi, transport et logement ont mobilisé plus de 94 % de la dépense de lutte contre le bruit.

Le traitement des infrastructures de transports terrestres se chiffre à 220 M€ par an en moyenne sur la période 2000-2005. Les financements affectés à la résorption des points noirs de bruit sur le réseau national en constituent la plus grande part, les trois quarts en moyenne au cours des années 2000-2005.

En 2005, la lutte contre le bruit a été prise en charge à hauteur de 54 % par les ménages, 21 % par les entreprises, 20 % par les collectivités locales et 5 % par l'Etat.

Les avantages obtenus

Infrastructures étudiées

L'approche retenue consiste à s'intéresser à un certain nombre de lignes ferroviaires types représentatives du réseau national (voir figure 1) où circulent un certain nombre de trains le jour et la nuit ayant certaines caractéristiques.

Plus précisément, elle consiste ici à calculer pour différents types de dispositifs la densité de population subissant des nuisances sonores qui permettraient de justifier économiquement l'implantation de ces équipements.

Figure 1 - Lignes types et circulations moyennes

	Type de ligne	Nombre de trains de jour 6h-22h	Nombre de trains de nuit 22h-6h
cas 1	Sortie gare parisienne	610	180
cas 2	Grande couronne mixte Paris	440	150
cas 3	Banlieue	310	50
cas 4	Zone urbaine province 1 (Montpellier)	95	75
cas 5	Zone urbaine province 2 (Limoges)	60	40
cas 6	LGV LN1 tronc commun	200	0
cas 7	Axe fret province	20	30
cas 8	Grande ceinture fret	20	80
cas 9	Rural	11	0
cas 10	LGV LN5	110	0

Source : RFF

Les dispositifs étudiés

Dans le cadre de cette étude, les dispositifs suivants ont été retenus:

- L'écran anti-bruit , avec un coût de 2,7 millions d'euros par km et une atténuation du bruit de 5dB(A) (Source : « La lutte contre le bruit ferroviaire », Annales de la stratégie SNCF 2000).
- La tranchée ouverte , avec un coût de 15 millions d'euros par km (Source : évaluation de RFF) et une atténuation de 7 dB(A) (Source : SETRA, « Coûts des section d'autoroute de liaison construite en tranchée »).
- L'absorbeur de vibrations du rail , avec un coût de 0,5 million d'euros par km et par voie et une atténuation de 4 dB(A) (Source : projet STAIRRS, voir encadré).

Il existe d'autres dispositifs de lutte contre le bruit, non évalués avec la méthode développée ici: le merlon, le meulage, le freinage disque ou composite et l'isolation acoustique des logements. On peut également citer d'autres méthodes pour réduire le bruit, plus difficilement évaluables dans un cadre simplifié: réduire les vitesses des trains, choisir un tracé minimisant les nuisances sonores pour les populations, choisir des équipements réducteurs de bruit lors des renouvellements voies-ballast et acquérir du bâti le long des lignes.

Les méthodes de valorisation monétaire du bruit

Les différentes méthodes de valorisation du bruit sont la méthode issue de l'instruction cadre du 25 mars 2004 et les méthodes de consentement à payer qui comprennent notamment les valorisations HEATCO.

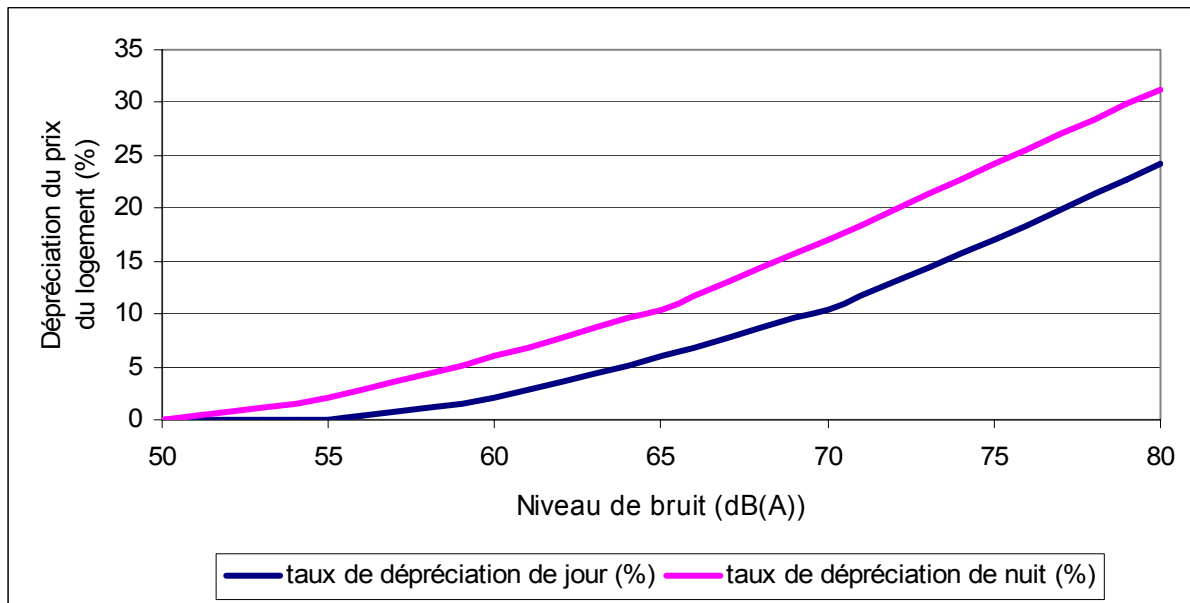
L'instruction cadre du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport : la dépréciation de la valeur des logements due au bruit

Une première approche s'appuie sur l'Instruction Cadre du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport. Celle-ci se fonde sur une évaluation de la dépréciation de la valeur des logements en fonction des niveaux sonores mesurée en façade. En notant V la valeur locative moyenne d'un logement, la dépréciation s'écrit :

$$B = \frac{1}{2}V(t_j + t_n)$$

Les termes caractérisant les nuisances de jour et de nuit évoluent avec les niveaux sonores (figure 2).

Figure 2 - Valorisations des nuisances sonores de jour et de nuit issues de l'instruction cadre du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport



Source : Instruction cadre du 25 mars 2004

La valeur moyenne retenue pour le prix d'un logement est de $V = 473$ €/mois, avec une évolution dans le temps comme celle du produit intérieur brut. Cette valeur doit être modifiée pour tenir compte de la densité de population du milieu étudié : elle est supposée augmenter de 1 c€ par habitant compté par km^2 .

Les méthodes de consentement à payer

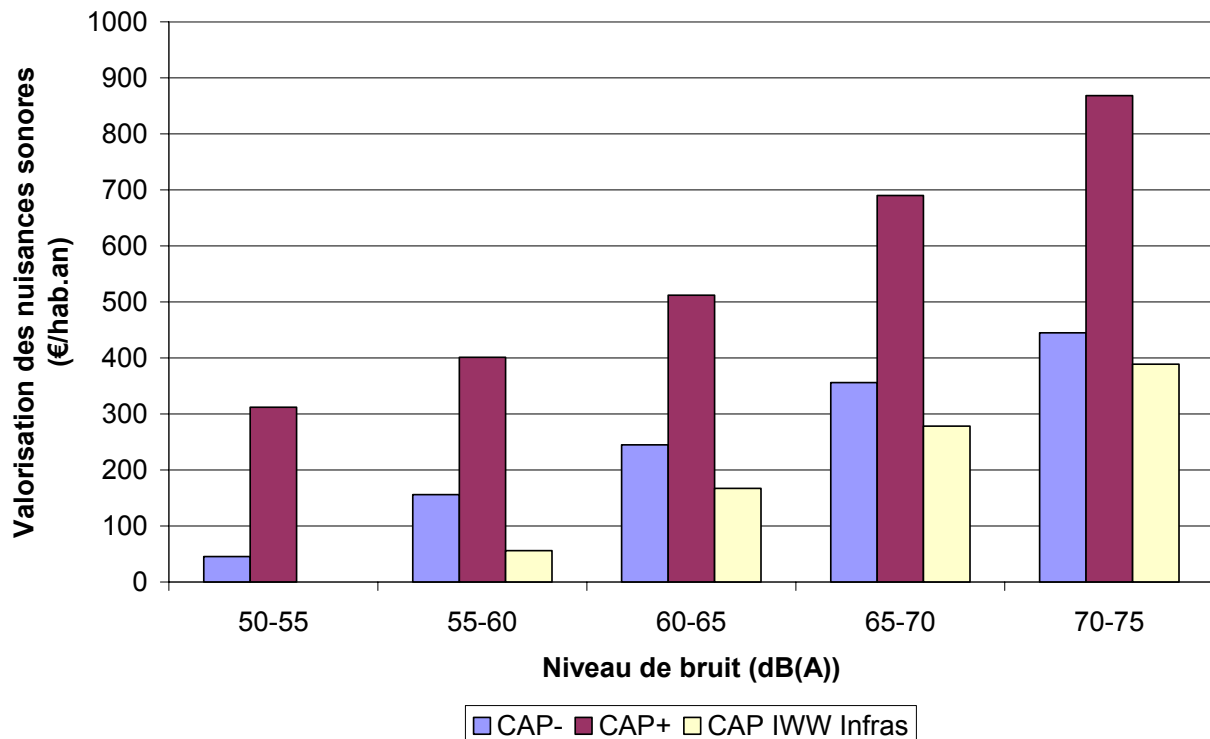
Les résultats de ces méthodes de valorisation sont repris de la revue de littérature réalisée dans le cadre de l'étude IWW Infrac "External Costs of Transport" de 2004. Parmi les études citées, sont utilisées les valeurs obtenues dans le cas de la France suivantes (figure 3):

- Les valeurs les plus faibles recensées¹, notées CAP- ;
- Les valeurs les plus élevées recensées², notées CAP+ ;
- Les valeurs finalement retenues dans l'étude IWW Infrac, notées CAP IWW Infrac.

¹ Etude "Costing the traffic barrier effect : a contingent valuation survey, Soguel", 1994

² Etude "Der monetäre Wert einer Flug und Strassenlärmreduktion : eine empirische Analyse auf der Grundlage individueller Präferenzen", Pommerhene, 1986

Figure 3 - Valorisations des nuisances sonores issues des méthodes de consentement à payer en €/hab.an



Source : IWW Infras

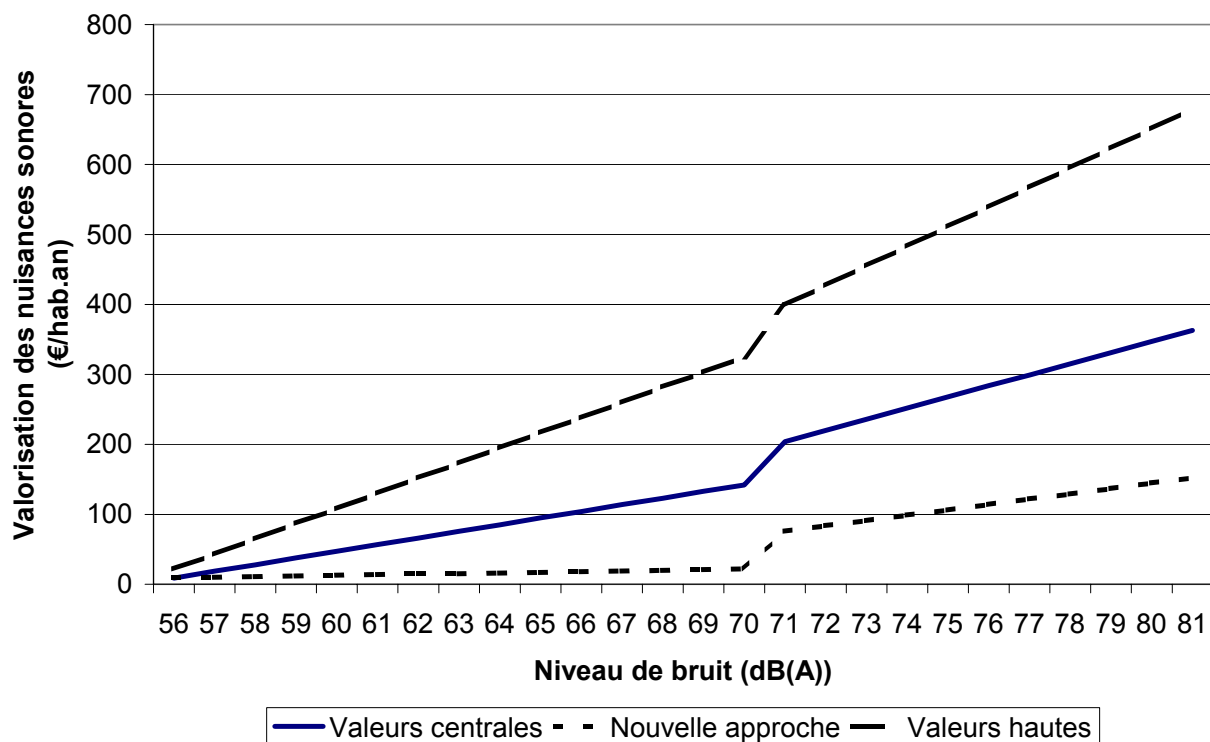
HEATCO (Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, 2006) propose des valeurs du bruit par personne exposée et par an (Deliverable 5, Proposal for harmonised guidelines) pour chacun des pays de l'UE. Ces valeurs sont différenciées selon le mode ; les valeurs les plus faibles correspondent au mode ferroviaire, les plus élevées au mode aérien. Elles sont reproduites dans la figure 4 pour la France, pour le mode ferroviaire.

Trois ensembles de valeurs sont proposées :

- « valeurs centrales », obtenues à partir d'évaluations de consentement à payer pour éviter les nuisances et d'effets sanitaires (maladies cardiaques) ;
- « nouvelle approche », fondées sur les niveaux de gêne au bruit déclarés par les personnes exposées à différents niveaux de bruit ;
- « valeurs hautes » issues de méthodes de tarification hédonique telles que produites dans le projet européen UNITE.

Les valeurs « nouvelle approche » et « valeurs hautes » sont proposées comme tests de sensibilité.

Figure 4 - Valorisations monétaires par HEATCO des nuisances sonores ferroviaires pour la France en €/hab.an



Une variabilité significative des coûts du bruit selon la méthode

Pour les niveaux inférieurs à 65 dB(A), les valeurs issues de l'instruction-cadre sont inférieures à celles issues de la méthode des consentements à payer. En revanche, pour les niveaux supérieurs à 65 dB(A), les valeurs issues de l'instruction-cadre sont comparables ou supérieures aux valeurs les plus basses issues de la méthode des consentements à payer.

Les valeurs données par HEATCO « nouvelle approche » et « valeurs centrales » sont inférieures aux valeurs des autres méthodes de consentement à payer et de l'instruction-cadre. Les « valeurs hautes » de HEATCO sont dans la moyenne.

En règle générale, les valorisations ne varient pas linéairement en fonction du niveau des nuisances sonores : par exemple, une réduction de 1 dB(A) n'entraîne pas les mêmes avantages monétaires si le niveau sonore initial est de 80 ou 60 dB(A). L'évaluation des avantages liés à la mise en place d'un dispositif dont vont bénéficier des populations soumises à des niveaux variables de bruit, dépend donc fortement de la manière dont évolue la valorisation du bruit en fonction du niveau sonore sur l'ensemble du spectre acoustique.

Méthodologie

Le transport ferroviaire est responsable de nuisances sonores variables suivant le type de train et le milieu dans lequel il est effectué. La démarche suivie vise à calculer la densité de population minimale autour d'une infrastructure de transport ferroviaire pour qu'un dispositif anti-bruit soit rentable. Les mesures de réduction du bruit prises en compte ici ne concernent que les actions sur les infrastructures ou les trains et excluent donc l'isolation acoustique des logements.

Pour les besoins de la modélisation, on suppose que l'on se trouve autour d'une ligne droite correspondant à une ligne ferroviaire type où circule un certain nombre de trains par jour ayant certaines caractéristiques.

Huit types de matériel roulant ont été retenus : TGV PSE modifié, TGV Atlantique, TGV Réseau, TGV Duplex, trains GL classiques, trains de fret, trains de banlieue courts – catégorie 1 (Z5300), trains de banlieue courts – catégorie 2 (Z2N).

Les équations de propagation du bruit sont dépendantes des caractéristiques de l'environnement physique (présence de vents, obstacles acoustiques, ...) qui peuvent se révéler déterminantes. L'approche retenue suppose une propagation en milieu ouvert et comporte donc des limites certaines.

Les caractéristiques du matériel roulant sont les suivantes :

- L_0 : niveau sonore de référence à 25 mètres en dB(A) émis par un train circulant à V_0 ;
- V_0 : vitesse ;
- k : coefficient multiplicateur dépendant de la longueur de la rame ;
- lr : longueur de la rame ;
- ab : abattement mode ferroviaire prévu par l'instruction cadre du 25/03/2004 égal à 0 pour les LGV et -3 dB(A) pour les lignes classiques.

Les caractéristiques du milieu récepteur sont :

- x : distance par rapport à l'infrastructure ;
- d : densité du bâti ;
- D : distance caractéristique de variation du bâti (ce terme peut s'interpréter comme une dimension représentative de la taille des bâtiments du site).

On suppose en première approche que les bâtiments sont disposés aléatoirement dans l'espace.

En notant $L_{\max}(dB(A))(x)$ le niveau sonore maximal à la distance x de la ligne pour la circulation d'un seul train, on obtient :

$$L_{\max}(dB(A))(x) = L_0 - k * \log\left(\frac{x}{25}\right) + ab + CEF(x) \text{ où } CEF : \text{ correction d'extension finie}$$

$$CEF(x) = 10 \log\left(\frac{1}{\Pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (1-d)^{\frac{x}{D \cos(u)}} du\right)$$

Pour calculer les niveaux sonores équivalents sur une période, il faut calculer le temps d'exposition $T(x)$:

$$T(x) = 3,6 \frac{lr}{V_0} \sqrt{\left(\frac{2x}{lr}\right)^2 + 1}$$

Sur la période 6h – 22h on obtient : $L_{\text{aeq}}(x) = L_{\max}(x) + 10 \log(T(x)/16*3600)$

Sur la période 22h – 6h on obtient : $L_{\text{aeq}}(x) = L_{\max}(x) + 10 \log(T(x)/8*3600)$

Pour chacune des périodes 6h – 22h et 22h – 6h, on calcule le niveau sonore équivalent à la distance x de la ligne correspondant à la circulation de tous les trains puis on calcule le niveau sonore équivalent à la distance x pour une période de 24h.

Les nuisances sonores sont ensuite valorisées grâce aux différentes méthodes exposées précédemment.

Résultats

Les avantages sont calculés sur une durée de 50 ans, avec un taux d'actualisation de 4 %/an et une évolution calée sur celle de la CFM prise égale à 1,5 %/an. Ils correspondent à la différence entre la valorisation des nuisances sonores en situation de référence et cette même valorisation avec le dispositif anti-bruit. Ces avantages sont directement proportionnels à la densité de population située de part et d'autre de l'infrastructure, celle-ci étant supposée uniforme. Il est donc toujours possible de

trouver une densité pour laquelle les avantages compensent les coûts. L'approche retenue consiste à déterminer la densité de population à partir de laquelle les avantages sont supérieurs aux coûts des dispositifs. La cohérence entre la densité de population obtenue et le type de milieu considéré n'est pas posée comme contrainte, mais est discutée ex post.

Pour interpréter les résultats, les ordres de grandeur suivants constituent des points de repères utiles :

- La densité de population en milieu rural est de l'ordre de 20 hab/km² et dépasse rarement 100 hab/km² ;
- La densité de population dans les couronnes périurbaines est généralement comprise entre 50 et 500 hab/km² ;
- Les grandes villes-centre de province ont des densités comprises entre 3 000 et 10 000 hab/km² ;
- Paris a une densité de l'ordre de 20 000 hab/km² et la première couronne de l'ordre de 6 000 hab/km².

L'écran anti-bruit

Dans la figure 5 sont calculées suivant les différentes méthodes de valorisation et les différents cas de lignes ferroviaires les densités de population d'équilibre entre avantages et coûts.

Figure 5 - Densités d'équilibre pour l'écran anti-bruit (en grisé, les densités d'équilibre inférieures aux densités type réelles)

	Densité d'équilibre (hab/km ²)	Densité autour des lignes-types	IC 25/03/2004	CAP-	CAP+	CAP IWW	HEATCO valeurs centrales	HEATCO nouvelle approche	HEATCO valeurs hautes
cas 1	Sortie gare parisienne	500-6000	457	292	125	477	1115	4600	509
cas 2	Grande couronne mixte Paris	50-500	559	339	140	580	1362	4974	623
cas 3	Banlieue	50-500	3562	1402	453	3580	8800	11165	3975
cas 4	Zone urbaine province 1 (Montpellier)	100-3000	831	509	187	1060	2585	6295	1170
cas 5	Zone urbaine province 2 (Limoges)	100-3000	1105	654	229	1455	3551	6836	1608
cas 6	LGV LN1 tronc commun	20-500	2109	804	324	1436	3362	10397	1540
cas 7	Axe fret province	20-500	1602	943	297	2539	6427	8168	2875
cas 8	Grande ceinture fret	20-500	827	572	213	1159	2873	7572	1286
cas 9	Rural	20-100	37453	16915	5464	39903	nc	nc	nc
cas 10	LGV LN5	20-500	3372	1116	414	2290	5572	12412	2512

Les résultats font apparaître une grande variabilité des coûts sociaux des nuisances sonores en fonction des techniques de valorisation utilisées. Globalement, l'écran anti-bruit ne semble se justifier que dans les zones urbaines ou périurbaines. Les densités les plus faibles sont obtenues avec les méthodes de consentement à payer hors HEATCO. Les densités les plus fortes sont obtenues avec HEATCO « nouvelle approche » et « valeurs centrales », valorisation pour laquelle l'écran anti-bruit ne se justifie que pour les zones urbaines denses. En dehors des valorisations d'HEATCO, l'écran anti-bruit est rentable pour les cas 1 et 2 qui se trouvent en Île-de-France. Pour la banlieue parisienne (cas 3), l'écran anti-bruit est plus difficilement justifiable surtout en Seine-et-Marne car les trains de banlieue font moins de bruit que les trains grandes lignes ou les TGV. L'écran anti-bruit n'est pas du tout rentable pour les zones rurales (cas 9). Pour les LGV (cas 6 et 10), l'écran anti-bruit se justifie en zone urbaine voire périurbaine dense (CAP+).

La tranchée ouverte

Une même évaluation que pour l'écran anti-bruit a été faite pour la tranchée ouverte (figure 6).

Figure 6 - Densités d'équilibre pour la tranchée ouverte (en grisé, les densités d'équilibre inférieures aux densités type réelles)

	Densité d'équilibre (hab/km2)	Densité autour des lignes-types	IC 25/03/2004	CAP-	CAP+	CAP IWW	HEATCO valeurs centrales	HEATCO nouvelle approche	HEATCO valeurs hautes
cas 1	Sortie gare parisienne	500-6000	1990	1281	533	2173	5121	19645	2332
cas 2	Grande couronne mixte Paris	50-500	2441	1495	601	2659	6322	20938	2877
cas 3	Banlieue	50-500	14027	6556	2090	17026	42065	49986	18906
cas 4	Zone urbaine province 1 (Montpellier)	100-3000	3594	2313	828	4986	12272	26713	5533
cas 5	Zone urbaine province 2 (Limoges)	100-3000	4731	3005	1031	6841	16576	28898	7541
cas 6	LGV LN1 tronc commun	20-500	8627	3573	1402	6630	15779	44398	7186
cas 7	Axe fret province	20-500	6804	4443	1379	12081	30661	35804	13659
cas 8	Grande ceinture fret	20-500	3569	2587	941	5467	13458	31033	6053
cas 9	Rural	20-100	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
cas 10	LGV LN5	20-500	13178	5058	1827	10759	25772	51079	11751

Note : nc pour non convergent

Avec cette approche, la tranchée ouverte ne se justifie que pour les zones urbaines (densités supérieures à 533 hab/km²). En zone rurale, les densités d'équilibre dépassent les densités réelles observées (supérieures à 20 000 hab/km²). Le surcoût sensible de la tranchée ouverte par rapport à l'écran anti-bruit, pour un niveau d'atténuation modeste, explique la faible zone de pertinence de cette mesure.

L'absorbeur de vibrations du rail

Une évaluation similaire aux précédentes a été faite pour l'absorbeur de vibrations du rail (figure 7).

Figure 7 - Densités d'équilibre pour l'absorbeur de vibrations du rail (en grisé, les densités d'équilibre inférieures aux densités type réelles)

	Densité d'équilibre (hab/km2)	Densité autour des lignes-types	IC 25/03/2004	CAP-	CAP+	CAP IWW	HEATCO valeurs centrales	HEATCO nouvelle approche	HEATCO valeurs hautes
cas 1	Sortie gare parisienne	500-6000	397	258	111	413	968	4220	441
cas 2	Grande couronne mixte Paris	50-500	485	298	124	500	1181	4603	538
cas 3	Banlieue	50-500	1553	597	195	1503	3657	4824	1658
cas 4	Zone urbaine province 1 (Montpellier)	100-3000	362	221	82	450	1085	2766	493
cas 5	Zone urbaine province 2 (Limoges)	100-3000	481	282	100	616	1493	3025	678
cas 6	LGV LN1 tronc commun	20-500	924	353	144	616	1457	5008	663
cas 7	Axe fret province	20-500	693	400	127	1066	2683	3610	1202
cas 8	Grande ceinture fret	20-500	361	248	94	492	1209	3319	542
cas 9	Rural	20-100	10963	3594	1188	8177	22771	16422	9872
cas 10	LGV LN5	20-500	1485	484	182	972	2354	5500	1064

L'absorbeur de vibrations du rail, qui est le dispositif le moins coûteux parmi les trois étudiés, se justifie en zone urbaine et périurbaine un peu comme pour l'écran anti-bruit. Avec la valorisation CAP+, il se justifie également en zone rurale pour la grande ceinture fret.

Les résultats de ces trois évaluations ne doivent pas obérer le fait que certaines spécificités locales peuvent justifier l'utilisation de l'un de ces trois dispositifs : les densités sont à comprendre comme des densités ponctuelles et non des moyennes le long du parcours.

Le projet STAIRRS (voir encadré) permet de disposer d'une évaluation d'autres dispositifs importants comme le freinage composite. Ces autres dispositifs n'ont pu être évalués avec la méthode développée ici car les avantages sont répartis le long du parcours qui n'est pas modélisé. De même, il n'a pas été possible d'évaluer les combinaisons efficaces de dispositifs avec cette méthode.

Le projet STAIRRS (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing mesures for Railway Systems)

Il est reconnu par la Commission Européenne qu'un transfert modal du trafic de la route vers le rail procurerait des bénéfices environnementaux généraux. Néanmoins, de tels changements doivent être réalisés sans créer de réaction de gêne de la part de la population vivant à proximité des lignes de chemin de fer. Le bruit est le principal problème environnemental présentant un réel défi pour la mise en œuvre de cette politique.

Pour éviter toute augmentation du bruit, différentes mesures peuvent être envisagées tels que le placement de barrières anti-bruit et une amélioration du matériel roulant ou des voies.

Afin de mettre en place ces mesures de la manière la plus efficace possible, STAIRRS propose une analyse permettant d'identifier l'efficacité relative, les coûts et les bénéfices de programmes d'investissements (s'étalant sur plusieurs années) de lutte contre le bruit ferroviaire en Europe.

Le projet repose sur un outil informatique d'aide à la décision. Les données d'entrée concernent la géographie, le trafic, le réseau ferré (11000 km de voies modélisées en Europe dont 3300 en France) et la démographie. STAIRRS donne ensuite les coûts et l'efficacité de programmes de réduction de bruit en termes de nombre de personnes dont l'exposition au bruit est réduite.

Les principaux dispositifs étudiés sont les types de freinage (notamment pour les wagons de fret), les absorbeurs de vibration du rail, le meulage, les écrans anti-bruit et l'optimisation des roues.

STAIRRS conclut que l'utilisation des écrans anti-bruit n'est globalement pas très efficace, que le meulage n'est efficace que si toutes les roues des trains sont bien lisses et que d'une façon générale contrôler le bruit à la source (par exemple mettre des freins en matière composite plutôt qu'en fonte) est plus efficace que de mettre des barrières contre le bruit.
