

Impact sanitaire du bruit des transports dans l'agglomération parisienne : quantification des années de vie en bonne santé perdues

Application à l'agglomération parisienne de la méthode de l'OMS
pour la détermination de la morbidité liée au bruit.



BRUITPARIF

Observatoire du bruit en Île-de-France



ORS Île-de-France

Observatoire régional de santé Île-de-France

Septembre 2015

Préambule

Une première estimation des années de vie en bonne santé perdues au sein de l'agglomération parisienne a été publiée en 2011 par Bruitparif et l'Observatoire régional de santé Île-de-France (ORS ÎdF) avec le concours du Bureau régional de l'OMS pour l'Europe [1] [2].

Des données plus précises sont aujourd'hui disponibles :

- Sur l'agglomération parisienne, l'intégralité de la cartographie du bruit de première échéance associée à l'application de la directive européenne 2002/49/CE et sa transposition en droit français [3] a été finalisée au cours de l'année 2014 [4].
- La méthode d'estimation proposée par le bureau régional de l'OMS pour l'Europe et le JRC en 2011 [5] a également été mise à jour en 2012 [6].

L'estimation des années de vie en bonne santé perdues au sein de l'agglomération parisienne proposée en 2011 a été revue sur la base de ces nouvelles données. Ce rapport présente les résultats de cette mise à jour.

Les données sanitaires associées aux maladies cardio-vasculaires exploitées dans le rapport de 2011 restent les données disponibles les plus récentes à ce jour. Elles ont donc été conservées dans l'estimation proposée dans ce rapport.

Enfin, une première tentative d'estimation des coûts économiques des années de vie en bonne santé perdues a été proposée sur le territoire de l'Union Européenne par le Bureau régional de l'OMS pour l'Europe en 2013 [7]. Le dernier chapitre de ce rapport présente brièvement l'approche proposée par l'OMS et son application au territoire de l'agglomération parisienne.

1. Contexte et objectif

Le bruit est une source de gêne très importante en Île-de-France du fait de la forte concentration de l'habitat et de la densité exceptionnelle des infrastructures de transports. Parmi les atteintes à la qualité de vie, le bruit constitue une des premières nuisances citées.

L'Île-de-France est la région la plus peuplée de France avec 12 millions d'habitants pour une superficie de 12 000 km², principalement concentrés dans l'agglomération parisienne¹ (plus de 10 millions d'habitants).

L'exposition au bruit y est en grande partie induite par les infrastructures de transport qui présentent un développement et une concentration exceptionnels :

- premier réseau routier de France avec près de 40 000 km de routes (dont plus de 1000 km d'autoroutes et de voies rapides),
- un carrefour ferroviaire très important avec près de 2000 km de voies ferrées,
- un système aéroportuaire unique en Europe avec deux aéroports internationaux (Paris-Orly et Paris-Charles de Gaulle) et vingt-cinq autres aérodromes - civils, militaires ou privés - dont l'aéroport du Bourget et l'héliport d'Issy-les-Moulineaux. Les trois aéroports de Paris-CDG, Paris-Orly et Paris-Le Bourget représentent à eux seuls plus de 755 000 mouvements d'aéronefs.

Selon une étude publiée en mars 2009 par l'Observatoire régional de santé Île-de-France [8], 71% des Franciliens se déclaraient gênés par le bruit à leur domicile à des degrés divers, et un Francilien sur quatre se déclarait gêné souvent ou en permanence. La gêne liée au bruit allait croissante avec le degré d'urbanisation : on avait ainsi près de 39% de personnes fortement gênées à Paris intra-muros, 25% dans les départements de petite couronne contre 22% en grande couronne, 17% en zone urbaine en province et 10% en zone rurale.

Les transports et notamment la circulation routière représentent la principale source de gêne citée par les personnes qui se plaignent du bruit (les transports sont cités par 54% des personnes qui se disent gênées), la deuxième source de gêne concerne les bruits de comportements pour 21% (notamment les incivilités liées à la conduite de véhicules deux roues motorisés débridés ou particulièrement bruyants, les bruits de conversation et les cris dans le voisinage, les animaux domestiques, les activités de bricolage ou jardinage, le volume des appareils TV Hifi dans les logements voisins, les bruits de pas ou de chocs à l'étage...). Viennent ensuite les activités industrielles et commerciales (travaux et chantiers, dépôt et ramassage des ordures, activités industrielles ou artisanales, activités de bars, restaurants, salles de spectacles et discothèques) ainsi que le fonctionnement de certains équipements individuels ou collectifs de bâtiments...

On s'aperçoit par ailleurs que le bruit est une nuisance qui renforce les inégalités sociales car les personnes qui ont les revenus les plus faibles sont davantage gênées par le bruit à leur domicile du fait de leurs conditions de logements (petits logements ou immeubles collectifs urbains mal isolés, proximité d'infrastructures ou d'installations bruyantes). Les personnes qui ont les revenus les plus modestes sont souvent celles aussi qui ont des conditions de travail les plus bruyantes (ateliers, usines). On assiste ainsi à un cumul d'exposition au bruit au domicile et sur le lieu de travail pour ces personnes. Le bruit a tendance également à générer un phénomène de paupérisation de certains quartiers, les populations les plus aisées ayant plus de facilités à se soustraire au bruit en déménageant.

Malgré cela, le bruit est avant tout perçu par les Franciliens comme un problème local de qualité de vie avant d'être un objet de préoccupations sanitaires. Même si deux tiers des Franciliens perçoivent le risque sanitaire lié au bruit comme plutôt élevé, les préoccupations sanitaires déclarées pour d'autres nuisances, comme l'amiante ou la pollution de l'air, sont nettement plus importantes. Pourtant, les effets du bruit ambiant sur la santé sont nombreux.

¹ L'agglomération parisienne prise en compte dans le cadre de cette étude correspond à l'unité urbaine de Paris telle que définie par l'INSEE en 1999. Il s'agit d'un ensemble de 396 communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 2000 mètres entre deux constructions).

2. Les effets du bruit ambiant sur la santé

Les effets sanitaires du bruit regroupent les effets sur l'audition (fatigue auditive, perte d'audition temporaire ou définitive, acouphènes, hyperacousie) et de nombreux effets extra-auditifs non spécifiques.

Les effets sur l'audition sont généralement le fait d'expositions, en milieu professionnel ou lors des loisirs, à des niveaux de bruit qui dépassent 85 dB(A)², considéré comme le seuil de risque pour l'audition. Très peu rencontrés dans la nature, ces niveaux sonores élevés entraînent une altération du système auditif, peu adapté à les supporter durant de longues périodes. Il s'agit principalement de la dégradation d'une partie des cellules ciliées de l'oreille interne, cellules fragiles, peu nombreuses et ne se renouvelant pas, ce qui entraîne une perte irrémédiable de l'audition. Il est estimé que des troubles auditifs peuvent être observés suite à une exposition de plusieurs années à un niveau de 85 dB(A) (voie criée, rue animée à fort trafic). Plus le niveau sonore est élevé, plus le risque est grand et la dégradation rapide. Une exposition à un niveau proche de 100 dB(A) (discothèques, concerts) est ainsi susceptible d'entraîner des symptômes persistants et irréversibles : une baisse sensible de l'audition, des acouphènes et/ou une hyperacousie, en d'autres termes un traumatisme sonore aigu. Plus fréquemment, ce type d'exposition n'entraîne aucun trouble auditif ou des troubles temporaires, tels que des acouphènes, persistant quelques heures à quelques jours. Cependant, si ces troubles sont sans gravité immédiate, le système auditif subit un vieillissement prématuré, ce qui peut conduire à une perte d'audition précoce.

Les effets extra-auditifs quant à eux peuvent se manifester pour des expositions chroniques ou répétées à des niveaux beaucoup plus faibles, comme c'est généralement le cas avec le bruit dans l'environnement. Les mécanismes d'action sont toutefois complexes. D'une part, une stimulation acoustique constitue une agression de l'organisme et engendre une réponse non spécifique, qui dépend des caractéristiques physiques du bruit (intensité, fréquence, durée). D'autre part, le bruit est une notion subjective et la réaction à une stimulation sonore est influencée par des représentations individuelles (utilité des sources, bruit choisi ou subi, contrôle des sources). Un des principaux effets extra-auditifs du bruit concerne les perturbations du sommeil, qui peuvent apparaître dès 40 dB(A) en niveau moyen la nuit (rue résidentielle). Ces perturbations engendrent une fatigue notable et renforcent des effets directement attribuables au bruit comme la diminution de la vigilance, de l'efficacité au travail ou de l'apprentissage durant l'enfance. Des effets sur le système nerveux autonome ont également été observés, les expositions au bruit générant un stress qui entraîne des réponses diverses de l'organisme, végétatives (notamment sur le système cardio-vasculaire) et endocriniennes (élévation des sécrétions de catécholamines, de cortisol). Le bruit est par ailleurs responsable de nombreux effets psychosociaux, avec en premier lieu une dégradation de la qualité de vie, mais aussi une modification des attitudes et du comportement social (agressivité et troubles du comportement, diminution de la sensibilité et de l'intérêt à l'égard d'autrui).

Malgré une connaissance qui ne cesse de progresser, la prise en compte du bruit environnemental et des effets extra-auditifs du bruit est assez récente et encore vraisemblablement sous-estimée par les pouvoirs publics et par la population par rapport à d'autres facteurs environnementaux comme la qualité de l'air. Afin de guider l'action publique en matière de réduction des niveaux de bruit ambiant, des méthodes d'évaluation quantitative du risque sanitaire ont été développées permettant d'évaluer l'impact sanitaire attribuable à cette exposition.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), dans une étude internationale coordonnée par le bureau Europe de l'OMS avec le concours du Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne publiée en 2011 [5], a ainsi évalué, à l'échelle européenne, pour les principaux impacts sanitaires reconnus du bruit (gêne, perturbations du sommeil, maladies cardio-vasculaires, troubles de l'apprentissage, acouphènes), la charge de morbidité au moyen de l'indicateur quantitatif des « années de vie en bonne santé perdues » (en anglais : disability-adjusted life-years, ou DALY). Cette étude s'appuie sur les données d'exposition au bruit de la population produites en application de la directive européenne 2002/49/CE [3] à l'échelle des agglomérations ou des Etats membres, telles qu'elles étaient disponibles début 2011 sur le site de l'AEE (Agence Européenne de l'Environnement).

² dB(A) ou décibel A. L'oreille humaine n'est pas sensible de la même manière à toutes les fréquences. A niveau équivalent, un son grave sera perçu moins fort qu'un son aigu. Pour tenir compte de ce facteur, un filtre de pondération fréquentiel appelé filtre de pondération A est utilisé.

Ainsi, il a été estimé qu'au moins un million d'années de vie en bonne santé seraient perdues chaque année en Europe occidentale sous l'effet du bruit causé par les infrastructures de transport, soit :

- 587 000 ans en raison de la gêne,
- 903 000 ans en raison des perturbations du sommeil,
- 61 000 ans en raison des maladies cardio-vasculaires,
- 45 000 ans en raison des troubles de l'apprentissage,
- 22 000 ans en raison des acouphènes.

Ce travail souligne l'importance de ce problème de santé publique.

3. Présentation de la méthode de l’OMS

L’OMS s’appuie sur le corpus d’études épidémiologiques qui ont été menées par diverses équipes de recherche pour évaluer les risques sanitaires du bruit environnemental et proposer une méthode permettant de quantifier l’impact sanitaire des différentes sources de bruit de l’environnement au travers de l’estimation du nombre d’années de vie en bonne santé perdues.

Cette estimation est calculée pour chaque effet sanitaire du bruit en utilisant les informations et données suivantes :

- le nombre d’événements sanitaires répertoriés dans la population (incidences et prévalences) pour chaque effet sanitaire considéré ;
- la distribution de l’exposition aux différentes sources de bruit dans l’environnement au sein de la population considérée ;
- les relations connues de type dose-effet pour chaque effet sanitaire et chaque source de bruit ;
- le coefficient d’incapacité associé à chaque effet sanitaire.

3.1. Indicateurs sanitaires retenus

Après avoir examiné les différentes études disponibles mettant en évidence des relations entre le bruit et la santé, l’OMS a retenu les effets sanitaires suivants :

- gêne,
- troubles du sommeil,
- maladies cardio-vasculaires,
- troubles de l’apprentissage,
- acouphènes.

Les sources de bruit prises en considération dans la méthode d’estimation des DALY liés au bruit environnemental dépendent de l’effet sanitaire à caractériser et de la disponibilité des données d’exposition. Ainsi, selon l’effet, les sources de bruit suivantes ont été prises en compte : bruit routier, bruit ferroviaire et bruit aérien.

3.2. Indicateurs d’exposition au bruit

Les données sur l’exposition des populations au bruit utilisées dans l’étude de l’OMS proviennent des résultats issus des cartographies du bruit de première échéance exigées par la directive européenne 2002/49/CE et transmises par chaque Etat membre. Ces cartographies ont été élaborées pour les indicateurs réglementaires L_{den}^3 (Level day-evening-night, indicateur moyen pondéré de bruit sur la journée) et L_n (Level night, niveau de bruit moyen sur la période nocturne 22-6h), tels que définis par la directive.

3.3. Relations dose-réponse

Les relations dose-effet sont dérivées des résultats des études épidémiologiques. La validité de ces relations doit être évaluée en considérant les critères suivants :

- qualité des études utilisées (le choix des critères doit être clairement énoncé) ;
- exhaustivité du recensement des études ;
- qualité de l’estimation des expositions et la temporalité ;
- convergence des résultats ;
- transposabilité des résultats à la population à laquelle on souhaite appliquer la relation exposition / risque ;
- plausibilité biologique.

Selon ces critères, l’OMS [5] [6] a sélectionné des relations dose-effet, lorsque cela était possible, pour chaque effet sanitaire retenu en lien avec les différentes sources de bruit. Pour la gêne et les troubles de sommeil, cette relation permet d’estimer directement le pourcentage de personnes affectées en fonction du niveau d’exposition alors que pour les infarctus du myocarde, la relation fournit un risque relatif. Pour les

³ L’indicateur L_{den} (Level day-evening-night) correspond au niveau sonore moyen pondéré pour une journée divisée en 12 heures de jour (day), en 4 heures de soirée (evening) et 8 heures de nuit (night). Les niveaux moyens sur les périodes de soirée et de nuit se voient attribuer des majorations respectives de 5 dB(A) et de 10 dB(A) pour tenir compte de la sensibilité plus importante des populations au bruit au cours de ces deux périodes.

acouphènes, il n'existe pas de relation exposition / risque, toutefois une estimation de la part attribuable globalement au bruit environnemental est proposée.

3.4. Coefficient d'incapacité

La notion d'incapacité traduit une dégradation de l'état de santé plus ou moins importante, quantifiée par le coefficient d'incapacité ou disability weight (DW). En effet, le coefficient DW, associé à chaque impact sanitaire, peut varier sur une échelle allant de 0 (état de santé non dégradé) à 1 (décès). Il est issu généralement d'avis d'experts recueillis par l'OMS. Plusieurs valeurs de coefficient peuvent être parfois proposées tel que cela est présenté dans le tableau 1 (en gras figure la valeur retenue dans le calcul OMS) :

Coefficients d'incapacité	DW_{inf}	DW	DW_{sup}
Gêne	0,01	0,02	0,12
Troubles du sommeil	0,04	0,07	0,10
Infarctus du myocarde		0,405	
Cardiopathie ischémique et l'hypertension		0,350	
Acouphène léger		0,01	
Acouphène modéré à sévère		0,11	

Tableau 1 : Coefficients d'incapacité

Dans le cas de la gêne, alors que le nombre d'études dédiées à la détermination du facteur d'incapacité (DW) est relativement limité, l'OMS propose de retenir la valeur DW = 0,02 avec une plage d'incertitude élevée variant entre 0,01 à 0,12. La valeur de 0,02 conduit à une approche « conservative », à savoir guidée par la volonté de plutôt sous-estimer la morbidité.

Sur la base d'une étude exhaustive de plusieurs travaux de recherche menée par le groupe d'experts de l'OMS, le coefficient d'incapacité DW associé aux troubles du sommeil a été fixé à 0,07 dans le calcul des DALY. La valeur retenue tient compte des distributions statistiques de DW observées dans les différents travaux de recherche étudiés, dont les variations se traduisent par un intervalle d'incertitude compris entre 0,04 et 0,10.

Différentes valeurs de DW sont utilisées dans les rapports de l'OMS d'évaluation des risques d'infarctus du myocarde. La valeur de DW retenue par l'OMS est de 0,405 pour l'infarctus aigu du myocarde [9]. Dans la littérature, des valeurs autour de 0,350 sont proposées pour la cardiopathie ischémique et pour l'hypertension.

Concernant la détermination du coefficient d'incapacité DW associé à l'acouphène, le groupe d'experts de l'OMS a étudié plusieurs approches. L'approche retenue est fondée sur le concept de « capacité à affecter le fait de mener une vie normale ». Deux valeurs de DW ont été proposées pour différents niveaux de gravité de la maladie. Suivant le stade de la maladie, le coefficient d'incapacité DW associé à chaque stade d'acouphène varie de 0,01 (stade léger) à 0,11 (stades modéré et sévère). Ces chiffres traduisent une sensibilité accrue aux effets du bruit environnemental pour les personnes les plus gravement atteintes.

3.5. Calcul de la morbidité liée au bruit

Le fardeau global de la maladie liée au bruit peut être exprimé au travers de l'indicateur synthétique DALY (Disability Adjusted Life Years), en d'autres termes les années de vie ajustées sur l'incapacité. Les DALY représentent, pour une année civile donnée, le nombre d'années de vie en bonne santé perdues par une population sur un territoire donné. Ils constituent la somme des années de vie perdues par mortalité prématurée (Years of Life Lost ou YLL) et des années de vie en bonne santé perdues en raison d'une incapacité ou de la maladie (Years Lost due to Disability ou YLD).

$$DALY = YLL + YLD$$

La méthode décrite par l'OMS propose d'estimer cet indicateur pour chaque effet sanitaire de l'exposition au bruit retenu. La mortalité prématurée ne concerne que les infarctus, ainsi le nombre d'années de vie perdues par mortalité prématurée n'est calculé que pour cet effet sanitaire, les autres effets ne sont exprimés qu'en termes d'années de vie en bonne santé perdues.

Calcul des années de vie en bonne santé perdues (YLD)

Ce calcul est réalisé selon l'équation suivante :

$$YLD = I * DW * D$$

où I est le nombre de cas attribuables au bruit au sein de la population (pour chaque effet sanitaire considéré), DW le coefficient d'incapacité et D une durée moyenne d'incapacité exprimée en années. Pour les calculs, la durée est considérée égale à 1 car l'évaluation porte sur une année civile. Le nombre de cas attribuables (I) est obtenu en rapportant la fraction attribuable à la taille de la population.

Calcul des années de vie perdues par mortalité prématurée (YLL)

L'indicateur YLL est calculé à partir de l'équation ci-après.

$$YLL = \left(\sum_{\text{décès}} N * L \right) * PAF$$

où N est le nombre de décès par infarctus du myocarde pour chaque classe d'âge en distinguant le sexe, L est l'espérance de vie au moment du décès, et PAF (Population Attributable Fraction), la fraction des décès survenus à la suite d'un infarctus du myocarde attribuable au bruit. La PAF est calculée à partir du pourcentage de population exposée et de la relation dose-réponse selon l'équation suivante :

$$PAF = \frac{(\sum_i P_i RR_i) - 1}{\sum_i P_i RR_i}$$

où i est l'ensemble des classes d'exposition au bruit, P_i le pourcentage de population dans la classe i , et RR_i le risque relatif associé à la classe i .

Calcul des DALY dans le cas des acouphènes

L'équation ci-après résume la méthode proposée par l'OMS pour l'estimation de l'indicateur DALY associé à l'acouphène.

$$DALY = n_{pop \geq 15 \text{ years old}} \times \alpha \times \sum_{i=1}^3 p_i \times DW_i$$

où :

- $n_{pop \geq 15 \text{ years old}}$ représente la population âgée de 15 ans et plus sur l'ensemble du territoire étudié,
- α représente la fraction attribuée au bruit environnemental,
- p_i représente le taux de prévalence des acouphènes pour 3 stades de la maladie ($i = \{1, 2, 3\}$),
- DW_i représente le coefficient d'incapacité pour 3 stades de la maladie ($i = \{1, 2, 3\}$),
- $i = 1$: stade léger de la maladie, $i = 2$: stade modéré, $i = 3$: stade sévère.

4. Quantification des années de vie en bonne santé perdues du fait du bruit des transports au sein de l'agglomération parisienne

La méthode proposée par l'OMS a été appliquée à l'agglomération parisienne pour calculer la charge de morbidité liée au bruit environnemental des transports en utilisant les données disponibles à la commune (tant pour l'exposition au bruit que pour les indicateurs sanitaires).

Ce travail a été mené conjointement par l'Observatoire régional de santé Île-de-France et Bruitparif (Observatoire du bruit en Île-de-France). Les résultats obtenus ont ensuite été agrégés à l'échelle de l'agglomération parisienne.

4.1. Données d'exposition au bruit utilisées

A l'échelle de la région Île-de-France, l'étude s'est limitée au territoire de l'agglomération parisienne. En effet, il n'existe que des données partielles pour l'instant sur l'exposition des populations au bruit en dehors de ce territoire, où seules sont disponibles des données au voisinage des grandes infrastructures de transport (voies routières de plus de 6 millions de véhicules par an, voies ferrées de plus de 60 000 trains par an) et autour des principaux aéroports. Le territoire de l'agglomération parisienne comptait 10 142 977 d'habitants en 2006 (INSEE 2006).

Bruitparif a compilé les cartes de bruit publiées par les quelque 209 communes ou intercommunalités en charge de la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE à l'échelle de l'agglomération parisienne. Cette première consolidation, achevée en 2014, a permis de quantifier les enjeux d'exposition au bruit (cf. figures 1 à 12).

Ainsi, au sein de l'agglomération européenne, 22% de la population (soit environ 2,2 millions de personnes) serait exposée potentiellement à des niveaux de bruit généré par les transports en façade de leur habitation jugés excessifs au regard des valeurs limites⁴ prises par la France en application de la directive européenne 2002/49/CE.

Il est à noter que les données disponibles en termes d'exposition ne permettent pas de calculer la charge de morbidité liée au bruit en relation avec les troubles de l'apprentissage dans l'agglomération parisienne. Il faudrait en effet connaître la distribution de l'exposition au bruit de la population âgée entre 9 et 17 ans, donnée indisponible à l'heure actuelle.

⁴ Les valeurs limites sont définies dans la directive européenne 2002/49/CE comme « une valeur de Lden ou Ln et, le cas échéant, de Lday et de Levening, déterminée par l'Etat membre, dont le dépassement amène les autorités compétentes à envisager ou à faire appliquer des mesures de réduction du bruit ; les valeurs limites peuvent varier en fonction du type de bruit (bruit du trafic routier, ferroviaire ou aérien, bruit industriel, etc.), de l'environnement, et de la sensibilité au bruit des populations ; elles peuvent aussi différer pour les situations existantes et pour les situations nouvelles (changement de situation dû à un élément nouveau concernant la source de bruit ou l'utilisation de l'environnement). »

Les valeurs limites fixées par la France en application de la directive européenne sont mentionnées dans le décret du 24 mars 2006 et l'arrêté du 4 avril 2006, relatifs à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement. Pour les sources de transport, elles sont les suivantes :

Bruit routier : Lden = 68 dB(A) et Ln = 62 dB(A)
Bruit ferré : Lden = 73 dB(A) et Ln = 65 dB(A)
Bruit aérien : Lden = 55 dB(A)

Les figures 1 à 4 présentent les cartes de bruit routier de première échéance pour l'agglomération parisienne, ainsi que les statistiques d'exposition au bruit de la population.

La circulation routière constitue la principale source de la pollution sonore dans l'environnement extérieur au sein de l'agglomération parisienne. Ainsi :

- Un quart des habitants de l'agglomération parisienne (25,5%) subiraient des nuisances liées au bruit routier supérieures ou égales à 65 dB(A) selon l'indicateur journalier Lden.
- 28,1% seraient exposés à des niveaux supérieurs ou égaux à 55 dB(A) sur la période de nuit.
- Au total, 17,1% de la population de l'agglomération parisienne, soit 1 724 422 personnes, seraient exposées potentiellement au-dessus de la valeur limite réglementaire de 68 dB(A) selon l'indicateur Lden et 8,5%, soit 862 701 personnes, seraient au-dessus du seuil de 62 dB(A) la nuit.

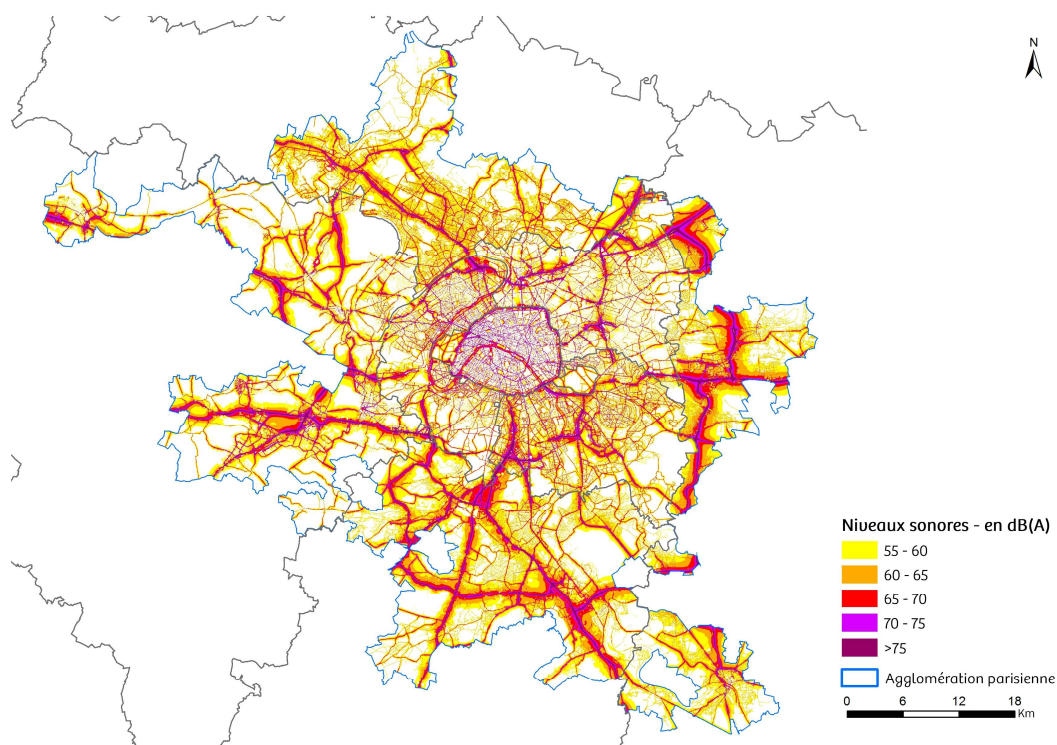


Figure 1 : Cartographie du bruit routier, indicateur Lden.

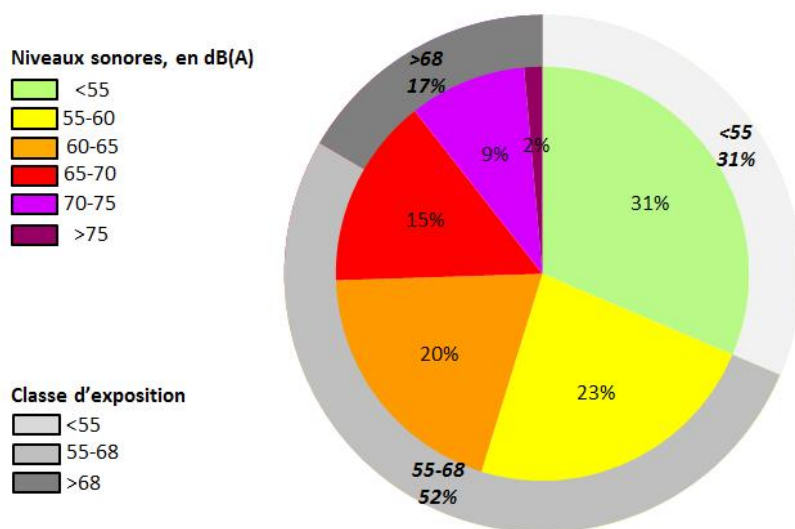


Figure 2 : Statistiques d'exposition au bruit routier de la population, indicateur Lden.

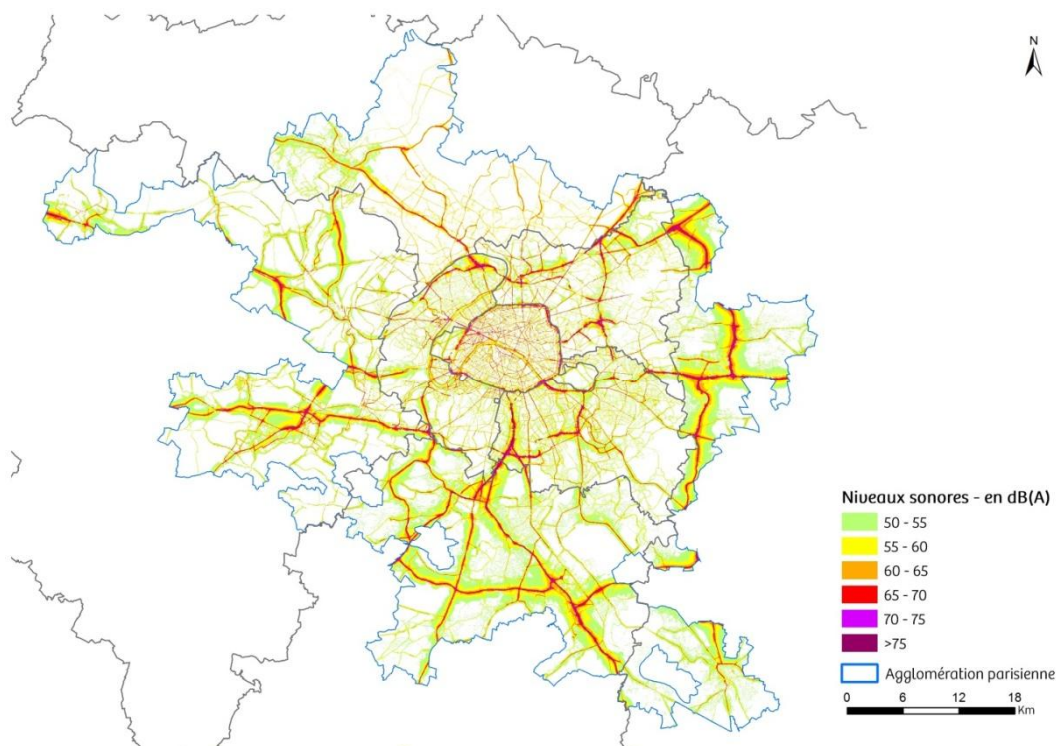


Figure 3 : Cartographie du bruit routier, indicateur Ln.

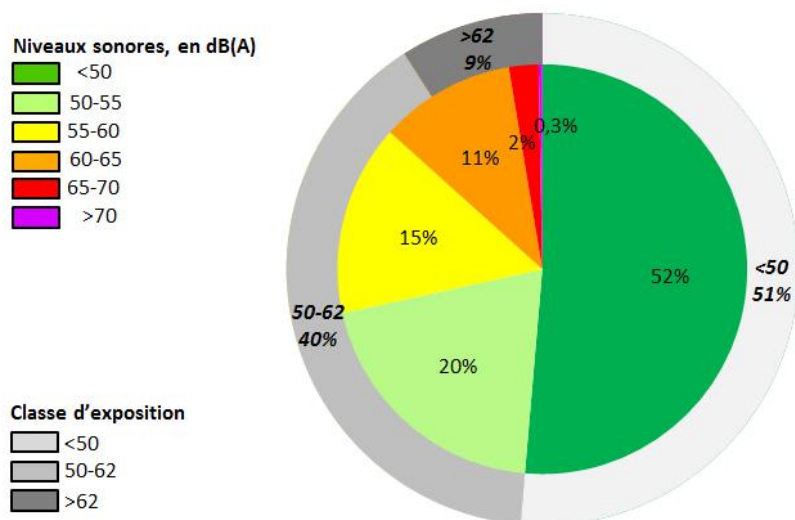


Figure 4 : Statistiques d'exposition au bruit routier de la population, indicateur Ln.

Les figures 5 à 8 présentent les cartes de bruit ferroviaire de première échéance pour l'agglomération parisienne, ainsi que les statistiques d'exposition au bruit de la population.

En termes d'exposition au bruit du trafic ferroviaire :

- 3,7% de la population de l'agglomération parisienne serait potentiellement exposée à des nuisances liées au trafic ferroviaire supérieures ou égales à 65 dB(A) selon l'indicateur journalier Lden.
- 5,6% des habitants seraient exposés à des niveaux supérieurs ou égaux à 55 dB(A) sur la période de nuit.
- 1 % des habitants seraient exposés à des niveaux supérieurs à la valeur limite réglementaire de 73 dB(A) selon l'indicateur Lden, correspondant à 100 467 personnes et 1,1 % des habitants, soit 114 378 personnes, seraient exposés à des niveaux nocturnes qui dépassent le seuil de 65 dB(A) selon l'indicateur Ln.

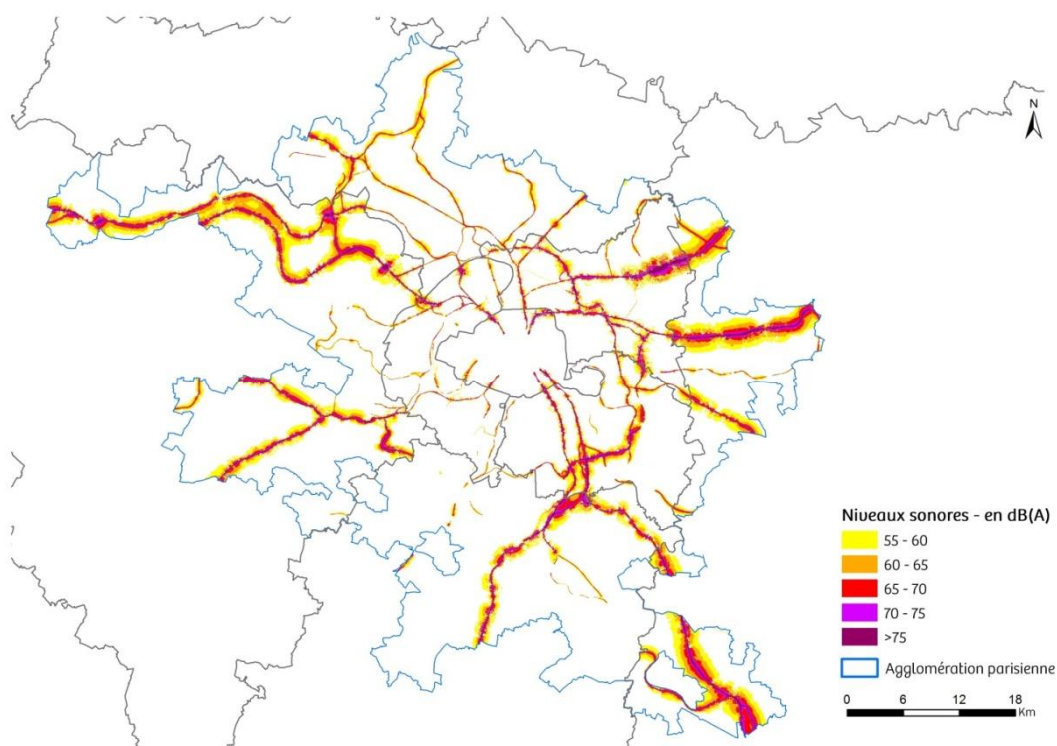


Figure 5 : Cartographie du bruit ferroviaire, indicateur Lden.

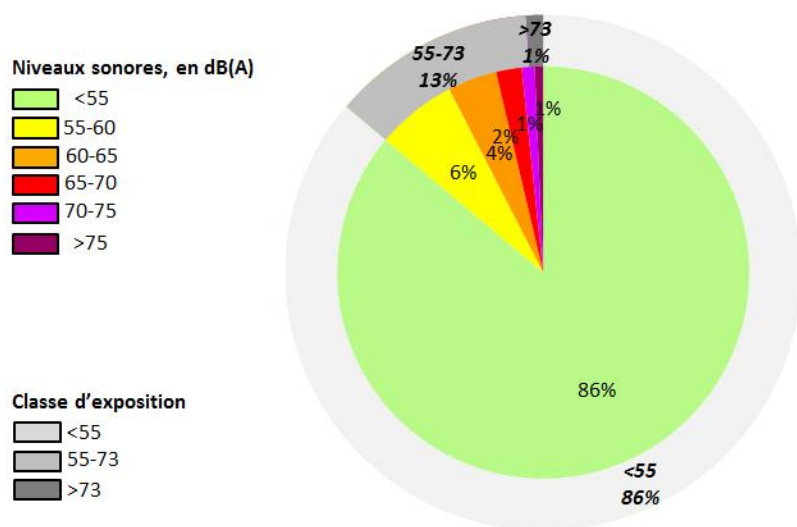


Figure 6 : Statistiques d'exposition au bruit ferroviaire de la population, indicateur Lden.

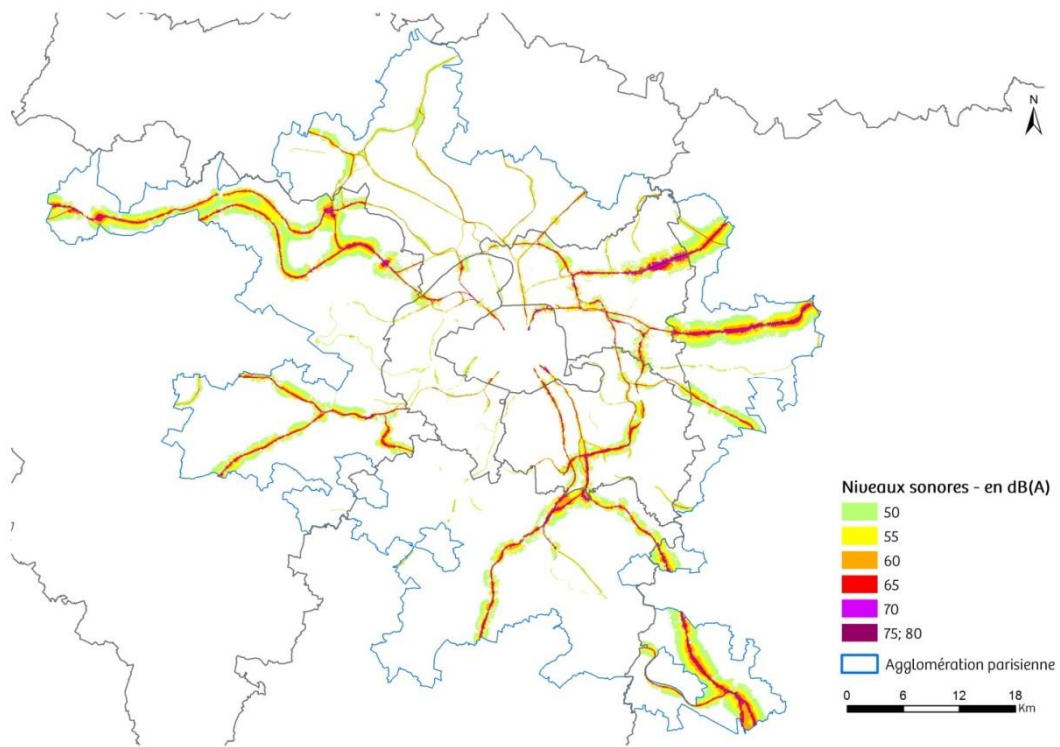


Figure 7 : Cartographie du bruit ferroviaire, indicateur Ln.

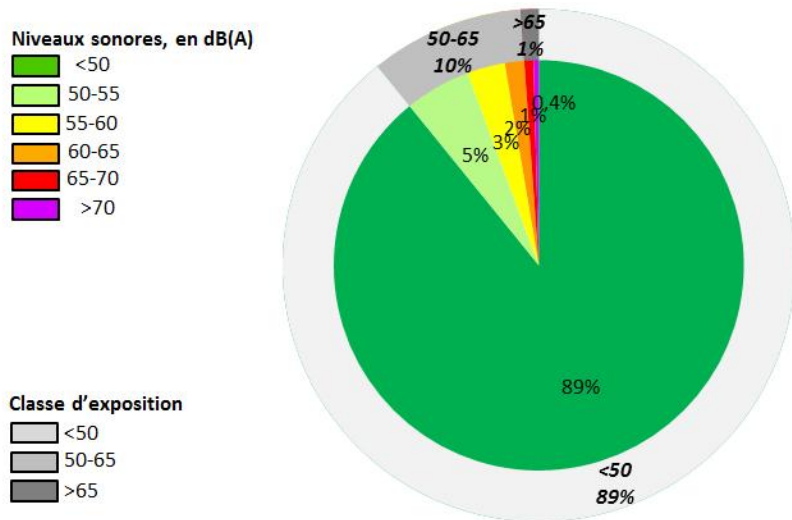


Figure 8 : Statistiques d'exposition au bruit ferroviaire de la population, indicateur Ln.

Les figures 9 à 12 présentent les cartes de bruit des avions⁵ de première échéance, ainsi que les statistiques d'exposition au bruit de la population.

D'après ces cartes, 354 588 personnes au sein de l'agglomération parisienne seraient exposées à des niveaux sonores à l'extérieur de leur habitation qui dépassent la valeur limite réglementaire de 55 dB(A) selon l'indicateur Lden, ce qui représente 3,5% de la population. A l'échelle de l'Île-de-France, cela représente 382 251 habitants, soit 3,3% de la population. Avec les mises à jour des plans de gêne sonore (PGS) des aéroports de Paris-Orly et de Paris-CDG en 2013, et l'élaboration de celui de Paris-Le Bourget en 2011, ces chiffres ont été réévalués et ce sont aujourd'hui 420 200⁶ Franciliens qui vivent à l'intérieur des zones définies par les plans de gêne sonore, et dont les niveaux sonores excèdent 55 dB(A) selon l'indicateur réglementaire Lden.

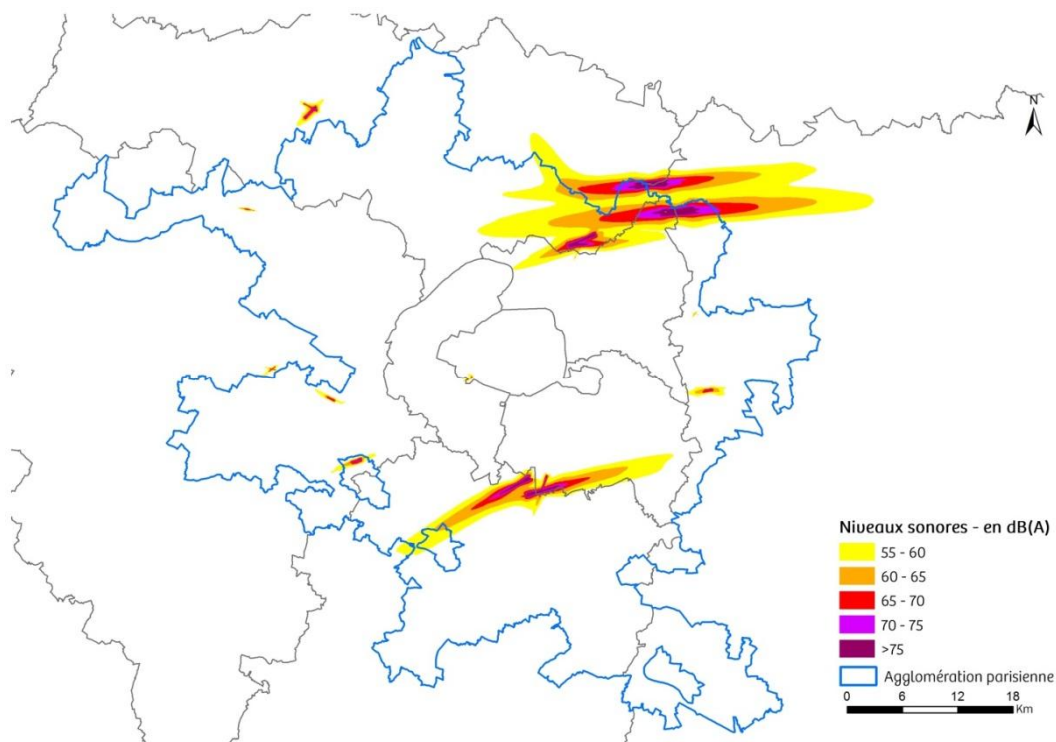


Figure 9 : Cartographie du bruit des avions, indicateur Lden.

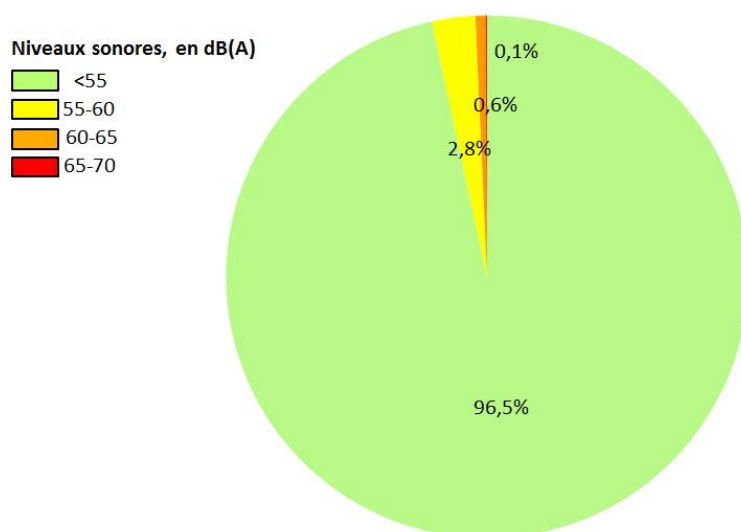


Figure 10 : Statistiques d'exposition au bruit des avions de la population, indicateur Lden.

⁵ Dans le cas du bruit aérien, les cartes ont été réalisées à l'échelle de la région Île-de-France. Les statistiques d'exposition au bruit aérien sont donc disponibles pour le territoire de l'agglomération parisienne comme au niveau régional. Pour les niveaux de bruit nocturnes (indicateur Ln), seules les données des trois grands aéroports (Paris-Orly, Paris-CDG et Paris Le Bourget) sont disponibles.

⁶ Nombre d'habitants estimés dans les PGS franciliens : Paris-CDG (256 176 personnes), Paris-Orly (123 902 personnes), Paris-Le Bourget (40 123 personnes)

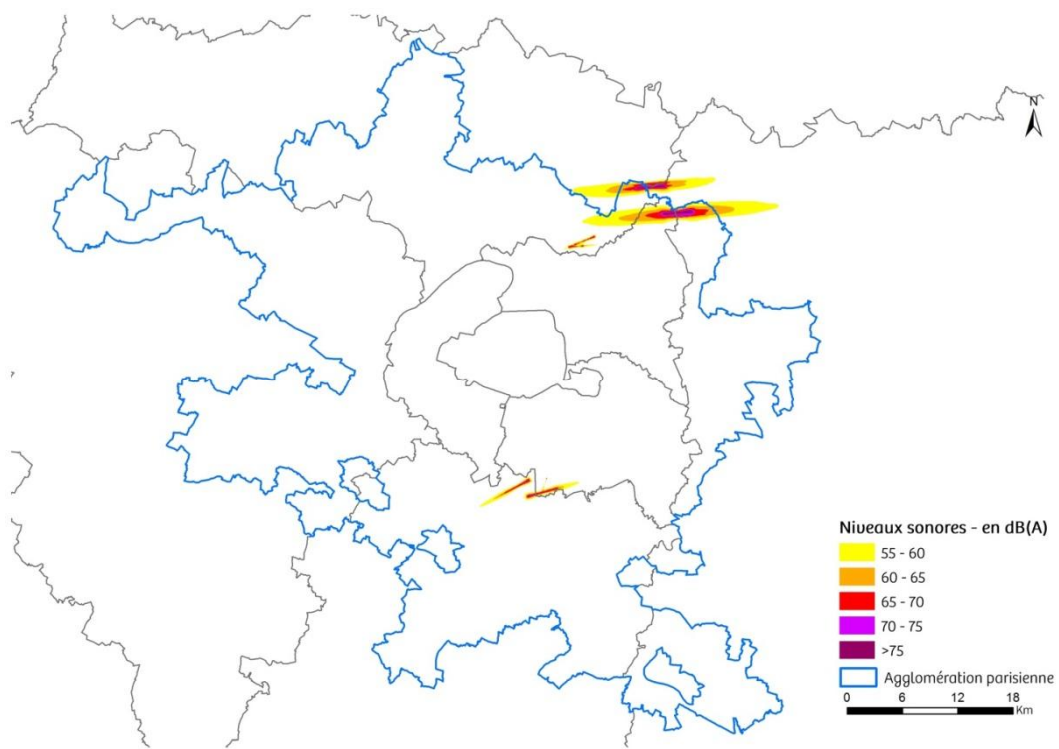


Figure 11 : Cartographie du bruit des aéronefs, indicateur Ln.

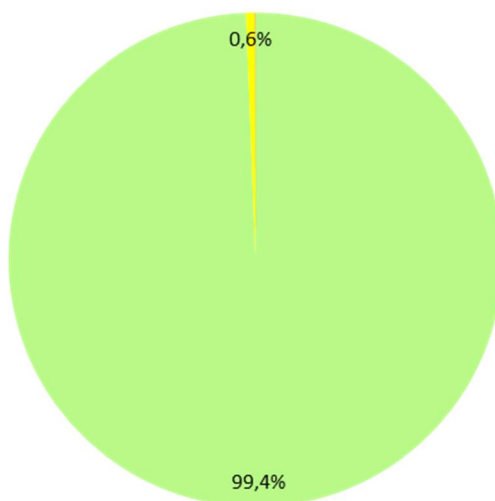


Figure 12 : Statistiques d'exposition au bruit des aéronefs de la population, indicateur Ln.

4.2. Quantification des années de vie en bonne santé gâchées du fait de la gêne

La gêne est l'effet lié au bruit le plus communément admis. La gêne est généralement évaluée à l'aide de questionnaires directement adressés à la population. Des questionnaires standardisés ont été développés afin de rendre compte de divers degrés de gêne. Ainsi des relations dose-effet entre l'exposition à une source de bruit et la gêne ont pu être proposées. Celles retenues dans l'étude de l'OMS [5] sont issues d'une publication de la Commission européenne [10] qui détermine le pourcentage de la population fortement gênée par le bruit en fonction du niveau sonore auquel elle est exposée.

Le pourcentage de personnes fortement gênées (%HA Highly Annoyed) est estimé pour chaque source de bruit considérée selon les équations suivantes :

Bruit routier :

$$\%HA = 9,868 * 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 1,436 * 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0,5118 (L_{den} - 42)$$

Bruit ferroviaire :

$$\%HA = 7,239 * 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 7,851 * 10^{-3} (L_{den} - 42)^2 + 0,1695 (L_{den} - 42)$$

Bruit aérien :

$$\%HA = -9,199 * 10^{-5} (L_{den} - 42)^3 + 3,932 * 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0,2939 (L_{den} - 42)$$

La figure 13 propose une représentation graphique de ces équations.

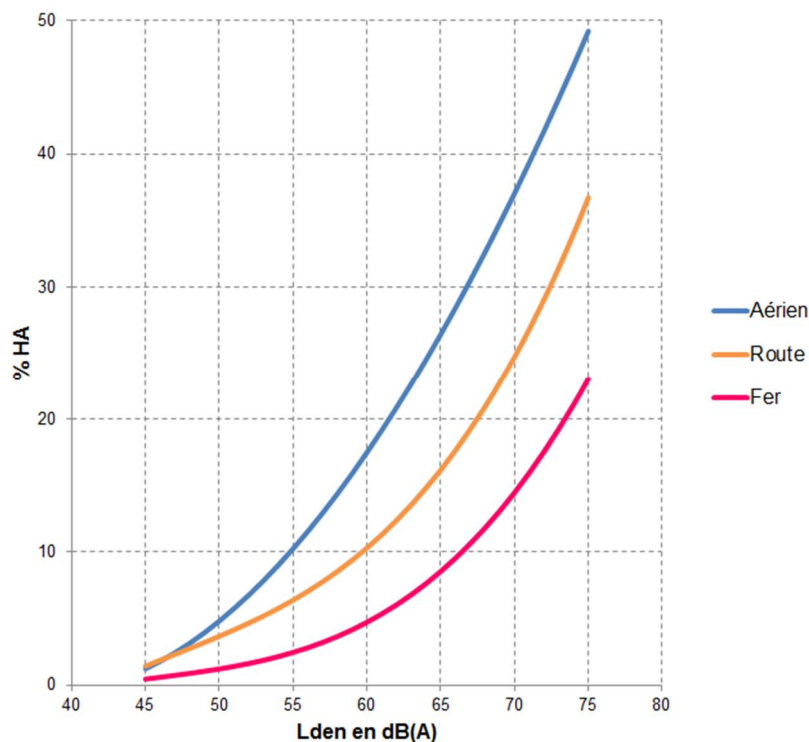


Figure 13 : %HA pour le bruit routier, ferroviaire et aérien.

Pour chaque commune de l'agglomération parisienne, ces équations ont été utilisées pour calculer le nombre de personnes hautement gênées par le bruit en fonction de la distribution des niveaux d'exposition de la population au bruit de chaque mode de transport, évalués à travers l'indicateur Lden.

Les données disponibles sont le nombre d'habitants par classe de 5 en 5 dB(A) selon l'indicateur Lden, à partir de 55 dB(A).

Aussi, afin de calculer les pourcentages de personnes hautement gênées pour chaque classe de bruit, la valeur de l'indicateur Lden correspondant au milieu de la classe a été retenue, à savoir les valeurs suivantes : 57,5 dB(A) / 62,5 dB(A) / 67,5 dB(A) / 72,5 dB(A). Au-delà de 75 dB(A), afin de ne pas surestimer le nombre de personnes hautement gênées, la valeur de 72,5 dB(A) a été appliquée afin de maintenir le taux de personnes gênées similaire à celui de la classe 70-75 dB(A).

Pour la gêne, l'application de la méthode DALY nécessite de quantifier la population exposée à des niveaux Lden inférieurs à 55 dB(A). Les données d'exposition au bruit n'étant pas disponibles pour ces valeurs, Bruitparif a estimé la population de l'agglomération parisienne concernée à partir des hypothèses suivantes :

- pour l'exposition au bruit routier, la population non affectée aux différentes classes de valeurs Lden supérieures à 55 dB(A) a été intégralement affectée à la classe < 55 dB(A) ;
- pour l'exposition au bruit ferroviaire, le pourcentage de la population dans la classe < 55 dB(A) est supposé identique à celui inscrit dans la classe 55-59 dB(A) ;
- pour l'exposition au bruit aérien, la population non affectée aux classes de valeurs Lden supérieures à 55 dB(A) a été intégralement affectée à la classe inférieure à 55 dB(A) pour les communes impactées par le bruit aérien⁷ ;
- pour les trois sources de bruit considérées (routier, ferroviaire et aérien), pour la population exposée à des niveaux inférieurs à 55 dB(A) en Lden, la valeur de 48 dB(A) a été affectée.

Précisons que l'ensemble de ces hypothèses a été mis en œuvre dans le cadre de l'application de la méthode d'estimation des DALY liés au bruit environnemental à l'agglomération parisienne, en s'assurant systématiquement de la compatibilité du total des valeurs obtenues avec la population totale de l'agglomération parisienne.

La synthèse des résultats obtenus à l'échelle de l'agglomération parisienne est présentée dans le tableau 2 ci-dessous.

Source de bruit	% de personnes très gênées	Nombre de personnes très gênées	DALY perdus		
			DW=0,01	DW=0,02	DW=0,12
Route	11.5%	1 168 322	11 683	23 366	140 199
Fer	1.1%	106 519	1 065	2 130	12 782
Aérien	2.2%	225 157	2 252	4 503	27 019
Total	14.8%	1 499 998	15 000	29 999	180 000

Tableau 2 : Estimation des DALY perdus à cause de la gêne liée à l'exposition au bruit environnemental des transports dans l'agglomération parisienne.

Ce calcul suggère qu'il y a, chaque année, de l'ordre de **30 000 années de vie en bonne santé perdues à cause de la gêne due au bruit environnemental des transports au sein de l'agglomération parisienne**. En prenant 0,01 et 0,12 comme valeurs extrêmes pour le coefficient DW, la plage de variation pour les DALY s'étale entre 15 000 à 180 000 années.

4.3. Quantification des années de vie en bonne santé gâchées du fait des troubles du sommeil

Les troubles du sommeil sont une des plaintes les plus souvent mises en avant par les populations exposées. Ces troubles peuvent être approchés par des mesures physiologiques, toutefois, dans les études épidémiologiques, ils sont généralement recueillis par questionnaire. Des échelles ont également été développées afin de rendre compte des différents degrés de troubles. Des relations dose-effet ont ainsi pu être développées en considérant les expositions nocturnes.

Le pourcentage de la population susceptible d'avoir des troubles significatifs du sommeil liés à son exposition au bruit (%HSD Highly Sleep-Disturbed) est estimé par les équations suivantes, basées sur les travaux de Miedema & al. [11] :

Bruit routier :

$$\%HSD = 20,8 - 1,05(Ln) + 0,01486(Ln)^2$$

Bruit ferroviaire :

$$\%HSD = 11,3 - 0,55(Ln) + 0,00759(Ln)^2$$

Bruit aérien :

$$\%HSD = 18,147 - 0,956(Ln) + 0,01482(Ln)^2$$

⁷ Communes inscrites dans les plans de gêne sonore (PGS) et d'exposition au bruit (PEB) ou concernées par les courbes d'environnement sonore (CES).

La figure 14 propose une représentation graphique de ces équations.

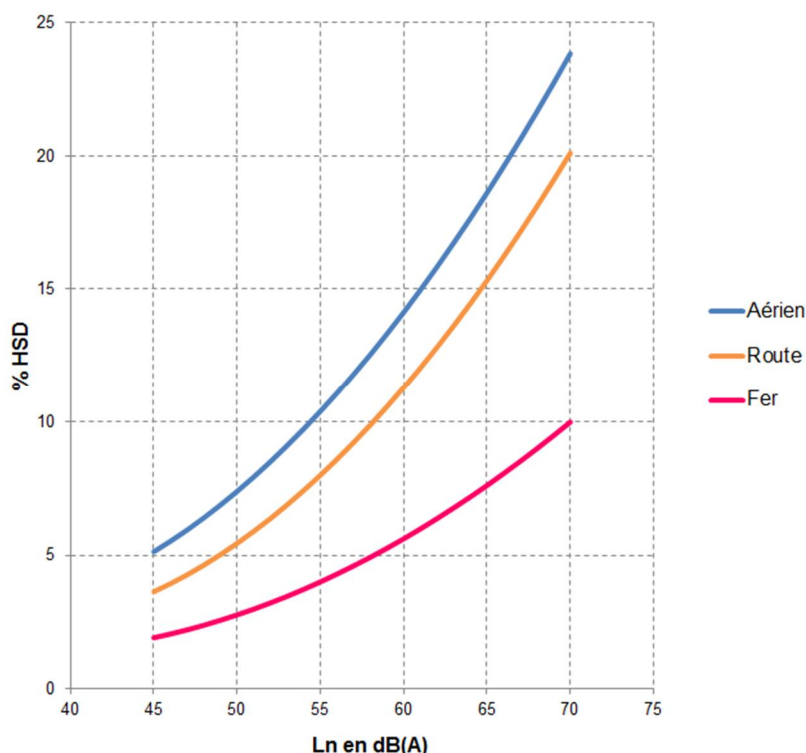


Figure 14 : %HSD pour le bruit routier, ferroviaire et aérien.

Pour chaque commune de l'agglomération parisienne, ces équations ont été utilisées pour calculer le nombre de personnes susceptibles d'avoir des troubles significatifs du sommeil du fait de leur exposition au bruit en fonction de la distribution des niveaux d'exposition nocturne au bruit des différents modes de transport, évalués à travers l'indicateur Ln, au sein de la population.

Les données disponibles sont le nombre d'habitants par classe de 5 en 5 dB(A), à partir de 50 dB(A).

Aussi, afin de calculer les pourcentages de personnes hautement gênées pour chaque classe de bruit, la valeur de l'indicateur Ln correspondant au milieu de la classe a été retenue, à savoir les valeurs suivantes : 52,5 dB(A) / 57,5 dB(A) / 62,5 dB(A) / 67,5 dB(A). Au-delà de 70 dB(A), la valeur de 72,5 dB(A) a été appliquée.

Pour les troubles du sommeil, l'application de la méthode d'estimation des DALY liés au bruit nécessite de quantifier la population exposée à des niveaux Ln dans la classe 45-49 dB(A). Les données d'exposition au bruit n'étant pas disponibles pour cette classe de valeurs, l'OMS a posé comme hypothèse que le pourcentage de la population dans la classe 45-49 dB(A) est identique à celui inscrit dans la classe 50-54 dB(A). La valeur de 47,5 dB(A) a été retenue pour la classe 45-49 dB(A). Ces hypothèses ont été mises en œuvre dans le cadre de l'application de la méthode DALY à l'agglomération parisienne, en s'assurant toutefois de la compatibilité du total des valeurs obtenues avec la population totale de l'agglomération parisienne.

La synthèse des résultats obtenus à l'échelle de l'agglomération parisienne est présentée dans le tableau 3.

Source de bruit	% HSD	Nombre de de personnes HSD	DALY perdus		
			DW=0,04	DW=0,07	DW=0,1
Route	5.5%	557 619	22 305	39 033	55 762
Fer	0.6%	65 178	2 607	4 562	6 518
Aérien	0.1%	8 156	326	571	816
Total	6.2%	630 953	25 238	44 166	63 096

Tableau 3 : Estimation des DALY perdus à cause des troubles du sommeil liés à l'exposition au bruit environnemental des transports dans l'agglomération parisienne.

Ce calcul suggère qu'il y a, chaque année, de l'ordre de **44 000 années de vie en bonne santé perdues à cause des troubles du sommeil liés à l'exposition au bruit environnemental des transports au sein de l'agglomération parisienne**. En prenant 0,04 et 0,1 comme valeurs extrêmes pour le coefficient DW, la plage de variation pour les DALY s'étale entre 25 000 à 63 000 années.

4.4. Quantification des années de vie en bonne santé gâchées du fait des risques cardio-vasculaires

Les études épidémiologiques menées au cours des dernières années ont mis en évidence une augmentation du risque d'infarctus du myocarde en lien avec l'exposition au bruit routier. Il y a pour l'instant moins d'évidence pour le bruit du trafic aérien. Très peu d'études ont été menées sur les effets cardio-vasculaires des autres sources de bruit environnemental comme le bruit ferroviaire par exemple. L'OMS a dérivé une relation exposition / risque de l'incidence d'infarctus du myocarde à partir des résultats d'études épidémiologiques retenues selon les critères exposés plus haut. L'Odds Ratio (OR), qui peut être interprété comme le risque relatif, est exprimé selon l'équation suivante :

$$OR = 1,63 - 0,000613 * (L_{day,16h})^2 + 0,00000736 * (L_{day,16h})^3$$

L'indicateur acoustique ($L_{day,16h}$) exploité dans cette équation, non exigé par la directive européenne, n'est pas systématiquement disponible. Aussi, l'approximation conseillée par l'OMS [6] pour évaluer l'indicateur $L_{day,16h}$ associé au bruit routier est d'utiliser l'indicateur L_{den} en considérant que :

$$L_{den} = L(day,16h) + 2,5 \text{ dB}$$

L'équation devient alors :

$$OR = 1,63 - 0,000613 * (L_{den} - 2,5)^2 + 0,00000736 * (L_{den} - 2,5)^3$$

La figure 15 propose une représentation graphique de cette équation.

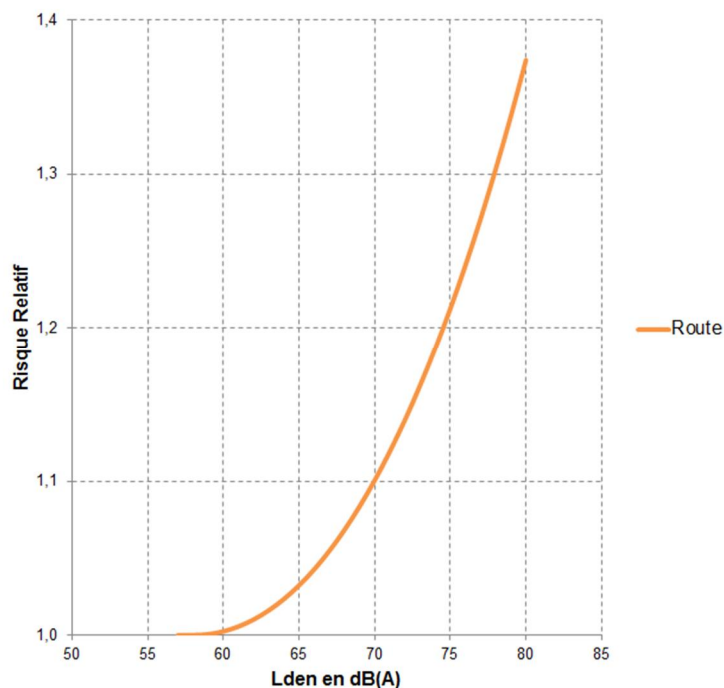


Figure 15 : Relation exposition / risque relatif d'incidence d'infarctus pour le bruit routier.

Le risque relatif (RR) est alors donné pour chaque classe d'exposition au bruit de la manière suivante.

Classe d'exposition au bruit (Lden)	<55	55-59	60-64	65-69	70-74	>75
Odds Ratio	1	1	1,013	1,061	1,151	1,287

Pour chaque commune de l'agglomération parisienne, la morbidité liée au bruit en relation avec les infarctus du myocarde a été calculée à partir du nombre de cas incidents⁸ d'infarctus, du risque relatif de survenue d'un infarctus en lien avec un niveau d'exposition au bruit routier et de la distribution de la population dans les différentes classes de bruit routier en Lden.

L'Île-de-France ne disposant pas d'un réseau de surveillance de ce type d'événements (comme un registre par exemple), le nombre de cas incidents d'infarctus à la commune a été estimé à partir des données d'hospitalisations issues du Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI). En effet, compte tenu des renseignements disponibles dans les bases du PMSI (notamment le code postal de résidence du patient, information sur le devenir du patient, réadmission) et du fait que les infarctus du myocarde non fatals sont quasi systématiquement suivis d'une hospitalisation, cette source de données est apparue la plus pertinente. D'après une étude réalisée par l'INVS [12], cette utilisation des données PMSI permet une bonne estimation des données d'infarctus du myocarde (IM) par comparaison avec les données de registres. Ainsi, le nombre de cas incidents d'infarctus du myocarde a été estimé pour l'année 2008 selon la procédure suivante :

1. sélection de l'ensemble des hospitalisations de patients domiciliés dans l'agglomération parisienne portant une mention de IM (codes CIM-10 I21 à I23) sur le diagnostic principal d'au moins un résumé d'unité médicale (RUM) ;
2. regroupement des épisodes d'infarctus du myocarde survenant dans un intervalle de 28 jours en un même épisode ;
3. suppression des épisodes conduisant à un décès ;
4. dénombrement de l'ensemble de ces épisodes par code postal.

Ainsi **6120 cas d'infarctus**⁹ du myocarde non fatals ont été dénombrés dans l'agglomération parisienne en 2008.

Les données de mortalité ont été fournies par le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDC) de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). Ainsi, pour l'année 2008, **1767 décès pour infarctus du myocarde** ont été comptabilisés dans l'agglomération parisienne.

La synthèse à l'agglomération parisienne des DALY perdus pour les cas d'infarctus du myocarde liés à l'exposition au bruit routier est présentée dans le tableau 4.

Source de bruit	PAF (% moyen)	Nombre de IM non fatals attribuables	Nombre de décès attribuables	DALY		
				YLD	YLD	YLL
				DW=0,405	DW=0,350	
Route	3%	171	53	69	60	686

Tableau 4 : Estimation des DALY perdus dans l'agglomération parisienne à cause des infarctus du myocarde liés au bruit routier.

4.5. Quantification des années de vie en bonne santé gâchées du fait des acouphènes

L'acouphène chronique est un bruit subjectif, entendu sans cesse « dans l'oreille » ou « dans la tête », sans aucun stimulus sonore extérieur. L'acouphène peut être le symptôme d'une pathologie du système auditif ou bien être la séquelle d'un accident traumatique. Il survient fréquemment après un traumatisme sonore ou barométrique. La plupart du temps, l'étiologie de l'acouphène n'est pas clairement identifiée. Toutefois, l'acouphène est très souvent présent simultanément à une perte auditive. Il peut correspondre à un bruit induit par une perte auditive ou induit directement par une exposition au bruit. Malgré des limitations dans la compréhension de la physiopathologie, il ne fait aucun doute qu'une exposition aiguë et chronique au bruit peut provoquer des acouphènes invalidants. La déficience auditive n'est pas censée se produire pour des niveaux d'exposition au bruit inférieurs à 75 dB(A) en moyenne sur 8 heures, même pour l'exposition au bruit prolongée du travail. De même, une exposition au bruit à des niveaux inférieurs à 70 dB(A) en moyenne sur 24 heures ne devrait pas causer des troubles auditifs pour la grande majorité de la population, même après une vie d'exposition. Dans certains environnements urbains, le bruit du trafic routier dépasse parfois des niveaux de 85 dB(A). Le bruit environnemental peut de ce fait avoir une incidence potentielle non négligeable sur l'apparition d'acouphènes. Du fait d'un nombre restreint d'études disponibles, il n'a pas été possible de développer une relation dose-réponse. En effet, la plupart des études examinées par l'OMS ne s'intéressent pas directement à la relation entre la prévalence des acouphènes dans la population étudiée et

⁸ L'incidence se définit comme le nombre de nouveaux cas d'une pathologie observés dans une population pendant une période donnée.

⁹ Données ré-estimées de façon plus précise sur le strict territoire de l'agglomération parisienne.

les causes potentielles. Les rares études qui abordent ce sujet ne traitent pas spécifiquement le bruit dans l'environnement comme un facteur causal. En outre, il n'y a pas de spécificité clinique particulière des acouphènes induits par le bruit de l'environnement par rapport à d'autres causes potentielles. A défaut de relation exposition / risque, la part relative des acouphènes liée au bruit environnemental a été estimée par un consensus d'experts à 3%. Cette valeur est jugée conservatrice, plausible et raisonnable.

Nous ne disposons pas pour l'Île-de-France des données de prévalence des acouphènes. Toutefois, les travaux de Davis [13] et Hannaford [14] ont permis d'estimer la prévalence des acouphènes dans la population européenne âgée de 15 ans et plus, selon 3 stades de la maladie :

- p1 : 3,4 % de cette population souffre d'acouphènes à un stade léger,
- p2 : 1,2 % à un stade modéré,
- p3 : 0,4 % à un stade sévère.

Si l'on applique à la population de l'agglomération parisienne ce taux européen, il est possible d'estimer la morbidité en matière d'acouphènes liée au bruit des transports. Le tableau 5 présente les résultats de l'estimation des années de vie perdues en bonne santé pour l'agglomération parisienne à cause des acouphènes liés au bruit environnemental des transports.

Total de la population (2006)	Population âgée de 15 ans et plus (2006)	Population étudiée atteinte d'acouphènes		DW	Poids dû au bruit environnemental	DALY
10 142 977	8 178 398 (≈80,6%)	Léger (3,4%)	278 066	0,01	0,03	83
		Mod. (1,2%)	98 141	0,11	0,03	324
		Sév. (0,4%)	32 714	0,11	0,03	108
		Total	408 921			515

Tableau 5 : Estimation des DALY perdus dans l'agglomération parisienne du fait des acouphènes liés au bruit des transports.

4.6. Synthèse

Les tableaux 6 et 7 ainsi que les figures 16 et 17 synthétisent les résultats de l'impact du bruit environnemental des transports au sein de l'agglomération parisienne, vis-à-vis des différents effets sanitaires étudiés. Les valeurs retenues sont celles obtenues avec les coefficients *DW* utilisés par l'OMS.

Au total, l'estimation issue de la méthode mise en œuvre aboutit à un chiffre de l'ordre de **75 000 années de vie en bonne santé perdues par an** dans l'agglomération parisienne. Le principal effet sanitaire de l'exposition au bruit environnemental correspond aux troubles du sommeil, qui représente à lui seul près de 59% des années perdues (DALY). La gêne est le deuxième effet sanitaire avec 30 000 années de bonne santé perdues.

Effet sanitaire	YLL	YLD	DALY
Gêne	0	29 999	29 999
Troubles du sommeil	0	44 166	44 166
Infarctus	686	69	755
Acouphènes	0	515	515
Total	686	74 749	75 435

Tableau 6 : Charge de morbidité du bruit pour chaque effet sanitaire.

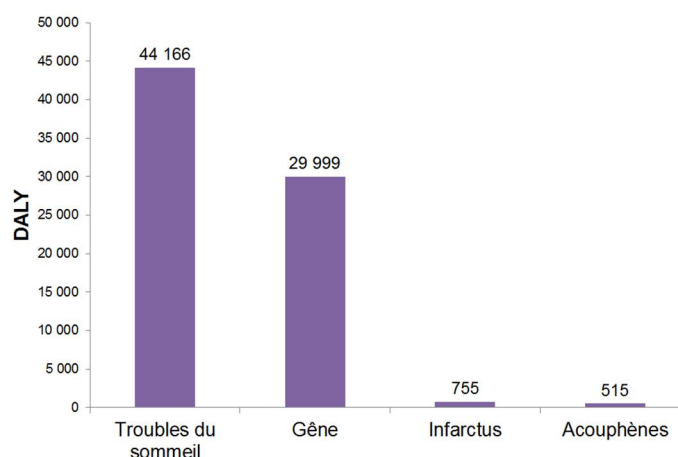


Figure 16 : Charge de morbidité du bruit pour chaque effet sanitaire.

Parmi les sources de bruit environnemental des transports, le bruit routier constitue la principale source de morbidité. En effet, en totalisant plus de 63 000 DALY, le bruit routier concentre à lui seul 84% des estimations de pertes d'année de vie en bonne santé en agglomération parisienne.

Source de bruit	YLL	YLD	DALY
Route	686	62 468	63 154
Ferroviaire	0	6 692	6 692
Aérien	0	5 074	5 074
Total	686	74 234	74 920¹⁰

Tableau 7 : Charge de morbidité du bruit sein de l'agglomération parisienne pour chaque source de bruit environnemental des transports.

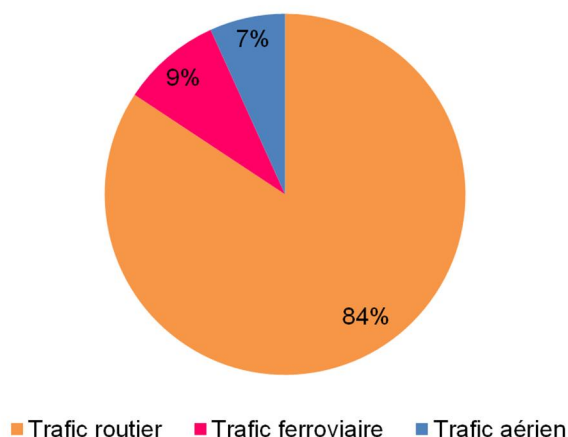


Figure 17 : Part des différents modes de transports dans la charge de morbidité liée au bruit au sein de l'agglomération parisienne.

Le tableau 8 présente les résultats en croisant les trois sources de bruit environnemental des transports considérées avec les quatre effets sanitaires étudiés.

Les troubles du sommeil associés au bruit routier représentent près de 52% des années de vie en bonne santé perdues en agglomération parisienne.

Source	Gêne	Troubles du sommeil	Infarctus	Acouphènes	Total
Route	23 366	39 033	755	515	63 669
Fer	2 130	4 562	-		6 692
Air	4 503	571	-		5 074
Total	29 999	44 166	755	515	75 435

Tableau 8 : Evaluation du nombre d'années de vie en bonne santé perdues du fait de l'exposition au bruit environnemental des transports au sein de l'agglomération parisienne (DALY).

¹⁰ A ce bilan de 74 920 DALY, il convient d'ajouter l'effet sanitaire associé aux acouphènes, qui représente 515 années de pertes d'année de vie en bonne santé en agglomération parisienne, pour une population âgée de 15 ans et plus.

5. Estimation de la durée de vie en bonne santé perdue du fait du bruit selon le niveau d'exposition au cours d'une vie entière

Pour les deux principaux effets sanitaires du bruit, à savoir les troubles du sommeil et la gêne, il est possible de décliner la méthode de l'OMS pour estimer la durée de vie en bonne santé perdue du fait du bruit pour un individu moyen en fonction de son niveau d'exposition au bruit des transports, et ce, de manière cumulée au cours de sa vie. L'hypothèse est faite d'une exposition chronique à des niveaux de bruit des transports qui n'évoluent pas au cours de la vie de l'individu.

Les chiffres sont donnés pour un individu moyen d'espérance de vie de 81,65 ans, soit une espérance de vie moyenne entre celle des femmes et des hommes résidants en Île-de-France (84,7 ans pour les femmes et de 78,6 ans pour les hommes - source : INSEE 2006). Les figures 18 et 19 indiquent les résultats en nombre de mois en bonne santé perdus du fait du bruit au cours d'une vie entière pour la gêne et les troubles du sommeil pour chacune des sources d'exposition au bruit des transports.

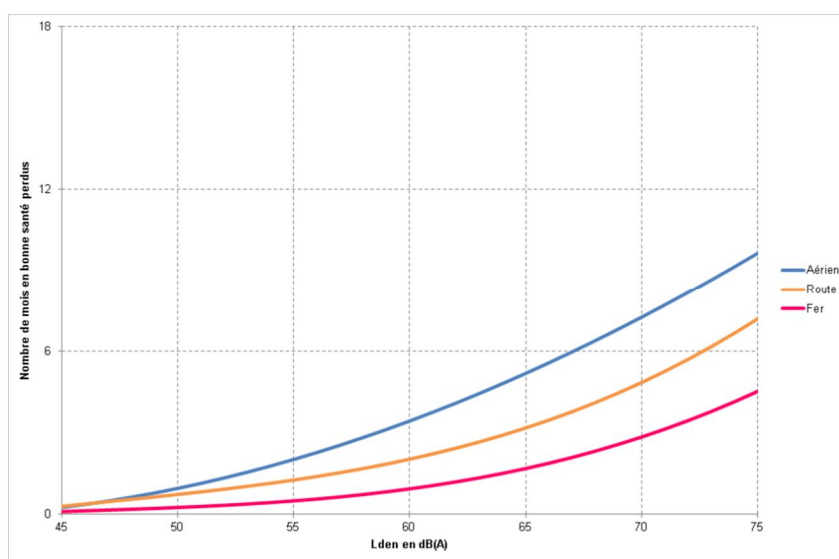


Figure 18 : Nombre de mois en bonne santé perdus du fait de la gêne liée au bruit des transports pour une vie entière en fonction du niveau d'exposition en Lden.

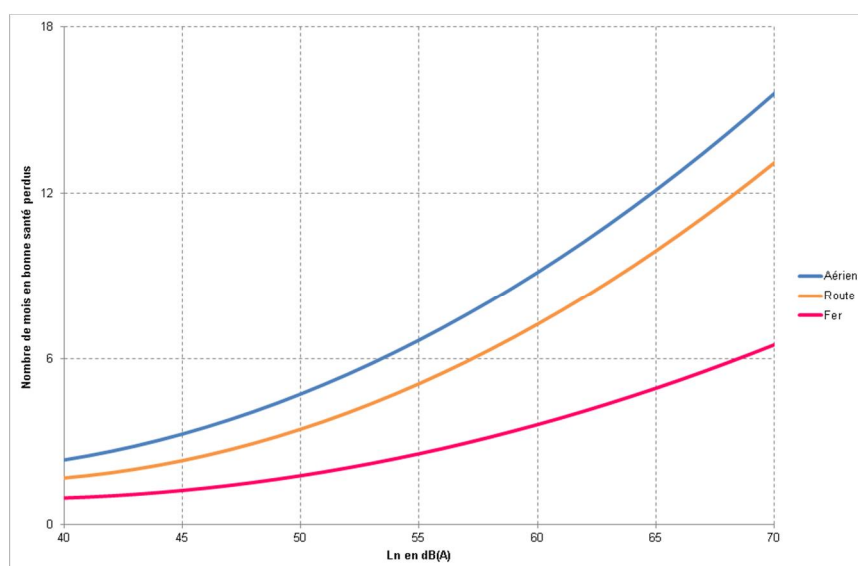


Figure 19 : Nombre de mois en bonne santé perdus du fait des troubles du sommeil liés au bruit des transports pour une vie entière en fonction du niveau d'exposition en Ln.

Ainsi, il est possible de calculer des ordres de grandeur du désagrément causé pour un individu moyen résidant toute sa vie au sein d'une zone particulièrement impactée par le bruit. Ces ordres de grandeur ne tiennent pas compte des dispositifs d'isolation des logements qui peuvent être mis en œuvre.

Exposition élevée au bruit routier

Cas d'un individu moyen exposé à des niveaux de bruit routier de jour comme de nuit proches des valeurs limites réglementaires, à savoir $L_{den} = 68$ dB(A) et $L_n = 62$ dB(A) (situation dite de super point noir de bruit routier) : **13 mois de vie en bonne santé perdue** du fait du bruit (4 mois du fait de la gêne et près de 9 mois du fait des troubles du sommeil).

Exposition élevée au bruit ferroviaire

Cas d'un individu moyen exposé à des niveaux de bruit ferré de jour comme de nuit proches des valeurs limites réglementaires, à savoir $L_{den} = 73$ dB(A) et $L_n = 65$ dB(A) (situation dite de super point noir de bruit ferroviaire) : **9 mois de vie en bonne santé perdue** du fait du bruit (près de 4 mois du fait de la gêne et plus de 5 mois du fait des troubles du sommeil).

Exposition élevée au bruit aérien

L'analyse des données des indicateurs L_{den} et L_n aériens issues des cartes de bruit autour des aéroports montre que l'on peut évaluer, en première approche, le L_n aérien à partir du L_{den} aérien via les relations suivantes :

$L_n = L_{den} - 8$ autour de Paris-CDG

$L_n = L_{den} - 12$ autour de Paris-Orly

Cas d'un individu moyen résidant en limite de zone III du Plan de Gêne Sonore de Paris-CDG, c'est-à-dire à un niveau de bruit aérien L_{den} de 55 dB(A) et avec un niveau de bruit aérien nocturne de l'ordre de 47 dB(A) : **6 mois de vie en bonne santé perdus** du fait du bruit (2 mois du fait de la gêne et 4 mois du fait des troubles du sommeil).

Cas d'un individu moyen résidant en limite de zone II du Plan de Gêne Sonore de Paris-CDG, c'est-à-dire à un niveau de bruit aérien L_{den} de 65 dB(A) et avec un niveau de bruit aérien nocturne de l'ordre de 57 dB(A) : plus de **13 mois de vie en bonne santé perdus** du fait du bruit (5 mois du fait de la gêne et plus de 8 mois du fait des troubles du sommeil).

Cas d'un individu moyen résidant en limite de zone I du Plan de Gêne Sonore de Paris-CDG, c'est-à-dire à un niveau de bruit aérien L_{den} de 70 dB(A) et avec un niveau de bruit aérien nocturne de l'ordre de 62 dB(A) : de l'ordre de **18 mois de vie en bonne santé perdus** du fait du bruit (plus de 7 mois du fait de la gêne et près de 11 mois du fait des troubles du sommeil).

Cas d'un individu moyen résidant en limite de zone III du Plan de Gêne Sonore de Paris-Orly, c'est-à-dire à un niveau de bruit aérien L_{den} de 55 dB(A) et avec un niveau de bruit aérien nocturne de l'ordre de 43 dB(A) : **5 mois de vie en bonne santé perdus** du fait du bruit (2 mois du fait de la gêne et 3 mois du fait des troubles du sommeil).

Cas d'un individu moyen résidant en limite de zone II du Plan de Gêne Sonore de Paris-Orly, c'est-à-dire à un niveau de bruit aérien L_{den} de 65 dB(A) et avec un niveau de bruit aérien nocturne de l'ordre de 53 dB(A) : plus de **11 mois de vie en bonne santé perdus** du fait du bruit (5 mois du fait de la gêne et plus de 6 mois du fait des troubles du sommeil).

Cas d'un individu moyen résidant en limite de zone I du Plan de Gêne Sonore de Paris-CDG, c'est-à-dire à un niveau de bruit aérien L_{den} de 70 dB(A) et avec un niveau de bruit aérien nocturne de l'ordre de 58 dB(A) : de l'ordre de **16 mois de vie en bonne santé perdus** du fait du bruit (plus de 7 mois du fait de la gêne et près de 9 mois du fait des troubles du sommeil).

Désagrément moyen statistique :

Le nombre d'années de vie en bonne santé perdues chaque année du fait du bruit des transports au sein de l'agglomération parisienne (DALY) permet en outre de donner une idée du **désagrément moyen causé par le bruit par personne résidant dans l'agglomération parisienne au cours de toute sa vie**. Ce désagrément moyen exprimé en nombre de mois en bonne santé perdus du fait du bruit des transports au cours d'une vie entière (DM) peut être calculé de la manière suivante :

$$DM = (DALY * \text{espérance de vie moyenne} * 12 \text{ mois}) / \text{Population de l'agglomération parisienne}$$

$$\text{Soit } DM = 75\,435 * 81,7 * 12 / 10\,142\,977 = \mathbf{7,29 \text{ mois}}$$

6. Incertitudes

A chaque étape de la démarche d'évaluation de l'impact sanitaire résident des incertitudes. Toutefois, les choix effectués ont été guidés par la volonté de minimiser l'impact sanitaire. Plusieurs facteurs d'incertitudes ont pu être identifiés.

6.1. Incertitudes liées aux données

Les estimations des années de vie en bonne santé perdues du fait du bruit reposent sur l'utilisation de données d'exposition issues des premières cartographies du bruit produites en application de la directive européenne 2002/49/CE.

La qualité de ces données s'avère variable d'une commune à l'autre. Afin de minimiser ce facteur de variabilité, les résultats ont été exprimés à l'échelle de l'agglomération afin de moyenniser les éventuelles erreurs d'estimation.

En outre, la méthode de calcul de l'exposition de la population consiste à affecter à la population d'un bâtiment les niveaux de bruit les plus élevés estimés à 4 mètres du sol à 2 mètres en avant de la façade du bâtiment (en ayant au préalable retrancher 3 dB aux valeurs calculées pour ne pas prendre en compte la dernière réflexion du son sur la façade). Cette méthode d'affectation apparaît majorante dans la mesure où il n'est pas tenu compte de la disposition des pièces, de la présence ou de l'absence d'une façade calme, ni même des performances d'isolation acoustique. Le temps passé au domicile et les expositions en dehors du domicile ne sont également pas pris en compte. L'ensemble de ces éléments constitue une limite importante dans la précision des estimations.

Enfin, les données de population majoritairement exploitées dans la cadre des cartes stratégiques de bruit datent de 2006 alors que certaines données de prévalence des pathologies sont plus récentes (2008). Ces décalages peuvent contribuer également à l'incertitude des estimations.

Compte tenu de ces différentes limites, il peut être fait l'hypothèse que l'incertitude sur les niveaux d'exposition est de +/- 3 dB(A), ce qui correspond à une multiplication/division par deux de l'énergie sonore.

Le tableau 9 présente l'estimation du nombre d'années de vie en bonne santé perdues au sein de l'agglomération parisienne correspondant à une incertitude de ± 3 dB(A) sur les indicateurs d'exposition au bruit.

	- 3 dB(A)	+ 3 dB(A)
DALY	57 778	96 934

Tableau 9 : Evaluation du nombre d'années de vie en bonne santé perdues (DALY) du fait de l'exposition au bruit des transports au sein de l'agglomération parisienne correspondant à une incertitude de ± 3 dB(A) sur les indicateurs d'exposition au bruit.

Ainsi, une incertitude de ± 3 dB(A) sur les indicateurs d'exposition au bruit fait varier le nombre d'années de vie en bonne santé perdues au sein de l'agglomération parisienne de 58 000 à 97 000 années environ.

Les cartes de bruit doivent réglementairement être mises à jour tous les 5 ans. Ce sera l'occasion d'uniformiser les méthodes d'estimation et d'améliorer quantitativement et qualitativement les données d'entrée des modèles de prédiction du bruit. Ainsi, une nouvelle évaluation des DALY pourra être produite sur la base de données d'expositions plus représentatives, au terme des travaux de mise à jour des cartes stratégiques du bruit, et des dernières avancées en termes de méthode d'évaluation proposée par l'OMS.

6.2. Incertitudes liées aux relations exposition / risque

Ces relations sont exprimées avec un intervalle de confiance à l'intérieur duquel s'inscrit la « vraie » valeur (avec une probabilité de 95%). Pour les calculs, dans un souci de simplification, la valeur centrale a été retenue. Pour ce qui est des risques d'infarctus du myocarde, cet intervalle recouvre le risque nul, cette estimation est dite non significative. Toutefois, pour des analyses menées sur des sous-groupes de population ayant une exposition plus marquée (temps de résidence compris en 10 et 15 ans), les risques estimés deviennent significatifs et sont majorés. Ceci renforce la plausibilité de la relation malgré les limites statistiques évoquées.

6.3. Choix des facteurs d'incapacité

Le choix du facteur d'incapacité a une forte influence sur les résultats. C'est pourquoi devant l'importance de ce critère et la difficulté de trouver un consensus d'experts pour le choix des valeurs, compte tenu notamment de la subjectivité de certains effets comme la gêne ou les troubles du sommeil, les calculs ont été menés pour plusieurs valeurs de ce facteur.

6.4. La pollution atmosphérique, facteur de confusion

Les individus exposés au bruit routier sont généralement également exposés aux polluants atmosphériques. Or, s'agissant des pathologies cardio-vasculaires, les études épidémiologiques démontrent également un lien de ce type d'effet avec la pollution atmosphérique. La question reste entière de savoir si les expositions concomitantes au bruit et à la pollution atmosphérique ont des effets indépendants, additifs ou bien synergiques. En effet, peu de travaux épidémiologiques se sont intéressés à cette question. Toutefois, les effets propres du bruit, s'agissant des pathologies cardio-vasculaires, ont été démontrés dans le cadre professionnel impliquant une exposition exclusive au bruit.

6.5. Limites de l'indicateur Lden pour l'estimation de l'exposition de la population au bruit aérien

Dans la méthode d'estimation des DALY liés au bruit environnemental proposée par l'OMS, la relation entre l'exposition au bruit des transports et les différents facteurs de risque pour la santé repose sur l'indicateur énergétique Lden. Si l'indicateur Lden s'avère bien adapté aux sources de bruit à caractère continu tel que le bruit du trafic routier par exemple, il ne suffit pas en revanche à retranscrire à lui seul l'exposition de la population à des sources de bruit présentant un caractère événementiel tel que le trafic aérien.

Ainsi en France, le CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France) et l'ACNUSA (Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires) recommandent le recours à des indicateurs complémentaires de type événementiel, notés « NA » pour Number Above. Ce type d'indicateurs comptabilise le nombre d'événements sonores dont le pic de bruit (noté L_{Amax}) a atteint ou dépassé une valeur seuil pendant une période donnée. De ce fait, la prise en compte exclusive de l'indicateur Lden dans la méthode d'estimation des DALY liés au bruit aérien proposée par l'OMS conduit à minimiser le territoire impacté par le bruit aérien et les nuisances ressenties par les populations riveraines. Il est à rappeler notamment que, dans le cadre de l'étude SURVOL [15], Bruitparif avait pu estimer à 1,73 millions d'habitants la population étant :

- soit située à l'intérieur de zones où l'indicateur Lden associé au trafic aérien est estimé supérieur à 50 dB(A),
- soit survolée par au moins 7 avions par jour à une altitude inférieure à 1000 m dans au moins une des deux configurations de vol (est ou ouest),
- soit survolée par au moins 7 avions par jour à une altitude inférieure à 2000 m dans les deux configurations de vol.

7. Estimation des coûts économiques

L'estimation des coûts économiques liés à l'impact sanitaire du bruit dans l'environnement constitue une information utile pour les décideurs. Elle permet de mieux appréhender l'ampleur du problème et autorise la comparaison avec des coûts autres que les coûts sanitaires.

Une première tentative d'estimation des coûts économiques des années de vie en bonne santé perdues dues au bruit dans l'environnement a été proposée sur le territoire de l'Union Européenne par le Bureau régional de l'OMS pour l'Europe en 2013 [7].

Malgré l'absence de méthode développée dans le domaine spécifique du bruit dans l'environnement, une première estimation selon cette méthode proposée par l'OMS, présente un réel intérêt dans l'orientation des politiques en matière de santé publique.

7.1. Méthode d'estimation des coûts économiques

Dans la littérature scientifique, les approches concernant l'estimation des coûts économiques des années de vie en bonne santé perdues (DALY) sont basées, de façon générale, sur la notion de « **consentement à payer** » (WTP¹¹). Ces approches peuvent être exploitées pour fournir des estimations des coûts économiques des effets sur la santé liés au bruit dans l'environnement.

En l'absence de toute recherche ou enquête dans le domaine spécifique du bruit dans l'environnement, l'OMS a proposé une première méthode d'estimation économique spécifique au territoire de l'Union Européenne. La méthode repose sur des travaux existants dans d'autres domaines liés aux effets de l'environnement sur la santé, tels que la pollution de l'air et les risques chimiques.

7.1.1. Valeur statistique d'une année de vie (VSLY)

De manière simple, la conversion des DALY en chiffres monétaires consiste à multiplier le nombre de DALY par la « **valeur statistique économique d'une année de vie** » (VSLY¹²). Cette méthode d'estimation a déjà été exploitée par la Commission Européenne, l'OCDE¹³, le Royaume-Uni, les ministères des Finances et de la Santé en Norvège et d'autres dans le domaine de l'environnement et de la santé publique.

Le processus de quantification des coûts économiques des impacts sur la santé du bruit dans l'environnement est relativement complexe car la valeur VSLY varie considérablement, non seulement selon les périodes, mais également selon les pays, les régions, le PIB, mais aussi selon les auteurs des études (pour des problématiques comparables).

En outre, selon le sujet de l'étude, la valeur VSLY peut différer sensiblement. Par exemple, une valeur VSLY pour les maladies respiratoires, qui découlent de la pollution de l'air, peut être très différente de celle associée aux accidents de la circulation. Le territoire d'étude affecte directement la valeur VSLY en raison des disparités de revenus, de services de santé, d'attitudes envers pratiquement chaque aspect de la vie, des perceptions sociales et personnelles. Ainsi, les valeurs VSLY trouvées dans la littérature scientifique varient de 23 706 € à 126 000 €.

Pour cette évaluation, l'OMS a pris en compte la méthodologie et les hypothèses appliquées dans le rapport de la Commission Européenne « *Assessment of the Health and Environmental Benefits of REACH* » (UE politique pour les produits chimiques) préparé pour la DG Environnement en Avril 2012. Ce rapport est lui-même basé sur les directives générales de la Commission Européenne sur l'évaluation des impacts sur la santé, favorisant l'évaluation monétaire lorsque les connaissances scientifiques le permettent. La plage de valeurs pour différentes unités de mesure suggérée dans le rapport de REACH (page 13) est de 50 000 € à 100 000 € pour la valeur statistique économique d'une année de vie (VSLY) en Europe.

7.1.2. Valeur spécifique VSLY pour le bruit dans l'environnement

Lors de la publication des travaux de l'OMS en 2013, aucune autre tentative de recherche d'un chiffre monétaire sur les impacts sanitaires du bruit dans l'environnement n'était répertoriée, les travaux existants étant de portée limitée (spectre d'effets sanitaires limité et uniquement restreint à l'évaluation de l'impact du bruit des transports - par source spécifique de transport [16]).

¹¹ WTP : Willingness To Pay.

¹² VSLY : Value of Statistical Life Year.

¹³ OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques.

Sur la base des valeurs proposées dans la littérature issues d'études européennes évaluant d'autres risques environnementaux, l'OMS a décidé d'appliquer une valeur VSLY générique de **50 000 €** pour le bruit dans l'environnement. Cette valeur est jugée assez faible et conservatrice.

Cette première approche exploratoire n'applique pas de taux d'actualisation qui déprécie la valeur de VSLY en fonction de l'âge, et ne prend pas en compte les autres coûts tels que les pertes de salaire, les frais liés au recours et à la consommation de soins, etc...

7.1.3. Application de la méthode au territoire de l'Union Européenne

Pour les cinq effets sanitaires du bruit dans l'environnement étudiés, l'OMS a appliqué la valeur VSLY générique de 50 000 € proposée pour un DALY. Le tableau 10 synthétise les coûts économiques de la charge de morbidité due au bruit dans l'environnement publiés par l'OMS pour l'Union Européenne [7].

Effet sanitaire	DALY	Coût économique de la charge de morbidité due au bruit dans l'environnement
Cardiopathie ischémique	60 000	3 000 000 €
Troubles de l'apprentissage	45 000	2 250 000 000 €
Troubles du sommeil	903 000	45 150 000 000 €
Acouphènes	21 000	1 050 000 000 €
Gêne	654 000	32 700 000 000 €
Total	1 683 000	84 150 000 000 €

Tableau 10 : Estimation des coûts économiques des DALY attribués au bruit dans l'environnement sur le territoire de l'Union Européenne (source : OMS)

Ce chiffre de plus de 84 milliards d'euros procure des arguments forts aux citoyens pour inciter leurs gouvernements à investir dans des mesures de réduction du bruit.

7.1.4. Limites de la méthode d'estimation pour le bruit dans l'environnement

Les résultats présentés ici doivent être interprétés avec précaution. En effet, l'estimation des coûts économiques de l'impact sanitaire du bruit relève d'un processus complexe. La méthode mise en œuvre dans le cadre de ce travail est exploratoire et repose en particulier sur un choix de la VSLY qui reste discutable. Ainsi, l'OMS appuie les travaux de recherche concernant l'estimation des coûts économiques des effets sur la santé du bruit dans l'environnement afin de permettre une estimation plus fiable.

De plus, par souci de simplification, seuls les coûts liés au consentement à payer ont été pris en compte. A ces coûts s'additionnent notamment ceux liés à l'absentéisme professionnel, au recours et à la consommation de soins, ...

7.2. Application de la méthode au territoire de l'agglomération parisienne

Le tableau 11 synthétise les coûts économiques de la charge de morbidité due au bruit dans l'environnement pour le territoire de l'agglomération parisienne pour les quatre effets sanitaires étudiés, en appliquant la valeur VSLY générique de 50 000 € proposée par l'OMS pour un DALY.

Effet sanitaire	DALY	Coût économique de la charge de morbidité due au bruit dans l'environnement
Troubles du sommeil	44 166	2 208 300 000 €
Gêne	29 999	1 499 950 000 €
Infarctus	755	37 750 000 €
Acouphènes	515	25 750 000 €
Total	75 435	3 771 750 000 €

Tableau 11 : Estimation des coûts économiques des DALY attribués au bruit dans l'environnement sur le territoire l'agglomération parisienne

La première estimation du coût économique de la charge de morbidité due au bruit dans l'environnement s'élève à environ **3,8 milliards d'euros** pour le territoire de l'agglomération parisienne. Ce montant permet de démontrer la nécessité d'investir dans des politiques de réduction du bruit à la source et des mesures de gestion appropriées.

8. Conclusion

La méthode d'estimation des DALY liés au bruit environnemental proposée par l'OMS a permis d'approcher à minima l'impact sanitaire du bruit des transports dans l'agglomération parisienne. En effet, cette évaluation ne porte que sur quelques effets sanitaires, d'autres effets tels que les troubles de l'apprentissage, les pathologies cardio-vasculaires (autres que les infarctus du myocarde), les atteintes auditives... sont susceptibles d'être engendrés par une exposition au bruit environnemental. En outre, la prise en compte exclusive de l'indicateur Lden dans la méthode d'estimation des DALY conduit vraisemblablement à minimiser les nuisances liées notamment au bruit aérien. Par ailleurs, les expositions aux bruits de voisinage, aux bruits industriels de même qu'aux bruits liés aux loisirs n'ont pas été considérées. Outre les aspects épidémiologiques, la validité des résultats présentés dans ce rapport repose en partie sur les estimations statistiques de l'exposition au bruit environnemental de la population de l'agglomération parisienne.

Les résultats d'estimation obtenus montrent l'importance du bruit des transports en tant que problème de santé publique avec de l'ordre de **75 000 années de vie en bonne santé perdues chaque année au sein de l'agglomération parisienne**. Le principal effet sanitaire de l'exposition au bruit environnemental des transports correspond aux troubles du sommeil, qui représente 44 000 années de bonne santé perdues. La gêne est le deuxième effet sanitaire avec 30 000 années de bonne santé perdues. Le bruit routier constitue la principale source de morbidité, en concentrant à lui seul 84 % des estimations de pertes d'année de vie en bonne santé dans l'agglomération parisienne.

Il est possible également d'estimer le désagrément causé à un individu moyen du fait de son niveau d'exposition chronique au bruit des transports au cours de sa vie. Les évaluations réalisées à partir des relations dose-effet et des facteurs d'incapacité de l'OMS donnent ainsi une **valeur statistique de 7,3 mois en moyenne par individu**, cette valeur pouvant atteindre de l'ordre de deux ans pour les personnes les plus fortement exposées au bruit des transports.

L'OMS a proposé en 2013 une première méthode d'estimation des coûts économiques du nombre d'années de vie en bonne santé perdues du fait de l'exposition au bruit dans l'environnement. L'application de la méthode au territoire de l'agglomération parisienne a permis une première tentative d'estimation de l'impact économique, basé sur les notions de « consentement à payer » et de « valeur statistique économique d'une année de vie ». Le calcul a abouti à une estimation d'environ **3,8 milliards d'euros chaque année**. Ces résultats restent préliminaires, la méthode restant discutable. L'OMS est consciente que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour une estimation plus juste.

Toutefois, cette première estimation confirme l'importance du bruit environnemental lié aux transports en termes à la fois d'impact sur la santé et d'enjeu économique.

Références

- [1] « Impact sanitaire du bruit dans l'agglomération parisienne : quantification des années de vie en bonne santé perdues - Note de synthèse sur l'application à l'agglomération parisienne de la méthode de l'OMS pour la détermination de la morbidité liée au bruit », ORS Île-de-France, Bruitparif, avec le concours du Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Novembre 2011.
- [2] F. Mietlicki, S. Host, R. Kim, R. Da Silva, C. Ribeiro, E. Chatignoux, « Health impact of noise in the Paris agglomeration: assessment of healthy life years lost », Internoise 2013, Innsbruck, Austria (2013).
- [3] Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement et décret n°2006-361 du 24 mars 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement.
- [4] Bilan de la consolidation des cartes stratégiques de bruit de première échéance en Île-de-France, Bruitparif, juin 2015.
- [5] Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe, WHO 2011 / Charge de morbidité imputable au bruit environnemental : quantification du nombre d'années de vie en bonne santé perdues en Europe, publié le 30 mars 2011.
- [6] T. Hellmuth, T. Classen, R. Kim, S. Kephelopoulos, « Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise », WHO Regional Office for Europe (2012).
- [7] F. Georges, M-E. Heroux, K. Fong, « Public health and economic burden of environmental noise », Internoise 2013, Innsbruck, Austria (2013).
- [8] Grange D. et al. « Les perceptions du bruit en Île-de-France », Observatoire régional de santé d'Île-de-France, rapport et synthèse, mars 2009.
- [9] Mathers CD et al. Global burden of disease in 2002: data sources, methods and results. Geneva, World Health Organization, 2003 (Global Programme on Evidence for Health Policy Discussion Paper No. 54) <http://www.who.int/healthinfo/paper54.pdf>, accessed 28 August 2006).
- [10] European Commission, Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2002 (http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/noise_expert_network.pdf).
- [11] Miedema HME, Passchier-Vermeer W, Vos H. Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. Delfy, TNO, 2003 (Intro Report 2002-59).
- [12] Étalonnage du PMSI MCO pour la surveillance des infarctus du myocarde, année 2003, rapport technique, Saint- Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, 2010.
- [13] Davis A. Hearing in adults, The prevalence and distribution of hearing impairment and reported hearing disability in the MRC Institute of Hearing Research's National Study of Hearing, Nottingham, MRC Institute of Hearing Research, 1995.
- [14] Hannaford PC et al, The prevalence of ear, nose and throat problems in the community: results from a national cross-sectional survey in Scotland. Family Practice, 2005, 22: 227-233.
- [15] Etude SURVOL (SURveillance sanitaiRe et enVironnementale des plate-formes aéroportuaires de rOissy, orLy, le bourget) - Volet bruit, Rapport d'étape, Bruitparif, janvier 2011.
- [16] The global burden of disease: 2004 update. Geneva, World Health Organization, 2008. (http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/2004_report_update/en/index.html).