

LE COUT SOCIAL DU BRUIT EN FRANCE

Estimation du coût social du bruit en
France, et mesures d'évitement
simultanées du coût social du bruit et
de la pollution de l'air

(Version Finale)



EXPERTISES

Jun
2021

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée pour le compte de l'ADEME.

Le Comité de pilotage de l'étude était composé des membres suivants :

Emmanuel THIBIER (ADEME Pôle Aménagement des Villes et des Territoires (PAVT))
Fanny MIETLICKI (BruitParif)
Fanny VICARD (ADEME Service Prospective et recherche)
Daniela SANNA (ADEME Pôle Aménagement des Villes et des Territoires)
Nadine DUESO (ADEME Service Qualité de l'Air)
Frédéric LERAY (Ministère de la transition écologique et solidaire)
Bénédicte MEURISSE (Ministère de la transition écologique et solidaire)
René GAMBA (CINOV)
Gérard CAMBON (CNB)
Anne LAHAYE (Association nationale Antibruit de Voisinage)
Mathias MEISSER (Retraité du Bureau d'étude acoustique LASA- Ancien président Commission Technique CNB)
Gilles SOUET (ARS Centre Val de Loire)
Laurent DROIN (CIDB)
Jean Paul VAN CUYCK (A2MS, GIAC)
Fabrice BOBLIQUE (CEREMA)
Maia DOUILLET (I Care & Consult)
Gala SIPOS (I Care & Consult)
Léna DELUGIN (I Care & Consult)
Benoît BULLIOT (I Care & Consult)
Lucas REMONTET (Energies Demain)
Elsa BIDAULT (Energie Demain)

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, I CARE & CONSULT, ENERGIES DEMAIN, DOUILLET Maia, SIPOS Gala, DELUGIN Léna, BULLIOT Benoît, REMONTET Lucas, BIDAULT Elsa. 2021. Coût social du bruit et analyse de mesures d'évitement simultané du bruit et de la pollution de l'air. 70 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2020MA000239

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : I Care & Consult et Energies Demain

Coordination technique - ADEME : THIBIER Emmanuel

Direction/Service : Pôle Aménagement des Villes et des Territoires

Table des matières

1. CONTEXTE DU PROJET ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE.....	5
Qu'est-ce que le coût social du bruit et pourquoi le mesurer ?	5
Éléments de glossaire.....	6
Une approche intégrée air-bruit.....	7
Les évolutions depuis le précédent rapport	8
Méthodologie de l'étude.....	9
2. L'ESTIMATION DES COUTS SOCIAUX LIES AU BRUIT.....	11
2.1. Le bruit des transports.....	11
2.1.1. Les estimations relatives aux expositions au bruit des transports.....	12
2.1.2. Les effets du bruit sur la santé : les coûts sanitaires.....	14
2.1.3. Les coûts non sanitaires	19
2.1.4. Le coût social du bruit des transports	20
2.2. Le bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire	21
2.2.1. Le bruit en milieu professionnel.....	21
2.2.2. Le bruit en milieu hospitalier	23
2.2.3. Le bruit en milieu scolaire	23
2.2.4. Synthèse des coûts sociaux du bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire	25
2.3. Le bruit dans le voisinage.....	25
2.3.1. Le bruit des particuliers et des activités.....	25
2.3.2. Le bruit des chantiers.....	27
2.3.3. Synthèse des coûts sociaux de bruit de voisinage	28
2.4. Synthèse : Une estimation du coût social du bruit sur le territoire français	28
2.4.1. Quel est le coût social du bruit ?.....	29
2.4.2. Les autres coûts sociaux du bruit	30
2.4.3. Analyse de sensibilité : choix d'une valeur d'une année de vie en bonne santé et autres incertitudes.	31
3. L'ANALYSE DES MESURES D'EVITEMENT SIMULTANE DU BRUIT ET DE LA POLLUTION DE L'AIR.....	32
3.1. Méthodologie employée pour la sélection et l'analyse des mesures	32
3.2. Fiches détaillées des mesures phares à co-bénéfices Air Bruit : approche méthodologique et limites de l'analyse.....	37
4. CONCLUSION ETPERSPECTIVES	50
ANNEXE.....	52
A. L'estimation de l'exposition au bruit des transports	52
B. Description des effets sanitaires et hypothèses de calcul.....	53
C. Justification du degré de convergence des mesures (Paris 3)	56
D. Co-bénéfice air / bruit de la mesure 3 sur la qualité acoustique et la rénovation des bâtiments scolaires	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	67

RÉSUMÉ

Le bruit constitue une préoccupation majeure des Français dans leur vie quotidienne, que ce soit au sein de leur logement, dans leurs déplacements, au cours de leurs activités de loisirs ou sur leur lieu de travail, mais également un sujet majeur pour les décideurs politiques. En effet, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le bruit représente le second facteur environnemental provoquant le plus de dommages sanitaires en Europe (WHO, 2018), derrière la pollution atmosphérique : de l'ordre de 20 % de la population européenne (soit plus de 100 millions de personnes en Europe) est exposée de manière chronique à des niveaux de bruit préjudiciables à la santé humaine.

Une première étude « Analyse bibliographique des travaux français et européens - le coût social des pollutions sonores », réalisée par EY pour le compte de l'ADEME en 2016, a établi à 57 Milliards d'euros par an le coût social du bruit en France, dont plus d'un tiers, soit 20,6 milliards d'euros, est imputable au bruit des transports. Cette étude a également permis d'établir une répartition détaillée du coût social du bruit, établissant ainsi à 19,5 milliards d'euros le coût imputable au bruit en milieu professionnel, 12 milliards d'euros au bruit de voisinage et 5 milliards d'euros au bruit en milieu scolaire.

La présente étude propose d'approfondir ce travail, d'une part en mettant à jour les coûts qui avaient été précédemment calculés, à l'aide des dernières publications scientifiques sur l'estimation des coûts sanitaires et non sanitaires liés au bruit, et d'autre part en élargissent le périmètre à de nouvelles sources de bruits et à de nouveaux types de coûts. Les estimations réalisées dans le cadre de cette étude ont été basées sur une méta-analyse bibliographique approfondie et sur la réalisation d'entretiens d'experts, afin d'identifier les résultats des publications académiques les plus récentes et pertinentes. Différentes méthodologies ont été appliquées selon la disponibilité des données : les calculs ont soit été basés sur des données et résultats de la littérature robustes et spécifiques à l'impact en question, soit fait l'objet d'approximations à partir de données et résultats pour une autre source de bruit ou été basés sur la formulation d'hypothèses basées sur les résultats d'enquêtes ou de sondages, non nécessairement scientifiques.

Au total, le coût social du bruit est estimé à environ 158,5 milliards d'euros. La majorité des coûts sociaux est liée aux transports : le bruit routier représente 52% des coûts, le bruit aérien 9% et le bruit ferroviaire 7%. Cependant, une partie non négligeable des coûts provient du milieu professionnel : environ 15%, dont 14% sont liés au bruit au travail. Enfin, les bruits de voisinage représentent 15% des coûts totaux, dont 11% pour les seuls bruits de comportement. L'évolution du coût total par rapport à la précédente étude s'explique par plusieurs facteurs, dont les deux principaux sont le périmètre de l'évaluation et le choix de la valeur d'une année de vie en bonne santé. A iso-périmètre et avec une valeur comparable à celle de la précédente étude, la présente étude estime un coût social du bruit d'environ 63,5 milliards d'euros.

Enfin, l'étude propose l'analyse de mesures d'évitement simultané du bruit et de la pollution de l'air, qui permettent de réduire les coûts sociaux liés aux deux types de nuisances, dont la source est souvent commune. Quatre mesures spécifiques au transport routier, aux bâtiments d'établissements scolaires et aux chantiers ont fait l'objet d'une analyse coûts-bénéfices, qui a permis d'approcher leur efficacité et l'ampleur des co-bénéfices air-bruit, qu'il conviendrait d'approfondir dans des travaux ultérieurs combinant les approches liées au bruit et à la pollution de l'air.

1. Contexte du projet et méthodologie de l'étude

Le bruit constitue une préoccupation majeure des Français dans leur vie quotidienne, que ce soit au sein de leur logement, dans leurs déplacements, au cours de leurs activités de loisirs ou sur leur lieu de travail, mais également un sujet majeur pour les décideurs politiques. En effet, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), **le bruit représente le second facteur environnemental provoquant le plus de dommages sanitaires en Europe** (WHO, 2018), derrière la pollution atmosphérique. En effet, c'est de l'ordre de 20 % de la population européenne (soit plus de 100 millions de personnes en Europe) qui se trouve exposée de manière chronique à des niveaux de bruit préjudiciables à la santé humaine.

Dès 1995, on estimait que plus de 7 millions de logements français étaient exposés en façade de leur domicile à des zones anormalement bruyantes suscitant une gêne¹ (niveaux de bruit diurnes supérieurs à 65 dB(A)) et presque 2 millions à des situations sonores inacceptables. Aujourd'hui, selon un sondage de l'IFOP (IFOP, 2014), 86% des Français interrogés déclarent être perturbés par le bruit et les pollutions sonores à leur domicile. L'urbanisation, le développement industriel, la création de grandes infrastructures de transport (routes, autoroutes, voies ferrées), la multiplication des activités de loisirs (motorisés ou non), ainsi que les évolutions sociétales ont **accentué les sources de pollution sonore ainsi que l'exposition des populations à ces dernières**. Il apparaît donc crucial pour les pouvoirs publics, aux niveaux local, régional et national, de mieux prendre en compte ces sources pour favoriser la santé et la tranquillité des habitants.

Si le bruit induit directement en premier lieu sur l'audition, ses impacts indirects sur la santé résultent principalement du stress physiologique qu'il engendre. Les impacts sanitaires liés au bruit sont ainsi de trois ordres (CNB, 2018) :

- Les impacts directs sur l'audition (dégradation ou perte d'audition, hyperacousie, acouphènes) ;
- Les effets extra auditifs objectifs sur le sommeil, le système endocrinien, le système cardio-vasculaire, le système immunitaire, la cognition, la santé mentale ;
- Les effets extra-auditifs subjectifs : gêne, effets sur les attitudes et les comportements.

On observe d'année en année une **amélioration des connaissances des effets du bruit sur la santé, au niveau français mais également au sein de la littérature internationale**, ainsi qu'un accroissement de la prise en considération de la problématique liée au bruit, y compris dans les médias. L'OMS a par exemple récemment réévalué à la hausse les relations doses – réponses dans ses recommandations de 2018 relatives au bruit dans l'environnement pour la région européenne (par rapport aux relations utilisées précédemment, notamment dans l'étude EY de 2016). A l'échelle nationale, la structuration des données d'entrée s'est également fortement améliorée, à travers la constitution d'une base de données des populations exposées au bruit, gérée par le CEREMA à partir des informations communiquées par les grandes agglomérations et les services des directions départementales des territoires, en charge d'approuver les cartes stratégiques de bruit.

QU'EST-CE QUE LE COUT SOCIAL DU BRUIT ET POURQUOI LE MESURER ?

De manière générale, les nuisances, quelles qu'elles soient (pollution atmosphérique, tabagisme, bruit...) peuvent induire sur les agents économiques des **« externalités négatives »**, ou impacts négatifs qui ne font pas l'objet d'une transaction de marché, et ne sont donc pas compensés. Il est en ce sens important de calculer le coût social de ces externalités, c'est-à-dire de donner une valeur monétaire à l'ensemble des impacts générés par cette nuisance, pour l'ensemble des agents économiques de la société, afin d'en évaluer la portée.

La mesure du coût social du bruit permet ainsi **de définir des valeurs économiques pouvant servir de référence dans l'évaluation conjointe des coûts et bénéfices (ou analyse coûts-bénéfices) des actions et politiques visant à réduire les nuisances**. Dans le cas du bruit, il s'agit d'actions portant sur les sources de bruit (véhicules, vitesse de circulation, aménagements de voies, mise en œuvre de revêtements routiers anti-bruit), d'actions agissant

¹ Serrou B. La protection des riverains contre le bruit des transports terrestres. Paris, Rapport au Premier ministre. 60 p. Avril 1995

sur la propagation du bruit (création de murs anti bruit par exemple), de mesures de traitement (isolation de façades) ou encore d'actions de sensibilisation des citoyens. En effet, il est important de pouvoir mettre en regard le coût de ces mesures avec les bénéfices économiques qu'elles peuvent apporter à la société, afin d'informer les décideurs sur l'intérêt de leur mise en œuvre. Les bénéfices des mesures correspondent alors aux coûts évités des nuisances sonores.

Une première étude « Analyse bibliographique des travaux français et européens - le coût social des pollutions sonores » a été réalisée par EY pour le compte de l'ADEME en 2016². Cette étude a ainsi établi à **57 Milliards d'euros par an** le coût social du bruit en France, dont plus d'un tiers, soit 20,6 milliards d'euros, est imputable au bruit des transports. Sur ce coût social des transports, près de la moitié, soit 11,5 milliards d'euros, correspond au coût sur la santé (gêne, perturbations du sommeil et maladies cardiovasculaires). Cette étude a également permis d'établir une répartition détaillée du coût social du bruit, établissant ainsi à 19,5 milliards d'euros le coût imputable au bruit en milieu professionnel, 12 milliards d'euros au bruit de voisinage et 5 milliards d'euros au bruit en milieu scolaire.

ELEMENTS DE GLOSSAIRE

Il est important de définir précisément quelques termes souvent employés dans la littérature traitant du coût social du bruit, et qui sont repris au sein de cette présente étude.

- **Le coût social d'un impact ou d'une nuisance** : l'ensemble des coûts internes et externes à l'activité supportés par la société, c'est-à-dire les coûts engagés par les agents économiques pour assurer et permettre l'activité mais aussi les externalités générées par l'activité et subies par la société ;
- **Les coûts sanitaires** comprennent l'ensemble des impacts du bruit sur la santé des populations qui sont connus et documentés à ce jour. Deux sous-catégories d'impacts sanitaires sont prises en compte au sein de cette étude :
 - **Les impacts sanitaires tangibles** : il s'agit-là d'effets sanitaires pouvant être directement appréhendés en termes monétaires ou marchands, comme par exemple les coûts d'hospitalisation liés au bruit ou les coûts de médication.
 - **Les impacts sanitaires non-tangibles** : il s'agit des impacts sanitaires ne pouvant être directement monétisés ni donc directement pris en compte dans l'évaluation du coût social du bruit en France, puisqu'ils ne rentrent dans aucune transaction marchande. Ces impacts présentent néanmoins des coûts importants en termes de mortalité prématurée et de morbidité liée à la gêne, aux perturbations du sommeil, etc., qui doivent alors être évalués au travers de la perte de bien-être liée à ces désagréments et agressions. La méthodologie d'évaluation de ces coûts est décrite en détail plus bas.
- **Les coûts non-sanitaires** comprennent les impacts du bruit n'ayant pas trait à la santé des populations et qui sont connus ou documentés à ce jour. Il s'agit des aspects tels que la dépréciation immobilière ou la perte de productivité au travail. Deux sous-catégories d'impacts non-sanitaires sont considérées au sein de cette étude :
 - **Les impacts non-sanitaires tangibles** : il s'agit-là des coûts non-sanitaires pouvant être directement monétisés et évalués, comme les dépenses publiques et celles des entreprises liées à la prévention du bruit et à la recherche sur les effets du bruit, ou la perte de valeur des logements liée aux nuisances sonores.
 - **Les impacts non-sanitaires non-tangibles** : ces impacts ne sont pas pris en compte dans le périmètre de cette étude mais comprennent par exemple la dégradation des écosystèmes ou la perte de biodiversité liés au bruit, dont le coût n'est pas encore estimable, faute de données et d'études suffisamment précises pour permettre une quantification.

² <https://www.ademe.fr/analyse-bibliographique-travaux-francais-europeens-coût-social-pollutions-sonores>

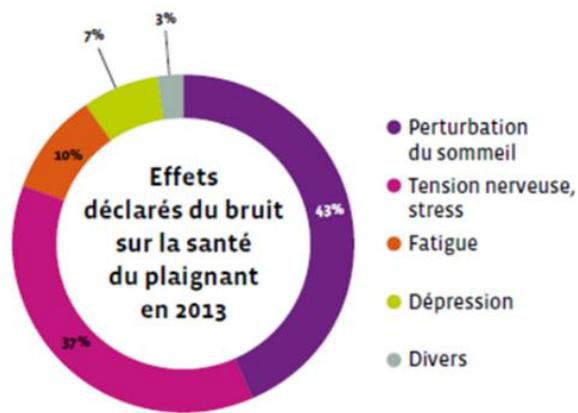


Figure 1 : Les effets du bruit sur la santé (source : CIDB).

UNE APPROCHE INTEGREE AIR-BRUIT

Les problématiques liées à la qualité de l'air et au bruit constituent des préoccupations majeures. L'enquête « Camme » de l'INSEE (INSEE, 2019) indique que le bruit et la pollution de l'air figurent cités par les enquêtés à des niveaux équivalents (17%) comme le second problème environnemental de proximité juste après le manque de transports en commun ³.

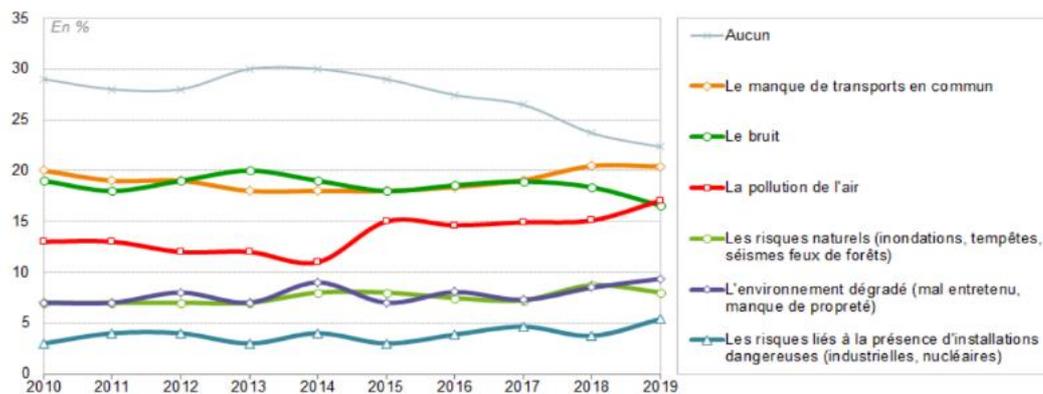


Figure 2 : « Parmi les problèmes suivants, quels sont les deux qui concernent le plus votre quartier ? », Premier choix des enquêtés. Source : CGDD/SDES, plateforme Environnement de l'enquête "Camme" réalisée par l'INSEE en Novembre 2019.

Or, les sources de nuisances étant souvent communes et les impacts sanitaires parfois couplés, ces deux éléments d'exposition tendent à être considérés depuis plusieurs années de manière intégrée, avec la notion, notamment, de « co-exposition ». Le traitement d'une même source par une combinaison d'actions permet la mutualisation des moyens pour réduire les nuisances.

Plusieurs études cherchent ainsi à caractériser les effets additifs et synergiques d'une double exposition. A cet effet, le projet interrégional Bourgogne-Franche-Comté « PrémaBQua » porte par exemple sur l'analyse de la relation entre les naissances prématurées et la multi-exposition environnementale au bruit et à la pollution atmosphérique.

En parallèle de ces études sanitaires, de plus en plus de projets sont également conduits afin d'harmoniser l'analyse des informations de qualité de l'air et de bruit en vue de proposer des outils d'aide à la décision et des recommandations efficaces pour les deux thématiques. Le projet ORHANE, Observatoire Rhônalpin des

³ L'analyse détaillée de ces résultats montre que les problèmes liés au bruit et à la pollution atmosphérique sont essentiellement cités par les enquêtés résidant dans les grandes métropoles urbaines.

Nuisances Environnementales, constitue par exemple un outil régional d'identification et de hiérarchisation des points noirs environnementaux liés aux nuisances Air et Bruit générées par les transports. Basé sur le croisement des données de concentrations annuelles en polluants atmosphériques avec les données annuelles de Bruit des transports, un indicateur unique Air et Bruit permet de déterminer les zones dites « très bonnes » à « super critique de co-exposition », sur une échelle de 1 à 6.

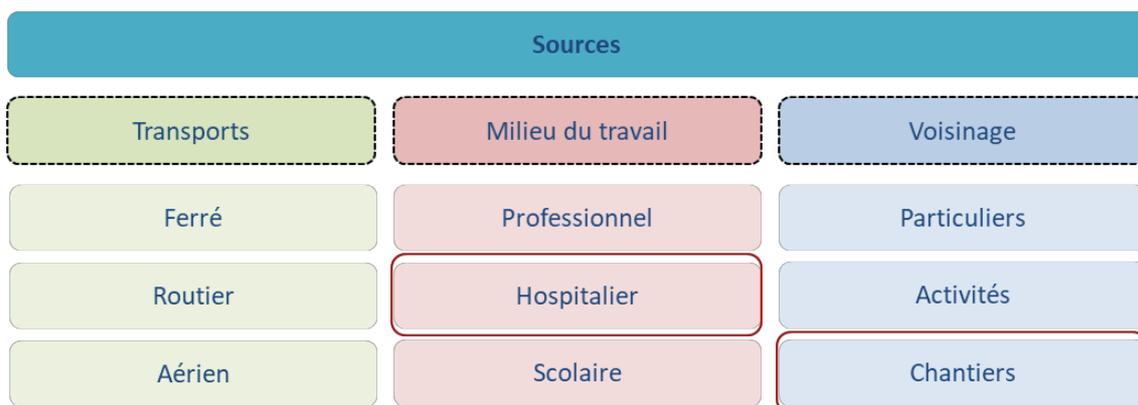
Ces éléments montrent qu'il est **utile d'appréhender les nuisances liées à la pollution de l'air et sonore de manière conjointe**, afin d'obtenir une vision plus holistique des enjeux y étant liés, et de pouvoir assurer la mise en place de mesures plus efficaces. Il est cependant important de noter que certaines sources de bruit n'ont aucun impact sur la qualité de l'air (bruits de voisinage et d'activités professionnelles par exemple) et donc que cette approche intégrée ne peut s'appliquer à toute source pollution sonore.

LES EVOLUTIONS DEPUIS LE PRECEDENT RAPPORT

L'étude EY de 2016 précédemment citée a établi des recommandations pour des travaux qui seraient nécessaires pour compléter, approfondir et affiner les résultats établis. Celles-ci concernent le bruit des transports, le bruit en milieu du travail (incluant les milieux professionnels, scolaires et hospitaliers) et le bruit de voisinage. Une attention particulière a été portée dans le rapport au milieu hospitalier dont l'impact du bruit sur la santé des patients a fait l'objet de plusieurs publications, mais qui n'a pas été jusqu'à présent assorti d'évaluation monétaire.

Les recommandations du précédent rapport ont été prises en compte au sein de cette présente étude, pour laquelle le périmètre des coûts pris en compte dans l'analyse a été élargi, et ce, de trois façons distinctes :

- **Deux sources de bruit** ont été ajoutées à l'analyse : le bruit en milieu hospitalier et le bruit des chantiers ;
- **Trois types d'impacts supplémentaires** ont été ajoutés aux coûts sanitaires non-tangibles : les conséquences du bruit sur l'obésité, le diabète ainsi que sur l'anxiété et la dépression ;
- Sur certains impacts et sources déjà présents au sein de la précédente étude, de **nouveaux éléments ont été apportés pour compléter l'analyse**, comme par exemple les coûts de prévention qui incluent désormais également les budgets annuels des organismes travaillant à la mesure et prévention des nuisances sonores. Par ailleurs, certaines méthodes de calcul ont été précisées, comme cela sera décrit de manière plus détaillée au sein du rapport, notamment dans l'analyse des coûts sanitaires non-tangibles, avec l'utilisation de courbes dose-réponse actualisées.



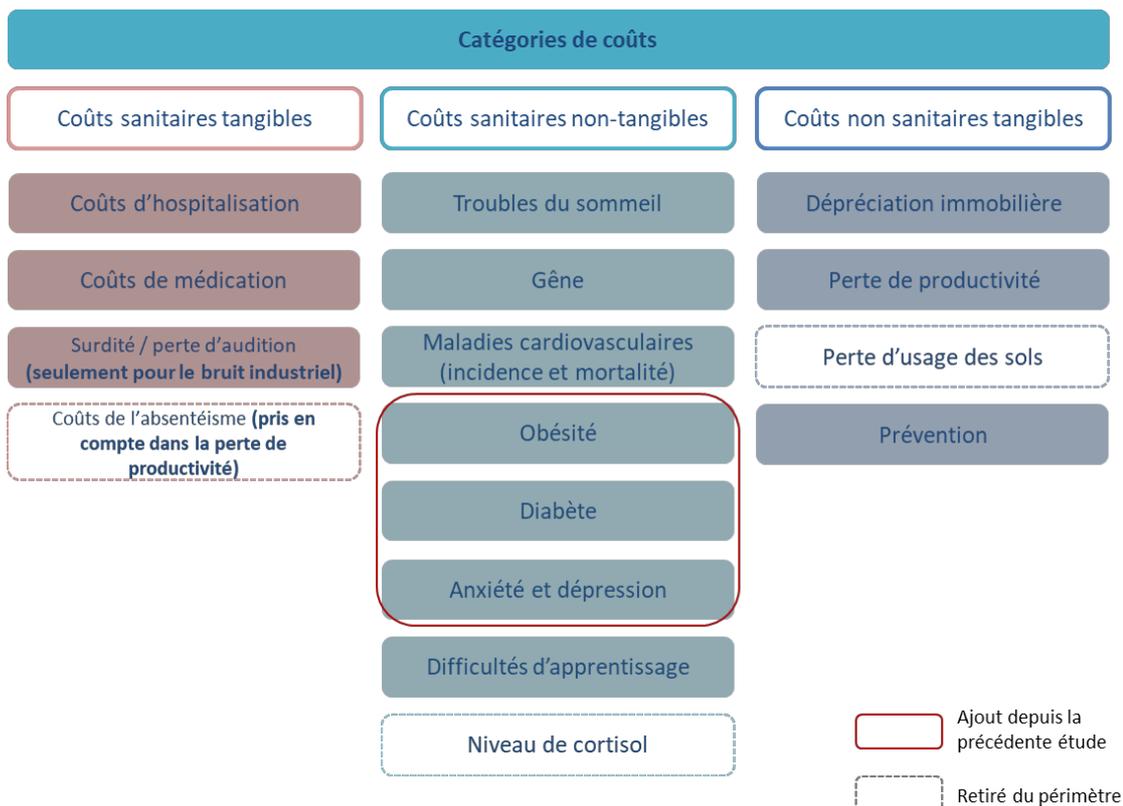


Figure 3 : Périmètre des sources de bruit et catégories de coûts pris en compte au sein de cette étude

METHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

Afin de réaliser l'analyse du coût social du bruit en France la plus exhaustive possible au regard des données et connaissances disponibles, et de mettre à jour les résultats présentés au sein de la précédente étude, trois grandes étapes ont été suivies, comme cela est présenté ci-dessous :

1. Tout d'abord, une **méta-analyse bibliographique approfondie** a été réalisée, afin d'obtenir un regard critique sur les données existantes et de baser l'analyse du coût social sur les résultats des publications académiques les plus récentes. Au total, plus de 90 références bibliographiques (littérature académique et littérature grise, comme des rapports officiels, voir Annexe de ce document) ont été étudiées en détail, couvrant l'ensemble des sources de bruit et des impacts, à l'échelle mondiale, ou de pays spécifiques. Une **analyse détaillée du rapport Européen « Environmental Noise in Europe 2020⁴»** a également été conduite, qui présente une évaluation des impacts sanitaires liés aux bruits des transports et de l'industrie en Europe. Les recommandations émises au sein de ce rapport ont été prises en compte pour cette présente étude. Enfin, la **réalisation d'entretiens d'experts**, comme présenté dans la grille ci-dessous a permis de compléter les informations rassemblées au sein de l'analyse documentaire, et d'éclairer certains points de méthodologie. A partir des résultats obtenus, une grille d'analyse de coûts a pu être construite, préfigurant la phase suivante d'analyse du coût social du bruit.

Tableau 1 : Entretiens menés lors de l'étude

Organismes	Experts et participants	Fonction ou poste	Objectifs
Conseil National du Bruit (CNB)	René Gamba	Président de la Commission Technique	Entretiens autour des sources de nuisances

⁴ European Environment Agency (2020) - *Environmental Noise in Europe 2020*

Queen Mary University/OMS	Stefan Stansfeld	Psychiatre	liées au bruit, et des différents impacts, afin de compléter les informations rassemblées lors de l'analyse documentaire
Centre d'information sur le Bruit (CIDB)	Laurent Droin	Directeur et Responsable de projets	
	Valérie Rozec		
Hôpital de Hautepierre – CHU de Strasbourg	Pierre Kuhn	Pédiatre	
CGDD	Bénédicte Meurisse	Chargées d'économie, santé et environnement	
	Alice Robinet		
BruitParif	Fanny Mietlicki	Directrice de BruitParif et Présidente de la Commission santé-environnement du CNB	3 réunions de travail pour consolider les données d'exposition au bruit des transports et valider l'application des méthodologies pour le calcul des impacts du bruit des transports
Conseil National du Bruit (CNB)			
CEREMA	Fabrice Boblique	Chef de la division Environnement	
DGPR	Manon Royer	Chargée de mission MTES	
ADEME	Emmanuel Thibier	Pilote de l'étude	
Université Gustave Eiffel	Anne Sophie Evrard	Coordinatrice et chercheuse au sein de l'équipe DEBATS	
	Lise Giorgis-Allemand		
ANSES	Anthony Cadene	Chercheurs au sein de l'unité d'évaluation des risques physiques	Entretien autour des courbes dose-réponse obtenues par l'étude DEBATS sur les effets sanitaires du bruit aérien
	Aurélie Niaudet		Entretien autour de l'application des méthodologies de calcul des effets sanitaires, en attente de retours complémentaires

2. Les données et informations collectées au sein de l'analyse bibliographique et les entretiens ont permis ensuite de **calculer l'ensemble des coûts liés aux différents impacts sanitaires et non-sanitaires**, en précisant pour chacune des entrées le niveau de robustesse des résultats obtenus. Trois niveaux de robustesse des données ont ainsi pu être définis :
- Niveau élevé de robustesse : Calculs basés sur des données et résultats de la littérature robustes et spécifiques à l'impact en question ;
 - Niveau moyen de robustesse : Calculs ayant fait l'objet d'approximations à partir de données et résultats pour une autre source de bruit ;
 - Niveau faible de robustesse : Calculs basés sur la formulation d'hypothèses basées sur les résultats d'enquêtes ou de sondages, non nécessairement scientifiques.

A noter que le niveau de robustesse défini ici concerne non pas l'étape de valorisation monétaire mais celle de l'évaluation de l'impact du bruit. Par ailleurs, pour certaines sources de bruit et certains types d'impacts, des **méthodologies de calcul dites « hybrides »** ont été formulées à partir d'hypothèses, lorsque des données précises n'étaient pas disponibles. Ces hypothèses sont détaillées pour chaque type de coût et ont permis de générer des résultats approximatifs pour des impacts encore non monétarisés dans la littérature. Elles s'apparentent donc davantage à un niveau de robustesse de type c.

3. La troisième et dernière phase de l'étude a consisté à **réaliser une analyse croisée des coûts sociaux du bruit et de la pollution atmosphérique**, en identifiant des mesures à co-bénéfices air bruit pouvant être mises en œuvre pour limiter ces nuisances. Les coûts de mise en œuvre de ces mesures ont été mis en regard des bénéfices apportés, en conduisant une « Analyse coûts-bénéfices », dont la méthodologie est décrite en détail au sein du rapport.

2. L'estimation des coûts sociaux liés au bruit

Le **coût social** lié à une activité économique désigne l'ensemble des coûts internes et externes à l'activité supportés par la société, c'est-à-dire les coûts engagés par les agents économiques pour assurer et permettre l'activité mais aussi les externalités générées par l'activité et subies par la société. Dans le cas des nuisances sonores, le bruit est majoritairement une externalité liée à une activité économique et non une activité en soi : par exemple, le bruit des transports est une **externalité** liée au fonctionnement des moteurs, à la vitesse des véhicules qui assurent le transport de voyageurs et de marchandises et à l'interface avec la voie de circulation. C'est pourquoi, dans les parties suivantes, nous désignons par le coût social du bruit l'ensemble des coûts subis par la société à cause des nuisances sonores en tant qu'externalités de certaines activités : le transport, l'activité professionnelle, hospitalière ou scolaire, la construction, ainsi que les particuliers et activités de loisirs dans le voisinage.

Les externalités liées aux nuisances sonores sont distinguées en deux types de coûts : d'une part les **coûts marchands**, qui concernent les dépenses tangibles et effectuées par la société en euros, et d'autre part les **coûts non marchands**, qui sont de manière générale non monétarisés et par conséquent non tangibles, c'est-à-dire dont on ne mesure pas directement la valeur en euros.

Dimension marchande et non-marchande du coût social

Pour l'évaluation socio-économique d'une politique publique, ou d'une externalité, telle que le bruit mais aussi les émissions de gaz à effets de serre, la pollution atmosphérique ou autre, les coûts et bénéfices mesurés peuvent être distingués en deux dimensions. La première dimension est marchande, et comprend les coûts qui sont financièrement supportés par les acteurs publics (comme la médication, l'hospitalisation, ou les indemnités liées aux maladies professionnelles et accidents du travail, ou encore les dépenses de surveillance et de recherche sur la lutte contre le bruit), par les entreprises (exemple : la perte de productivité) ou encore par les ménages (qui subissent notamment la dépréciation immobilière). La dimension marchande peut aussi prendre en compte les coûts évités (dans le cas de la mise en place d'une politique publique), ou les recettes générées (par exemple dans le cas d'une taxe sur les externalités). La seconde dimension est non marchande : il s'agit de coûts non monétaires, qui correspondent à une perte de bien-être pour l'ensemble de la collectivité. Bien qu'ils ne soient pas quantifiés dans les dépenses financières, ces coûts sont supportés par l'ensemble de la société en tant que conséquences sanitaires en majeure partie dans le cas de la présente étude, mais aussi du fait de leurs effets sur l'éducation, la culture, l'intégration sociale ou l'accès aux droits, ainsi que sur la biodiversité par exemple.

La partie qui suit détaille les méthodologies de calcul pour les différents types de coûts qui forment le coût social, et les estimations qui en résultent, selon trois catégories de sources de bruit : les transports (routier, ferroviaire et aérien), le milieu professionnel, scolaire et hospitalier, et enfin les particuliers, activités et chantiers dans le voisinage. L'ensemble des hypothèses, notamment le choix des courbes dose-réponse, risques relatifs et *odd ratios* pour l'estimation, sont présentées en annexe.

2.1. Le bruit des transports

La première source de bruit, en matière d'exposition aux nuisances sonores et de conséquences économiques, est le transport, notamment routier mais aussi ferroviaire et aérien. Le présent chapitre détaille les données et résultats relatifs au coût social du bruit des transports.

2.1.1. Les estimations relatives aux expositions au bruit des transports

Les nuisances sonores liées aux transports sont parmi les mieux documentées : il existe des méthodes de modélisation spécifiques à l'estimation des niveaux sonores qui permettent d'effectuer un dénombrement des populations exposées. Ces données sont publiques et exploitables. En effet, le bruit lié aux transports fait l'objet d'une directive européenne du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement appelée *Environmental Noise Directive* (END, 2002/49/CE)⁵, qui exige des pays membres de l'Union Européenne la mesure, la cartographie (Cartes de Bruit Stratégiques ou CBS) et la publication de l'exposition au bruit des transports et de l'industrie, ainsi que la mise en place de mesures de prévention et de réduction du bruit lorsque nécessaire.

2.1.1.1. Les indicateurs de niveau sonore : L_{den} et L_{night}

Lorsque le niveau sonore est objectivable et quantifiable, plusieurs indicateurs de niveau sonore exprimés en décibel pondéré A (dBA) sont disponibles, faisant notamment l'objet d'une norme⁶. Dans le cas du bruit des transports, les indicateurs devant être utilisés de manière obligatoire ont été définis dans l'END afin de disposer d'une évaluation harmonisée de l'exposition au bruit au sein des différents pays soumis à la directive. Ces indicateurs sont L_{den} et L_{night} :

- L_{den} représente le niveau sonore moyen pondéré sur une période de 24h, évalué sur une année. Il s'agit d'une moyenne pondérée des indicateurs L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} qui correspondent respectivement aux niveaux sonores moyens équivalents sur une année pour le jour, la soirée, et la nuit, en appliquant des pondérations de +5 dB au $L_{evening}$ et +10 dB au L_{night} . Cette pondération permet de tenir compte de la sensibilité plus forte des populations au bruit lorsque celui-ci se produit en soirée ou la nuit par rapport à la période de jour.
- Les indicateurs L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} sont quant à eux évalués sur une période spécifique : le jour (6h-18h), la soirée (18h-22h) et la nuit (22h-6h), et correspondent aux niveaux sonores moyens équivalents respectivement sur ces périodes, exprimés en décibels pondérés selon le filtre A afin de tenir compte des variations de la sensibilité auditive en fonction des différentes fréquences (i.e. à même intensité sonore, l'oreille humaine percevra mieux les fréquences medium autour de 1000-4000 Hz que les fréquences graves (<250 Hz) ou très aiguës).

En ce qui concerne le bruit des transports, les niveaux sonores émis par le trafic routier, ferroviaire et aérien en L_{den} et L_{night} font l'objet de recommandations de la part de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), qui conseille un seuil de niveau sonore à ne pas dépasser pour chaque type de trafic, mais également de valeurs limites réglementaires prises par la France, en application notamment dans le cadre de l'END, qui définissent le seuil de niveau sonore maximal qui ne doit pas être dépassé selon la loi.

Tableau 2 : Valeurs recommandées et réglementaires pour L_{den} et L_{night} , par mode de transport.

Indicateur de niveau sonore	Source de bruit	Recommandation de l'OMS (objectifs de qualité) (WHO, 2018)	Valeur limite supérieure réglementaire en France ⁷
L_{den}	Trafic routier	53	68
	Trafic ferroviaire	54	73 (pour les voies ferrées conventionnelles) 68 (pour les lignes à grande vitesse)
	Trafic aérien	45	55

⁵ Directive 2002/49/EC.

⁶ ISO 1996-1:2016.

⁷ Voir l'article 7 de l'arrêté du 4 avril 2006 : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006053526/>

L_{night}	Trafic routier	45	62
	Trafic ferroviaire	44	65 (pour les voies ferrées conventionnelles) 62 (pour les lignes à grande vitesse)
	Trafic aérien	40	Pas de valeur limite

2.1.1.2. L'exposition de la population française au bruit des transports

La distribution géographique de l'exposition au bruit, exprimée en nombre de personnes exposées par intervalle de 5 dB(A) pour les indicateurs L_{den} et L_{night} , peut être recueillie à partir des données issues des cartes stratégiques de bruit élaborées et publiées dans le cadre de l'END. L'END demande ainsi de reporter, obligatoirement, le nombre de personnes exposées pour les niveaux sonores au-dessus de 55 dB(A) selon l'indicateur L_{den} , et au-dessus de 50 dB(A) selon l'indicateur L_{night} , tout en laissant la possibilité de reporter également le décompte des populations exposées à des niveaux inférieurs à ces seuils. En outre, les attendus de l'END sont :

1. La liste des structures entrant dans le champ d'application de la directive 2002/49/CE : la directive européenne identifie plusieurs structures provoquant une forte exposition au bruit à leur abord : il s'agit de voies routières et ferroviaires, d'agglomérations et d'aéroports, et qui satisfont à des critères qui seront détaillés ultérieurement. Avant l'établissement des documents réglementaires, la Commission européenne doit être avertie des structures qui entreront dans le champ d'application de la directive 2002/49/CE.
2. Le diagnostic territorial, à travers la cartographie pour les structures préalablement citées : il s'agit ensuite d'établir un diagnostic territorial basé sur une cartographie, appelée Carte de Bruit Stratégique (CBS). Cette cartographie permet d'identifier les zones soumises à une forte exposition au bruit, dont les riverains doivent être protégés, mais également d'identifier des zones de calme, caractérisées par leur faible exposition au bruit et qu'il convient de sauvegarder.
3. Le plan d'actions : sur la base de ce diagnostic, les autorités compétentes en matière de lutte contre les nuisances sonores doivent proposer des mesures d'évitement, de prévention ou de réduction des nuisances sonores. Ces mesures sont détaillées dans un Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE).

Dans les cartes, l'exposition au bruit est présentée de manière distincte pour le bruit émis par le trafic routier, ferroviaire et aérien, et pour les deux indicateurs L_{den} et L_{night} . L'exposition de la population française pour l'ensemble du territoire est couverte par les données pour :

- Les agglomérations de plus de 100 000 habitants,
- Les axes routiers de plus de 3 000 000 de véhicules par an,
- Les voies ferrées de plus de 30 000 passages de train par an,
- Les aéroports de plus de 50 000 mouvements (décollage et atterrissage) par an.

Les cartes stratégiques du bruit sont produites de manière distincte pour les agglomérations et les grandes infrastructures. Au titre de l'échéance 3 de la directive européenne, 45 agglomérations en France (24,8 millions d'habitants) sont concernées, ce qui représente 37% de la population française. Pour les besoins de cette étude, les dernières données disponibles issues des cartes stratégiques de bruit (mises à jour en partie le 19 juin 2018) ont été extraites de la base de données européenne Eionet et des compléments ainsi que des extrapolations ont été apportés afin de disposer d'une évaluation la plus exhaustive possible des expositions au bruit. Ce travail a été coordonné par BruitParif et a comporté trois étapes successives :

1. Recueil des données d'exposition au bruit des transports pour les agglomérations
2. Recueil des données d'exposition au bruit des transports pour les grandes infrastructures hors grandes agglomérations
3. Extrapolation pour les populations habitant en zone urbaine mais hors grandes agglomérations

Les étapes de recueil et d'extrapolation des données sont détaillées en annexe A. Au total, les données d'exposition ainsi consolidées ont permis de couvrir la totalité de la population française : 55% de la population (36 millions) est couverte par les données robustes issues d'Eionet ou de données disponibles sur internet, éventuellement complétées et retravaillées par les organismes, les extrapolations réalisées pour les zones urbaines qui ne disposent pas de données issues des cartes stratégiques de bruit ayant porté sur 45% de la population (près de 30 millions).

2.1.2. Les effets du bruit sur la santé : les coûts sanitaires

Dans la partie qui suit sont décrits les coûts sanitaires liés au bruit des transports, distingués en deux catégories : les coûts sanitaires non tangibles, qui correspondent à des coûts non marchands liés aux effets négatifs directs du bruit sur la santé humaine, et les coûts sanitaires tangibles, qui correspondent à des coûts marchands de soins et indemnités liés aux effets sanitaires directs.

2.1.2.1. Les coûts sanitaires non tangibles

La littérature démontre que le bruit, notamment à des niveaux élevés et par une exposition prolongée, a des effets délétères sur la santé humaine. Au-delà des effets sur l'audition (surdité, acouphènes), les effets suivants sont reconnus et ont été sélectionnés dans le cadre de cette étude à partir d'une revue de la littérature :

- Les perturbations du sommeil,
- Les effets cardiovasculaires (en particulier les cardiopathies ischémiques, les accidents vasculaires cérébraux et l'hypertension),
- Les troubles métaboliques (l'obésité et le diabète),
- Les troubles de la santé mentale (dans le cas présent, l'anxiété),
- Les difficultés d'apprentissage (qui sont considérées par l'OMS (WHO, 2018) comme un effet sanitaire),
- La gêne.

Les effets sanitaires cités, et dont la description est donnée en annexe B, correspondent à des effets extra-auditifs. Les effets sur l'audition ne sont en effet pas retenus pour le bruit des transports : en effet, la perte d'audition, ou les acouphènes, ont lieu lors d'une exposition prolongée à des niveaux sonores supérieurs à 80 dB, niveau rarement atteint en situation d'exposition au bruit des transports.

Les coûts des effets sanitaires ont pu être estimés à partir d'une méthodologie en 4 étapes :

1. Les données d'exposition au bruit consolidées sur la France entière (voir paragraphe 2.1.1.2), ont permis d'estimer le nombre de personnes exposées pour chaque plage de 5 dB(A), à partir de 45 dB(A) pour L_{den} , et à partir de 40 dB(A) pour L_{night} .
2. Parmi les personnes exposées au bruit, le nombre de personnes affectées pour chaque effet sanitaire sélectionné peut être estimé de deux manières différentes selon les effets :
 - a. Soit directement à partir de courbes dose-réponse (ou relation dose-effet, selon les terminologies) permettant de déterminer un risque absolu en fonction d'une exposition exprimée selon les indicateurs L_{den} ou L_n (méthode appliquée pour la gêne, les perturbations du sommeil, l'hypertension et les difficultés d'apprentissage),
 - b. Soit à partir des valeurs d'augmentation du risque relatif d'incidence en fonction de l'augmentation de l'exposition au bruit (dans le cas des cardiopathies ischémiques et de l'AVC, du diabète et de l'obésité) ou encore à partir de la connaissance du rapport de cotes (*odd ratios*) (cas de l'anxiété). A partir du risque relatif d'incidence ou de l'*odd ratio*, et du risque global d'incidence pour la population générale disponible dans les données de l'Assurance Maladie, il est alors possible d'estimer la fraction de personnes affectées attribuable à l'effet du bruit.
3. A l'aide d'un coefficient d'incapacité DW (*disability weight*), défini par l'OMS (WHO, 2018) ou l'OCDE (OECD, 2019) et décrivant la part d'une année de vie en bonne santé (DALY) perdue à cause de l'effet sanitaire considéré sur une année, il est possible de déduire du nombre de personnes affectées le nombre d'années de vie en bonne santé perdues à cause de cet effet.

4. Enfin, le nombre d'années de vie en bonne santé perdues peut être monétarisé à l'aide de la valeur d'une année de vie en bonne santé, définie par la Commission Quinet (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013).

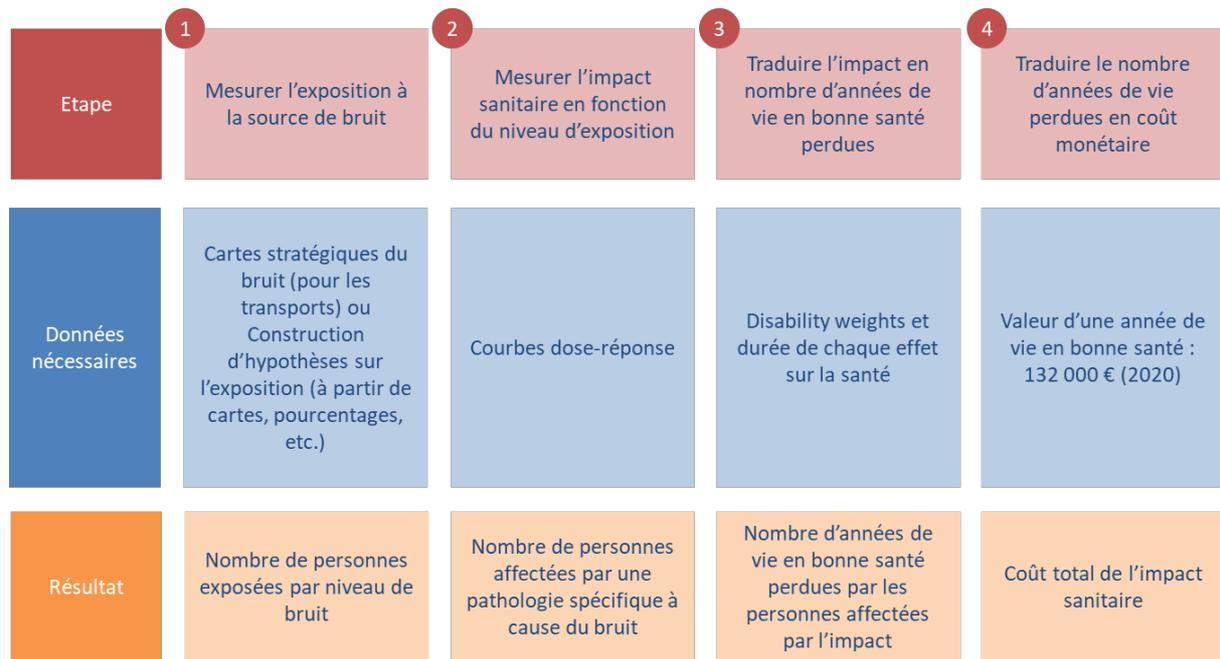


Figure 4 : Méthodologie de calcul des coûts sanitaires non tangibles du bruit. Source : I Care & Consult.

Dans l'évaluation des coûts sanitaires, seuls les effets sanitaires pour lesquels une relation de cause à effet a été démontrée par la littérature sont estimés. En particulier, pour la gêne, les perturbations du sommeil, les maladies cardiovasculaires et les difficultés d'apprentissage, il existe une littérature dense et un consensus autour de la significativité des liens entre le bruit des transports et les effets sanitaires, en particulier pour les trafics routier et aérien. Pour le trafic ferroviaire, certaines approximations ont été réalisées en appliquant au bruit ferroviaire les résultats de la littérature sur le bruit aérien, s'appuyant sur l'hypothèse selon laquelle les bruits aérien et ferroviaire sont relativement proches de par leur caractère événementiel (hypothèse formulée à l'aide des experts du CNB). En revanche, pour les autres effets sanitaires (l'obésité, le diabète et l'anxiété), il existe encore peu de travaux académiques sur les risques en lien avec l'exposition au bruit, et par conséquent peu de consensus. C'est pourquoi, sur ces derniers coûts, les résultats présentés dans cette étude sont à manipuler avec précaution. Les courbes dose-réponse, les données de risques relatifs ou d'*odd ratios* pour l'estimation du nombre de personnes affectées par les effets sanitaires du bruit, ainsi que les coefficients d'incapacité (*disability weights*) pour l'estimation du nombre d'années de vie en bonne santé perdues utilisés dans le cadre de cette étude sont issus de différentes études épidémiologiques qui sont détaillées en annexe (Tableau 7).

Les résultats de l'estimation des coûts sanitaires liés au bruit des transports en nombre de personnes affectées et nombre d'années de vie en bonne santé perdues par effet sont détaillés dans le Tableau 3. Au total pour les trois sources de bruit confondues, 9,8 millions de personnes sont affectées par la gêne, et 3,3 millions par les perturbations du sommeil, ce qui représente respectivement 196 000 DALY et 231 000 DALY environ. L'obésité, exclusivement quantifiée pour le bruit routier, est le 3ème effet sanitaire le plus important avec environ 1,4 millions de personnes affectées, ce qui cause la perte de 136 000 DALY.

Pour l'ensemble des effets sanitaires, près de 694 000 DALY sont perdues chaque année à cause des morbidités générées par le bruit des transports. Le bruit du trafic routier est responsable de 74% de cet impact, suivi par le trafic aérien (15%) puis le trafic ferroviaire (11%).

Tableau 3 : Estimation du nombre d'années de vie en bonne santé perdues et de personnes affectées par les différents effets sanitaires à cause du bruit des transports, par mode de transport et par effet sanitaire dans l'ordre décroissant du nombre de personnes affectées.

Nombre d'années de vie en bonne santé (Nombre de personnes affectées)	Gêne	Perturbations du sommeil	Obésité	Maladies cardiovasculaires (morbidités) ⁸	Diabète	Troubles de la santé mentale	Difficultés d'apprentissage
Transport routier	164 006 DALY (8 200 304 personnes)	156 590 DALY (2 236 997 personnes)	136 016 DALY (1 356 436 personnes)	4 570 DALY (13 391 personnes)	2 233 DALY (45 563 personnes)	50 828 DALY (350 535 personnes)	Les résultats de l'étude RANCH (Stansfeld, 2005) démontrent l'absence de lien significatif.
Transport ferré	27 481 DALY (1 374 061 personnes)	48 694 DALY (695 625 personnes)	Les travaux sur l'obésité (Foraster, 2018) démontrent l'absence de lien significatif.	554 DALY (1 343 personnes)	Les travaux sur le diabète (Eze, 2017) démontrent l'absence de lien significatif.	La méta-analyse sur l'anxiété (par approximation) (Lan, 2020) démontre l'absence de lien significatif.	Il n'existe pas suffisamment de données robustes sur le sujet pour estimer un lien significatif.
Transport aérien	4 733 DALY (236 643 personnes)	26 206 DALY (374 370 personnes)		71 493 DALY (610 626 personnes)				247 DALY (5 048 personnes)	259 DALY (43 219 personnes)
Total	196 220 DALY (9 811 007 personnes)	231 489 DALY (3 306 992 personnes)	136 016 DALY (1 356 436 personnes)	76 606 DALY (625 360 personnes)	2 480 DALY (50 610 personnes)	50 828 DALY (350 535 personnes)	259 DALY (43 219 personnes)

En appliquant une valeur d'une année de vie en bonne santé de 132 000 € définie pour l'année 2020 par la Commission Quinet (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013), les coûts de la gêne, des perturbations du sommeil et de l'obésité représentent respectivement 25,9 milliards, 30,6 milliards et 18,0 milliards d'euros, et forment plus de 81% des coûts sanitaires liés au bruit des transports, d'environ 91,6 milliards d'euros. Les coûts restants se répartissent comme suit :

- Les maladies cardiovasculaires ont un coût de 10,1 milliards d'euros,
- Les troubles de la santé mentale représentent 6,7 milliards d'euros,
- Le diabète a un coût de 327,0 millions d'euros,
- Les difficultés d'apprentissage ont un coût de 34,0 millions d'euros.

A ces coûts liés aux morbidités s'ajoutent les coûts de la mortalité prématurée liée aux maladies cardiovasculaires⁹ causées par le bruit. Au total, en s'appuyant sur les courbes dose-réponse proposées par l'OMS pour le bruit routier (le lien de cause à effet pour les bruits ferroviaire et aérien n'étant pas démontré), nous estimons environ 2 400 décès prématurés causés par le bruit routier, ce qui revient à un coût de 8,3 milliards d'euros, en utilisant la valeur statistique de la vie de près de 3,5 millions d'euros pour l'année 2020, fixée par la Commission Quinet (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013).

⁸ Cardiopathies ischémiques, AVC, hypertension.

⁹ Cardiopathies ischémiques.

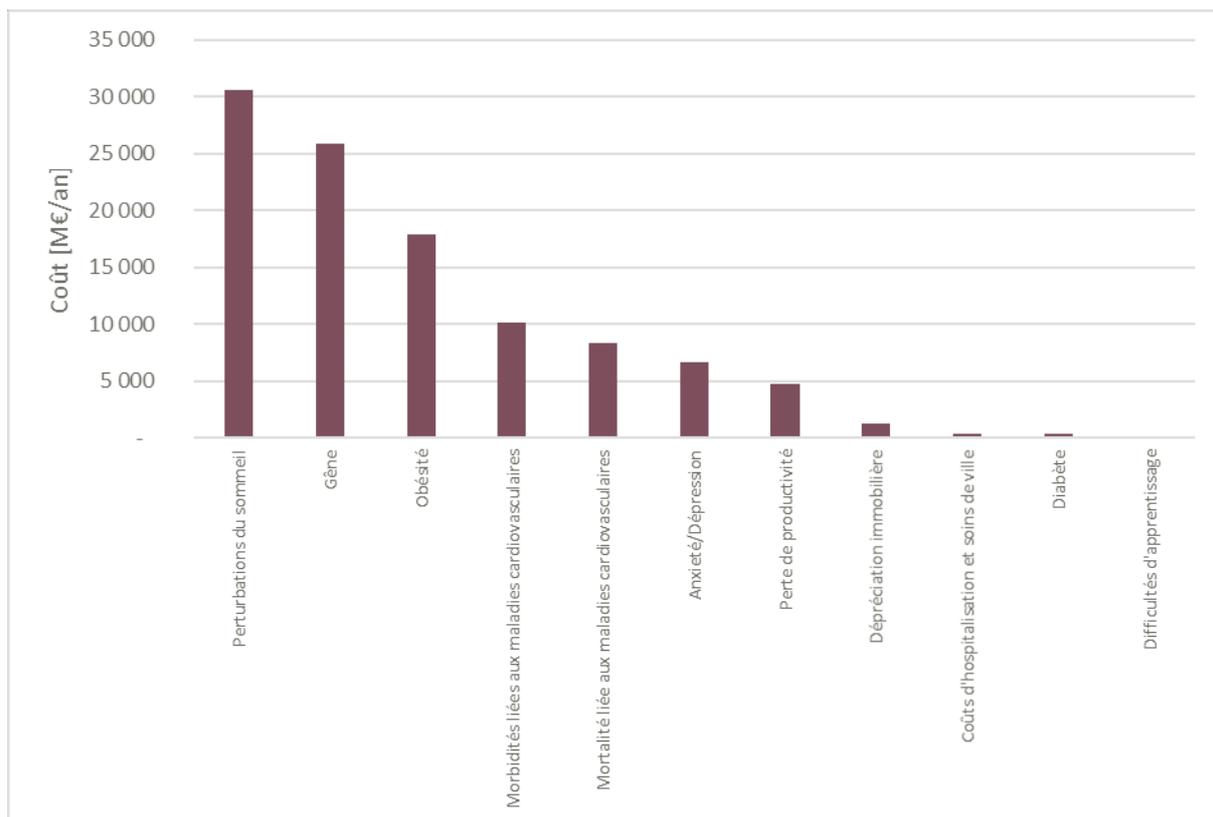


Figure 5 : Coûts sanitaires liés au bruit des transports dans l'ordre décroissant.

Les coûts sanitaires non tangibles des bruits des transports représentent au total 100 milliards d'euros.

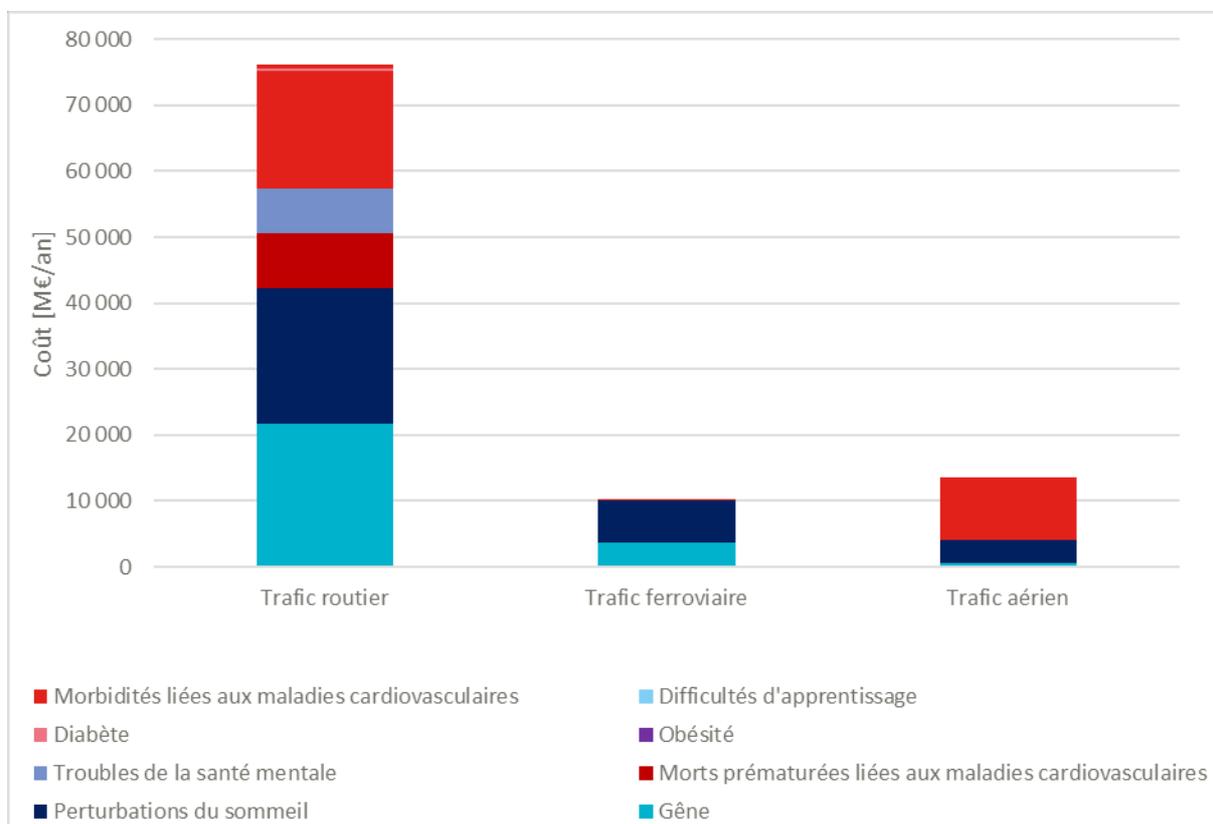


Figure 6 : Estimation des coûts sanitaires du bruit des transports, par mode de transport et par effet sanitaire.

Le bruit du trafic routier est responsable d'un coût sanitaire total d'environ 76,2 milliards d'euros, dont notamment de la totalité des coûts de l'obésité (18,0 milliards), et de la majorité des coûts de la gêne (21,6 milliards) et des coûts des perturbations du sommeil (20,7 milliards). Le bruit du trafic aérien représente quant à lui environ 13,6 milliards d'euros, majoritairement à cause des coûts liés à l'hypertension d'environ 9,4 milliards d'euros et aux perturbations du sommeil (3,5 milliards d'euros). Enfin, le bruit du trafic ferroviaire compte pour 10,1 milliards d'euros, principalement à cause des coûts des perturbations du sommeil (6,4 milliards d'euros) et de la gêne (3,6 milliards d'euros).

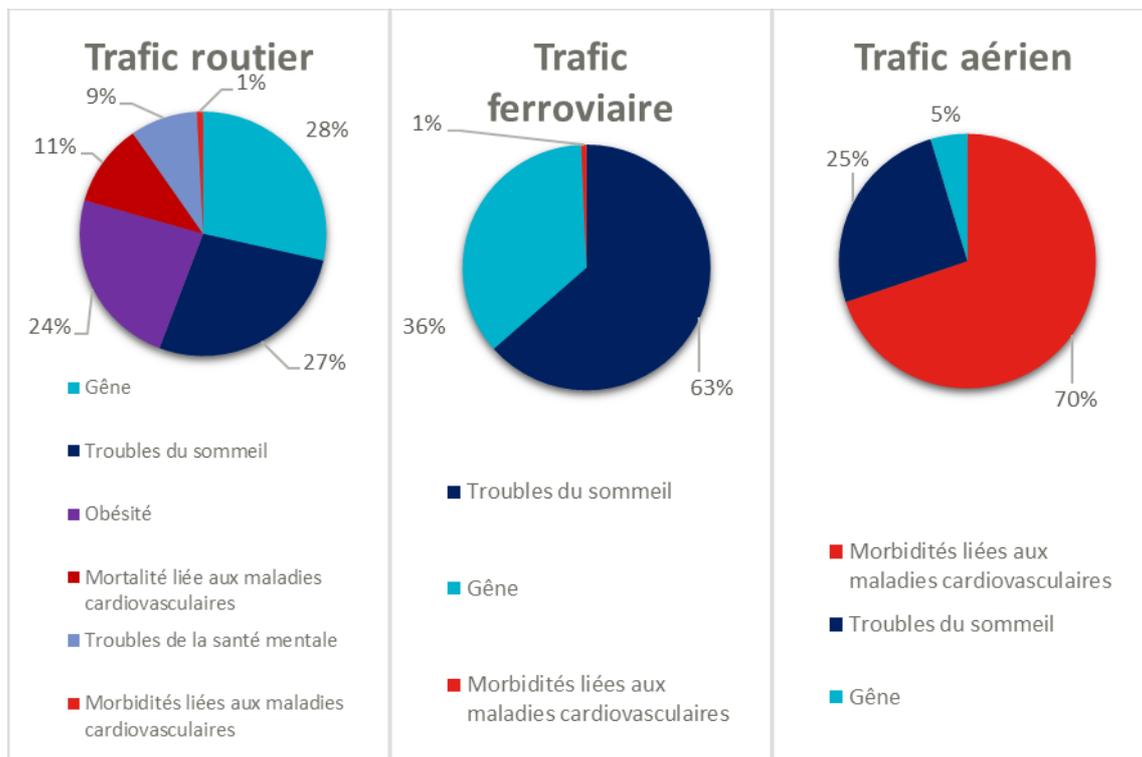


Figure 7 : Visualisation des proportions des différents coûts sanitaires non tangibles par mode de transport.

2.1.2.3. Les coûts sanitaires tangibles

En plus des années de vie en bonne santé perdues à cause des effets sanitaires directs, les effets du bruit sur la santé ont aussi un coût lié aux indemnités et au traitement des pathologies induites. Parmi ces coûts sont considérés ici la médication et l'hospitalisation, qui sont des coûts financiers supportés par la collectivité (notamment à travers l'assurance maladie).

Les coûts d'hospitalisation ont été estimés à partir des effets cardiovasculaires : en se basant sur les données de [l'Observatoire Suisse de la Santé](#), environ 16% des maladies cardiovasculaires mènent à une hospitalisation. D'après les données hospitalières de [SCANSanté](#), le coût moyen d'une hospitalisation en service de cardiologie est de 4 209 € (en 2018). A partir de l'estimation du nombre de personnes affectées par une maladie cardiovasculaire liée au bruit des transports (cardiopathie ischémique, AVC ou hypertension), qui est d'environ 625 000 personnes (dont 611 000 personnes affectées d'hypertension à cause du bruit aérien, et 10 000 personnes ayant eu un AVC à cause du bruit routier), le coût des hospitalisations s'élève ainsi à 421 millions d'euros pour les transports routier, ferroviaire et aérien.

En ce qui concerne la médication, la littérature démontre un lien entre le niveau de gêne liée au bruit et la consommation d'anti-dépresseurs, d'anxiolytiques et d'hypnotiques. Les travaux utilisés pour les besoins de l'étude démontrent en particulier un lien significatif entre le niveau de gêne liée au bruit routier et la consommation d'anxiolytiques (avec un *odd ratio* égal à 1,41), mais ne prouvent pas de lien pour le bruit ferroviaire et le bruit aérien (Okokon, 2018). Au total, pour les 8,2 millions de personnes fortement gênées par

le bruit routier, 287 000 sont estimées consommer des médicaments anxiolytiques spécifiquement à cause de cette gêne, ce qui représente un coût total de 3,5 millions d'euros¹⁰.

2.1.3. Les coûts non sanitaires

Au-delà des effets sur la santé humaine, la littérature démontre que le bruit peut aussi avoir des conséquences économiques, en générant des pertes de valeur économique ou des ralentissements dans la production.

2.1.3.1. Les conséquences du bruit sur la productivité

Le bruit au travail est réputé pour avoir des conséquences sur la productivité, provoquant des manques de compréhension et la déconcentration des employés. Le bruit des transports n'a pas quant à lui de conséquences directes en général sur la concentration ou la compréhension sur les lieux d'activité professionnelle, mais génère des perturbations du sommeil au domicile des actifs, qui peut avoir des conséquences indirectes sur leur productivité au travail à cause de la fatigue induite. L'estimation des coûts du bruit des transports sur la productivité se fait à partir de l'hypothèse suivante : pour l'ensemble des personnes affectées de perturbations du sommeil, la perte de productivité est d'environ 2,4% (Hafner, M., Stepanek, M., Taylor, J., Troxel, W. M., & Van Stolk, C., 2017). D'après les résultats concernant les effets sanitaires, pour l'ensemble des transports (routier, ferroviaire, aérien), environ 3,3 millions de personnes souffrent de perturbations du sommeil à cause du bruit. En supposant 1 600 heures de travail annuel par personne (l'équivalent d'un emploi à temps plein), et un coût horaire de 37,3€/h (en 2019, d'après l'INSEE), la perte de productivité liée au manque de sommeil coûte au total 4,7 milliards d'euros.

2.1.3.2. La dévalorisation du patrimoine

Les nuisances sonores à proximité des habitations ont des conséquences négatives sur la qualité de vie des riverains, ce qui peut se traduire par une perte de valeur des biens immobiliers. De nombreuses études s'intéressent à la dépréciation immobilière causée par le bruit, et mesurent la relation statistique entre le niveau sonore et le pourcentage de perte de valeur immobilière. Pour les besoins de cette étude, le calcul de la perte de valeur immobilière s'est effectué en deux étapes :

1. La première étape a consisté à estimer la valeur totale immobilière exposée au bruit, à l'instar de l'exposition des personnes. Les données d'exposition par niveau de bruit des habitations n'étant pas directement disponibles, elles ont été estimées à partir de l'exposition des personnes issues des cartes stratégiques du bruit, et du montant total des transactions immobilières par agglomération et par département, provenant des bases de données agrégées de Demandes de Valeur Foncière. Le calcul a consisté à appliquer la distribution de l'exposition des personnes aux différents niveaux de bruit aux transactions immobilières, en faisant l'hypothèse que les biens immobiliers sont répartis sur le territoire de la même façon que les personnes. Au total, les transactions immobilières d'appartements et de maisons ayant eu lieu en 2019 dans les agglomérations et autour des grandes infrastructures des cartes stratégiques du bruit représentent 149 milliards d'euros, soit de l'ordre de 90% des transactions totales sur le territoire français (163 milliards).
2. La seconde étape a été d'appliquer les fonctions de dépréciation immobilière aux transactions en fonction de leur exposition au bruit. Les fonctions sélectionnées sont issues d'études statistiques, spécifiques à chaque mode de transport et réalisées sur le territoire français :
 - Sur la métropole de Nantes pour la dépréciation immobilière liée au bruit routier (Le Boennec, 2017), les analyses statistiques démontrent une dépréciation de 0,035% pour chaque augmentation d'1% du niveau sonore¹¹,
 - En Seine-Saint-Denis pour le bruit ferroviaire (Sedoarisoa N. D., 2017), la dépréciation augmente de 5% à 10% en fonction du niveau de bruit, à partir de 60 dB,

¹⁰ En supposant un coût moyen de 12 €, pour un traitement de 8 semaines.

¹¹ Nous considérons le seuil de bruit à 53 dB, à partir des recommandations de l'OMS.

- Autour de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle pour le bruit aérien (Sedoarisoa, 2017), la perte de valeur peut aller de 3% à 22% selon le niveau de bruit, au-dessus de 50 dB.

La dépréciation immobilière liée aux nuisances sonores est majoritairement liée au bruit routier : sur une valeur totale de 59,5 milliards d'euros de transactions exposées à des niveaux de bruit routier supérieurs à 45 dB, la décote est de 1,1 milliard d'euros. Le bruit ferroviaire, qui concerne 19,8 milliards d'euros de transactions, génère une décote de 22 millions d'euros, et le bruit aérien, une décote de 109 millions d'euros sur 5,2 milliards d'euros de transactions exposées à des niveaux sonores supérieurs à 45 dB(A).

Il convient de préciser que l'estimation de la dépréciation immobilière liée au bruit dépend fortement des hypothèses de calcul, et notamment des données immobilières. Nous avons fait le choix d'appuyer nos calculs sur les données de transactions immobilières annuelles, en supposant que les transactions immobilières se répartissent de la même façon que la population à l'intérieur d'un territoire. Néanmoins, on pourrait supposer qu'il y ait plus de transactions au niveau des biens immobiliers les plus exposés au bruit justement à cause des nuisances sonores provoquant plus de départs. En outre, l'estimation de la perte de valeur immobilière totale à cause du bruit des transports est extrêmement sensible au choix des fonctions de dépréciation. Pour la présente étude, nous avons fait le choix de nous baser sur des travaux récents et réalisés en France. Les résultats obtenus sont relativement conservateurs, en comparaison avec les résultats obtenus en s'appuyant sur d'autres travaux, réalisés à l'étranger. En particulier, l'analyse de Beimer et Maenning sur les biens immobiliers à Berlin (Beimer, 2017) trouvent des coefficients de dépréciation plus élevés : -0,589% par augmentation d'un dB pour le bruit routier, -0,575% pour le bruit ferroviaire et -1,20% pour le bruit aérien. A titre de comparaison, en se basant sur ces hypothèses, la décote des prix immobiliers totale s'élèverait alors à : 2,9 milliards d'euros à cause du bruit routier, 413 millions d'euros à cause du bruit ferroviaire, et 94 millions d'euros à cause du bruit aérien. Par conséquent, nous pouvons supposer que la valeur immobilière totale perdue se situe entre ces deux estimations.

2.1.4. Le coût social du bruit des transports

Au total, le coût social du bruit du bruit des transports représente les deux-tiers (67%) de l'ensemble du coût social du bruit en France, pour un coût annuel total de 106,3 milliards d'euros. Les coûts sanitaires non tangibles en représentent la majeure partie : 100,0 milliards d'euros pour les trois modes de transport confondus, auxquels s'ajoutent environ 425 millions d'euros pour les coûts sanitaires tangibles. Les coûts non sanitaires représentent quant à eux près de 6,0 milliards d'euros.

Le trafic routier est le premier responsable du coût social du bruit des transports : au total, 80,5 milliards d'euros de coûts sociaux sont générés par ce seul mode de transport. Les trafics aérien et ferroviaire sont quant à eux responsables de 14,6 milliards et 11,2 milliards d'euros respectivement.

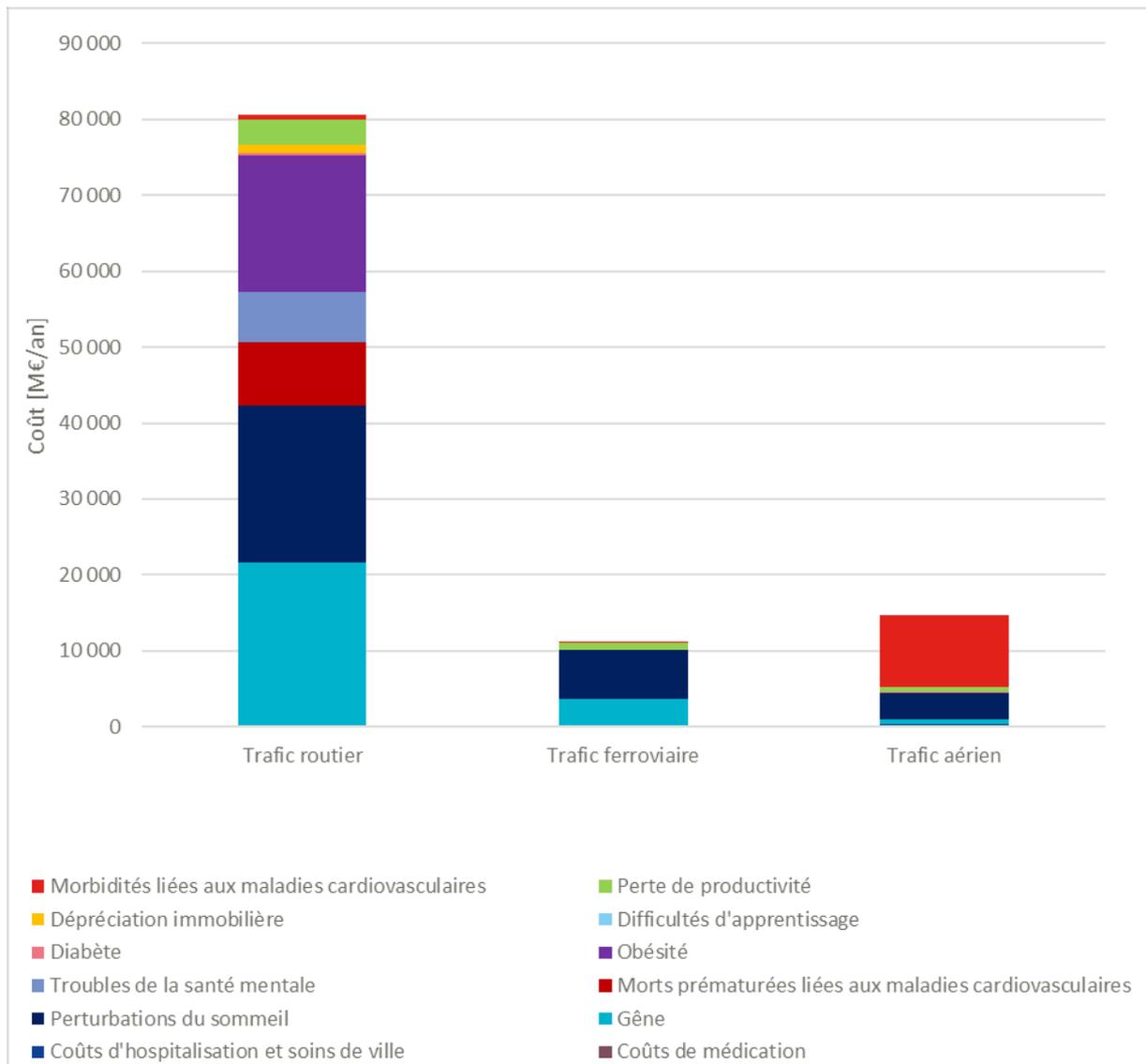


Figure 8 : Estimation de l'ensemble des coûts du bruit des transports, par mode de transport et par type de coût.

2.2. Le bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire

En plus du bruit environnemental, émis par les transports, le voisinage ou bien la construction, l'activité professionnelle, hospitalière ou scolaire peut aussi être source de nuisances sonores importantes : dans le milieu professionnel, le bruit peut provenir des engins et machines utilisés dans les secteurs agricoles et industriels, ou des interactions entre collègues et déplacements dans les open-spaces par exemple pour le secteur tertiaire, dans le milieu hospitalier, les nuisances sonores proviennent principalement des équipements de support médical et des interactions et déplacements des soignants, et dans le milieu scolaire, le bruit est émis par les élèves et le personnel lors d'interactions et de déplacements.

2.2.1. Le bruit en milieu professionnel

Le bruit en milieu professionnel, qui désigne ici le bruit en usine, exploitation agricole, mais aussi dans les activités tertiaires, fait l'objet de réglementations et de nombreuses actions de prévention. L'effet du bruit au travail le plus grave est notamment la perte d'audition, ou surdité, reconnue comme maladie professionnelle depuis 1963. Dans le cadre de cette étude, nous considérons trois types de coûts sociaux liés au bruit en milieu professionnel :

- Les coûts liés à la surdité et aux accidents du travail générés par le bruit au travail, en tant que coûts sanitaires tangibles,

- Les coûts liés à la gêne subie par les travailleurs exposés au bruit, en tant que coûts sanitaires non tangibles,
- La perte de productivité causée par les niveaux sonores trop élevés au travail.

Les effets sur l'audition (surdité et accidents du travail) sont considérés comme des coûts sanitaires tangibles : en effet, le coût de la surdité et des accidents a été mesuré à partir des coûts supportés par les agents pour les indemnités et le traitement de la surdité en tant que maladie professionnelle, et les indemnités et absences liés aux séquelles de l'accident du travail, et non à partir de coefficients d'incapacité et d'années de vie en bonne santé perdues comme c'est le cas pour les coûts sanitaires non tangibles¹². Les autres effets sanitaires envisageables (par exemple, les maladies cardiovasculaires, les perturbations du sommeil ou encore les troubles dépressifs) n'ont pas été estimés dans cette étude en l'absence de données suffisantes pour la formulation d'hypothèses sur le lien entre le bruit au travail et les différentes pathologies. En effet, la plupart des études épidémiologiques s'intéressent à l'exposition au bruit au domicile et non au travail, or il est difficile de supposer que les effets sont transposables étant donné que l'exposition est différente. Cependant, l'absence de quantification de ces effets dans cette étude ne signifie pas l'absence de coûts sanitaires : il est probable que ces coûts existent et soient non négligeables.

2.2.1.1. Le coût de la perte d'audition et des accidents du travail causés par le bruit

Le bruit au travail peut avoir deux conséquences directes : une exposition prolongée à des niveaux sonores au-delà de 80 dB peut générer des troubles auditifs, tels que des acouphènes voire une perte d'audition, et les niveaux sonores élevés peuvent couvrir les sons et alarmes prévenant d'un danger imminent et ainsi favoriser la survenue d'accidents. Deux méthodes sont utilisées pour calculer ces coûts :

- Les coûts de la perte d'audition correspondent aux coûts liés à l'indemnisation et au traitement de la surdité en tant que maladie professionnelle : d'après la Direction Générale du Travail en 2018, 608 nouveaux cas de surdité ont été reconnus en tant que maladie professionnelle sur l'année 2017 (Direction Générale du Travail, 2018), pour un coût moyen de 100 000 € d'indemnisations par la Sécurité sociale. Le coût total s'élève donc à 61 millions d'euros annuels. Il est à noter que ce coût est en constante diminution, le nombre de nouveaux cas de surdité professionnelle diminuant chaque année (704 cas en 2016, 608 en 2017, et 558 en 2018).
- En cas d'exposition à des niveaux sonores élevés au travail, le risque d'accident est de 8,6% (environ 24% plus élevé que le risque d'accident sans exposition au bruit) (DARES, 2007). En moyenne sur l'ensemble des secteurs d'activités (qui représentent près de 29 millions d'actifs), 31,6% des travailleurs sont exposés au bruit (Direction Générale du Travail, 2018), ce qui génère par conséquent environ 794 000 accidents du travail. Le coût total des accidents du travail généré par l'exposition au bruit s'élève à 3,6 milliards d'euros, en supposant un coût moyen de 4 500 € par accident du travail pour la Sécurité sociale.

2.2.1.2. Le coût de la gêne du bruit au travail

Contrairement aux effets sanitaires liés aux bruits des transports, notre revue de la littérature ne nous a pas permis d'identifier de courbe dose-réponse ou estimation du risque relatif pour la gêne liée au bruit en milieu professionnel. Une approximation du coût de la gêne a donc été réalisée à partir des résultats d'une enquête sur le bruit, la santé auditive et la qualité de vie au travail (IFOP, JNA Association, 2019). D'après les résultats de l'enquête, 19% des actifs se disent souvent gênés par le bruit au travail, et nous pouvons estimer dans 43% des cas le bruit provient d'une source externe au travail (par exemple, le bruit des transports alentours). Par conséquent, parmi les 29 millions d'actifs, nous estimons en appliquant les pourcentages précédents qu'environ 3 millions de personnes ressentent une forte gêne liée au bruit au travail, ce qui génère la perte de 63 500 DALY environ, et représente un coût de 8,4 milliards d'euros, en prenant l'hypothèse d'une valeur de 132 000 € par année de vie (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013).

¹² Il est possible de quantifier le coût non tangible de la perte d'audition en disposant du nombre de personnes souffrant d'une surdité liée au bruit au travail et d'un coefficient d'incapacité, mais en l'absence de ces données, la quantification n'a pas été faite dans la présente étude.

2.2.1.3. La perte de productivité liée au bruit au travail

La littérature académique relève une perte de productivité d'environ 1,9% à cause des conséquences directes de l'exposition au bruit au travail (Si, 2020). En appliquant cette perte de productivité à 31,6% d'actifs exposés au bruit au travail (Direction Générale du Travail, 2018) et en supposant 1 600 heures de travail annuel par personne (l'équivalent d'un emploi à temps plein), et un coût horaire de 37,3€/h (en 2019, d'après l'INSEE), la perte de productivité liée au bruit représente plus de 10,5 milliards d'euros par an.

2.2.2. Le bruit en milieu hospitalier

Les impacts du bruit dans les hôpitaux ont été documentés à de nombreuses reprises dans la littérature académique et dans des rapports officiels, tant pour les patients (Souet, 2016; Kurmann, 2011) que pour le personnel soignant (Arabaci & Önler, 2021; Katz, 2014; Kurmann, 2011; Enser, et al., 2017). L'exposition des patients au bruit se traduit, entre autres, par une augmentation du stress et une perturbation du sommeil, une augmentation des délais de récupération et de cicatrisation, ainsi que par des infections post-opératoires prolongeant les séjours hospitaliers. Dans cette présente étude, deux types d'impacts ont été étudiés :

- 1. Les bruits liés à l'augmentation des Infections Associées aux Soins (ISO) :** il a été démontré que le bruit en milieu hospitalier était significativement associé à une occurrence d'ISO chez les patients hospitalisés (Kurmann, 2011). Selon Santé Publique France (SPF, 2020) 1,64% des hospitalisations sont associées à une ISO, qui augmentent la durée d'hospitalisation de 7 à 13 jours de manière générale (Kurmann, 2011), soit 309 960 séjours (d'une durée initiale de 5,5 jours) ayant mené à une ISO en France en 2019, (ATIH, 2019). Le coût moyen d'un séjour hospitalier en 2018 s'élevant à 2165 euros¹³, nous estimons le coût d'une journée à l'hôpital à 394 euros (pour une durée moyenne de séjour de 5,5 jours). En prenant l'hypothèse que la survenue d'une ISO augmente un séjour hospitalier de 10 jours supplémentaires (moyenne de 7 et 13 jours), et que 5% de ces ISO sont liées au bruit (en l'absence d'étude spécifique attestant de ce pourcentage), nous obtenons un coût total de 61 millions d'euros annuels du fait de la survenue d'infections associées aux soins liées au bruit.
- 2. Coûts liés au stress et à la perte d'intelligibilité de la parole des praticiens/personnel soignant à cause du bruit :** une étude démontre l'efficacité des appareils de mesure du bruit dans les unités de chirurgie pour la réduction du bruit ambiant, grâce à une évolution du comportement des soignants (Plummer, et al., 2018). Nous faisons l'hypothèse qu'il est donc possible d'utiliser le coût de ces appareils (SoundEar, environ 500 euros), comme une indication d'un **consentement à payer pour réduire le bruit dans les unités chirurgicales** en France. Le coût sanitaire est donc matérialisé ici par un coût de l'action à mettre en œuvre. Il existe aujourd'hui 10 213 blocs opératoires en France, incluant l'obstétrique (SAE, 2020). En faisant l'hypothèse arbitraire qu'il est nécessaire d'équiper la moitié des salles de blocs opératoires en France, un coût de 2,5 millions d'euros est obtenu.

En prenant en compte ces deux types d'impacts, le coût social du bruit en milieu hospitalier s'élève donc à **63,6 millions d'euros par an**.

2.2.3. Le bruit en milieu scolaire

Le bruit en milieu scolaire, que la source soit interne ou externe à l'établissement scolaire, au niveau primaire et secondaire, est connu pour générer des difficultés dans l'intelligibilité de la parole, qui induisent des difficultés de compréhension et par conséquent d'apprentissage. Les conséquences du bruit des transports sur l'apprentissage ont été évaluées par ailleurs dans le chapitre dédié (2.1.2.1), c'est pourquoi le présent chapitre traite uniquement du bruit interne au milieu scolaire, c'est-à-dire le bruit produit par les élèves et le personnel enseignant et encadrant, ainsi que par les divers équipements de chauffage, ventilation, etc. Pour les besoins de l'étude, deux types de coûts ont été mesurés en lien avec le bruit interne au milieu scolaire :

- Les difficultés d'apprentissage des élèves,

¹³ <https://www.scansante.fr> : L'Etude nationale des coûts (ENC) MCO permet de collecter les coûts d'un échantillon d'établissements de santé privés et publics ayant une activité de médecine, chirurgie, obstétrique et odontologie. Il s'agit-là ici du coût moyen pour toutes les catégories de diagnostic en Médecine Chirurgie Obstétrique.

- La gêne chez les enseignants.

La littérature académique est à ce jour peu dense sur la quantification des conséquences sanitaires du bruit interne aux établissements scolaires : en particulier, la plupart des études épidémiologiques s'intéressent à l'exposition au bruit au domicile et non au travail, et dans ce cas précis, dans les écoles. Il est donc difficile de supposer que le même lien entre bruit et conséquences sanitaires existe pour le milieu scolaire que pour les transports par exemple. C'est pourquoi, en l'absence de données suffisantes, il n'était pas possible de formuler des hypothèses sur les liens entre bruit et différentes pathologies par exemple, les maladies cardiovasculaires ou les perturbations du sommeil, bien que ces liens existent probablement.

2.2.3.1. Les difficultés d'apprentissage

D'après les données de l'Education Nationale (Ministère de l'Education Nationale, 2017), la France compte plus de 12 millions d'enfants inscrits dans un établissement scolaire, dont on peut estimer la distribution de l'exposition au bruit à partir des résultats d'enquêtes et de mesures sur le niveau sonore dans les classes. D'après la synthèse des travaux de mesure acoustique dans les établissements scolaires réalisés par Ecophon (Ecophon, 2019), le niveau sonore moyen en salle de classe est de 65 dB, et la distribution de l'exposition est présentée dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Distribution de l'exposition au bruit en salle de classe. Source : (Ecophon, 2019).

Intervalle de bruit (LAeq)	Pourcentage de population exposée à l'intervalle
45-50 dB(A)	1%
50-55 dB(A)	2%
55-60 dB(A)	15%
60-65 dB(A)	41%
65-70 dB(A)	31%
70-75 dB(A)	10%

En appliquant par transfert la courbe dose-réponse des difficultés d'apprentissage en lien avec le bruit aérien (Stansfeld, 2005), détaillée en annexe (Tableau 7) à la distribution de l'exposition du bruit interne à la classe, on obtient qu'environ 1,9 millions d'élèves souffrent de difficultés d'apprentissage. D'après la synthèse d'Ecophon, environ 59% du bruit dans les établissements scolaires est interne, le reste étant externe et provenant principalement des transports. Au total, presque 1,1 millions d'élèves ont des difficultés d'apprentissage à cause du bruit interne, ce qui génère la perte de plus de 6 500 DALY, pour un coût de 865 millions d'euros.

2.2.3.2. La gêne chez les enseignants

De nombreuses enquêtes et études démontrent que les enseignants ressentent du stress, de la fatigue et des difficultés à parler à cause du bruit en milieu scolaire. En revanche, il n'existe pas d'étude épidémiologique prouvant le lien exact entre bruit et stress, altérations de la voix ou encore maux de tête. C'est pourquoi, pour approcher le coût social des conséquences du bruit sur la santé mentale et sur la voix des enseignants, nous proposons d'utiliser l'indicateur de la gêne, en faisant l'hypothèse conservatrice que la gêne subie par les enseignants à cause du bruit en classe est proche de la gêne subie par les riverains d'aéroports à cause du bruit des avions. Les données de l'Education Nationale estiment un nombre de 884 300 enseignants dans les établissements du 1^{er} et du 2nd degré en France. En supposant la même distribution de l'exposition au bruit et le même pourcentage de bruit interne à la classe que pour les élèves, le transfert de la courbe dose-réponse « bruit aérien-gêne » (issue des travaux de l'étude DEBATS (Lefèvre, 2020), détaillée en annexe (Tableau 7)) permet d'estimer environ 160 000 enseignants affectés par la gêne à cause du bruit interne à l'établissement. Cela représente près de 3 200 DALY, et au total, 420 millions d'euros.

A titre de comparaison, il existe des enquêtes démontrant que le niveau de gêne ressenti par les enseignants dans les établissements scolaires pourrait être plus élevé : en 2009, BruitParif et le CIDB¹⁴ ont réalisé une enquête au sein de 25 lycées d'Ile-de-France, dans lesquels près de 45% du personnel encadrant déclarait ressentir de la gêne face au bruit en salle de cours. Les résultats de cette enquête suggèrent donc que le coût de la gêne pourrait être plus élevé que notre estimation, mais aussi que d'autres effets sanitaires du bruit sur les enseignants pourraient avoir un coût non négligeable (fatigue, difficultés de concentration, etc.). Si l'analyse n'a pas été possible dans le cadre de cette étude, la question du coût social du bruit en milieu scolaire chez les enseignants pourrait faire l'objet d'études complémentaires ultérieures.

2.2.4. Synthèse des coûts sociaux du bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire

On comprend donc que le coût social du bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire représente une fraction importante (15%) de l'ensemble du coût social du bruit en France, pour un coût annuel total d'environ **23,8 milliards d'euros**. En particulier, le bruit en milieu professionnel génère un coût social considérable (22,5 milliards d'euros, soit 94% de la somme), lié principalement à la perte de productivité causée par le bruit au travail. En ce qui concerne le bruit hospitalier (dont le coût social est de 64 millions d'euros), il est important de prendre en compte le fait que les coûts présentés au sein de ce rapport sont probablement sous-estimés, du fait du manque de données existantes et des hypothèses arbitraires qui ont été formulées. Il en va de même en ce qui concerne le bruit en milieu scolaire (qui représente un coût social de 1,3 milliard d'euros), de nombreux impacts sur les élèves et enseignants étant encore complexes à modéliser. La systématisation de ce type d'étude permettra donc d'assurer un niveau de robustesse plus élevé à ces résultats, qui montrent néanmoins dès à présent l'ampleur des impacts liés au bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire.

2.3. Le bruit dans le voisinage

En plus des nuisances sonores générées par les routes, voies ferrées et aéroports à proximité du domicile, les personnes et activités autour du domicile peuvent être source de pollution sonore : les bruits dits de comportement, générés par les particuliers dans le voisinage (tels que des bruits d'impacts, de la musique, des bruits de jardinage et de bricolage ou des aboiements de chien), les bruits générés par les activités liées à la vie nocturne (tels que les bars, restaurants, terrasses, attroupements et déambulation de personnes dans l'espace public), les activités de loisirs, commerciales et industrielles, et enfin le bruit généré par les chantiers de construction.

2.3.1. Le bruit des particuliers et des activités

Si elle est reconnue et punie par la loi, la nuisance sonore liée au comportement des particuliers ou des animaux ne fait pas l'objet de mesures et donc d'une réglementation de niveau sonore maximal, en partie parce qu'elle est difficilement quantifiable. De même, le bruit généré par les activités est défini comme une nuisance en fonction du niveau sonore ambiant, et non en absolu. C'est pourquoi, contrairement aux bruits des transports, il existe peu d'études qui quantifient les conséquences du bruit de voisinage sur la santé, le comportement ou encore la valeur immobilière. En revanche, il existe des enquêtes et sondages qui s'intéressent aux conséquences des nuisances sonores de voisinage sur les victimes de manière qualitative, sur lesquelles nous nous appuyons pour calculer une partie des coûts sociaux des bruits de voisinage, particuliers et activités.

Les coûts sociaux liés aux bruits de voisinage retenus dans le cadre de cette étude sont :

- Pour les effets sanitaires non-tangibles : la gêne, les perturbations du sommeil, et l'anxiété. Pour les autres effets sanitaires, les données et résultats disponibles dans la littérature n'étaient pas suffisants pour pouvoir supposer l'existence d'un lien entre le bruit et les différentes pathologies, et la littérature

¹⁴ Campagne de mesure et de sensibilisation au bruit au sein des lycées d'Ile-de-France, Rapport de synthèse, 2009 : <https://www.bruitparif.fr/pages/Entete/600%20Mobiliser/500%20Pr%C3%A9vention/300%20Campagne%20de%20mesure%20et%20de%20sensibilisation%20au%20sein%20de%2020%20lyc%C3%A9es/Rapport%20de%20synth%C3%A8se%20de%20la%20campagne%20au%20sein%20des%2020%20lyc%C3%A9es.pdf>

existante suppose que les effets majoritaires sont les perturbations du sommeil, ainsi que la gêne (Lee, 2020).

- Pour les effets sanitaires tangibles : la consommation d'anxiolytiques liée à la gêne,
- Pour les effets économiques : la dépréciation immobilière, et la perte de productivité liée aux perturbations du sommeil.

2.3.1.1. Les coûts sanitaires liés aux bruits de voisinage

D'après une enquête réalisée par l'IFOP en 2014, pour le compte du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (IFOP, 2014), 13% des Français.es déclarent subir des nuisances sonores autour du domicile très gênantes. D'après le même sondage, on peut estimer qu'environ 33% de ce bruit subi au domicile est lié aux comportements, et 6% aux activités¹⁵. En faisant l'hypothèse que la déclaration de l'état « très gêné » se rapproche de la définition de la forte gêne par l'OMS (en annexe), et en appliquant ces pourcentages à l'ensemble de la population française, le nombre de personnes subissant une forte gêne spécifique aux bruits de comportements serait de plus de 2,8 millions, et au bruit des activités, de 527 000, ce qui correspond respectivement à 57 000 et 11 000 DALY. En appliquant la valeur d'une année de vie en bonne santé de 132 000 € définie par la Commission Quinet (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013), la gêne générée par les bruits de comportements et des activités représente au total 8,9 milliards d'euros.

La même enquête précise que parmi les personnes gênées, environ 13% subissent aussi des perturbations du sommeil liées aux bruits de voisinage. Selon le même raisonnement que pour la gêne, il y aurait 371 000 personnes ayant des perturbations du sommeil à cause des bruits des particuliers, et 69 000 à cause des activités, pour un total de 31 000 DALY et un coût de 4,1 milliards d'euros (en supposant toujours la valeur d'une année de vie de 132 000 €).

Par ailleurs, d'après une étude danoise sur les effets sur la santé mentale de la gêne liée au bruit de voisinage et au bruit routier (Jensen, 2018), il existe un lien fort entre la gêne liée au bruit de voisinage et la dégradation de la santé mentale, ainsi que l'augmentation du stress (i.e. *odds ratios* respectifs de 2,34 et 2,78). En appliquant le résultat pour la dégradation de la santé mentale sur l'estimation du nombre de personnes gênées, environ 293 000 personnes présentent un état de santé mentale dégradée à cause de la gêne liée aux bruits de comportements, et 56 000 à cause des activités. En supposant que la dégradation de la santé mentale (définie par l'indice *Mental Component Summary* en 12 questions) représente des symptômes de dépression et en appliquant le coefficient d'incapacité correspondant, la perte d'années de vie en bonne santé s'élève au total à 51 000 DALY, pour un coût de 6,7 milliards d'euros, pour une valeur de 132 000 € par année de vie.

A cela s'ajoute la médication : en supposant le même lien entre gêne liée aux bruits de voisinage et consommation d'anxiolytiques que pour le bruit routier (i.e. un *odd ratio* de 1,41 (Okokon, 2018), hypothèse qui s'appuie sur la forte similarité des effets sur la santé mentale entre bruit routier et bruit de voisinage démontré par Jensen et al. (Jensen, 2018)), environ 122 000 personnes consomment des anxiolytiques spécifiquement à cause de la gêne liée au bruit, ce qui représente environ 1,5 million d'euros¹⁶.

2.3.1.2. Les conséquences économiques

A l'instar du bruit des transports, les bruits de voisinage peuvent a priori générer aussi des pertes de valeur immobilière. Pour approcher la dépréciation des biens immobiliers soumis aux bruits de voisinage, nous faisons

¹⁵ En ce qui concerne les bruits des activités associées à la vie nocturne, il convient de préciser qu'il s'agit d'un sujet de plus en plus présent dans le débat public, et dont l'estimation des coûts est probablement amenée à évoluer à l'avenir selon les évolutions de la recherche sur le sujet. En effet, la problématique est de plus en plus présente dans la plupart des métropoles et grandes villes à forte attractivité touristique et festive : à titre d'exemple, une enquête réalisée par le Crédoc et Bruitparif estimait en 2016 que 7% des Parisiens considéraient la clientèle de bars, cafés et restaurants ou les attroupements dans la rue comme la première source de gêne liée au bruit, et 2% citaient les établissements diffusant de la musique. Par ailleurs, l'OMS encourage les équipes scientifiques à se saisir de cette problématique et à lancer des études sur le sujet.

¹⁶ En supposant un coût moyen de 12 €, pour un traitement de 8 semaines.

l'hypothèse que la proportion de biens exposés aux bruits de voisinage est la même que la proportion de personnes subissant une forte gêne, d'environ 13% (IFOP, 2014). En appliquant le pourcentage au total de 149 milliards d'euros de transactions immobilières ayant eu lieu en 2019 (concernant les appartements et maisons, d'après les bases de données agrégées de Demandes de Valeur Foncière, et en supposant arbitrairement une dépréciation immobilière moyenne de 10%, la décote totale est d'environ 640 millions d'euros à cause des bruits des particuliers et 118 millions d'euros à cause du bruit des activités : la décote totale pour les deux sources de bruit est de 758 millions d'euros.

2.3.2. Le bruit des chantiers

Le bruit des chantiers constitue un problème majeur, notamment dans certains pays et régions très industrialisés comme la Chine par exemple, où il représente la source principale de pollution sonore (Liu, 2017; Lee, Hong, & Jeon, 2015). Il existe cependant encore peu d'études étudiant spécifiquement les impacts du bruit de construction, du fait de son caractère intermittent (contrairement au bruit du trafic routier). Le bruit des chantiers est néanmoins plus facile à atténuer et contrôler grâce à une régulation adéquate (Liu, 2017). Il n'existe aucune donnée officielle caractérisant l'exposition au bruit de chantier en France. Pour caractériser le coût social lié aux bruits de chantiers en France, nous faisons donc l'hypothèse que les personnes habitant dans un rayon de 100m (soit une aire de 0,031km²) d'un chantier sont affectés par le bruit, de la même manière que dans Liu et al. (Liu, 2017). A noter que nous faisons donc l'hypothèse que le niveau sonore est identique pour l'ensemble des habitants autour du chantier, et donc que la densité du bâti n'est pas prise en compte. Par ailleurs, il est important de souligner que les courbes dose-réponse utilisées ont été estimées dans des contextes autres que la France, présentant des caractéristiques socio-culturelles différentes, ce qui constitue une limite à notre analyse.

En France en 2019, 71 500 chantiers ont été recensés, dont 49% dans le bâtiment¹⁷. Sans données d'exposition, nous faisons donc l'hypothèse simplificatrice que *la moitié* des chantiers, soit 35 750 (correspondant donc aux chantiers du bâtiment, en faisant l'hypothèse que les chantiers de travaux publics se trouvent davantage en périphérie de villes que moins de personnes y sont donc exposés) se trouvent dans les 10 plus grandes métropoles françaises (Paris, Lyon, Marseille/Aix, Lille, Toulouse, Nice, Bordeaux, Nantes, Eurométropole Strasbourg, Toulon), qui présentent des densités élevées de population et constituent donc notre périmètre d'analyse¹⁸. La densité moyenne de ces villes est de 2095 habitants par km², et la superficie totale de 8897 km². Ces informations nous permettent donc de calculer que les 10 métropoles concernées présentent en moyenne 4 chantiers par km², et qu'un total de 2 311 262 habitants sont affectés par les bruits de chantier.

Pour les courbes dose-réponse, nous utilisons pour la gêne celle proposée par Liu et al. (Liu, 2017), pour les coûts de médication celle d'Okokon et al. (Okokon, 2018) et pour les autres impacts sanitaires, nous nous basons sur les courbes dose-réponse employées pour le transport routier, en l'absence d'étude spécifique aux bruits de chantiers, comme réalisé dans Xiao et al. (Xiao, 2016). A partir de ces courbes, nous estimons :

- Environ 640 000 personnes affectées par la gêne, qui représentent 13 000 DALY,
- 190 000 personnes souffrant de perturbations du sommeil, équivalent à 13 000 DALY,
- Près de 35 000 personnes qui souffrent de troubles de la santé mentale, qui représentent 5 000 DALY
- Environ 400 personnes affectées de cardiopathies ischémiques et 900 d'AVC, respectivement équivalents à 150 et 290 DALY,
- Près de 240 morts prématurées à cause d'une maladie cardiovasculaire générée par le bruit des chantiers.

Les coûts sanitaires non tangibles des morbidités associées au bruit des chantiers représentent 4,2 milliards d'euros, en supposant une valeur de 132 000 € par DALY (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013). Le coût de la mortalité prématurée liée aux maladies cardiovasculaires causées par les bruits de chantiers peut quant à lui être estimé à 814 millions d'euros, en utilisant la valeur statistique de la vie de près de 3,5 millions d'euros pour l'année 2020, fixée par la Commission Quinet (Commissariat général à la stratégie et à la

¹⁷ <http://www.chantiersdefrance.fr/marches/indicateurs-tp-en-2019/>

¹⁸ A noter donc que nous n'extrapolons pas l'analyse à l'ensemble de la France.

prospective, 2013). Au total les coûts sanitaires non tangibles du bruit des chantiers s'élèvent donc à 5 milliards d'euros. A ces coûts non tangibles s'ajoutent 3 types de coûts tangibles :

- La médication, estimée à l'aide de la courbe dose-réponse utilisée pour le bruit routier (Okokon, 2018) : plus de 23 000 personnes consomment des anxiolytiques, pour un coût de 0,3 million d'euros¹⁹.
- L'hospitalisation, en supposant que 16% des personnes atteintes d'une maladie cardiovasculaire sont hospitalisées (d'après [l'Observatoire Suisse de la Santé](#)), et un coût moyen d'une hospitalisation en service de cardiologie est de 4 209 € (en 2018, d'après [SCANSanté](#)), environ 200 personnes ont été hospitalisées à cause du bruit des chantiers pour un coût de 0,9 million d'euros.
- La perte de productivité, en supposant à l'instar du bruit des transports, que les perturbations du sommeil liées au bruit des chantiers entraînent une perte de productivité de 2,4% (Hafner, M., Stepanek, M., Taylor, J., Troxel, W. M., & Van Stolk, C., 2017), sur une moyenne 1 600 heures de travail annuel par personne et un coût horaire de 37,3€/h (en 2019, [d'après l'INSEE](#)), pour un coût d'environ 273 millions d'euros.

Pour l'ensemble des impacts sanitaires liés aux bruits de chantiers (incluant donc également les coûts de médication, d'hospitalisation et la perte de productivité), nous obtenons un total de 5,3 milliards d'euros annuels.

2.3.3. Synthèse des coûts sociaux de bruit de voisinage

Au total, les coûts sociaux générés par le bruit des particuliers, des activités et des chantiers de construction s'élèvent à 26,3 milliards d'euros, dont 67% sont liés au bruit des particuliers, et 20% au bruit des chantiers. L'incertitude liée à cette estimation est élevée : les connaissances en matière d'impact sanitaire et économique du bruit dans le voisinage sont encore peu répandues, et les méthodologies de calcul ont demandé le transfert de méthodologies utilisées pour d'autres sources de bruit mieux étudiées, notamment le transport, et la formulation d'hypothèses arbitraires. C'est pourquoi, si cette première estimation permet d'affirmer que ces coûts existent et sont non négligeables, elle est amenée à évoluer avec l'évolution des connaissances sur le sujet.

2.4. Synthèse : Une estimation du coût social du bruit sur le territoire français

La présente étude a permis d'analyser les coûts sociaux liés au bruit émis par 3 catégories de sources : les transports, distingués entre routier, ferré et aérien, le milieu professionnel, hospitalier et scolaire, et le voisinage, dont les particuliers, les activités et les chantiers de construction. Pour l'ensemble des sources de bruit, et sur la base d'une revue de la littérature académique, deux types de coûts sociaux ont été estimés lorsque les données le permettaient :

- Les coûts sanitaires, comprenant les pathologies générées par le bruit (dont la gêne, les maladies cardiovasculaires, ou encore les difficultés d'apprentissage par exemple) et les coûts associés à la médication et à l'hospitalisation, voire aux indemnités,
- Les coûts économiques, représentés par la dépréciation immobilière et par la perte de productivité liée aux différentes sources de bruit.

Aux coûts sociaux liés aux différentes sources de bruit s'ajoutent les coûts qui recouvrent l'ensemble des sources de bruit : en particulier, les dépenses liées à **la surveillance et à la recherche** sur les effets du bruit environnemental. Il s'agit notamment des dépenses des différents organismes qui travaillent sur la question du bruit, pour lesquels des hypothèses arbitraires ont été prises sur la part de leur budget liée au bruit, sans autre donnée disponible. Ont donc été pris en compte dans cette étude :

- Le budget du CEREMA, avec l'hypothèse arbitraire que 5% des dépenses sont en lien avec le bruit ;
- Le financement des Agences Régionales de santé (ARS), avec l'hypothèse que 1% des fonds alloués sont en lien avec le bruit, et notamment la surdité ;
- Les dépenses de lutte contre le bruit au sein des ménages, des entreprises et de l'état ;
- Le budget annuel du CIDB ;

¹⁹ En supposant un coût moyen de 12 €, pour un traitement de 8 semaines.

- Le budget annuel de Bruitparif ;
- Le budget annuel d'Acoucity ;
- Le budget inscrit en loi de finances pour la lutte contre le bruit, à travers la mission Bruit et Agent Physique du Ministère, sur le programme 181 Prévisions des risques.

Au total, les coûts liés à la surveillance et la recherche sont estimés à environ 2,0 milliards d'euros. Il est à noter que, contrairement aux coûts sociaux liés aux différentes sources de bruit, ces coûts ne sont pas proportionnels à l'exposition au bruit, et n'ont pas vocation à diminuer si l'exposition au bruit diminue.

2.4.1. Quel est le coût social du bruit ?

La somme de l'ensemble des coûts sociaux du bruit s'élèverait à 158,5 milliards d'euros annuels. La majorité des coûts sociaux est liée aux transports : le bruit routier représente 51% des coûts, le bruit aérien 9% et le bruit ferroviaire 7%. Cependant, une partie non négligeable des coûts provient du milieu du travail : environ 15%, dont 14% sont liés au bruit professionnel (hors hospitalier et scolaire). Enfin, les bruits de voisinage représentent 17% des coûts totaux, dont 11% pour les seuls bruits de comportement.

Il convient de préciser que les différentes sources de bruit ne sont pas seules responsables des coûts sociaux. En particulier, près de 134 milliards d'euros sont liés à l'exposition des personnes aux bruits des transports et du voisinage à leur domicile, et seraient imputables :

- En partie à l'émission des sources incriminées, car si celles-ci n'étaient pas bruyantes, elles n'engendreraient à l'évidence pas de conséquences négatives,
- En partie à la mauvaise qualité du bâti (notamment dans les bâtiments anciens) car, à l'évidence, si ces bâtiments étaient mieux isolés des sources incriminées, les désagréments associés en seraient atténués, voire disparaîtraient.

Ainsi les actions correctives devront/pourront être recherchées aussi bien du côté de la gestion des sources de bruit incriminées que du côté de l'amélioration acoustique de l'isolement des bâtiments, vis à vis des bruits provenant des voisins comme de ceux provenant des voies de transports.

Tableau 5 : Estimation des coûts sociaux du bruit par catégorie de source de bruit et par type de coûts. Source : I Care & Consult.

Type de coût	Coûts sanitaires	Coûts non sanitaires	Total
Transports	100,3 Mds €	6,0 Mds €	106,3 Mds €
Milieu professionnel	13,4 Mds €	10,5 Mds €	23,8 Mds €
Voisinage	24,7 Mds €	1,6 Mds €	26,3 Mds €
Surveillance et recherche		2 Mds €	2 Mds €
Total	138,4 Mds €	20,1 Mds €	158,5 Mds €

Parmi les coûts sanitaires de 138,4 Mds €, environ 134,2 milliards d'euros correspondent à des coûts sanitaires intangibles (dont 45,3 milliards d'euros pour la gêne et 36,4 milliards pour les perturbations du sommeil). Au total, seulement 24,3 Mds € des coûts sont tangibles, dont 4,1 milliards d'euros par les caisses d'assurances maladie en partie pour la médication, l'hospitalisation et les indemnités, et 20,2 milliards par l'ensemble des ménages et des entreprises pour la dépréciation immobilière, la perte de productivité et la surveillance et recherche.

Le coût social total estimé pour le bruit est à mettre en regard avec les coûts sociaux qui ont pu être estimés pour d'autres nuisances : par exemple, en 2015, le Sénat avait estimé un coût de 101,3 milliards d'euros pour la pollution de l'air, en prenant en compte les différentes pathologies générées (notamment respiratoires et cardiovasculaires) ainsi que les dépenses sanitaires et la perte de productivité. Il est possible qu'une partie de ces deux coûts sociaux se recoupent : en ce qui concerne les transports et les chantiers notamment, la pollution

de l'air et le bruit vont souvent de pair, car les deux sont produits en grande partie par les mêmes engins et véhicules. Si une partie des résultats utilisés pour la présente étude ont fait l'objet d'un contrôle sur la pollution de l'air pour isoler l'effet du bruit, ce n'est pas le cas de tous, et une partie des effets générés par le bruit peuvent recouper les effets de la pollution de l'air.

2.4.2. Les autres coûts sociaux du bruit

L'estimation du coût social total du bruit comprend, selon les sources de bruit, différents types de coût, notamment sanitaire et non sanitaire. Dans certains cas, et notamment en ce qui concerne le milieu professionnel et le voisinage, pour lesquels les effets du bruit sont moins étudiés que pour les transports, il n'a pas été possible d'estimer une partie des coûts sociaux. Par ailleurs, sur l'ensemble des sources de bruit, certains types de coûts n'ont pu être intégrés à l'analyse, faute de données suffisantes. C'est par exemple le cas :

- De l'effet du bruit **sur le système endocrinien** : plusieurs études démontrent l'effet de l'exposition au bruit sur la production de cortisol, notamment pour le trafic routier (Wallas, 2017) et pour le trafic aérien (Evrard, 2020). Cependant, il n'existe pas de consensus scientifique sur l'effet délétère des variations de production de cortisol sur la santé, et par conséquent, pas de méthode pour attribuer un coefficient d'incapacité indispensable à la valorisation de l'effet sanitaire.
- De l'effet du bruit **sur le stress** : au-delà de la gêne, le bruit peut générer des effets de stress et de nervosité, voire une dégradation du comportement des personnes exposées (par de l'agressivité par exemple), d'après les enquêtes (IFOP, 2014) (Ecophon, 2019) ainsi que certaines études (Jensen, 2018). Cependant, il s'agit d'effets pour lesquels il n'existe pas d'indicateur faisant consensus, et par conséquent, pas de méthode de valorisation monétaire.
- De l'effet du bruit **sur les performances cognitives** : de récentes études démontrent l'existence d'un lien entre l'exposition de long-terme au bruit et le risque de développement de la maladie d'Alzheimer (Weuve, 2020). En effet, à long-terme, la gêne et les perturbations du sommeil causées par le bruit peuvent développer chez les personnes exposées un déclin cognitif. Ce type de coût n'a pas pu être quantifié dans le cadre de la présente étude, mais représente un coût social bien réel.
- De **la perte de liberté dans l'usage des sols générée par le bruit** : en effet, du fait de certaines réglementations limitant la construction à proximité d'une source de bruit, ou par réduction de l'attractivité d'un territoire à cause des nuisances sonores, certaines zones deviennent inexploitable pour la construction résidentielle ou pour l'installation d'une activité économique. Cependant, si une partie de cette perte est déjà prise en compte dans la dépréciation immobilière, celle-ci n'est pas quantifiée par la littérature pour les zones non construites.
- Des conséquences **sur la biodiversité et sur l'environnement de manière générale** : la présente étude s'est concentrée sur les conséquences du bruit sur la santé et l'économie humaine, et non sur les autres écosystèmes. Cependant, il est démontré que le bruit a aussi des conséquences sur l'environnement, et notamment sur les animaux qui peuvent avoir des difficultés à communiquer à cause de la pollution sonore, qui peuvent voir leur capacité de survie et leur comportement se modifier, ou encore dont le métabolisme peut être affecté. Il est raisonnable de supposer que les conséquences du bruit sur les écosystèmes ont un coût important, notamment en perturbant leur équilibre et leur état de santé, et indirectement en affectant les services écosystémiques qui peuvent être rendus, par exemple dans le cas des secteurs agricoles et touristiques.

2.4.3. Analyse de sensibilité : choix d'une valeur d'une année de vie en bonne santé et autres incertitudes

L'estimation du coût social d'une pollution est un exercice de modélisation économique qui demande la formulation de nombreuses hypothèses, et qui est par conséquent sensible au choix des paramètres fait par les modélisateurs. Parmi les différentes hypothèses formulées, l'une des plus sensibles est le choix d'une valeur d'une année de vie en bonne santé, qui dépend directement du choix d'une valeur de la vie statistique. Pour la présente étude, le choix a été fait de retenir la valeur proposée par la Commission Quinet pour l'évaluation socio-économique des investissements publics. La valeur d'une année de vie était alors à 115 000 € en 2010. En actualisant la valeur par le taux de croissance du PIB par habitant, elle s'établit à 132 000 € pour l'année 2020 (exprimée en € 2015). A titre de comparaison, dans la précédente étude sur le coût social du bruit, la valeur d'une année de vie avait été fixée à 50 000 € en 2016, ce qui équivaut à 54 000 € (en € 2015) en 2020 en actualisant selon le même taux de croissance.

En appliquant la valeur de 54 000 € par année de vie en bonne santé perdue et en prenant l'hypothèse de 3,0 millions d'euros pour la valeur statistique de la vie (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013), le coût social du bruit diminue de moitié : il s'élève à 83,4 milliards d'euros. Si les coûts sanitaires tangibles (médication, hospitalisation et indemnités) et les coûts économiques (dépréciation immobilière, perte de productivité et dépenses de surveillance et recherche) restent inchangés par le choix de cette valeur, les coûts sanitaires intangibles diminuent de 56%, passant de 138,4 à 59,1 milliards d'euros.

L'étude précédente estimait un coût social du bruit de 57 milliards d'euros par an. L'évolution de l'estimation du coût social dans la présente étude est due à plusieurs raisons, en outre du choix de la valeur d'une année de vie :

- L'évolution du périmètre de l'analyse : d'une part, la présente étude prend en compte, en plus des bruits des transports et de voisinage (particuliers et activités), les effets du bruit en milieu hospitalier et issu des chantiers de construction. D'autre part, sont intégrés de nouveaux types de coûts par rapport à la précédente étude, notamment sanitaires (les maladies cardiovasculaires, l'obésité, le diabète, les troubles de la santé mentale). A iso-périmètre, la présente étude estime un coût social du bruit d'environ 63,5 milliards d'euros en prenant une valeur de 54 000 € pour une année de vie (111,4 milliards en choisissant 132 000 €).
- Les données d'exposition : en comparaison avec la précédente étude, les cartes stratégiques du bruit sont à ce jour mieux renseignées.
- L'actualisation des hypothèses : d'une part, plusieurs résultats de travaux de recherche ont été publiés depuis 2016 et ont permis d'affiner certains coûts ou d'ajouter de nouveaux coûts, et d'autre part, certaines méthodologies hybrides ont été créées pour proposer une approximation crédible.

3. L'analyse des mesures d'évitement simultané du bruit et de la pollution de l'air

Le coût social du bruit en France précisé et caractérisé dans la phase 2, la phase 3 de cette étude a eu pour objectif de proposer une approche méthodologique et une identification des limites lors de la prise en compte et de chiffrage simultané de l'impact du bruit et de la qualité de l'air sur la santé et la qualité de vie des populations. Adopter une réflexion globale a été primordiale dans ce cadre, afin d'identifier les convergences potentielles et les co-bénéfices associés tout en évitant d'éventuels effets négatifs ou contre-productifs. Parmi les convergences possibles, la pollution sonore et la pollution de l'air présentent de multiples leviers d'actions communs permettant de réduire simultanément les impacts négatifs associés à ces deux pollutions.

3.1. Méthodologie employée pour la sélection et l'analyse des mesures

3.1.1. Méthodologie employée pour la sélection des mesures

La réalisation de l'étude et du guide associé ADEME PCAET & Bruit « Convergence des actions Bruit, Climat, Air, Energie pour une planification performante » par le CIDB et Energies Demain a permis initialement d'identifier les principales mesures et leviers d'actions, notamment grâce à une analyse détaillée des mesures recommandées dans les plans de protection du bruit dans l'environnement et les guides associés. Cette étude visait à outiller les collectivités dans la prise en compte des impacts bruit de leurs politiques locales et dans la réalisation de leur document de planification. Les leviers de politiques publiques identifiés lors de ce travail sont donc par nature applicables à des territoires et constituent un panorama complet des mesures présentant un impact sur le bruit et l'environnement sonore.

Au-delà de l'identification des mesures recommandées dans la lutte contre la pollution sonore, le croisement des enjeux climat air énergie et bruit au sein des PCAET était aussi l'occasion de passer en revue l'ensemble des principales mesures de lutte contre la pollution atmosphérique et d'analyser les synergies et antagonismes entre la lutte contre la pollution atmosphérique et celle contre la pollution sonore. Cette étude a ainsi conduit à préciser le degré de convergence, ou de divergence de ces différentes mesures

Ce travail d'analyse quantitative et qualitative s'était avéré délicat du fait des spécificités des mesures et de la complexité de qualifier l'impact d'actions spécifiques à une échelle territoriale et temporelle. L'analyse bibliographique réalisée a de plus fait apparaître que les impacts sur le bruit des actions peuvent varier en fonction de la configuration territoriale et du contexte local, et des conditions de mise en œuvre. Les synergies air bruit avaient ainsi été caractérisées selon différents critères, afin de faire apparaître les actions ayant un impact positif, mais marginal sur le bruit et de plus conditionné à une mise en œuvre réfléchie, de celle présentant un impact conséquent et assez systématique sur la réduction des nuisances sonores, jusqu'aux actions défavorables et susceptibles de générer du bruit et de contribuer à une élévation faible ou moyenne du niveau sonore si aucune précaution(/réglementation) n'est mise en place.

Ces travaux ont servi de base à cette étude et ont permis de construire une base consolidée de leviers d'action et de mesures à co-bénéfices Air-Bruit en identifiant et mobilisant des ressources documentaires additionnelles pertinentes et notamment un benchmark d'actions issues des Plans de Protection de l'Atmosphère²⁰.

Les principaux leviers d'actions suivants ont ainsi été analysés :

- Agir sur les formes urbaines et architecturales
- Végétaliser le milieu urbain

²⁰ Plans de protection de l'atmosphère considérés dans la réalisation du benchmark des actions : Vallée de l'Arve (PPA2 2019), Ile de France (PPA3 2018), Bouches du Rhône (PPA3 2020), Normandie (PPA2 2014), Montpellier (PPA2 2014), Lyon (PPA2 2014), Grenoble (PPA2 2014).

- Réduire le trafic
- Réguler le trafic
- Limiter les vitesses en voies urbaines
- Limiter les vitesses en voies rapides
- Mettre en place des Zones à Faibles Emissions
- Mettre en place des lignes de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)
- Développer des véhicules à motorisations électrique
- Développer des motorisations innovantes pour les poids lourds
- Travailler à l'isolation thermique et acoustique des bâtiments
- Mettre en place des mesures de réduction des émissions sur les chantiers de construction / démolition en milieu urbain
- Traiter la problématique du bruit et de la QAI dans les milieux professionnels - cas spécifique du milieu scolaire

Les différents leviers à disposition des territoires et offrant des co-bénéfices air bruit identifiés lors de ce travail, ont ensuite été complétés par une **analyse spécifique des mesures possibles (technique, sanitaire, social, économique, réglementaire) et croisés avec les enjeux identifiés lors de la Phase 2 de cette étude.**

A l'issue de ce travail d'identification des mesures, quatre mesures donnant lieu à une analyse détaillée ont été retenues à partir des critères de sélection détaillés ci-après.

3.1.1.1. Critères de sélection retenus

Couverture des 3 sources de bruit (transport, milieu professionnel, voisinage)

Dans une optique de mise en cohérence avec le travail de chiffrage mené lors de la Phase 2 de cette étude, il apparaissait en premier lieu nécessaire que les mesures retenues couvrent les différentes sources de bruit étudiées. Le ratio suivant a ainsi été envisagée relativement aux éléments de coût déterminés en phase 2 : la sélection de deux mesures relatives au bruit des transports, la sélection d'une mesure traitant du bruit en milieu professionnel et la sélection d'une mesure traitant du bruit de voisinage.

Pris en compte des enjeux qualité de l'air intérieur et extérieur

L'étude s'inscrivant dans une approche globale cherchant à mieux lier les enjeux de l'environnement sonore et de la qualité de l'air, il a été considéré pertinent de prendre en compte à la fois l'air extérieur et l'air intérieur. Cette approche est jugée d'autant plus justifiée que les co-bénéfices air/bruit peuvent de prime abord être moins marqués en ce qui concerne l'air intérieur : un exemple illustrant ce phénomène est les potentielles nuisances sonores causées par des équipements de ventilation qui favorisent pourtant le renouvellement d'air.

Niveau de convergence des mesures (intégrant la faisabilité du chiffrage)

Enfin, une classification selon 4 niveaux de convergence a été utilisée pour caractériser la pertinence des mesures retenues pour le chiffrage :

Rouge	Mesures dont la convergence n'est pas systématique, mais conditionnée à de nombreux facteurs et notamment au contexte local, et où le chiffrage des impacts ne saurait rendre compte / tenir compte des multiples contraintes locales associées à leur mise en œuvre, ce qui rend délicat le chiffrage "abstrait" des impacts et l'extrapolation des résultats
Orange	Mesures dont la convergence est plutôt systématique, mais où le chiffrage des impacts ne saurait rendre compte / tenir compte des multiples contraintes locales associées à leur mise en œuvre, ce qui rend délicat le chiffrage "abstrait" des impacts et l'extrapolation des résultats
Jaune	Mesures dont la convergence est plutôt systématique bien que parfois contrastée, mais qui présentent des enjeux marqués et des opportunités de chiffrage dans le cadre de l'étude
Vert	Mesures dont la convergence est plutôt systématique et qui présentent des enjeux et opportunités en termes de chiffrage dans le cadre de l'étude (résultats qui peuvent être extrapolés, leviers concrets et opérationnels pour les pouvoirs publics, pertinence avec le sujet coût social du bruit)

3.1.1.2. Bilan et mesures sélectionnées

Leviers mobilisables	Actions	Source(s) de bruit considéré	Nature(s) des mesures ²¹	Degré de convergence et de pertinence du chiffrage ²²	Appréciation COPIL
Agir sur les formes urbaines et architecturales	Éloignement des bâtiments, Insertion de zones tampons, écrans acoustiques, Hauteur des bâtiments et largeur des rues, Orientation des bâtiments, Conception interne des logements, Conception architecturale Intégrer/renforcer les critères spécifiques air bruit dans les documents d'urbanisme locaux et les projets d'aménagement	Transport & Milieu professionnel & Voisinage	Réglementaires & Organisationnelles & Techniques		Mesure considérée comme une tendance de fond ne nécessitant pas un travail d'approfondissement et de chiffrage
Végétalisation du milieu urbain	Végétalisation des façades d'une rue canyon, Végétalisation des toitures, Végétalisation des espaces publics, trames vertes, Revêtement végétal des voies de tramway, Barrières végétalisées de faible hauteur (h<1 m) en bordure des voies de tramway Intégrer/renforcer les critères spécifiques air bruit dans les documents d'urbanisme locaux et les projets d'aménagement	Transport & Milieu professionnel & Voisinage	Réglementaires & Organisationnelles & Techniques		Non discuté
Réduction du trafic	Favoriser le report modal vers les mobilités douces, réduction des transports à la source, favoriser l'utilisation du covoiturage et de l'autopartage Voies dédiées au covoiturage, Accompagner le développement des plans de déplacements (PDE, PDIE, PDA)	Transport	Organisationnelles		Mesure considérée comme une tendance de fond ne nécessitant pas un travail d'approfondissement et de chiffrage
Régulation du trafic	Gestion centralisée des feux, Ondes vertes, Déviation du trafic de transit, Optimisation des flux de circulation par des aménagements de la voirie	Transport	Organisationnelles & Techniques		Non discuté
Limitation des vitesses en voies urbaines	Mise en place d'une zone 30/zone calme	Transport	Réglementaires		Incertitude sur l'existence et la fiabilité des REX disponibles sur ce type de mesures.
Limitation des vitesses en voies rapides	Baisse de la vitesse en voies rapides	Transport	Réglementaires		Convergence actée
Zone à Faible Emission	Mise en place d'une ZFE	Transport	Réglementaires & Incitatives		Opportunité de chiffrer à travers cette mesure l'amélioration globale de la qualité sonore et de la qualité de l'air dans les

²¹ Les mesures peuvent être de nature réglementaires, organisationnelles (mesures d'aménagement du territoire et de planification urbaine), économiques (incitations), techniques, médicales.

²² La justification du code couleur est précisée en Annexe.

							milieux urbains en agissant sur le transport.
Ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)	Augmentation de la distance inter stations transport en commun, Comportement de conduite BHVS, Motorisation BHNS, Renouvellement du parc de véhicules Prise en compte/renforcement des critères air bruit dans l'étude d'impact des nouveaux tracés/circuits/ service de TC mis en place	Transport	Organisationnelles & Techniques				Non discuté
Véhicules à motorisations électriques	Subvention pour l'achat de véhicules Déploiement de bornes de recharge électrique	Transport	Techniques, Économiques				Mesure considérée comme une tendance de fond ne nécessitant pas un travail d'approfondissement et de chiffrage
Motorisations innovantes pour les poids lourds	Favoriser le passage à des moteurs hybride et GnV, Favoriser le basculement vers des motorisations moins émissives des poids lourds et des véhicules utilitaires légers sur le dernier kilomètre des livraisons en centre-ville,	Transport	Techniques, Économiques				Considérations très techniques
Isolation thermique et acoustique des bâtiments	Limiter les consommations d'énergie en empêchant les transferts de chaleur et renforcer la performance acoustique en évitant la propagation des bruits	Transport & Milieu professionnel & Voisinage	Réglementaires & Économiques & Techniques				Opportunité réelle, car véritable dynamique actuelle dans la rénovation des bâtiments, le renforcement de la prise en compte des deux thématiques air et bruit dans la dynamique actuelle permettrait des co-bénéfices forts à moindre de moindre cout
Mesure de réduction des émissions sur les chantiers de construction / démolition en milieu urbain	Favoriser la mise en place de charte « chantier propre » ou « chantier à faible nuisance » visant à limiter les nuisances sonores causées aux riverains par le bruit ainsi que les émissions de poussières des chantiers (environ 15% des émissions de PM10 sont attribuables au secteur chantier BTP)	Voisinage	Planification & Organisationnelle & Techniques				Permet une certaine exhaustivité des sources de bruit traité dans les mesures retenues
Traitement des problématiques du bruit et de la QAI dans les milieux professionnels - cas spécifique du milieu scolaire	Prise en compte renforcée des critères air et bruit dans la politique et les projets d'aménagement et de réaménagement urbain, et dans la planification urbaine via la mise aux normes acoustiques des bâtiments sensibles, politique de réduction du bruit sur le terrain par des formations et des réorganisations ; Identification (à partir des cartes stratégiques air et bruit) des « points noirs » de la qualité de l'air et du bruit et croisement avec les établissements sensibles - Identifier les sites à fortes nuisances, informer les élus, services et professionnels pour trouver des solutions opérationnelles	Transport & Milieu professionnel	Réglementaires & Économiques & Techniques				Souhait de préciser l'impact de mesures concrètes sur des établissements sensibles et à forts enjeux pour pousser au passage à l'acte. Vrai enjeu sociétal de lutter contre les difficultés de communication et d'apprentissage entraînant des échecs scolaires.

Les quatre mesures retenues pour établir une analyse détaillée sont les suivantes :

1. Mesure sur la réduction des vitesses en voies rapides
2. Mesure « ville apaisée » valorisant les enjeux de Zone à Faibles Emissions et de diminution du trafic

3. Mesure sur la qualité acoustique des bâtiments (en lien avec l'enjeu de rénovation globale) incluant les bâtiments d'enseignement pour traiter notamment le bruit en milieu scolaire
4. Mesure sur la réduction des émissions (sonores et pollution) des chantiers de construction (et de démolition) en milieu urbain (bâtiment, etc.)

3.1.1. Méthodologie employée pour l'analyse coûts-bénéfices (ACB) des mesures

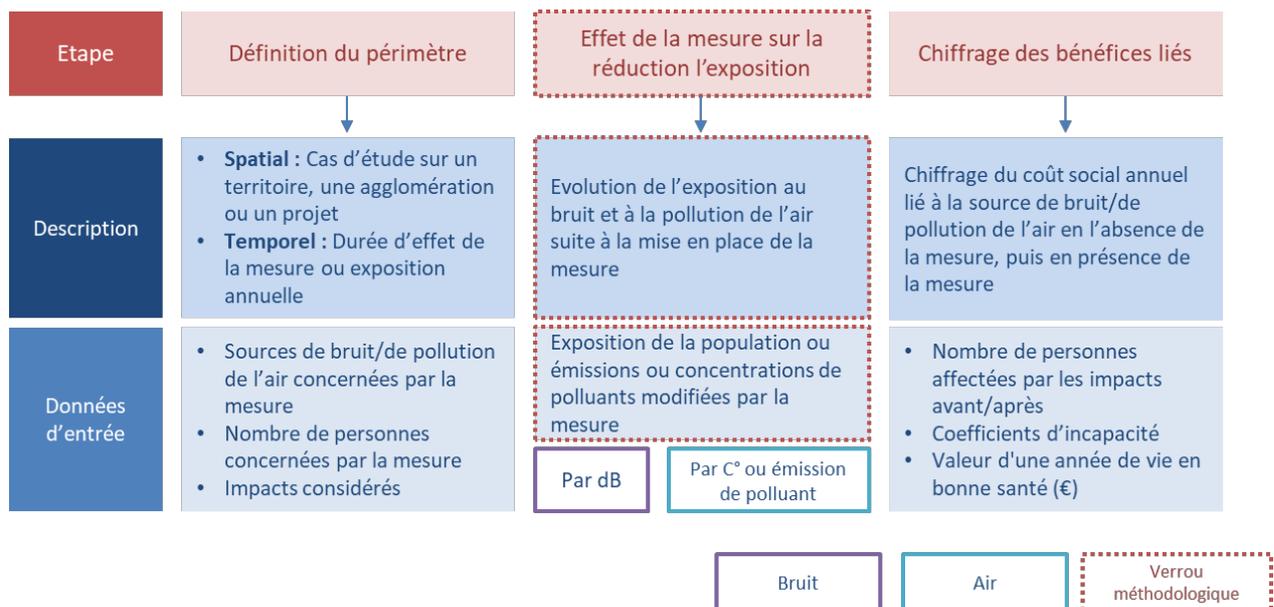
Alors que le champ d'analyse de la phase d'estimation des coûts sociaux liés au bruit concernait les différentes dimensions qui constituent le coût social du bruit, cette partie s'applique à mettre en balance les coûts et bénéfices des différentes mesures proposées, afin de juger de leur « rentabilité » (au sens financier comme socio-économique), et de générer des conclusions robustes d'aide à la décision. L'analyse coûts-bénéfices permet une évaluation détaillée de toutes les conséquences envisageables des mesures concernées, ainsi que de leurs incertitudes et potentielles évolutions

Dans le cadre de cette étude, l'analyse coûts-bénéfices permet de comparer :

- Les coûts et bénéfices liés à la mise en place des différentes mesures sélectionnées ;
- Les coûts et bénéfices liés au maintien de la situation de référence (c'est-à-dire sans mise en place de la mesure).

Il convient de préciser que les coûts et bénéfices pris en compte dans les présentes analyses sont, d'une part, les bénéfices liés à la réduction de l'exposition de la population au bruit et à la pollution de l'air, et d'autre part, les coûts et recettes financiers liés à la mise en place de la mesure. En élargissant le périmètre, d'autres bénéfices pourraient être pris en compte : par exemple les bénéfices liés à la baisse de la mortalité routière pour les mesures concernant la baisse des limitations de vitesse sur les voies rapides. C'est pourquoi, les présentes analyses, dont l'objectif est d'identifier dans un premier temps les mesures à fort potentiel de co-bénéfices air et bruit, conduisent probablement à une sous-estimation de la rentabilité des mesures sélectionnées, qu'il conviendrait d'approfondir dans un second temps.

Figure 9: Méthodologie retenue dans le cadre de l'étude pour l'analyse coût bénéfice



Le taux d'actualisation choisi pour la réalisation de l'analyse coûts-bénéfices est de 2,5% (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013).

3.2. Fiches détaillées des mesures phares à co-bénéfices Air Bruit : approche méthodologique et limites de l'analyse

Chaque fiche détaillée est présentée selon un format identique. Ce dernier rend compte des informations clés de description de la mesure, des données d'entrée ainsi que des hypothèses formulées pour l'obtention des résultats de l'analyse coûts / bénéfices.

Les résultats formulés pour chaque cas d'étude selon l'approche méthodologique et les hypothèses retenues ont été obtenus à partir d'une application du travail réalisé sur les phases précédentes et de ses limites. Ces résultats ont pour objectifs d'identifier les limites et axes de développement ultérieurs de cette étude. Ils doivent ainsi être considérés comme tels.

3.2.1. Mesure de réduction des vitesses sur voies rapides

Fiche action 1

Descriptif de la mesure

Levier mobilisable : Limitation des vitesses sur les voies rapides

Libellé de l'action et description : La mesure retenue consiste en une réduction des vitesses (de l'ordre de 10 km/h) sur l'ensemble des voies rapides d'une agglomération, soit les réductions suivantes : passage de 110 km/h à 100km/h pour les routes à 2 chaussées séparées par 1 terre-plein central ; passage de 90km/h à 80km/h pour les sections de route comportant au moins 2 voies affectées à un même sens de circulation.

Nature de la mesure : Réglementaire

Niveau de convergence : ■

Données d'entrée : périmètre

Périmètre spatial

2 cas d'étude sur les métropoles de Grenoble et de Lyon

Périmètre temporel

Résultats sur une période d'évaluation d'1 an

Impacts considérés

Air : Effets sanitaires, Pertes agricoles, Perte de biodiversité, Dommages matériels
Bruit : Médication, Hospitalisation et soins de ville, Gêne, Troubles du sommeil, Morts prématurées liées à l'IHD, IHD, Infarctus, AVC, Anxiété, Obésité, Diabète, Dépréciation immobilière, Perte de productivité

Coûts considérés

Coût public lié aux aménagements nécessaires à la réduction des vitesses sur voies rapides (panneaux)
 Le coût lié à l'acceptabilité sociale de la mesure n'est pas pris en compte.

Nombre de personnes exposées à l'impact et concernées par la mesure

Exposition au bruit : ML : 1 246 529 personnes, MG : 439 967 personnes
Emissions de polluants sur les deux métropoles : NOx : 2 821 kg/j, COV : 260 kg/j, PM : 219 kg/j, SO2 : 19 kg/j

Données d'entrée : effet

Données d'exposition au bruit modifiées

Différentiels de population exposée (par classes de 5 dB(A), pour L_{den} et L_n) avant et après la mise en place de la mesure sur les 2 cas d'étude

Données d'émissions de polluants avant/après

Utilisation des estimations de réduction des émissions (NOx, COV, SOx, PM) sur une mesure de limitation des vitesses sur voie rapide à Toulouse et de ratios €/ton pour la France

Résultats

Coûts de la mesure : 5 M€ pour l'aménagement dans les deux métropoles, amortis sur 10 ans, durée de vie des panneaux
Bénéfices liés à la pollution de l'air : 2 M€/an par métropole
Bénéfices liés au bruit : 290 M€/an pour Lyon, 48 M€/an pour Grenoble
 L'analyse coûts-bénéfices de la mesure est réalisée sur l'exposition annuelle.

Valeur actualisée nette sur 1 an : 337 M€
Ratio Bénéfices/Coûts annuel moyen : 685

Hypothèses retenues

Le chiffrage a été réalisé à partir de 2 cas d'étude sur les agglomérations de Grenoble et de Lyon ou l'on dispose d'une évaluation du différentiel de population exposée au bruit routier entre la situation initiale et un scénario où une réduction des vitesses sur voies rapides est mise en œuvre sur l'ensemble de l'agglomération²³. Les réductions suivantes de vitesse s'appliquent : passage de 110 km/h à 100km/h pour les routes à 2 chaussées séparées par 1 terre-plein central ; passage de 90km/h à 80km/h pour les sections de route comportant au moins

²³ Source : <https://www.acoucite.org/IMG/pdf/RapportMichelin2019-GrenobleAlpesMetropole.pdf>

Source : <https://www.acoucite.org/IMG/pdf/RapportMichelin2018-CalculApprofondiLyon.pdf>

2 voies affectées à un même sens de circulation²⁴. En calculant le coût social du bruit routier, sous le même périmètre de coûts et les mêmes hypothèses que dans la partie 2.1, à partir de l'exposition initiale de la population, et à partir de l'exposition après la mise en place de la limitation de vitesse, il est alors possible de comparer le coût social avant et après la mesure, et ainsi en estimer les bénéfices sous forme de coûts évités grâce à la mise en place de la mesure.

Tableau 6 : Distribution de l'exposition au bruit routier dans les métropoles de Lyon et de Grenoble, avant et après mise en place de la réduction des limitations de vitesse sur l'ensemble des voies rapides dans l'agglomération. Source : Acoucité.

L_{den} (dB(A))	Métropole de Lyon – Avant mise en place de la mesure	Métropole de Lyon – Après mise en place de la mesure	Métropole de Grenoble – Avant mise en place de la mesure	Métropole de Grenoble – Après mise en place de la mesure
<55	239 897	258 816	33 889	35 779
[55-60[	315 835	330 534	10 929	116 724
[60-65[	334 597	346 586	212 245	21 073
[65-70[	216 528	251 998	71 469	66 715
[70-75[	130 128	5 391	132	10 553
>=75	9 544	5 504	333	123
L_n (dB(A))	Métropole de Lyon – Avant mise en place de la mesure	Métropole de Lyon – Après mise en place de la mesure	Métropole de Grenoble – Avant mise en place de la mesure	Métropole de Grenoble – Après mise en place de la mesure
<50	555 207	605 669	98 988	105 928
[50-55[	329 623	326 241	22 371	224 674
[55-60[	201 108	234 305	97 535	91 853
[60-65[	144 575	71 528	19 480	17 146
[65-70[	13 936	8 325	883	360
>=70	280	461	9	5

Sur le volet qualité de l'air, sur les voies rapides de type route/autoroute (130-120 km/h à 110-90 km/h / 90-80 km/h à 80/70 km/h), la majorité des études montre un effet plutôt positif sur les émissions et les concentrations de polluants. La baisse des émissions peut atteindre 20% pour les oxydes d'azote et les PM10 et celle des concentrations de polluants dans l'air ambiant pouvant atteindre 8% selon les polluants (ADEME, 2014). Afin de chiffrer le bénéfice sur la qualité de l'air, nous nous sommes appuyés sur le retour d'expérience de la réduction des vitesses sur le périphérique toulousain²⁵. En effet, sur ce cas particulier, l'abaissement de la vitesse autorisée de 110 à 90 km/h à l'été 2006 s'est accompagné d'une chute du NOx et du CO2 de 10% et des PM10 de 18 à 20%.

Sur la base de ces résultats ont été appliqués les ratios €/ton pour la France issus des travaux de la Commission Européenne sur les coûts externes du transport (European Commission, 2019) :

²⁴ Les routes à double-sens, sans séparateur central ne subissent pas de diminution car elles ont déjà fait l'objet en 2018 d'une réduction de la vitesse maximale autorisée de 90 à 80 km/h.

²⁵ Bilan de la qualité de l'air : réduction de vitesse sur le périphérique toulousain (été 2006) – Accessible : http://apcveb.free.fr/v5/IMG/pdf/Oramip_vitesse_ete_2006.pdf

- NOx : 27 200 €/ton
- COV : 1 500 €/ton
- PM : 407 000 €/ton
- SO2 : 13 900 €/ton

Résultats de l'analyse coût bénéfiques

Le chiffrage du coût associé à la mise en place de cette mesure consiste en une analyse du coût public en lien avec l'aménagement des panneaux de signalisation. Dans le cas du passage des limitations de vitesse de 90 km/h à 80 km/h sur les routes nationales et départementales sur le territoire français, le gouvernement a estimé le coût de remplacement et d'installation des panneaux de limitation de vitesse à un montant compris entre 5 et 10 millions d'euros²⁶. En l'absence d'une estimation des coûts spécifiques au périmètre d'une agglomération, nous supposons un coût de 5 millions d'euros pour les deux agglomérations de Lyon et de Grenoble, en ayant conscience qu'il s'agit d'une surestimation du coût réellement engagé. Cette hypothèse de coût maximal permet aussi de prendre en compte les coûts de communication liés au changement de réglementation.

En ce qui concerne les bénéfiques, la comparaison du coût social du bruit routier sur les deux agglomérations avant et après la mise en place de la mesure permet d'estimer les différences suivantes :

- Au niveau des coûts sanitaires non tangibles, environ 1 830 DALY sont sauvées à Lyon et 260 à Grenoble grâce à la mise en place de la mesure (en comptant les morbidités liées au bruit routier, listées dans la partie 2.1.2.1), ce qui correspond à un coût évité de 242 M€ et 34 M€ respectivement, auxquels s'ajoutent 58 et 14 décès évités, pour un coût évité de 42 M€ et 27 M€. En ce qui concerne les coûts sanitaires tangibles, la différence de coûts est négligeable (moins d'1 M€ au total pour les deux villes).
- Au niveau des coûts non sanitaires, environ 6 M€ sont économisés pour l'agglomération de Lyon, et 14 M€ pour Grenoble.

Au total, des coûts sociaux de 290 M€ pour Lyon et 48 M€ pour Grenoble sont évités par la mise en place de la mesure. A ces bénéfices s'ajoutent un gain de 2 M€ par agglomération lié à la réduction des émissions de NO_x, de COV, de PM et de SO₂.

Au total, sur une exposition annuelle, le bénéfice net de la mise en place de la mesure est de 337 M€. En outre, en suppose l'amortissement du coût de l'aménagement des panneaux de signalisation sur une durée de 10 ans (durée de vie estimée des panneaux), le ratio entre le montant investi et les bénéfices est de 685.

Limites

L'analyse coûts-bénéfiques de la mesure de limitation des vitesses sur les voies rapides en agglomération présente plusieurs limites :

- Le périmètre des coûts et bénéfiques considérés est limité : d'une part, les coûts estimés pour l'analyse correspondent à une approximation, et ne prennent en compte que des coûts tangibles d'aménagement, de communication, etc. Or d'autres types de coûts peuvent intervenir dans l'analyse de telles mesures : par exemple, la limitation de la vitesse peut impliquer un allongement du temps passé sur la route, ce qui peut induire des coûts liés au « temps perdu ». D'autre part, d'autres bénéfiques peuvent être envisagés en lien avec la réduction des vitesses, notamment la diminution du risque d'accident et la baisse de la mortalité routière qui en découle.
- Les données utilisées pour l'estimation des bénéfiques liés à la pollution de l'air ne sont pas spécifiques aux agglomérations étudiées, et proviennent d'une seule étude de cas basée sur une expérience de terrain sur le périphérique toulousain, et non d'une moyenne de plusieurs études de cas sur un échantillon de métropoles comparables. L'incertitude sur cette partie des bénéfiques de la mesure est donc plus grande que sur la partie liée au bruit. De plus, l'expérimentation réalisée dans l'étude de cas s'est déroulée sur 3 mois (du 1^{er} juin au 4 septembre 2006), dans le cadre d'une mesure de réduction

²⁶ Source : <http://www.senat.fr/questions/base/2018/qSEQ180706121.html>

temporaire de la vitesse sur le périphérique toulousain. Par conséquent, les éventuels changements de répartition modale qui auraient pu avoir lieu sur le long terme n'ont pas été pris en compte dans cette estimation. Cependant, nous pouvons supposer qu'une réduction de la limitation de vitesse à ces niveaux élevés de vitesse a un impact relativement faible sur la répartition modale.

3.2.2. Mesure « ville apaisée » valorisant les enjeux de Zone à Faibles Emissions atmosphériques et « sonores »

Fiche action 2

Descriptif de la mesure

Lévier mobilisable : Restriction de circulation

Libellé de l'action et description : « Ville apaisée » valorisant les enjeux de Zone à Faibles Emissions atmosphériques et « sonores ». Il s'agit de comparer un scénario de base dit « fil de l'eau » où aucune action de mise en œuvre de la ZFE n'est déployée aux scénarios visant une interdiction permanente de circulation pour certains véhicules dans la zone retenue pour la ZFE. Le bénéfice bruit a été considéré en formulant des hypothèses sur la diminution du trafic (par report modal) induit par la mise en œuvre de la ZFE.

Nature de la mesure : Règlementaire, Incitative

Niveau de convergence : ■

Données d'entrée : périmètre

Périmètre spatial

Agglomération à centre d'agglomération
1 cas d'étude : Métropole du Grand Paris

Périmètre temporel

4 années pour prendre en compte les 3 scénarios de déploiement : Scénario A sur les années 1 et 2, B sur l'année 3 et C sur l'année 4

Impacts considérés

Air : Morts prématurées, Naissances de faible poids, Cardiopathies ischémiques, Hospitalisations, Asthme, Recours aux urgences
Bruit : Médication, Hospitalisation et soins de ville, Gêne, Troubles du sommeil, Morts prématurées liées à l'IHD, IHD, Infarctus, AVC, Anxiété, Obésité, Diabète, Dépréciation immobilière, Perte de productivité

Coûts considérés

1^{ère} année : Aides pour le renouvellement des véhicules (61 M€), Mise en place de la mesure (3 M€), Recettes liées aux vignettes (-13 M€)
Années suivantes : Contrôle (26 M€)

Nombre de personnes exposées à l'impact

Population totale de la zone d'étude (MGP) : 7 068 800 habitants exposés au bruit et à la pollution de l'air

Nombre de personnes concernées par la mesure

Population totale de la zone d'étude (MGP) : 7 068 800 habitants possédant 2 249 720 véhicules dont 137 713 sont Crit'Air 5 ou non classés, 164 566 sont Crit'Air 4, 521 787 sont Crit'Air 3

Données d'entrée : effet

Données d'exposition au bruit modifiées

Hypothèse de réduction du bruit de 0,5 dB(A) sur l'ensemble de l'exposition en L_{den} et L_n suite à la mise en place du Scénario C

Nombre de cas évitables par la mise en place de la mesure

A partir d'une modélisation ex-ante du nombre de cas potentiellement évitables via la mise en œuvre de la mesure

Résultats

Coûts de la mesure : 52 M€ la 1^{ère} année puis 27 M€/an
Bénéfices liés à la pollution de l'air : 71 M€/an pour le scénario A, 248 M€/an pour B, et 883 M€/an pour C
Bénéfices liés au bruit : 451 M€/an pour le scénario C
L'analyse coûts-bénéfices de la mesure est réalisée sur les 4 premières années de la mesure.

Valeur actualisée nette sur 4 ans : 1 512 M€
Ratio Bénéfices/Coûts annuel moyen : 13

Hypothèses retenues

L'analyse coût bénéfice de la mesure s'est appuyée sur le cas d'étude de la Métropole du Grand Paris. Ce cas d'étude a été retenu en raison de la disponibilité des données air et bruit permettant de chiffrer les co-bénéfices associés.

Sur le volet de la qualité de l'air, le chiffrage s'est appuyé sur le rapport de l'Observatoire Régional de Santé Ile de France et l'Institut Paris Région (2019) : « Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions métropolitaine : évaluation quantitative d'impact sanitaire de trois scénarios »²⁷. Cette étude considère les trois scénarios de mise en œuvre d'une ZFE sur le périmètre de l'intra-A86 au 1er juillet 2019 :

²⁷ https://www.ors-idf.org/fileadmin/DataStorageKit/ORS/Etudes/2020/ORS_benefices_sanitaires_attendus_ZFE_vd.pdf

- Scénario A : Interdiction des véhicules Crit’Air 5 et non classés ;
- Scénario B : Interdiction des véhicules Crit’Air 5/ non classés et Crit’Air 4 ;
- Scénario C : Interdiction des véhicules Crit’Air 5/ non classés, Crit’Air 4 et Crit’Air 3.
-

Pour chaque scénario de ZFE, l’estimation des impacts est réalisée par comparaison à un scénario de référence dit « fil de l’eau », correspondant à la situation future si la mesure de restriction de circulation telle que définie n’est pas mise en œuvre. L’étude estime le nombre de cas de mortalité prématurée, de naissances de faible poids, de cardiopathies ischémiques et hospitalisations en conséquence, et d’asthme chez les enfants et recours aux urgences nécessaires en lien avec la pollution de l’air qui peuvent être évités par la mise en place de la mesure. Nous nous sommes appuyés sur les résultats de l’étude concernant le périmètre de la Métropole du Grand Paris²⁸.

Sur le volet bruit, des hypothèses sur la réduction du trafic ont été formulées pour estimer l’impact de la Zone à Faible Emission sur les niveaux sonores. Ces hypothèses ont été formulées sur la base des résultats de l’enquête ménage sur l’extension de la ZFE²⁹. Il ressort de cette étude que parmi les ménages impactés par le scénario A de la ZFE (i.e. les ménages franciliens disposant d’un véhicule classé Crit’Air 5 ou non classé), 25% auraient les moyens financiers de changer de véhicule ; 10% pourraient en changer avec une aide financière ; 40% pourraient peut-être en changer selon le montant de l’aide ; et 25% n’auraient pas la capacité financière de changer de véhicule. Sur la base de ces résultats :

- Selon la même étude, parmi les 25% de ménages ne pouvant pas changer de véhicule, 70% peuvent effectuer un report modal : on suppose qu’au total, 17,5% de ces ménages n’utilisent plus de véhicule particulier lorsque leur véhicule fait l’objet d’une restriction de circulation.
- D’après l’état du parc immatriculé en 2019³⁰, environ 6% des ménages possèdent un véhicule Crit’Air 5 ou non classé, 7% un véhicule Crit’Air 4 et 23% un véhicule Crit’Air 3. En faisant l’hypothèse simplificatrice d’un véhicule par ménage, et en appliquant le taux de 17,5% de ménages qui n’utilisent plus de véhicule particulier lorsque leur véhicule fait l’objet d’une restriction de circulation, on obtient que dans le scénario A, le trafic est réduit de 1%, dans le scénario B, de 2% et dans le scénario C, de 6%.
- Par approximation, on suppose une réduction du trafic dans le scénario C suffisante pour diminuer le niveau sonore de 0,5 dB(A) (de manière homogène sur l’ensemble de l’exposition au bruit routier).

Résultats de l’analyse coût bénéfiques

Dans la mesure où les bénéfices de la mesure ont été considérés pour la première année de mise en œuvre, les coûts relatifs au déploiement de la mesure concernent uniquement la première année. Les coûts ont été considérés du point de vue de la puissance publique ayant en charge le déploiement de la mesure. Les postes de coût suivants ont ainsi été retenus :

- Dépenses³¹ :
 - o Aide pour le renouvellement des véhicules : environ 60 M€ de bonus écologique versé aux particuliers et 23 M€ de prime à la conversion.
 - o Mise en œuvre de la mesure : d’après l’expérience des Pays-Bas, environ 100 000 € sont nécessaires à la mise en place de la mesure pour une agglomération de 200 000 habitants pour la 1^{ère} année, et 75 000 € de coûts de contrôle pour les années suivantes.
- Recettes :
 - o Vignettes achetées par les particuliers : à raison de 3,62 € par vignette, en supposant 5 103 165 ménages exposés à la mesure au total (Ekodev, 2019).

²⁸ A noter que plusieurs périmètres d’étude sont considérés dans le rapport parmi lesquels les communes intra-franciliennes, la Métropole du Grand Paris, les communes intra-A86.

²⁹ DRIEE Ile de France (2019). Descriptifs et infographies de l’enquête accessibles : <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/3-les-zones-a-faibles-emissions-en-ile-de-france-a3739.html>

³⁰ Service de la donnée et des études statistiques : Parc automobile (hors deux roues), au 1er janvier 2019, selon la vignette crit’air. Fichier excel accessible : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-de-vehicules-selon-leur-categorie-critair-dans-les-zones-faibles-emissions-zfe>

³¹ Rapport ADEME (2020) « Zones à faibles émissions (LEZ) à travers l’Europe, Déploiement, retours d’expériences, évaluation d’impacts et efficacité du système ».

Le montant des aides et des coûts de contrôle est adapté proportionnellement à la population du Grand Paris sur la population totale exposée (qui correspond à 80% de la population d'Ile de France). Au total, le coût de mise en place de la mesure s'élève à 52 M€ la 1^{ère} année (correspondant aux dépenses initiales moins les recettes initiales), puis à 27 M€ les années suivantes pour le contrôle.

En ce qui concerne les bénéfices liés au bruit, la modification de la distribution de l'exposition au bruit routier par la mise en œuvre du scénario C sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris entraîne une différence sur les coûts sociaux :

- D'environ 423 M€ sur les coûts sanitaires non tangibles, et moins d'1 M€ sur les coûts sanitaires tangibles.
- D'environ 28 M€ sur les coûts non sanitaires.

Au total, plus de 451 M€ de coûts sociaux sont évités par la mise en place de la mesure. Au niveau de la pollution de l'air, les coûts sanitaires non tangibles³² évités sont de l'ordre de :

- 71 M€ pour le Scénario A dont 69 M€ sont liés aux décès évités.
- 248 M€ pour le Scénario B dont 242 M€ sont liés aux décès évités.
- 883 M€ pour le Scénario C dont 863 M€ sont liés aux décès évités.

On notera pour les 3 scénarios le poids du coût de mortalité (valorisés à l'aide de la valeur Quinet (2013)) dans le coût total. L'ORS souligne que d'autres bénéfices, notamment en matière de survenue de cancers du poumon ou de broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) pourraient être attendus dans de prochaines études.

En s'appuyant sur les coûts des quatre premières années de la mesure, la somme des bénéfices et des coûts est de 1 512 M€. De même, le ratio moyen entre coûts d'investissement et bénéfices annuels est de 13. A noter que la mesure est de plus en plus rentable au fil des années avec les déploiements des scénarios les plus ambitieux³³.

Limites

L'analyse coûts-bénéfices de cette mesure présente plusieurs limites :

- Les émissions de polluants considérées dans cette analyse sont seulement liées à l'usage des véhicules, or, en raisonnant sur le cycle total, l'incitation et/ou l'obligation de changer de véhicule implique une diminution de la durée de vie des anciens véhicules et la production de nouveaux véhicules. Par conséquent, une analyse sur un périmètre plus large non limité à la métropole concernée par la restriction de circulation pourrait présenter des conclusions différentes.
- Au niveau du périmètre des coûts et bénéfices, seuls certains effets sanitaires ont été pris en compte pour les bénéfices liés à la réduction de l'exposition au bruit et de la pollution de l'air.
- Les projections se basent sur des études de modélisation et de bénéfices potentiels ex ante, impliquant un scénario idéal de mise en œuvre et respect de la mesure : respect du calendrier initial, respect de l'interdiction assorti de mesures de contrôle suffisantes. L'impact réel de la mesure considérant ces variables est par conséquent difficile à prévoir. Par ailleurs, au niveau des coûts, la rentabilité de la mesure est fortement dépendante du montant des aides pour le renouvellement des véhicules, qui peut en réalité varier au cours du temps selon le changement du montant et selon le nombre de demandes.

³² Les hypothèses de *disability weights* et de valeur d'une année de vie en bonne santé sont les mêmes que dans la partie 2.1.2.1., auxquelles s'ajoutent l'hypothèse d'un disability weight de 0,043 pour l'asthme et 0,106 pour une naissance de faible poids (source : https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD2004_DisabilityWeights.pdf), et un coût de 1 494 € pour une hospitalisation liée à l'asthme chez l'enfant (source : [Scan Santé](#)).

³³ Détail des ratios par années de déploiement : Ratio Bénéfices/Coûts sur 1 an (1^{ère} année/Scénario A) : 1,3 ; Ratio Bénéfices/Coûts sur 1 an (2^{ème} année/Scénario A) : 2,6 ; Ratio Bénéfices/Coûts sur 1 an (3^{ème} année/Scénario B) : 9,3 ; Ratio Bénéfices/Coûts sur 1 an (4^{ème} année/Scénario C) : 50,3.

- Tel que souligné en introduction, le cas d'étude a été retenu en raison de la disponibilité des données. En raison de son poids démographique, la Métropole du Grand Paris constitue un cas singulier parmi les agglomérations françaises. Des analyses coûts bénéfiques complémentaires sur d'autres agglomérations et métropoles françaises pourraient ainsi être attendues.

3.2.3. Mesure sur la qualité acoustique des bâtiments (en lien avec l'enjeu de rénovation globale) incluant les bâtiments d'enseignement pour traiter notamment le bruit en milieu scolaire

Fiche action 3

Descriptif de la mesure

Levier mobilisable : Traitement des problématiques du bruit et de la qualité de l'air intérieur dans les milieux professionnels, cas spécifique du milieu scolaire dans les métropoles et grandes intercommunalités françaises

Libellé de l'action et description : La mesure retenue consiste en une intervention sur des établissements scolaires soumis à des niveaux sonores dépassant les valeurs limites (sur l'indicateur L_{den}). L'intervention considérée revient à une isolation du bâtiment intégrant la dimension acoustique et l'enjeu qualité de l'air (via un système de ventilation optimisé), cette mesure permet ainsi de se prémunir davantage du bruit extérieur (causé par les trafics routiers et ferroviaires, les chantiers, etc.) et donc de faire diminuer le bruit interne en apaisant l'ambiance sonore. Cette mesure présente une synergie forte avec le contexte de rénovation énergétique des bâtiments tertiaires. Afin de couvrir la problématique du bruit en milieu scolaire dans sa globalité, il est considéré que la mesure intègre un travail spécifique sur la qualité acoustique interne des établissements (travail sur la réverbération, etc.), cela permettrait ainsi de faire baisser les bruits internes et donc de réduire l'ensemble des impacts liés au bruit dans les établissements scolaires.

Nature de la mesure : Technique et/ou réglementaire (éventuellement économique via des incitations)

Niveau de convergence : ■

Données d'entrée : périmètre

Périmètre spatial

Etablissements scolaires fortement exposés au bruit : 2 469 dans les grandes agglomérations, 3 704 en France par extrapolation

Périmètre temporel

Durée de vie conventionnelle des travaux d'isolation : 30 ans

Impacts considérés

Air : impact non quantifié
Bruit : Difficultés d'apprentissage chez les élèves et gêne chez les enseignants

Coûts considérés

Surcoût lié aux travaux de rénovation spécifiques à la dimension acoustique d'environ 10% : 40 €/m² sur un coût de 400 €/m² pour la rénovation

Nombre de personnes exposées à l'impact et concernées par la mesure

732 775 élèves et 52 317 enseignants par extrapolation

Données d'entrée : effet

Données d'exposition au bruit modifiées

Hypothèse d'une réduction de l'exposition au bruit pour les élèves et enseignants les plus exposés : -10 dB(A) pour le bruit externe et -20 dB(A) pour le bruit interne

Pas de quantification d'effet spécifique à la qualité de l'air

Évaluation qualitative de l'impact de l'amélioration de la qualité de l'air intérieur dans les établissements scolaires sensibles

Résultats

Surcoût de la rénovation pour la dimension acoustique : 292 M€ pour l'ensemble des établissements fortement exposés en France, amortis sur 30 ans, durée de vie conventionnelle des travaux.

Bénéfices liés au bruit : 46 M€/an pour les élèves et 54 M€/an pour les enseignants.

L'analyse coûts-bénéfices est réalisée sur 30 ans.

Valeur actualisée nette sur 30 ans : 1 887 M€
Ratio Bénéfices/Coûts annuel moyen : 10

Hypothèses retenues

Une revue des données issues des cartes stratégiques de bruit sur une dizaine de métropoles montre que le pourcentage d'établissements scolaires exposés à des dépassements de seuils L_{den} se situe autour de 10 %. Ce chiffre a été conservé pour la suite de l'estimation de l'impact de la mesure. Le chiffre de 10 % a ainsi été appliqué aux établissements scolaires des territoires des grandes agglomérations pour avoir une estimation d'un volume d'établissements scolaires fortement exposés : de 2 469 établissements exposés. Par extrapolation, le nombre d'établissements exposés à l'échelle nationale est de 3 704. Pour estimer la population exposée, les moyennes suivantes ont été calculées à part des données 2017 du rapport de l'Education nationale³⁴ :

- Moyenne du nombre d'élèves par établissement : 198
- Moyenne du nombre d'enseignants par établissement : 14

³⁴ http://cache.media.education.gouv.fr/file/2017/96/3/depp-enc-2017_801963.pdf

En multipliant le nombre d'établissements par le nombre moyen d'élèves et d'enseignants, on compte ainsi la population suivante concernée par la mesure :

- 732 775 élèves,
- 52 317 enseignants.

Par approximation, on suppose que les 10% d'établissements scolaires fortement exposés au bruit représentent la part d'élèves et d'enseignants les plus exposés au bruit interne dans la distribution de l'exposition : en ce qui concerne l'exposition au bruit interne, cela correspond à la classe d'exposition entre 70 et 75 dB(A). Pour ces élèves et enseignants dont l'établissement scolaire fait l'objet d'une rénovation, on suppose que l'exposition au bruit diminue de 20 dB(A), en s'appuyant sur l'hypothèse que le remplacement d'une fenêtre peut permettre une réduction de l'exposition au bruit allant jusqu'à 40 dB(A)³⁵. Ainsi, les 732 775 élèves et 52 317 enseignants auparavant exposés à un bruit interne de 70 à 75 dB(A) sont après la mesure exposés à un bruit interne de 50 à 55 dB(A), le reste de la distribution étant inchangé. Concernant l'exposition au bruit externe, notamment le bruit aérien dans le cadre de l'étude, l'hypothèse est faite que l'ensemble des élèves exposés au bruit aérien étudient dans un établissement scolaire considéré comme fortement exposé, par conséquent, pour l'ensemble de cet échantillon, l'exposition au bruit est diminuée de 15 dB(A), en s'appuyant sur la réglementation selon laquelle l'isolement acoustique au bruit externe doit être de 30 dB minimum à 45 dB pour les écoles fortement exposées (indice D), et de 40 dB minimum en salle de cours³⁶.

Résultats de l'analyse coût bénéfiques

Les coûts relatifs au déploiement de la mesure correspondent aux coûts d'une rénovation performante d'environ 400 €/m² pour la rénovation performante (base de coût lié à l'amélioration importante de la performance énergétique via travail sur l'enveloppe, prenant en compte le travail sur la ventilation) avec un surcoût de 10 % pour intégrer un travail spécifique sur la dimension acoustique (sur la base du surcoût d'une fenêtre acoustique et thermique par rapport à son équivalent thermique) soit environ 40 €/m² de surcoût.

Les coûts sociaux liés au bruit en milieu scolaire proviennent de deux sources différentes dans la présente étude : le bruit aérien, et le bruit interne à l'établissement. Pour ces deux sources de bruit, nous estimons qu'après rénovation des établissements fortement exposés, environ 58 000 élèves ne font plus l'objet de difficultés d'apprentissage, ce qui correspond à 347 DALY, valorisées à 46 M€. Pour le bruit interne à l'établissement, environ 20 000 enseignants ne souffrent plus de gêne liée au bruit, ce qui correspond à 405 DALY, pour un coût évité de 54 M€. Les coûts évités liés à la pollution de l'air ne sont pas quantifiés dans la présente analyse.

Au total, en comparant le surcoût lié à la dimension acoustique de la rénovation et les bénéfices sanitaires liés à la réduction de l'exposition au bruit, la rénovation acoustique des établissements scolaires génère une valeur de 1,9 milliards d'euros sur une durée de 30 ans, correspondant à la durée de vie conventionnelle des travaux. En d'autres termes, en amortissant le surcoût de la rénovation acoustique sur 30 ans, le ratio des bénéfices sur les coûts d'investissements est d'environ 10.

Limites

L'analyse coûts-bénéfices propose une comparaison des bénéfices liés à la réduction de l'exposition des élèves et enseignants au bruit au surcoût lié à la dimension acoustique de la rénovation : n'est pas pris en compte le coût global de la rénovation (qui, par ailleurs, génère d'autres bénéfices non liés au bruit). C'est pourquoi le ratio bénéfices/coûts est à manipuler avec précaution : investir 1 € dans la rénovation acoustique ne permet pas un bénéfice lié au bruit de 10 € si l'investissement dans la rénovation globale n'est pas consenti.

En outre, l'analyse proposée ne quantifie pas les impacts sur la qualité de l'air. Est proposée en Annexe D une approche qualitative sur les co-bénéfices air bruit relatifs à cette mesure.

³⁵ Source : <https://www.bruit.fr/bruit-dans-l-habitat/isoler-son-logement-du-bruit>

³⁶ Source : https://www.isover.fr/sites/isover.fr/files/assets/documents/catalogue_fondamentaux.pdf

3.2.4. Mesure sur la réduction des émissions (sonores et pollution) des chantiers de construction (et de démolition) en milieu urbain (bâtiment, etc.)

Fiche action 4

Descriptif de la mesure

Levier mobilisable : Réduire les émissions sur les chantiers de construction et de démolition en milieu urbain

Libellé de l'action et description : Des actions de réduction des émissions sur les chantiers apparaissent dans des chartes « chantiers verts », « chantiers propres » ou « chantiers à faibles nuisances », développées par certaines villes et agglomérations. Ces chartes associent couramment un objectif de limitation des pollutions de l'air ainsi qu'un objectif de limitation du bruit.

Nature de la mesure : Planification, Technique

Niveau de convergence : ■

Données d'entrée : périmètre

Périmètre spatial

Chantiers du bâtiment en zone métropolitaine : 35 750 chantiers

Périmètre temporel

Périmètre d'une année

Impacts considérés

Air : Effets sanitaires, Pertes agricoles, Perte de biodiversité, Dommages matériels
Bruit : Médication, Hospitalisation et soins de ville, Gêne, Troubles du sommeil, Morts prématurées liées à l'IHD, IHD, Infarctus, AVC, Anxiété, Perte de productivité

Coûts considérés

- Coûts d'organisation et d'allongement du chantier pour respect des horaires
- Coût d'entretien matériels et véhicules
- Coûts d'information des riverains
- Achat de bâches et de talkie-walkie

Nombre de personnes exposées à l'impact et concernées par la mesure

Hypothèse de 2 311 262 riverain.e.s exposé.e.s au bruit et d'émissions de 2000 tonnes de PM10 pour l'ensemble des chantiers

L'exposition des compagnons de chantier n'est pas prise en compte.

Données d'entrée : effet

Données d'exposition au bruit modifiées

Hypothèse d'une réduction de 5 dB(A) de l'exposition au bruit de chantiers (en L_{den}), qui entraîne un décalage de la distribution de l'exposition à l'intervalle inférieur

Données d'émissions de PM

Hypothèse de réduction des émissions de PM10 de 10% (sur un total de 2000 tonnes) et de ratios €/ton PM pour la France

Résultats

Coûts de la mesure : 17 617 € de coûts de gestion pour un chantier, 617 M€ en tout

Bénéfices liés à la pollution de l'air : 81 M€/an

Bénéfices liés au bruit : 1 485 M€/an

L'analyse coûts-bénéfices de la mesure est réalisée sur l'exposition annuelle.

Valeur actualisée nette sur 1 an : 948 M€

Ratio Bénéfices/Coûts annuel moyen : 3

Hypothèses retenues

Les principales actions identifiées dans le cadre de la mise en œuvre des chartes chantiers propres sont les suivantes³⁷ :

- Humidification des matériaux et voies de circulation par temps sec : tout matériel produisant de la poussière est muni de dispositifs limitant sa diffusion (aspirateur, humidificateur...) ; les sols et tas divers (terres, gravats...) font l'objet d'aspersions régulières notamment en période sèche
- Bâchage pour éviter les envols de poussières (notamment bennes et camions) et limiter le bruit en appliquant les meilleures pratiques sur le dimensionnement et l'étanchéité

³⁷ Fédération Française du Bâtiment (FFB) – Affiche communication chantiers propres. Accessible ici : http://www.dechets-chantier.ffbatiment.fr/res/dechets_chantier/PDF/Affiche%20chantier%20propre%20BD.pdf

- Entretien des matériels et véhicules
- Coupure des moteurs en cas d'arrêt prolongé
- Respect des plages horaires pour les tâches bruyantes

Par l'application de ces mesures :

- On suppose une réduction des émissions de PM10 de l'ordre 10% sur une base de 2 000 tonnes émises, soit 200 tonnes. En effet, le secteur des chantiers et BTP est responsable d'environ 15 % des émissions de PM10³⁸. Sur la base de ces hypothèses, a été appliqué le ratio €/ton PM pour la France suivant : 407 000 €/ton (European Commission, 2019).
- On suppose une réduction de 5 dB (i.e. décalage de la distribution à l'intervalle inférieur³⁹). Ce gain concerne essentiellement les moyennes et hautes fréquences sonores, en s'appuyant sur l'hypothèse selon laquelle l'application de bonnes pratiques dont l'utilisation de bâches, palissades ou écrans permet une réduction de bruit « de 5 dB, voire 10 dB en zone sensible directement derrière ».

Résultats de l'analyse coût bénéfiques

Les coûts relatifs au déploiement de la mesure concernent uniquement la première année. Les coûts ont été considérés du point de vue du maître d'ouvrage ayant en charge le déploiement des bonnes pratiques. Les postes de coût suivants ont été retenus :

- Coûts d'organisation et d'allongement du chantier pour respect des horaires
- Coûts d'information des riverains
- Coûts d'entretien des matériels et des véhicules
- Achat de bâches et de talkie-walkie

D'après les retours d'expérience⁴⁰, on suppose un surcoût total de 17 617 € par chantier (dont gestion des déchets). En appliquant le ratio de coût par tonne de polluant aux 200 tonnes de PM10 évitées, on obtient un bénéfice de 81 M€ sur la pollution de l'air. Par ailleurs, les bénéfices liés à la réduction de l'exposition au bruit de chantiers sont de 1,6 milliards d'euros (en prenant en compte l'ensemble des coûts sociaux liés au bruit de chantiers, détaillé dans la partie 2.3.2). Au total, sur une année, la somme des bénéfices et coûts est de 1,1 milliards d'euros, et le ratio entre bénéfices et coûts investis est de presque 3. Il convient de noter que les coûts et les bénéfices considérés ici sont annuels (par approximation, la durée du chantier dont sont issues les données de coûts étant de 16 mois), par conséquent le ratio bénéfices/coûts est supposé stable dans le temps.

Limites

Des évaluations *ex post* de mise en œuvre de ces bonnes pratiques mises en place sur les chantiers seraient souhaitables de sorte à corroborer ou informer les hypothèses proposées : en l'absence de données d'évaluation proposant des différentiels d'émissions avant / après mise en place de la mesure, il est possible que l'impact ait été sous-estimé ou surestimé. D'autant plus que le niveau de prise en compte des contraintes (dimensionnement (position, longueur, hauteur), étanchéité) peut aboutir à des niveaux d'efficacité variables en matière de réduction des nuisances. Le coût de gestion du chantier s'appuie sur un retour de cas dont la représentativité peut être questionnée.

³⁸ Air Paris : <https://www.airparif.asso.fr/comprendre-la-pollution/les-sources-de-pollution>

³⁹ Livre blanc Silence chantier (2019) Société du Grand Paris 2019 – Accessible sur la médiathèque de la SG² : <https://media-mediathèque.societedugrandparis.fr/medias/domain1/media675/99991-a9h7rbjxpg.pdf>

⁴⁰Source : http://www.chantierpropre.lafabriqueeffbatiment.fr/wp-content/uploads/sites/27178/2019/06/D%C3%A9marche-CP_Fiche-IDEA.pdf

4. Conclusion et perspectives

Une première étude « Analyse bibliographique des travaux français et européens - le coût social des pollutions sonores » a été réalisée par EY pour le compte de l'ADEME en 2016⁴¹. Cette étude a ainsi établi à 57 Milliards d'euros par an le coût social du bruit en France, dont plus d'un tiers, soit 20,6 milliards d'euros, est imputable au bruit des transports.

La présente étude a visé dans les Phase 1 et Phase 2 à actualiser cette estimation en élargissant le champ de l'analyse : ont ainsi été considérés 3 catégories de sources : les transports, distingués entre routier, ferré et aérien, le milieu professionnel, hospitalier et scolaire, et le voisinage, dont les particuliers, les activités et les chantiers de construction. La somme de l'ensemble des coûts sociaux du bruit en France s'élèverait ainsi à **158,5 milliards d'euros annuels** :

- **Bruit des transports** : Le coût social du bruit des transports s'élève à plus de **106,3 milliards d'euros**, dont les coûts sanitaires non tangibles représentent la majeure partie. Le trafic routier est le premier responsable du coût social du bruit des transports : au total, 80,5 milliards d'euros de coûts sociaux sont générés par ce seul mode de transport. Les trafics aérien et ferroviaire sont quant à eux responsables de 14,6 milliards et 11,2 milliards d'euros respectivement.
- **Bruit en milieu professionnel** : Le coût social du bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire représente un coût annuel total d'environ **23,8 milliards d'euros**. En particulier, le bruit en milieu professionnel génère un coût social considérable (22,5 milliards d'euros), lié principalement à la perte de productivité causée par le bruit au travail.
- **Bruit de voisinage** : Les coûts sociaux générés par le bruit des particuliers, des activités et des chantiers de construction s'élèvent à **26,8 milliards d'euros**, dont 66% sont liés au bruit des particuliers, et 21% au bruit des chantiers.
- Aux coûts sociaux liés aux différentes sources de bruit s'ajoutent les coûts qui recouvrent l'ensemble des sources de bruit : en particulier, les dépenses liées à **la surveillance et à la recherche** sur les effets du bruit environnemental, estimés à environ **2,0 milliards d'euros**.

Les recommandations proposées à l'issue des Phase 1 et Phase 2 visent à compléter les connaissances manquantes pour les postes de coût dont l'estimation peut encore être précisée :

- **Affiner l'estimation du coût social du bruit en milieu professionnel notamment en ce qui concerne le bruit en milieu hospitalier et en milieu scolaire** : en ce qui concerne le bruit hospitalier (dont le coût social est de 64 millions d'euros), les coûts présentés au sein de ce rapport sont probablement sous-estimés, du fait du manque de données existantes et des hypothèses arbitraires qui ont été formulées. Il en va de même en ce qui concerne le bruit en milieu scolaire (qui représente un coût social de 1,3 milliard d'euros), de nombreux impacts sur les élèves et enseignants étant complexes à modéliser. La systématisation de ce type d'étude permettra donc d'assurer un niveau de robustesse plus élevé à ces résultats, qui montrent néanmoins dès à présent l'ampleur des impacts liés au bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire.
- **Affiner l'estimation du coût social du bruit de voisinage** : l'incertitude liée à l'estimation du coût de voisinage dans le cadre de la présente étude est élevée : les connaissances en matière d'impact sanitaire et économique du bruit dans le voisinage sont encore peu répandues, et les méthodologies de calcul ont demandé le transfert de méthodologies utilisées pour d'autres sources de bruit mieux étudiées, notamment celles pour le secteur du transport, et la formulation d'hypothèses arbitraires. C'est pourquoi, si cette première estimation permet d'affirmer que ces coûts existent et sont non négligeables, elle est amenée à évoluer avec l'évolution des connaissances sur le sujet.

⁴¹ <https://www.ademe.fr/analyse-bibliographique-travaux-francais-europeens-coût-social-pollutions-sonores>

- **Élargir les types de coût considérés sur l'ensemble des sources de bruit** : faute de données suffisantes, plusieurs types de coûts n'ont pas pu être intégrés à l'analyse. C'est par exemple le cas : de l'effet du bruit sur le système endocrinien, de l'effet du bruit sur le stress, de l'effet du bruit sur les performances cognitives, de la perte de liberté dans l'usage des sols générée par le bruit, des conséquences sur la biodiversité et sur l'environnement de manière générale.

En Phase 3, la présente étude permet également de fournir des éléments d'analyse coûts-bénéfices au regard des enjeux Bruit et Qualité de l'Air identifiés et des mesures de réduction des nuisances associées. Ces éléments permettent de mettre en regard le coût de la mise en œuvre de ces mesures de réduction et des co-bénéfices Air / Bruit afférents avec les bénéfices économiques qu'elles peuvent apporter à la société, afin d'informer les décideurs sur l'intérêt de leur mise en œuvre. Les bénéfices des mesures correspondent alors aux coûts évités. Quatre mesures aux bénéfices Bruit/Air avérés ont ainsi été sélectionnées pour une analyse spécifique sous la forme de cas d'études, dont les principaux résultats (et les limites identifiées) sont rappelés ci-après :

- **Mesure sur la réduction des vitesses en voies rapides** : au total, sur une exposition annuelle, le bénéfice net de la mise en place de la mesure est de 337 M€. En outre, en suppose l'amortissement du coût de l'aménagement des panneaux de signalisation sur une durée de 10 ans (durée de vie estimée des panneaux), le ratio entre le montant investi et les bénéfices est de 685 (chiffres basés sur les 2 Métropole Lyon et Grenoble).
- **Mesure « ville apaisée » valorisant les enjeux de Zone à Faibles Emissions et de diminution du trafic** : au total, en s'appuyant sur les coûts des quatre premières années de la mesure (en lien avec le déploiement des 2 scénarios progressifs de la ZFE), le bénéfice net de la mise en place de la mesure est de 1 512 M€. En amortissant le coût sur 4 années, le ratio moyen entre coûts d'investissement et bénéfices annuels est de 13 (chiffres basés sur la Métropole du Grand Paris).
- **Mesure sur la qualité acoustique des bâtiments (en lien avec l'enjeu de rénovation globale) incluant les bâtiments d'enseignement pour traiter notamment le bruit en milieu scolaire** : au total, en comparant le surcoût lié à la dimension acoustique de la rénovation et les bénéfices sanitaires liés à la réduction de l'exposition au bruit, la rénovation acoustique des établissements scolaires génère une valeur de 1,9 milliards d'euros sur une durée de 30 ans, correspondant à la durée de vie conventionnelle des travaux. En amortissant le surcoût de la rénovation acoustique sur 30 ans, le ratio des bénéfices sur les coûts d'investissements est d'environ 10 (chiffres basés sur France entière).
- **Mesure sur la réduction des émissions (sonores et pollution) des chantiers de construction (et de démolition) en milieu urbain (bâtiment, etc.)** : au total, sur une année, la somme des bénéfices et coûts est de 1,1 milliards d'euros, et le ratio entre bénéfices et coûts investis est de presque 3. Il convient de noter que les coûts et les bénéfices considérés ici sont annuels (par approximation, la durée du chantier dont sont issues les données de coûts étant de 16 mois), par conséquent le ratio bénéfices/coûts est supposé stable dans le temps (chiffres basés sur France entière).
- Des limites et recommandations propres à chacune des mesures sont précisées dans le corps du rapport. En matière de perspectives, on pourra toutefois envisager d'affiner et de proposer des analyses coûts-bénéfices complémentaires en challengeant les périmètres (périmètre spatial, temporel, impacts et coûts considérés) et d'effets, notamment sur le volet Qualité de l'Air, enjeu secondaire de cette étude.

A. L'estimation de l'exposition au bruit des transports

Le travail de recueil, de traitement et d'extrapolation des données d'estimation de l'exposition a été coordonné par BruitParif et a comporté trois étapes successives :

1. Recueil des données d'exposition au bruit des transports pour les agglomérations

Sur les 45 agglomérations concernées représentant 24,8 millions d'habitants, seules les données pour 25 d'entre elles représentant 16,9 millions d'habitants (soit 68%) étaient disponibles au sein d'Eionet. Les données de ces 25 agglomérations ont été complétées avec des données pour les plages d'exposition en Lden comprises entre 45 et 55 dB(A) et entre 40 et 50 dB(A) en Ln fournies par Bruitparif pour les 14 agglomérations concernées situées en région Île-de-France, par Acoucity pour les 4 agglomérations concernées situées en région Auvergne-Rhône-Alpes (sauf pour le bruit aérien), par l'Eurométropole de Strasbourg pour cette agglomération et par Bruitparif pour Brest Métropole. Concernant les 20 agglomérations pour lesquelles les données n'étaient pas disponibles dans Eionet, Bruitparif a pu récupérer des informations issues des CSB ou des PPBE de l'échéance 2 disponibles sur internet pour neuf d'entre elles et Acoucity également pour deux d'entre elles. Au final, Bruitparif a procédé à une extrapolation pour neuf agglomérations (représentant 2,8 millions d'habitants) pour lesquelles aucune donnée n'était disponible, à partir des statistiques des agglomérations couvertes par des données et dont le nombre d'habitants était inférieur à 500 000 habitants. Des données complémentaires pour des communes situées hors agglomérations compétentes au titre de l'échéance 3 ont également été ajoutées par Acoucity (territoire du SCOT pour Lyon) et Bruitparif (agglomération de Melun Val de Seine ainsi que certaines communes d'Île-de-France qui étaient concernées au titre de l'échéance 2). Au final, ce recueil de données porte sur 25,6 millions d'habitants.

2. Recueil des données d'exposition au bruit des transports pour les grandes infrastructures hors grandes agglomérations

Hors des 45 grandes agglomérations concernées à l'étape 1, des données issues des statistiques sur les grandes infrastructures ont été structurées par Bruitparif par département à partir des données disponibles sur la plateforme EIONET, en prenant soin de ne pas compter les données concernant les grandes infrastructures dans leur partie agglomération afin d'éviter des doubles comptes). Sur les 41 millions de personnes résidant hors des agglomérations de l'étape 1, de l'ordre de 6,8 millions sont comptabilisés dans la base de données Eionet pour être soumis au bruit des grandes infrastructures.

3. Extrapolation pour les populations habitant en zone urbaine mais hors grandes agglomérations

Des estimations ont été faites également pour évaluer les expositions au bruit des populations qui vivent en zone urbaine mais qui ne sont pas couvertes par des cartes de bruit stratégiques. Il s'agit des 27 millions de personnes⁴², qui habitent dans les agglomérations et villes qui comptent moins de 100 000 habitants. Pour ces habitants, une extrapolation a été produite par Bruitparif à partir des statistiques d'exposition au bruit des agglomérations couvertes par des données et dont le nombre d'habitants était inférieur à 500 000 habitants. Cette extrapolation n'a toutefois été faite que pour le bruit routier, car il a été jugé que la plupart des enjeux concernant l'exposition au bruit ferroviaire étaient déjà comptabilisés via l'étape 2 (grandes infrastructures ferroviaires traversant des zones urbaines). Quant au bruit aérien, il a été considéré que la plupart des enjeux avait été intégrée avec les étapes 1 (aérodromes et grands aéroports dans les grandes agglomérations) et 2 (grands aéroports hors grandes agglomérations). Cette approche conduit naturellement à une sous-estimation

⁴² D'après l'INSEE, ce sont en effet de l'ordre de 52,8 millions de personnes qui vivent en zone urbaine en 2020. Si l'on retrace à ce nombre les habitants (25,6 millions) qui vivent au sein des zones couvertes par des cartes de bruit établies dans le cadre de la directive européenne, on obtient 27, 2 millions.

de la prise en compte de l'exposition au bruit aéroportuaire puisque les aéroports et aérodromes dont le nombre annuel de mouvements est inférieur à 50 000 et qui sont situés en dehors des grandes agglomérations n'ont pas été considérés, sauf en région Île-de-France.

B. Description des effets sanitaires et hypothèses de calcul

Figure 10 : Description des effets sanitaires pris en compte dans l'étude.

Effet sanitaire	Description
Gêne	La gêne est une sensation de désagrément, qui peut comprendre divers sentiments, dont la perturbation, l'insatisfaction, la souffrance, le déplaisir, l'irritation, le stress. Il s'agit d'un effet de court-terme, qui, si l'exposition au bruit est prolongée, peut générer des maladies cardiovasculaires et métaboliques sur le long terme.
Perturbations du sommeil	Les perturbations du sommeil désignent les perturbations qui réduisent le temps total de sommeil, et ainsi le repos. Il s'agit des réveils, des difficultés à s'endormir, et de la réduction de la qualité générale du sommeil, qui peuvent empêcher le repos du corps et générer une sensation de fatigue au réveil. Il s'agit d'un effet de court-terme, qui, si l'exposition au bruit est prolongée, peut générer des maladies cardiovasculaires et métaboliques sur le long terme.
Effets cardiovasculaires et effets métaboliques	L'exposition de long terme au bruit génère une augmentation de la pression sanguine, la modification du rythme cardiaque et la production d'hormones de stress. Ces symptômes peuvent mener au développement d'une maladie cardiovasculaire (cardiopathie ischémique, AVC ou hypertension dans la présente étude), endocrinienne (comme le diabète) ou métabolique (comme l'obésité). Ces maladies chroniques peuvent à terme causer une mort prématurée.
Troubles de la santé mentale	La santé mentale désigne l'ensemble des états qui relèvent du « bien-être ». Les troubles de la santé mentale désignent alors les perturbations anormales de la pensée, de la perception, des émotions, des comportements et des relations avec autrui. Dans la présente étude, les troubles retenus sont la dépression, et par approximation faute de donnée suffisante, l'anxiété.
Difficultés d'apprentissage	Le bruit en milieu scolaire peut créer des difficultés de compréhension et d'intelligibilité de la parole, et ainsi générer des difficultés dans l'apprentissage de la lecture, de mémoire et de performance scolaire. De plus, l'exposition au bruit au domicile peut perturber le sommeil, et générer une fatigue qui a des conséquences sur la performance scolaire.

Tableau 7 : Courbes dose-réponse, risques relatifs et odd-ratios sélectionnés pour l'estimation des coûts sanitaires du bruit.

Effet sanitaire	Coefficient d'incapacité	Source de bruit	Courbe dose-réponse, risque relatif (RR) ou odd ratio (OR)	Source
Gêne	0,02 (WHO, 2018)	Route	$\frac{78,927 - 3,1162 \times L_{den} + 0,0342 \times L_{den}^2}{100}$	(WHO, 2018)
		Rail	$\frac{38,1596 - (2,05538 * L_{den}) + (0,0285 * (L_{den}^2))}{100}$	(WHO, 2018)
		Aéroport	$\frac{\exp(-3,101 - 4,356 + 0,103 * L_{den})}{1 + \exp(-3,101 - 4,356 + 0,103 * L_{den})}$	(Lefèvre, 2020)

		Chantiers		
Perturbations du sommeil	0,07 (WHO, 2018)	Route, chantiers (par approximation avec le bruit routier)	$\frac{19,4312 - (0,9336 * L_{den}) + (0,0126 * (L_{den}^2))}{100}$	(WHO, 2018)
		Rail	$\frac{67,5406 - (3,1852 * L_{den}) + (0,0391 * L_{den}^2)}{100}$	(WHO, 2018)
		Aéroport	$\frac{\exp(-1,522 - 0,521 + 0,024 * L_{den})}{1 + \exp(-1,522 - 0,521 + 0,024 * L_{den})}$	(Nassur, 2017)
Cardiopathies ischémiques	0,405 (WHO, 2018)	Route, chantiers (par approximation avec le bruit routier)	$RR = \exp(\ln(1,08)/10 \times (L_{den} - 53))$ si $L_{den} \geq 53$ dB, and $RR = 1$ si $L_{den} < 53$ dB	(WHO, 2018)
		Rail (par approximation avec le bruit aérien), aéroport	$RR = \exp(\ln(1,09)/10 \times (L_{den} - 53))$ si $L_{den} \geq 53$ dB, and $RR = 1$ si $L_{den} < 53$ dB	(WHO, 2018)
AVC	0,316 (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2018)	Route	$RR = \exp(\ln(1,14)/10 \times (L_{den} - 50))$ si $L_{den} \geq 50$ dB, and $RR = 1$ si $L_{den} < 50$ dB	(WHO, 2018)
Hypertension	0,117 (WHO, 2018)	Aéroport	$\frac{\exp(-7,36 + 5,88 + 0,012 * L_{den})}{1 + \exp(-7,36 + 5,88 + 0,012 * L_{den})}$	(Evrard, 2020)
Troubles de la santé mentale	0,145 (par approximation avec les troubles dépressifs) (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2018)	Route, chantiers (par approximation avec le bruit routier)	$OR = 1,08$ pour une augmentation de 10 dB(A) en L_{den} (par approximation à partir de l'anxiété)	(Lan, 2020)
		Particuliers et activités	$OR = 2,34$ pour une augmentation de 10 dB(A) en L_{den}	(Jensen, 2018)
Obésité	0,10 (moyenne pondérée de DW des effets sanitaires de l'obésité) (OECD, 2019)	Route	$RR = \exp(\ln(1,25)/10 \times (L_{den} - 53))$ si $L_{den} \geq 53$ dB, and $RR = 1$ si $L_{den} < 53$ dB	(Foraster, 2018)
Diabète	0,049 (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2018)	Route	$RR = \exp(\ln(1,35)/10 \times (L_{den} - 53))$ si $L_{den} \geq 53$ dB, and $RR = 1$ si $L_{den} < 53$ dB	(Eze, 2017)
		Aéroport	$RR = \exp(\ln(1,86)/10 \times (L_{den} - 45))$ si $L_{den} \geq 45$ dB, and $RR = 1$ si $L_{den} < 45$ dB	(Eze, 2017)
Difficultés d'apprentissage	0,006 (WHO, 2018)	Aéroport, établissement scolaire (par approximation avec le bruit aérien)	$\frac{1}{1 + \exp\left(-\left(\ln\left(\frac{0,1}{0,9}\right) + \left(\frac{\ln(1,38)}{10} * (L_{den} - 50)\right)\right)\right)}$	(Stansfeld, 2005)

Mortalité liée aux cardiopathies ischémiques		Route, chantiers (par approximation avec le bruit routier)	$RR = \exp(\ln(1,05)/10 \times (L_{den} - 53))$ si $L_{den} \geq 53$ dB, and $RR = 1$ si $L_{den} < 53$ dB	(WHO, 2018)
Médication		Route, particuliers, activités et chantiers (par approximation avec le bruit routier)	$OR = 1,41$ pour une augmentation de 10 dB(A) en L_{den}	(Okokon, 2018)

C. Justification du degré de convergence des mesures (Paris 3)

Rappel du code couleur :

Rouge	Mesures dont la convergence n'est pas systématique, mais conditionnée à de nombreux facteurs et notamment au contexte local, et où le chiffrage des impacts ne saurait rendre compte / tenir compte des multiples contraintes locales associées à leur mise en œuvre, ce qui rend délicat le chiffrage "abstrait" des impacts et l'extrapolation des résultats
Orange	Mesures dont la convergence est plutôt systématique, mais où le chiffrage des impacts ne saurait rendre compte / tenir compte des multiples contraintes locales associées à leur mise en œuvre, ce qui rend délicat le chiffrage "abstrait" des impacts et l'extrapolation des résultats
Jaune	Mesures dont la convergence est plutôt systématique bien que parfois contrastée, mais qui présentent des enjeux marqués et des opportunités de chiffrage dans le cadre de l'étude
Vert	Mesures dont la convergence est plutôt systématique et qui présentent des enjeux et opportunités en termes de chiffrage dans le cadre de l'étude (résultats qui peuvent être extrapolés, leviers concrets et opérationnels pour les pouvoirs publics, pertinence avec le sujet coût social du bruit)

Leviers mobilisables	Actions	Degré de convergence et de pertinence du chiffrage
Agir sur les formes urbaines et architecturales	Éloignement des bâtiments, Insertion de zones tampons, écrans acoustiques, Hauteur des bâtiments et largeur des rues, Orientation des bâtiments, Conception interne des logements, Conception architecturale Intégrer/renforcer les critères spécifiques air bruit dans les documents d'urbanisme locaux et les projets d'aménagement	Le travail sur les formes urbaines et architecturales (au moment de la construction notamment) peut permettre d'améliorer localement le niveau de pollution sonore et atmosphérique. Les fortes contraintes déjà présentes lors de la construction de nouveau bâti dans des îlots déjà existants rendent néanmoins complexe la bonne évaluation des sites et des zones dans lesquels les niveaux de bruit et de pollution atmosphérique pourraient être fortement atténués pour des populations importantes par l'effet d'une configuration urbaine et architecturale optimisée. Il s'agit de plus de considérations techniques et morphologiques associées à des projets très spécifiques et qui s'inscrivent dans un contexte très local. Le chiffrage sur des cas concrets et leur extrapolation sont donc assez délicats dans le cadre de l'objectif de l'étude. Un parallèle pourra être fait avec les mesures visant les populations sensibles dans la mesure où la prise en compte de l'aménagement urbain neuf dans des zones protégées peut être équivalente à remettre aux normes un établissement
Végétalisation du milieu urbain	Végétalisation des façades d'une rue canyon, végétalisation des toitures, végétalisation des espaces publics ; Trames vertes ; Revêtement végétal des voies de tramway, Barrières végétalisées de faible hauteur (h<1 m) en bordure des voies de tramway Intégrer/renforcer les critères spécifiques air bruit dans les documents d'urbanisme locaux et les projets d'aménagement	De même que pour les formes urbaines et architecturales, la végétalisation en milieu urbain provoque des impacts positifs sur l'air et sur le bruit, mais peu présenter des difficultés dans le travail de chiffrage et d'extrapolation de cas d'étude standards. La mise en place d'infrastructure végétale dans un rôle d'écrans acoustique pourrait à ce titre faire partie de mesure présentant des niveaux de convergences potentiellement élevés. Attention néanmoins aux divers paramètres influant la qualité de l'air et la dispersion des polluants : direction du vent, topographie des lieux, encaissement des rues, disposition des bâtiments, nombre de véhicules, composition du parc automobile, etc.
Réduction du trafic	Favoriser le report modal vers les mobilités douces, réduction des transports à la source, favoriser l'utilisation du covoiturage et de l'auto-partage Voies dédiées au covoiturage, Accompagner le développement des plans de déplacements (PDE, PDIE, PDA)	Nécessité d'une réduction très importante du trafic (notamment routier) pour voir des effets conséquents en termes de bruit, la réduction du trafic est de plus difficilement attribuable à une mesure seule et est soumise à de nombreuses contraintes
Régulation du trafic	Gestion centralisée des feux, Ondes vertes, Déviation du trafic de transit, Optimisation des flux de circulation par des aménagements de la voirie	Organisation et gestion déjà réfléchies et travaillées à différents niveaux et échelles, et souffrant de plus de multiples contraintes locales et globales. Difficile d'imaginer le chiffrage d'une mesure de type "régulation optimale du trafic" qui s'extrapolerait sans tenir compte des diverses contraintes et de la faisabilité concrète.

Limitation des vitesses en voies urbaines	Mise en place d'une zone 30/zone calme	<p>La convergence est contrastée sur la limitation de vitesse les voies urbaines de type "ville" ((passage de 50 km/h à 30 km/h) où de nombreux facteurs influent sur la réalité des émissions (sonores et polluants) et sur les concentrations atmosphériques (impact de la limitation de vitesse sur la nature du trafic, sur son report sur d'autres axes et sur la congestion).</p> <p>On note cependant des effets bénéfiques multicritères de cette mesure qui doivent être considérés, on rappelle notamment que "le passage de 50 à 30 km/h en agglomération peut également permettre un apaisement du trafic, et conduire à un meilleur partage entre les différents modes de déplacement (marche, vélo, voiture et transports en commun), dans une logique d'optimisation de l'utilisation de l'espace public. À terme, le passage de 50 à 30 km/h devrait donc permettre de favoriser les modes de transport les moins polluants []"</p> <p>La présence de zones calmes contribue dans ce sens à améliorer le cadre de vie et favorise des comportements de vie saine, notamment par les pratiques de sport, de loisir et de détente.</p> <p>Importance de donner à voir ce que l'on gagne à avoir des espaces publics favorisant des niveaux sonores acceptables, et devenant ainsi des espaces favorables à la santé. La communication autour du gain est plus bénéfique, plus puissante.</p> <p>Mesure pertinente dans son potentiel de synergie en termes de qualité de vie et donc de modification du coût social, de couverture territoriale ciblée et de levier à disposition des pouvoirs publics.</p>
Limitation des vitesses en voies rapides	Baisse de la vitesse en voies rapides	Très forte convergence sur l'air et le bruit couplée à un cout de mise en oeuvre faible et une gouvernance relativement simple. Une contrainte principale liée à l'acceptabilité de la mesure.
Zone à Circulation Restreinte (ZCR)	Mise en place ZCR	Mesure pertinente dans son potentiel de synergie en termes de qualité de vie et donc de modification du coût social, de couverture territoriale ciblée et de levier à disposition des pouvoirs publics.
Ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)	Augmentation de la distance interstations transport en commun, Comportement de conduite BHVS, Motorisation Renouvellement du parc de véhicules Prise en compte/renforcement des critères air bruit dans l'étude d'impact des nouveaux tracés/circuits/ service de TC mis en place	Organisation et gestion déjà réfléchies et travaillées lors des mises en oeuvre locales. Difficile d'imaginer le chiffrer d'une mesure de type "organisation optimale des BHNS" qui s'extrapolerait sans tenir compte des diverses contraintes et de la faisabilité concrète.
Véhicules à motorisations électriques	Subvention pour l'achat de véhicules Déploiement de bornes de recharge électrique	Mesures très convergentes, notamment en milieu urbain où le bruit des véhicules est principalement dû aux moteurs à combustion et non au contact pneu-roue. Prudence du fait que le renouvellement du parc est davantage lié à des tendances/dynamiques globales qu'à des mesures locales spécifiques.
Motorisations innovantes pour les poids lourds	Favoriser le passage à des moteurs hybride et GnV, Favoriser le basculement vers des motorisations moins émissives des poids lourds et des véhicules utilitaires légers sur le dernier kilomètre des livraisons en centre-ville,	Croisement délicat entre évolution du parc de véhicule et population concernées par les baisses de bruit et de polluants associées. Les leviers associés pour les pouvoirs publics sont peu évidents/opérables hormis le levier réglementaire, qui dispose de grosse contrainte. Un parallèle peut être fait avec la mise en place de ZCR, qui peut correspondre au pendant local de cette mesure.
Isolation thermique et acoustique des bâtiments		Convergence air - bruit conditionnée à la bonne prise en compte des deux thématiques lors des travaux (attention à la dégradation de la qualité de l'air intérieur lorsque l'isolation est réalisée sans réflexion et travaux sur la ventilation). Bénéficie d'une dynamique
Mesure chantier de réduction des émissions sur les chantiers de construction /		

démolition en milieu urbain		
Traitement des problématiques du bruit et de la QAI dans les milieux professionnels - cas spécifique du milieu scolaire	<p>Prise en compte renforcée des critères air et bruit dans la politique et les projets d'aménagement et de réaménagement urbain, et dans la planification urbaine via la mise aux normes acoustiques des bâtiments sensibles, politique de réduction du bruit sur le terrain par des formations et des réorganisations ;</p> <p>Identification (à partir des cartes stratégiques air et bruit) des « points noirs » de la qualité de l'air et du bruit et croisement avec les établissements sensibles</p> <p>- Identifier les sites à fortes nuisances, informer les élus, services et professionnels pour trouver des solutions opérationnelles</p>	<p>Permet d'adresser vraiment le sujet de l'étude (cout social du bruit et non-cout sanitaire seulement). Approche plus exploratoire où l'on pourrait essayer de capturer le poids pour la société lié au bruit et à la mauvaise qualité de l'air dans des milieux sensibles : impacts/risques sanitaires (associés aux troubles du sommeil, etc.), mais également les impacts/risques sociaux (baisse de productivité, absentéisme dû à des environnements sonores stressants ou par exemple dans le milieu scolaire : difficulté de communication et d'apprentissage entraînant des échecs scolaires).</p>

D. Co-bénéfice air / bruit de la mesure 3 sur la qualité acoustique et la rénovation des bâtiments scolaires

La mesure #3 est à considérer ici comme une “intervention complexe”, au sens où celle-ci est ouverte sur l’environnement et adaptative par définition. Elle renvoie à des processus et à des logiques multiples, et repose sur des relations causales complexes, non dénuées de paradoxes⁴³. L’utilisation de l’outil FIC « Fonctions clés /Implémentation/Contexte » (FIC), outil de description des interventions complexes⁴⁴ définies, permet de mettre en lumière :

- les éléments théoriques potentiellement transférables (les fonctions clés) sous-tendant :
- les activités implémentées, spécifiques à un contexte particulier (Implémentation),
- tout en prenant en compte le contexte dans lequel l’intervention est mise en œuvre (Contexte) ?

La description de la mesure ainsi proposée permettra en seconde étape une évaluation et une caractérisation fine de ses impacts potentiels, de ses bénéfices et coûts associés pour la société, dans une approche mixte (quali/quant) reposant sur des données robustes, et ce, dans une visée de reproductibilité⁴⁵.

Une mesure à 2 “Fonctions clé” convergentes, de réduction des expositions cumulatives Air/Bruit

La mesure intègre d’une part 2 fonctions clé, différenciées par la source d’exposition qu’elles ciblent, mais elle comprend également une fonction clé de **mise en convergence des implémentations associées**. Ainsi, chacune d’entre elles seront ici décrites

L’amélioration de la qualité acoustique en milieu scolaire :

• Fonction clé (1)

Contexte réglementaire : les établissements d’enseignement doivent répondre à des impératifs réglementaires en matière de confort acoustique fixés depuis 2003⁴⁶.

L’amélioration de la qualité acoustique en milieu scolaire repose dès lors sur le respect d’exigences minimales et la mise en conformité concernant 5 axes, et dans une approche complémentaire :

- Les bruits aériens extérieurs : l’isolation des bâtiments d’enseignement doit au minimum être de 30 dB et peut être portée à 45 dB pour les locaux situés à proximité des routes.
- Les bruits aériens intérieurs entre locaux : pour les écoles maternelles par exemple, les valeurs minimales à respecter varient entre 35 et 55 dB selon la nature des locaux (salle de repos, infirmerie, salle de jeux, etc.).
- Les bruits de choc : à l’exception de certains espaces (salle de sport notamment), l’isolation phonique des bruits solidiens au sein des établissements d’enseignement doit être a minima de 60 dB.
- Les bruits des équipements : les normes acoustiques dans les bâtiments d’éducation sont comprises entre 33 et 43 dB(A) selon la nature du local et la fréquence d’usage de l’équipement.
- La durée de réverbération : cet indicateur – mesurant la persistance du son dans un espace après l’arrêt de la source émettrice – doit être compris entre 0,4 et 0,8 seconde dans les locaux de moins de 250 m³.

• Implémentations possibles⁴⁷ :

La protection des établissements d’éducation des bruits aériens extérieurs :

- Refonte de l’implantation physique des bâtiments
- Diminution de la transmission du bruit par les façades
- Isolation des ouvertures (fenêtres, portes, etc.)

Une isolation phonique performante entre les locaux:

- Répartition des différents locaux selon leur niveau d’intensité sonore (cantine, salle de sport, bureau, salle de classe, etc.)

⁴³ Contandriopoulos AP, Rey L, Brousselle A, Champagne F. ÉVALUER UNE INTERVENTION COMPLEXE: ENJEUX CONCEPTUELS, MÉTHODOLOGIQUES, ET OPÉRATIONNELS. *Can J Program Eval.* 2011;26(3):1-16.

⁴⁴ Villeval M. Évaluation et transférabilité des interventions de réduction des inégalités sociales de santé : un programme de recherche interventionnelle [Thèse de doctorat]. France : Université Toulouse III (Paul Sabatier) ; 2015. 366 p. ; Hawe P, Shiell A, Riley T. Complex interventions : how “out of control” can a randomised controlled trial be ? *BMJ.* 2004 ;328(7455) :1561-3.

⁴⁵ Villeval M, Bidault E, Shoveller J, Alias F, Basson JC, Frasse C, et al. Enabling the transferability of complex interventions : exploring the combination of an intervention’s key functions and implementation. *Int J Public Health.* 2016 ;61(9) :1031-8.

⁴⁶ [Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d’enseignement](#)

⁴⁷ <https://www.kandu.fr/article/confort-acoustique-a-lecole-au-service-de-lapprentissage/>

- Renforcement des séparatifs (planchers, plafonds, murs)
- Refonte du système de ventilation

Une propagation limitée des bruits de choc:

- Réduction des chocs à leur source
- Réduction de la propagation du son à travers la structure du bâtiment (ajout de matériaux absorbants et isolants dans les parois)
- Désolidarisation des éléments structuraux des espaces les plus bruyants (préau, salle de sport, etc.)

La réduction de la durée de réverbération des sons (également dans un bâtiment bien isolé)

- Limitation de la réverbération des sons grâce à la couverture des parois avec des matériaux absorbants, capables de résister aux éventuelles dégradations des enfants
- Ajout de mobilier
- Restructuration des espaces

Le renforcement de l'isolement aux bruits des équipements (bruits aériens ou transmis par les parois)

- Isolement des bruits des équipements des espaces dédiés à l'apprentissage
- Découplage des équipements-appareils de la structure porteuse

L'amélioration de la qualité de l'air intérieur d'un établissement scolaire :

- **Fonction clé (2)**

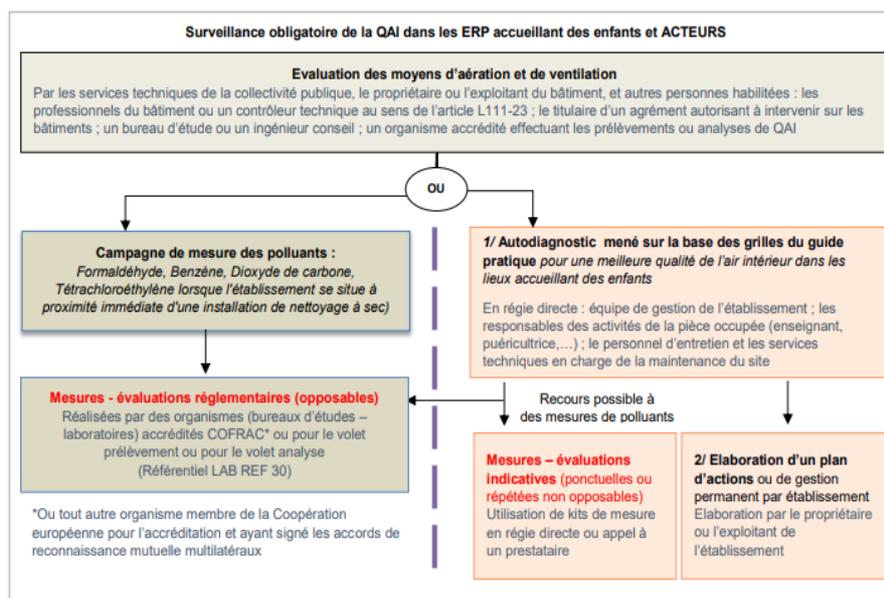
Contexte réglementaire : La surveillance de la QAI dans les Établissements recevant du public (ERP) a été rendue obligatoire au 1er janvier 2018.

L'amélioration de la qualité de l'air intérieur d'un ERP s'appuie en premier lieu sur la réalisation de la surveillance de la QAI, et son suivi.

La surveillance de la qualité de l'air intérieur, à renouveler tous les 7 ans, comporte l'obligation pour le propriétaire ou l'exploitant des établissements, de réaliser à leurs frais pour chaque établissement concerné, **une évaluation des moyens d'aération du bâtiment et la mise en œuvre au choix :**

- d'un plan d'actions visant à prévenir la présence de polluants, réalisé suite à un autodiagnostic mené par le personnel et les gestionnaires du bâtiment
- d'une campagne de mesures des polluants de la qualité de l'air intérieur

Les différentes étapes de la surveillance réglementaire et les acteurs qui sont en charge de la réaliser sont explicités dans le schéma ci-après⁴⁸:



⁴⁸ Accompagnement à l'entrée en vigueur de la surveillance de la Qualité de l'Air Intérieur dans les ERP recevant des enfants - Retours d'expériences de Villes-Santé, Réseau Français des Villes-Santé de l'OMS (RFVS-OMS), juin 2017. http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/8_rfv_s_rapport_sqai_270617_version_finale_cle63e6e1.pdf

- **Implémentations possibles :**

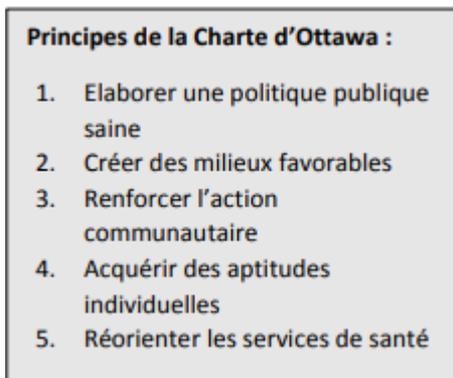
2 options réglementaires / **implémentations** sont donc possibles :

- Réalisation de campagnes de mesures OU
- Autodiagnostic et mise en place d'un plan d'actions

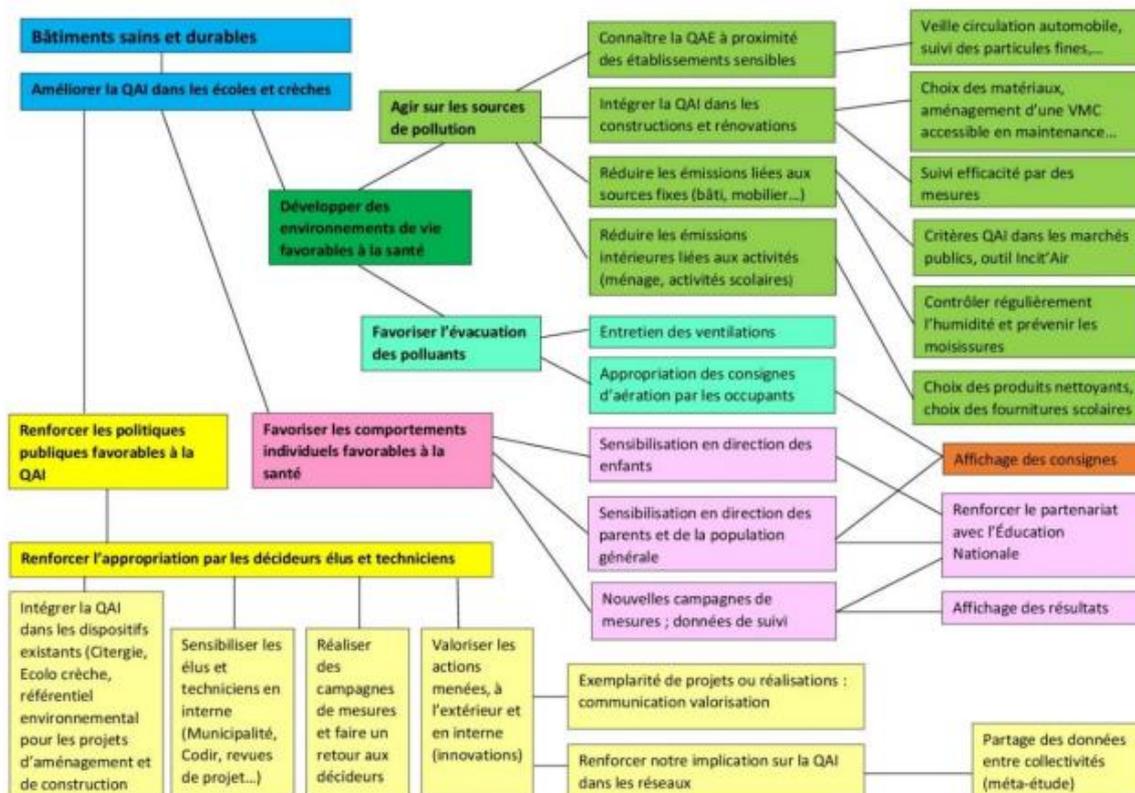
L'auto-diagnostic porte sur :

- l'identification et la réduction des sources d'émission de substances polluantes au regard notamment des matériaux et de l'équipement du site ainsi que des activités qui sont exercées dans les locaux ;
- l'entretien des systèmes de ventilation et des moyens d'aération de l'établissement ;
- la diminution de l'exposition des occupants aux polluants résultant en particulier des travaux et des activités de nettoyage.

Concernant l'élaboration du plan d'action, il est recommandé qu'il soit transversal et complémentaire à la fois sur les sources de polluants, les paramètres physiques qui influencent leur dynamique, et les comportements des occupants (dont l'aération). Les principes de la Charte d'Ottawa sont ici retenus par le réseau des Villes Santé OMS comme cadre général, pour une approche globale de la santé des populations impactées par la pollution de l'air intérieur :



Exemple de Plan d'action municipal "Grands axes et logique de promotion de la QAI-Ville de la Rochelle":



Mesure convergente qualité acoustique et qualité de l'air intérieur en milieu scolaire :

- **Fonction clé (1) + Fonction clé (2) :**

Fonctions clé		Implémentations possibles	
(1)(2) Mesure convergente AIR/BRUIT Milieu scolaire	(1) Amélioration de la qualité acoustique	La protection des établissements d'éducation des bruits aériens extérieurs	Refonte de l'implantation physique des bâtiments
			Diminution de la transmission du bruit par les façades
			Isolation des ouvertures (fenêtres, portes, etc.)
		Une isolation phonique performante entre les locaux:	Répartition des différents locaux selon leur niveau d'intensité sonore (cantine, salle de sport, bureau, salle de classe, etc.)
			Renforcement des séparatifs (planchers, plafonds, murs)
			Refonte du système de ventilation
	Une propagation limitée des bruits de choc:	Réduction des chocs à leur source	
		Réduction de la propagation du son à travers la structure du bâtiment (ajout de matériaux absorbants et isolants dans les parois)	
		Désolidarisation des éléments structuraux des espaces les plus bruyants (préau, salle de sport, etc.)	
	La réduction de la durée de réverbération des sons (également dans un bâtiment bien isolé)	Limitation de la réverbération des sons grâce à la couverture des parois avec des matériaux absorbants, capables de résister aux éventuelles dégradations des enfants	
		Ajout de mobilier	
		Restructuration des espaces	
Le renforcement de l'isolement aux bruits des équipements (bruits aériens ou transmis par les parois)	Isolément des bruits des équipements des espaces dédiés à l'apprentissage		
	Découplage des équipements-appareils de la structure porteuse		
	Réalisation de campagnes de mesures		
(2) Amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI)	Autodiagnostic + plan d'actions	Autodiagnostic	-l'identification et la réduction des sources d'émission de substances polluantes au regard notamment des matériaux et de l'équipement du site ainsi que des activités qui sont exercées dans les locaux ;
			-l'entretien des systèmes de ventilation et des moyens d'aération de l'établissement ;
			-la diminution de l'exposition des occupants aux polluants résultant en particulier des travaux et des activités de nettoyage.
	Autodiagnostic + plan d'actions	Plan d'action	-Développer des environnements de vie favorables à la santé : en agissant en amont sur les sources de pollution et en favorisant l'évacuation des polluants
			- Favoriser les comportements individuels favorables à la santé en sensibilisation les enfants, les parents
			- Renforcer les politiques publiques favorables à la QAI par une appropriation par les décideurs élus et techniciens Exemple Ville de La Rochelle

La mise en convergence des 2 fonctions clé ne renvoie pas strictement à la somme de leurs implémentations respectives. Doit être considéré dans les impacts, l'ensemble des ajustements nécessaires à cette mise en convergence :

- Suppression des actions « doublonnes »
- Articulation des processus relatifs aux implémentations complémentaires sur un poste donné (mise en œuvre-gestion-entretien)
- Articulation des normes spécifiques à l'isolation phonique en milieu scolaire avec celles spécifiques à la ventilation et avec les valeurs de référence relatives à la QAI en milieu scolaire
- Articulation des normes spécifiques à la QAI en milieu scolaire (dont système de ventilation) avec les valeurs de référence relatives à la qualité acoustique des établissements scolaires
- Articulation des calendriers de réalisation (calendrier d'exécution)
- Prise en compte des impacts liés à ces ajustements

Par ailleurs, le « plan d'action » (Fonction clé (2)) fera l'objet d'un focus en suivant : c'est en effet l'illustration même d'un type d'implémentation à impacts diffus et multiples, difficilement quantifiables et donc chiffrables.

Un contexte de cumul réel et potentiel de vulnérabilités et d'expositions : populations vulnérables et populations concernées par la mesure

Dans la logique descriptive « FIC », cette partie renvoie au contexte dans lequel la mesure #4 est mise en œuvre et susceptible de la faire évoluer, dans sa forme (implémentations) mais aussi concernant ses effets attendus, et ses impacts.

- **Nature de l'objet/la finalité de la mesure : estimer les impacts de la multi-exposition Air/Bruit sur un groupe de populations vulnérables :**

La multi-exposition Air/Bruit est une multi-exposition *définie*: elle se distingue par son origine et sa nature, et les polluants concernés ne possèdent pas nécessairement de similarité dans leurs comportements ou leurs propriétés. Cette multi-exposition est principalement orientée vers les sources et permet donc de s'intéresser plus particulièrement aux conditions d'apparition des situations de multi-exposition.

Ainsi, les fonctions clé de la mesure #4 ont trait aux conditions d'apparition des situations de multi-exposition. La mesure converge donc et porte sur:

- l'amélioration d'une QAI dégradée grâce à une action sur les conditions d'apparition de pollution(s) de l'air intérieur en milieu scolaire
- l'amélioration de la qualité acoustique grâce à **une action convergente** sur les conditions d'apparition de nuisances sonores en milieu scolaire.

Par action convergente, est entendu ici, une action dont les finalités ne divergent pas.

- **Impacts à considérer**

Les impacts de la mesure devront être entendus comme les effets individuels de ces 2 actions, puisque venant réduire les effets individuels de polluants particuliers (la pollution de l'air intérieur et les nuisances sonores), mais aussi **les effets combinés**, ici relevant d'**une synergie** : les effets de la multi-exposition (et donc à l'inverse de la mesure convergente) sont plus importants que les effets produits par les polluants isolément. Ainsi, les effets d'une faible multi-exposition peuvent s'avérer plus toxiques que des expositions séparées à de fortes doses de polluants⁴⁹. Dans ce cadre, une simple addition de l'impact des polluants ne permet pas de prévoir les résultats des interactions.

Il s'avère donc nécessaire d'explorer plus en profondeur la nature des interactions, leur probabilité d'apparition, et leurs impacts potentiels sur la santé⁵⁰ en tenant précisément compte de la complexité de la multi-exposition, en s'intéressant certes aux impacts relevant de la nature même des polluants en interaction, mais également à leurs concentrations, aux fenêtres spatio-temporelles d'exposition, et aux populations étudiées⁵¹ (Monosson, 2005).

L'exposition cumulative est à mettre en lien avec l'**exposome**, qui vise une meilleure compréhension des interactions entre les expositions environnementales et les caractéristiques individuelles (génétiques et physiologiques) lors de leurs impacts sur la santé. Ainsi, considérer les impacts de la mesure #4 renvoie à considérer des expositions qui n'ont pas nécessairement besoin d'être simultanées pour provoquer une accumulation d'impacts, et qu'une exposition passée à l'un ou l'autre polluant peut modifier les capacités de réaction de l'organisme aux expositions présentes. Dans cette logique, les populations multi-exposées à la pollution de l'air intérieur et aux nuisances sonores sont plus que doublement impactées.

« Périmètre populationnel » : Populations vulnérables – Populations concernées par la mesure

Le **différentiel de vulnérabilités** ici résulte des vulnérabilités spécifiques du groupe de population « enfants » auxquelles s'ajoutent des vulnérabilités spécifiques des établissements scolaires (ERP).

⁴⁹ Quentin Tenailleau. Multi-exposition en milieu urbain : approche multi-échelle de l'exposition humaine au bruit et à la pollution atmosphérique. Environnement et Société. Université de Franche-Comté, 2014. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01228012/document>

⁵⁰ Koppe, J.G., Bartonova, A., Bolte, G., Bistrup, M.-L., Busby, C., Butter, M., Dorfman, P., Fucic, A., Gee, D., Van Den Hazel, P., HOWARD, V., KOHLHUBER, M., LEIJS, M., LUNDQVIST, C., MOSHAMMER, H., NAGINIENE, R., NICOLOPOULOU-STAMATI, P., RONCHETTI, R., SALINES, G., SCHOETERS, G., TUSSCHER, G.T., WALLIS, M.K., ZUURBIER, M., 2006. Exposure to multiple environmental agents and their effect. *Acta Pædiatrica* 95, 106–113.

⁵¹ Monosson, E., 2005. Chemical mixtures: considering the evolution of toxicology and chemical assessment. *Environmental health perspectives* 113, 383.

- **Sensibilité des enfants + milieu scolaire**
- **Qualité de l'air intérieur :**

Les enfants en bas âge sont particulièrement sensibles vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur. Ils respirent un volume d'air plus important que les adultes relativement à leur poids, et leur capacité d'élimination et de lutte contre les substances toxiques est plus faible que l'adulte. Leurs poumons ne sont pas complètement formés avant l'âge de 10-12 ans selon les enfants, qui correspond à la fin de la croissance de l'appareil pulmonaire⁵².

Après son logement, la crèche ou l'école sont les environnements les plus fréquentés par les enfants. Environ 9 % des enfants de moins de trois ans sont gardés en crèche et la quasi-totalité des enfants à trois ans sont accueillis en école maternelle. Les enfants constituent en ce sens des **populations captives**⁵³ d'un environnement quotidien, potentiellement délétère pour leur santé globale.

- **Bruit**

Les pollutions sonores qu'elles proviennent de l'environnement extérieur, de l'acoustique du bâtiment, des bruits générés par les occupants, ou de leur cumul, **leurs effets néfastes se marquent tant au niveau des apprentissages que dans les comportements sociaux**. Un « niveau sonore1 moyen » élevé peut entraîner un retard dans l'acquisition du langage parlé et écrit. Des études ont prouvé qu'en l'absence d'un savoir de référence, les enfants ne comprennent pas une phrase de 27 mots (longueur standard) dès que 5 mots sont mal ou non compris. Les effets néfastes sur l'apprentissage de la lecture - essentielle dans tout développement intellectuel - et sur celui des langues étrangères sont majeurs. Les élèves en situation précaire (échec, problèmes d'apprentissage, difficultés familiales ou sociales, etc.) sont les premiers touchés. Ces mêmes études relèvent des déficits dans la résolution de problèmes et des difficultés à poursuivre une tâche complexe.

L'agressivité, l'instabilité, les changements d'humeur, l'agitation psychomotrice et la réduction de la concentration peuvent être dues à une fatigue excessive au bruit. Une diminution des nuisances sonores permet des échanges plus riches entre élèves, une plus grande efficacité des travaux d'équipes et une amélioration de la qualité de l'écoute.

L'organisme interprète le bruit comme le signal d'un danger, ce qui provoque un déséquilibre : le cœur bat plus vite, la tension augmente, la digestion est ralentie, le stress est plus important. A terme, le bruit peut devenir un facteur aggravant de dépression chez les personnes sensibles. D'autre part, chacun a déjà connu des pertes d'acuité auditive temporaire suite à un bruit intense ou a perçu des sifflements internes à l'oreille après une exposition prolongée à des bruits importants (récréation cours d'écoles par exemple). La répétition de tels phénomènes peut entraîner des dommages irréparables dans l'oreille dès le plus jeune âge. Dans les ateliers des écoles techniques et professionnelles, des protections individuelles et une sensibilisation à cette pollution s'avèrent indispensables⁵⁴.

L'épigénétique, ou l'hérédité au-delà des gènes, étudie les changements dans l'activité des gènes relevant des environnements dans lesquels les individus, ici les enfants, grandissent et vivent. Ces changements sont certes réversibles, mais leurs effets sont transgénérationnels. La vulnérabilité des enfants peut donc être accrue si celle-ci comprend une vulnérabilité épigénétique, qu'elle soit liée à la pollution atmosphérique ou à l'exposition à d'autres polluants physiques comme les nuisances sonores, et qui soumet d'emblée les enfants à une « double-adaptation »⁵⁵.

A noter qu'en toute logique, la sensibilité spécifique des enfants à la pollution de l'air intérieur, tout comme celle à la pollution sonore, est exponentielle si leur logement a une QAI dégradée.

- **Etablissements scolaires (ERP)**
- **QAI**

Par définition, les ERP constituent des zones plus sensibles du point de vue de leur typologie et de leur taille, mais également, comme indiqué précédemment, du point de vue des vulnérabilités spécifiques des publics accueillis.

Ces établissements se caractérisent par une densité d'occupation élevée, un mobilier important, une utilisation trop fréquente de différents produits : pour l'enseignement (feutres...), pour les activités scolaires (colles, peintures...) ou pour l'entretien des salles. Les bâtiments d'écoles (maternelles et élémentaires) sont plus anciens que les bâtiments des crèches

⁵² Mémoire « La qualité de l'air à l'intérieur des crèches et des écoles (maternelles et élémentaires) de la région Nord-Pas de Calais » Farah Shouman. + <https://pepite-depot.univ-lille2.fr/nuxeo/site/esupversions/bd9a6a76-f1ae-481e-b4d0-c6f79a4c5ad1>

⁵³ Par « populations captives », sont désignées des populations institutionnellement définies par leur implication importante, régulière et durable – qu'elle soit volontaire, consentie ou forcée – dans un établissement sous dépendance institutionnelle directe comme une école, une entreprise, une administration, un établissement carcéral, etc.

⁵⁴ Dossier pédagogique- niveau primaire « Décibelle et Groboucan- Les chasseurs de bruit », Bruxelles Environnement, IBGE, 2007.

⁵⁵ Farbos, Isabelle. « L'épigénétique et les environnements de notre quotidien. Comment préserver notre santé ? », Maryse Bonnefoy éd., Santé et épanouissement de l'enfant : dans quel environnement ? Ères, 2018, pp. 67-86.

mais sont plus souvent rénovés. La majorité des écoles ne possède pas de système spécifique de ventilation alors que la moitié des crèches en possède. L'aération est peu pratiquée dans la plupart des crèches et des écoles.

Ces spécificités engendrent une exposition des enfants à des concentrations plus fortes en polluants intérieurs tels que le CO₂, les allergènes, les bio-contaminants, les COV, le formaldéhyde ou les phtalates.

Les professionnels (de l'enseignement, de gestion, techniques et de l'entretien) sont également en ce sens, des populations captives, exposées dans leur milieu professionnel, et doublement vulnérables si leurs conditions de logement sont délétères du point de vue de la QAI.

- **Bruit**

La notion d'acoustique en milieu scolaire est fondamentale. Alors qu'une salle de classe doit être isolée des bruits extérieurs pour favoriser l'écoute et l'échange, les cantines doivent lutter contre l'effet « cocktail ».

Les occupants subissent pendant des périodes prolongées des niveaux sonores dépassant les 80-90 décibels (dB) dans les préaux couverts, les cantines, voire dans certaines salles de classe. Dans des préaux couverts, des pointes dépassent 120 dB, soit presque le bruit d'un avion au décollage. Dans certains établissements, la sonnerie marquant la fin des récréations peut émettre des sons compris entre 80 et 100 dB.

Cette pollution sonore agit à la fois sur les enfants, sur l'encadrement et sur le personnel de service, entraînant nervosité, sanctions et fatigue. Les interventions internalisées peuvent porter sur la réduction des nuisances sonores, en agissant sur l'organisation du travail et l'aménagement des lieux.

Dimension cumulative des expositions

Le différentiel d'expositions ici résulte d'une exposition à une pollution de l'air intérieur, d'une exposition au bruit mais aussi d'une double exposition, celle-ci ayant des effets spécifiques.

- **Qualité du bâti**

L'ancienneté et le type de construction du bâti influent sur la qualité de l'air intérieur. Ainsi, des bâtiments neufs ou récemment rénovés peuvent se caractériser par des concentrations importantes en polluants du fait des matériaux et aménagements utilisés mais aussi de la ventilation inadéquate⁵⁶. En France, les crèches sont majoritairement en construction traditionnelle (béton et parpaing). Elles sont plutôt récentes car la moitié a été construite après 1995 et plus d'un tiers après l'an 2000 (particulièrement en zone rurale)⁵⁷.

En revanche, il apparaît que la décennie 1970-1980 représente la période où le plus d'écoles maternelles et élémentaires ont été construites et par conséquent peuvent être considérées comme « vieilles ». Toutefois, les travaux de rénovations touchent plus les bâtiments d'écoles (40 %) que ceux des crèches (15 %). Dans les deux cas, ces rénovations concernent souvent les revêtements de sols et de murs et le système de chauffage lors de rénovations lourdes.

- **Qualité de l'air extérieur**

Exceptés pour les aldéhydes principalement d'origine intérieure, la pollution extérieure influence la pollution intérieure. Les niveaux intérieurs de dioxyde d'azote, par exemple, suivent les niveaux extérieurs avec et sans la présence des élèves, avec des concentrations en air intérieur très proches de celles de l'air extérieur. Pour la plupart des polluants, à ce fond de pollution d'origine extérieure, s'ajoutent ponctuellement les sources d'émissions intérieures. La qualité de la conception du bâtiment influence les entrées de pollution extérieure (ventilation, isolation...). Ainsi, les établissements scolaires de conception plus ancienne, sont plus soumis à l'influence des polluants d'origine extérieure (benzène, poussières, dioxyde d'azote...) que les établissements scolaires qui bénéficient d'un système de ventilation plus efficace.

Et à cela s'ajoute l'impact de la proximité d'axes routiers⁵⁸.

- **La double-exposition : marqueur et facteur des inégalités**

Le différentiel de vulnérabilités et le différentiel d'expositions sont les 2 mécanismes au travers desquels les nuisances environnementales aggravent les inégalités sociales de santé. Autrement dit, les établissements situés en zones exposées (pollution air + bruit + cumul des 2 types d'expositions), et notamment en territoire urbain, sont susceptibles de cumuler d'autres vulnérabilités et ainsi donc, de reproduire des inégalités plus globales⁵⁹.

⁵⁶ Yang, W., et al., Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea. Journal of Environmental Management, 2009. 90(1): p. 348-354.

⁵⁷ Guillam MT, et al., Étude descriptive nationale sur les écoles et les crèches et leurs pratiques d'aération. Rapport ESE-SB/2011-113, 2011.

⁵⁸ Résultats issus du projet Scol-air : https://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/AI_scolair_synthese_2014-min.pdf

⁵⁹ S. Deguen, W. Kihal-Talantikite, D. Zmirou-Navier, Expositions environnementales et inégalités sociales : comment se combinent-elles sur les territoires ? Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique, Volume 67, Supplément 1, 2019, Page S52.

Ainsi par exemple, les critères qui conduisent les décideurs à privilégier telle ou telle option pour l'élaboration d'une mesure QAI et/ou Bruit au sein d'un établissement scolaire, sont généralement liés au **contexte local et aux ressources de la collectivité**: ressources financières, bien entendu ; mais il est également nécessaire d'évaluer les ressources humaines disponibles et mobilisables, les compétences qui peuvent être sollicitées, en interne comme en externe, les opportunités de partenariats, de mutualisation...

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Beimer, W. M. (2017). Noise effects and real estate prices: A simultaneous analysis of different noise sources. *Transportation Research Part D*, pp. 282–286.
- Commissariat général à la stratégie et à la prospective. (2013). *Evaluation socioéconomique des investissements publics*.
- Conseil national du bruit (2018) les effets sanitaires du bruit
- DARES. (2007). *Premières synthèses Informations - Accidents et conditions de travail*.
- Direction Générale du Travail. (2018). *Conditions de travail - Bilan 2018 - Conseil d'orientation des conditions de travail*.
- Ecophon. (2019). *L'impact du bruit dans l'enseignement*.
- Evrard, A. L.-A. (2020). EFFETS DE L'EXPOSITION AU BRUIT DES AVIONS SUR LA SANTÉ : RÉSULTATS, À L'INCLUSION, DE L'ETUDE DEBATS. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*.
- Eze, I. C.-H. (2017). Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. *International journal of epidemiology*, pp. 1115-1125.
- Foraster, M. E.-H. (2018). Long-term exposure to transportation noise and its association with adiposity markers and development of obesity. *Environment international*, pp. 879-889.
- Global Burden of Disease Collaborative Network. (2018). *Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Disability Weights*.
- Hafner, M., Stepanek, M., Taylor, J., Troxel, W. M., & Van Stolk, C. (2017). Why sleep matters—the economic costs of insufficient sleep: a cross-country comparative analysis. *Rand health quarterly*.
- IFOP. (2014). *Les Français et les nuisances sonores*.
- IFOP, JNA Association. (2019). *Bruit, santé auditive et qualité de vie au travail - Enquête auprès des actifs exerçant une activité professionnelle*.
- INSEE. (2019, Novembre). Enquête mensuelle de conjoncture auprès des ménages (Camme).
- Jensen, H. A. (2018). Neighbour and traffic noise annoyance: a nationwide study of associated mental health and perceived stress. *European journal of public health*, pp. 1050-1055.
- Lan, Y. R. (2020). Transportation noise exposure and anxiety: a systematic review and meta-analysis. *Environmental research*.
- Le Boennec, R. S. (2017). The impact of air pollution and noise on the real estate market. The case of the 2013 European Green Capital: Nantes, France.
- Lee, J. (2020). Neighborhood noise.
- Lefèvre, M. C. (2020). Understanding the relationship between air traffic noise exposure and annoyance in populations living near airports in France. *Environment International*.
- Liu, Y. X. (2017). Community response to construction noise in three central cities of Zhejiang province, China. *Environmental Pollution*.
- Nassur, A. L. (2017). Aircraft noise exposure and subjective sleep quality: the results of the DEBATS study in France.
- OECD. (2019). *Economics of Prevention: Final Report - Estimating the Economic Burden Associated with High Body Mass Index and Harmful Alcohol Use*.
- Okokon, E. O.-T. (2018). Traffic noise, noise annoyance and psychotropic medication. *Environment International*, pp. 287-294.
- Sedoarisoa, N. D. (2017). Prix de l'immobilier et proximité de la plate-forme aéroportuaire de Paris-Charles-de-Gaulle (CDG). *L'Espace Géographique*, pp. 61-78.
- Sedoarisoa, N. D. (2017). Quelle valeur économique de la réduction du bruit ferroviaire par les murs antibruit ? Le cas de deux communes en Seine Saint-Denis. *FAERE*.
- Si, S. L. (2020). Productivity burden of occupational noise-induced hearing loss in Australia: a Life Table Modelling Study. *International journal of environmental research and public health*.
- Stansfeld, S. B.-B. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet*.
- Wallas, A. E. (2017). Road traffic noise and determinants of saliva cortisol levels among adolescents. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*.
- Weuve, J. D. (2020). Long-term community noise exposure in relation to dementia, cognition, and cognitive decline in older adults. *Alzheimer's & Dementia*.
- WHO. (2004). *GLOBAL BURDEN OF DISEASE 2004 UPDATE: DISABILITY WEIGHTS FOR DISEASES AND CONDITIONS*.
- WHO. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Regions*.
- Xiao, J. L. (2016). DALY-based health risk assessment of construction noise in Beijing, China. *International journal of environmental research and public health*.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 2 : Valeurs maximales recommandées et règlementaires pour L_{den} et L_{night} , par mode de transport.....	12
Tableau 3 : Estimation du nombre d'années de vie en bonne santé perdues et de personnes affectées par les différents effets sanitaires à cause du bruit des transports, par mode de transport et par effet sanitaire.....	16
Tableau 5 : Distribution de l'exposition au bruit en salle de classe. Source : (Ecophon, 2019).	24
Tableau 6 : Estimation des coûts sociaux du bruit par catégorie de source de bruit et par type de coûts. Source : I Care & Consult.	29
Tableau 7 : Courbes dose-réponse, risques relatifs et odd-ratios sélectionnés pour l'estimation des coûts sanitaires du bruit.....	53

FIGURES

Figure 1 : Les effets du bruit sur la santé (source : CIDB).....	7
Figure 2 : « Parmi les problèmes suivants, quels sont les deux qui concernent le plus votre quartier ? ». Premier choix des enquêtés. Source : CGDD/SDES, plateforme Environnement de l'enquête "Camme" réalisée par l'INSEE en Novembre 2019.	7
Figure 3 : Périmètre des sources de bruit et catégories de coûts pris en compte au sein de cette étude	9
Figure 4 : Méthodologie de calcul des coûts sanitaires non tangibles du bruit. Source : I Care & Consult.....	15
Figure 5 : Coûts sanitaires liés au bruit des transports dans l'ordre décroissant.....	17
Figure 6 : Estimation des coûts sanitaires du bruit des transports, par mode de transport et par effet sanitaire.....	17
Figure 7 : Visualisation des proportions des différents coûts sanitaires non tangibles par mode de transport.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 8 : Estimation de l'ensemble des coûts du bruit des transports, par mode de transport et par type de coût.	21
Figure 9 : Méthodologie retenue dans le cadre de l'étude pour l'analyse coût bénéfice	36
Figure 10 : Description des effets sanitaires pris en compte dans l'étude.	53

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



LE COUT SOCIAL DU BRUIT EN FRANCE

La présente étude a visé à estimer le coût social du bruit en France, et proposer quatre mesures d'évitement simultanées du coût social du bruit et de la pollution de l'air en considérant 3 catégories de sources : les transports, distingués entre routier, ferré et aérien, le milieu professionnel, hospitalier et scolaire, et le voisinage, dont les particuliers, les activités et les chantiers de construction. La somme de l'ensemble des coûts sociaux du bruit en France s'élèverait ainsi à 158,5 milliards d'euros annuels.

Le coût social du bruit des transports s'élève à plus de 106,3 milliards d'euros, dont les coûts sanitaires non tangibles représentent la majeure partie. Le coût social du bruit en milieu professionnel, hospitalier et scolaire représente un coût annuel total d'environ 23,8 milliards d'euros. Les coûts sociaux générés par le bruit des particuliers, des activités et des chantiers de construction s'élèvent à 26,8 milliards d'euros. Aux coûts sociaux liés aux différentes sources de bruit s'ajoutent les coûts qui recouvrent l'ensemble des sources de bruit : en particulier, les dépenses liées à la surveillance et à la recherche sur les effets du bruit environnemental, estimés à environ 2,0 milliards d'euros.

