

ETUDE

Le Bruit en Ville et à Reims

Par : **Charles BERNARD**, étudiant en Master 2 Urbanisme durable et Aménagement
à l'IATEUR - URCA

Avec la participation de : **Kirwan LELIEVRE**, spécialisé en morpho-acoustique

Sous la direction de : **M. Jean-Michel JACQUET**

Table des matières

I. Du son à l'émergence de nuisances sonores en ville..	3
A. Comprendre le son	3
B. Les sources des nuisances sonores	10
C. Quel lien entre les nuisances sonores et la santé ?.....	19
II. La pollution sonore à Reims.....	26
A. L'état des lieux des nuisances	26
B. Quelles solutions pour limiter le bruit en ville ?.....	36
Table des figures	50

I. Du son à l'émergence de nuisances sonores en ville

En 2021, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) publie un rapport estimant qu'environ 9 millions de Français seraient concernés par une exposition prolongée quotidienne aux nuisances sonores dans les milieux urbains. La France n'est pas un cas isolé, puisqu'en Europe c'est plus de 100 millions de personnes, soit 20% de la population, qui sont exposés à des niveaux sonores excessifs¹. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), « le bruit représente le second facteur environnemental provoquant le plus de dommages sanitaires en Europe »², juste derrière la pollution atmosphérique. Cela fait des nuisances sonores un véritable enjeu majeur pour la santé publique. Quel est ce phénomène ? Quelles sont ses principales sources ? Quels effets sur la santé de la population ? Les réponses à ces questions seront abordées plus en détail dans cette première partie.

A. Comprendre le son

Le bruit fait partie de notre quotidien. Travaux, klaxons dans les embouteillages, musique trop forte du voisin, chacun a déjà expérimenté à un moment donné dans sa vie une gêne importante face à un bruit assourdissant. Pour comprendre ce qu'est un bruit, et comment il peut devenir une nuisance, il faut d'abord se pencher sur ce qu'est le son et savoir comment il fonctionne et se déplace dans l'espace. Selon l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)³, le son est un phénomène de vibration de l'air qui se propage sous la forme d'ondes acoustiques. Lorsque ces vibrations atteignent une certaine puissance et régularité, elles peuvent être finalement perçue sous la forme d'un son. A l'inverse du vent, le son ne déplace pas de matière (comme de l'air), mais interagit avec celle-ci. Les ondes acoustiques se déplacent entre les

¹ Source : https://france.representation.ec.europa.eu/informations/pollution-zero-un-nouveau-rapport-de-lue-reclame-une-action-plus-energique-pour-reduire-les-2023-03-20_fr#:~:text=Le%20bruit%20repr%C3%A9sente%20la%20deuxi%C3%A8me,trafic%20routier%2C%20ferroviaire%20et%20a%C3%A9rien.

² Source : <https://www.radiofrance.fr/franceinter/podcasts/la-terre-au-carre/la-terre-au-carre-du-jeudi-27-janvier-2022-6172666>

³ Source : <https://www.inrs.fr/risques/bruit/definitions.html#:~:text=On%20parle%20de%20bruit%20lorsqu,entend%20e t%20%C3%A0%20quel%20moment.>

molécules, de façon longitudinale. En l'absence de matière, le son ne peut donc pas se propager.

Ces ondes acoustiques sont mesurées en décibel (dB) pour leur amplitude et en Hertz (Hz) pour leur fréquence. C'est généralement le décibel pondéré A, abrégé par dB(A), qui est utilisé pour estimer le niveau réellement perçu par l'oreille humaine. Il existe différents niveaux sonores, les paliers principaux étant les suivants⁴ : 0 dB(A) est le son le plus faible qu'un humain peut percevoir, 50 dB(A) correspond au niveau habituel d'une conversation, 80 dB(A) est considéré comme le seuil de nocivité pour une exposition prolongée, et enfin 120 dB(A) correspond à un son provoquant une sensation de douleur. Le bruit est donc un (ou plusieurs) son perçu comme gênant.

Une des particularité des décibels, c'est qu'ils ne s'additionnent pas de façon arithmétique, mais logarithmique. En effet, lorsque deux sources de bruit d'une intensité similaire s'ajoutent, le niveau ne double pas mais augmente de 3 décibels (voir figure 1). Même constat pour les multiplications : en multipliant la source de bruit par 10, les décibels ne sont pas multipliés par 10 mais ils augmentent le niveau sonore de 10 décibels (voir figure 2). Enfin, lorsqu'il existe plusieurs sources sonores dont une est significativement plus forte que les autres, celle-ci devient la seule source perceptible. Ce phénomène est appelé « l'effet de masque » (voir figure 3).



Figure 1 - Schéma - Addition des décibels - Source : Bruitparif



Figure 2 - Schéma - Multiplication des décibels - Source : Bruitparif

⁴ Source :

<https://www.inrs.fr/risques/bruit/definitions.html#:~:text=On%20parle%20de%20bruit%20lorsqu,entend%20e%20%C3%A0%20quel%20moment.>



Figure 4 - Schéma - Effet de masque - Source : Bruitparif

La vitesse de propagation du son dans la matière dépend du milieu dans lequel l'onde se propage ainsi que la température de la zone. Par exemple, d'après Bruitparif (une association de loi 1910 reconnue comme d'intérêt général et se concentrant sur les nuisances sonores en Île-de-France), avec une température moyenne de 15°C, le son se propage à 340 m/s dans l'air, 1 500 m/s dans l'eau et 5 600 m/s dans l'acier⁵. Avec le contexte mondial actuel de dérèglement climatique, la hausse de la température globale est inévitable et se fait déjà ressentir. Cela aura un effet sur la propagation du son, puisqu'à une température moyenne de 25°C, le son se déplace à 346 m/s, et à 30°C la vitesse du son atteinte les 349 m/s. Un autre phénomène intervient selon les changements de température : lorsque la température est plus basse au sol qu'en altitude, les ondes sonores ont tendance à s'incurver vers le bas, augmentant ainsi le bruit perçu⁶, et inversement.

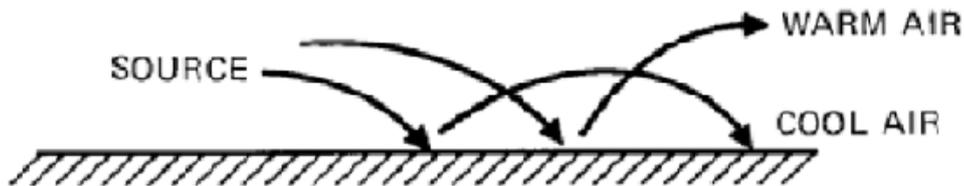


Figure 3 - Schéma - Effet de la température sur les ondes sonores – Warm air : air chaud / Cool air : air frais - Source : Soft dB

D'autres paramètres sont également à prendre en compte lors du déplacement d'une onde acoustique, tels que la topographie de l'espace ou encore les caractéristiques atmosphériques.

⁵ Source :

<https://www.bruitparif.fr/propagation/#:~:text=La%20vitesse%20de%20propagation%20du,environ%205%20400%20km%2Fh.>

⁶ Source : [https://www.bruitparif.fr/pages/En-](https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/300%20Publications/600%20Rapports%20d'%C3%A9tude%20-%20bruit%20routier/2016-10-05%20-%20Note%20synth%C3%A9tique%20sur%20le%20bruit%20routier.pdf)

[tete/300%20Publications/600%20Rapports%20d'%C3%A9tude%20-%20bruit%20routier/2016-10-05%20-%20Note%20synth%C3%A9tique%20sur%20le%20bruit%20routier.pdf](https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/300%20Publications/600%20Rapports%20d'%C3%A9tude%20-%20bruit%20routier/2016-10-05%20-%20Note%20synth%C3%A9tique%20sur%20le%20bruit%20routier.pdf)

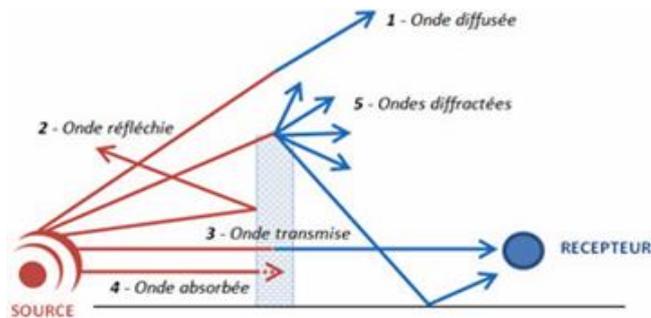


Figure 5 - Schéma - Phénomènes intervenant dans la propagation du son - Source : Bruitparif

A ces variations de vitesse s'ajoutent également différents phénomènes venant altérer la direction de l'onde. Le schéma ci-dessus (figure 5), permet de visualiser les cinq principaux phénomènes physiques : la diffusion, la réflexion, la transmission, l'absorption et la diffraction.

La diffusion est le phénomène classique d'une onde acoustique. Souvent comparée à l'image d'une pierre jetée dans l'eau, la diffusion consiste au déplacement de l'onde, qui se trouve être également sphérique, à travers la matière jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle.

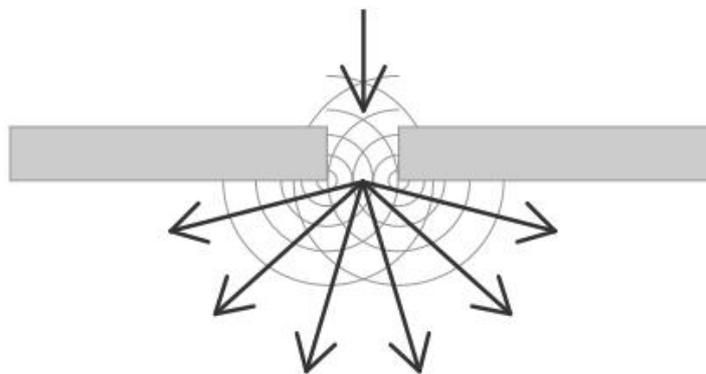


Figure 6 - Schéma - Phénomène de Diffusion - Source : K. Lelièvre

Le phénomène de réflexion intervient quand l'onde sonore rencontre un obstacle peu absorbant, la déviant ainsi de son trajet initial. Une fois renvoyé, et selon la disposition des surfaces proches, le son peut s'entendre de différentes manières. C'est dans ce contexte que les phénomènes acoustiques d'écho ou de réverbération peuvent être observés.

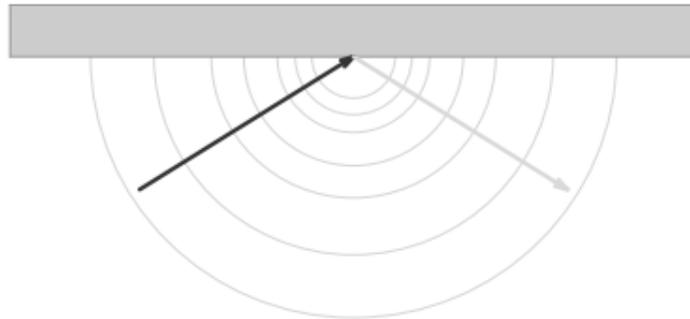


Figure 7 - Schéma - Phénomène de Réflexion - Source : K. Lelièvre

Comme évoqué précédemment, lorsqu'une onde acoustique rencontre un obstacle, une partie plus ou moins importante est renvoyée dans une autre direction (selon le revêtement de l'obstacle rencontré). Cependant, il arrive qu'une partie de cette onde ne soit pas réfléchiée et arrive à traverser l'obstacle. Par exemple, si une personne joue de la musique dans une pièce, le son va certes se réverbérer contre les murs de celle-ci, mais un pourcentage des ondes va réussir à traverser les murs pour atteindre la pièce d'à côté. Ce « résidu » sonore, qui rend la musique perceptible dans les pièces adjacentes, est ce qu'on appelle le phénomène de transmission du son.

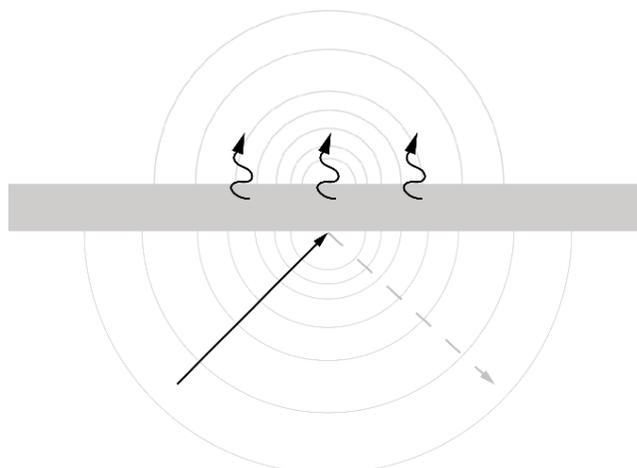


Figure 8 - Schéma - Phénomène de Transmission - Source : C. Bernard

L'effet inverse de la transmission est l'absorption. Lorsqu'une onde sonore rencontre une surface au potentiel d'absorption élevé, la majeure partie des vibrations du son ne traverse pas la surface. En fonction de la matière et de la porosité de cette surface, le ratio entre les ondes réfléchies et absorbées varie. Ce phénomène évite ainsi au maximum toute propagation du son, qu'il soit réfléchi, transmis, diffusé ou diffracté.

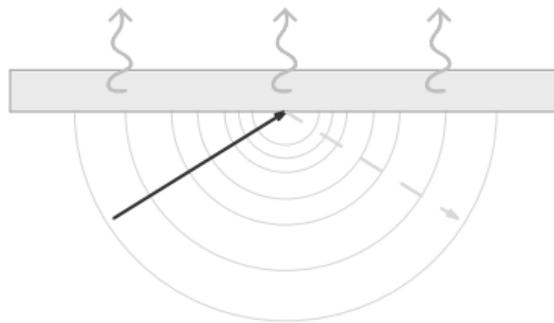


Figure 9 - Schéma - Phénomène d'Absorption - Source : K. Lelièvre

La diffraction est justement le cinquième phénomène principal. En physique, « la diffraction est la capacité d'une onde à contourner un obstacle. C'est notamment grâce à ce phénomène qu'il est possible d'entendre un son émis derrière un obstacle »⁷. Pour rappel, une onde sonore se déplace en ligne droite. De fait, lorsqu'un obstacle est placé sur sa trajectoire initiale, le déplacement de cette onde se retrouve totalement modifié. Selon la matière et la forme de l'obstacle, l'onde acoustique est renvoyée dans différentes directions, suivant les angles de la surface rencontrée.

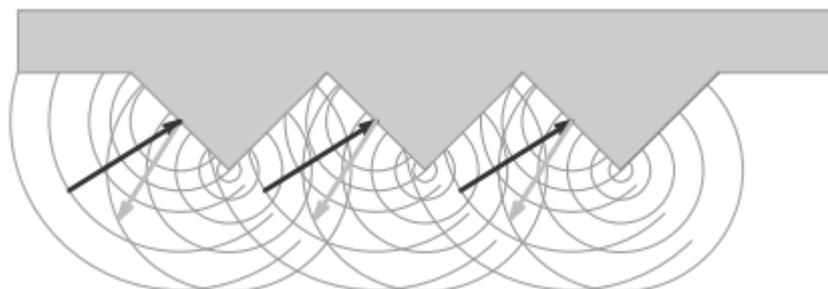


Figure 10 - Schéma - Phénomène de Diffraction - Source : K. Lelièvre

⁷ Source : <https://sites.google.com/site/applicationssonometriques/home/vision-d-un-ecrivaine-la-litterature/propagation-du-son>

Un dernier phénomène vient s'ajouter à ces 5 principaux, celui de la décroissance spatiale. Cela se traduit par la diminution du niveau de bruit d'une source au fur et à mesure que celle-ci s'éloigne. La vitesse de diminution dépend grandement de l'architecture de la pièce ou de l'espace dans lequel l'onde sonore évolue.

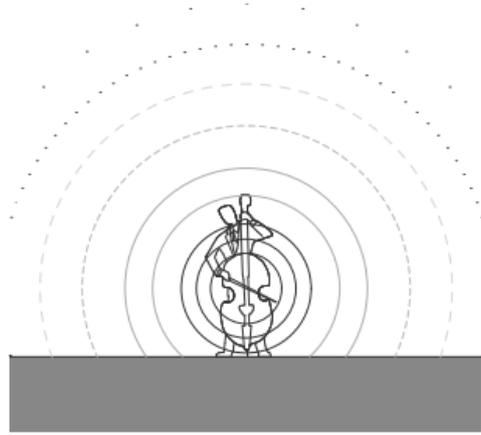


Figure 12 - Schéma - Phénomène de Décroissance spatiale - Source : K. Lelièvre

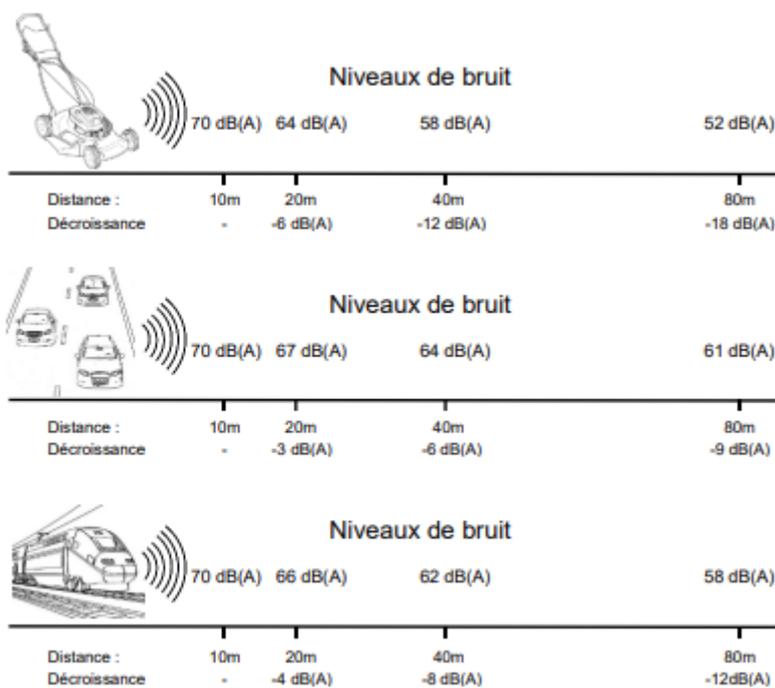


Figure 11 - Schéma - Effet de la décroissance spatiale sur différentes sources de bruits - Source : Bruitparif

Toutes ces caractéristiques et ces phénomènes font du son un élément complexe à prendre en compte et à contrôler dans les espaces urbanisés. Selon la matière et la forme de l'obstacle rencontré par une onde acoustique, le comportement du son varie.

B. Les sources des nuisances sonores

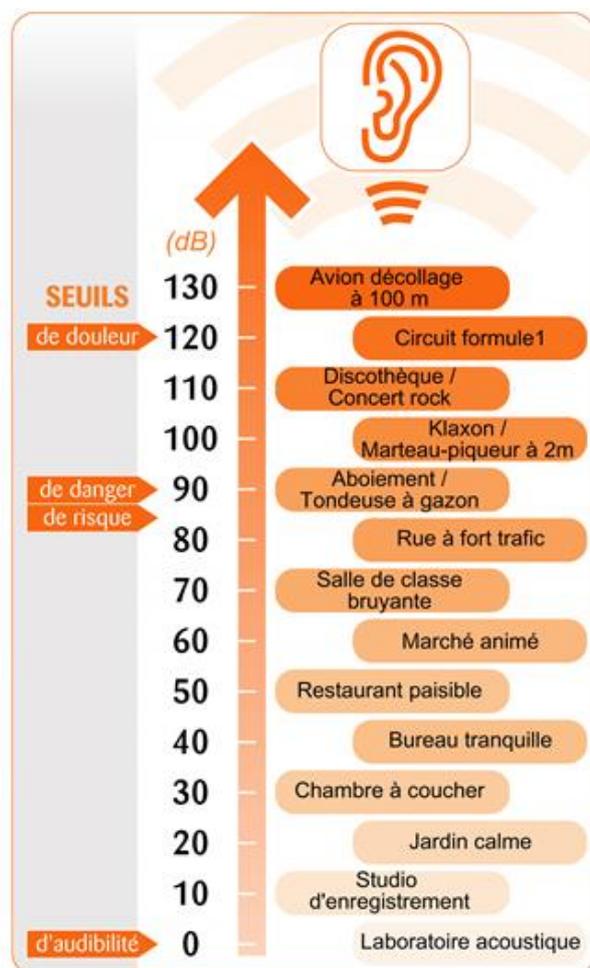


Figure 13 - Schéma - Echelle des décibels - Source : Bruitparif

En 2020, près de 40 % de la population des agglomérations de plus de 250 000 habitants subissent un niveau sonore diurne dépassant les 60 dB(A)⁸. Comme le précise l'INRS, cette notion de bruit est tout à fait subjective, puisqu'un même son peut être considéré comme agréable par une personne et gênant pour une autre. Toutefois, il est important de ne pas confondre le son et le bruit. Un bruit est un son qui vient déranger ceux qui le perçoivent. Un son, en revanche, peut être un bruit mais peut également être harmonieux et plaisant. Le bruit renvoie à une vision très péjorative du son, le terme étant généralement utilisé lorsqu'un son devient désagréable. Une fois passé une certaine limite, tous les bruits deviennent dérangeants, voire parfois dangereux. Le

concept de nuisance sonore se définit donc par un excès de bruit pouvant entraîner des effets non seulement sur les organes auditifs, mais également l'organisme en général et la psychologie des riverains. En effet, l'absence de silence ou l'exposition à des bruits forts, même occasionnellement, peut affecter significativement la santé psychologique de la population. Par exemple, un bruit soudain (comme une moto qui accélère) amène à une réaction de surprise, et donc à un ressenti relativement violent. En revanche, un bruit constant, même avec une faible intensité, amène à une fatigue auditive et psychologique, créant un ressenti d'épuisement. Les conséquences de ces nuisances sur l'organisme feront l'objet d'une synthèse approfondie dans la seconde partie de ce dossier.

⁸ Source : <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/sante/article/les-bruits-et-les-nuisances-sonores>

Pour mieux comprendre comment les populations peuvent être impactées par le son et ses nuisances, il est nécessaire de faire le point sur les principales sources de ces bruits. En France, les deux sources de bruits les plus importantes, pouvant entraîner des nuisances sonores significatives, sont les suivantes : les bruits des transports et les bruits de voisinage.

Pour 54 % des Français⁹, le bruit des transports est la source principale de nuisances sonores. Ce bruit est divisible en plusieurs catégories : le bruit des transports aériens et celui des transports terrestres.

Les aéroports sont une source importante de pollution sonore. A une distance de 100 mètres, le son perçu pour le décollage d'un avion atteint les 130 décibels, soit le seuil auquel le bruit devient destructeur pour l'oreille en général, et principalement le tympan. A cela s'ajoutent d'autres sources de bruit, comme les mouvements d'avions sur les pistes, les nombreuses activités au sol ou encore les différentes procédures de vol aux abords des aéroports (comme la phase d'approche pour les atterrissages). Tous ces paramètres font des activités aériennes une des sources les plus bruyantes dans les milieux urbanisés. En Île-de-France uniquement, c'est déjà plus de 1,9 million de Franciliens qui sont exposés à des nuisances sonores liées au trafic aérien et supérieures à la recommandation de l'OMS (Organisation mondiale de la santé) de 45 dB(A)¹⁰. Pour le Grand Reims, il n'existe pas de données récentes quant aux nuisances aériennes¹¹. Toutefois, depuis la fermeture de la base militaire 112 au Nord de Reims en 2011, et le départ des escadrons de Mirages, les nuisances en lien avec l'activité aérienne ont été considérablement réduites. Auparavant, il n'était pas rare d'entendre le bruit des avions de chasse passant à proximité de la ville, la base aérienne n'étant située qu'à 7 km du centre-ville rémois.

Si le transport aérien est sans doute l'une des principales sources de nuisances sonores extrêmes, avec 130 décibels pour un avion au décollage contre 80 décibels pour une rue avec un trafic important, il reste tout de même très localisé et affecte

⁹ Source : <https://www.ecologie.gouv.fr/bruit-nuisances-sonores-et-pollution-sonore#:~:text=L'%C3%A9mergence%20du%20bruit%20per%C3%A7u,code%20de%20la%20sant%C3%A9%20publique>).

¹⁰ Source : <https://www.bruitparif.fr/les-expositions-au-bruit-du-traffic-aerien/>

¹¹ Source : https://www.grandreims.fr/fileadmin/grandreims/MEDIA/12_cadre_de_vie_environment/cartes_du_bruit/RA-21315-03-E_CUGR_CBS_RNT.pdf

uniquement les populations logées dans un certain périmètre autour des aéroports. En revanche, les nuisances sonores dues au transport terrestre sont bien plus diffusées et opèrent sur tout le territoire, urbain comme rural. Il existe différentes sources pour ces bruits du quotidien.

Source permanente de bruits, la voirie est le facteur de nuisances le plus important en milieu urbain. Si le bruit de la route n'est pas constamment à un niveau de décibels élevé, il reste presque permanent, créant une gêne sur le long terme. Le niveau sonore moyen d'une rue en ville est d'environ 65 décibels. En bordure d'autoroute, ce niveau augmente jusqu'à 80 décibels, voire 90 lors d'un passage de poids lourds¹². Les bruits de la route sont donc principalement dus aux sons issus des véhicules eux-mêmes, mais également au bruit du contact des pneus avec le revêtement de la chaussée. En prenant en compte les sons liés au moteur, système de freinage, ventilation, pot d'échappement (etc.), une voiture émet en moyenne un son compris entre 65 et 75 décibels. Toutefois, ce son varie grandement en fonction de la vitesse du véhicule. Par exemple, le son émis augmente de 2,5 décibels lorsqu'un véhicule passe de 30 à 40 km/h, et de 2 décibels pour un passage de 40 à 50 km/h¹³.

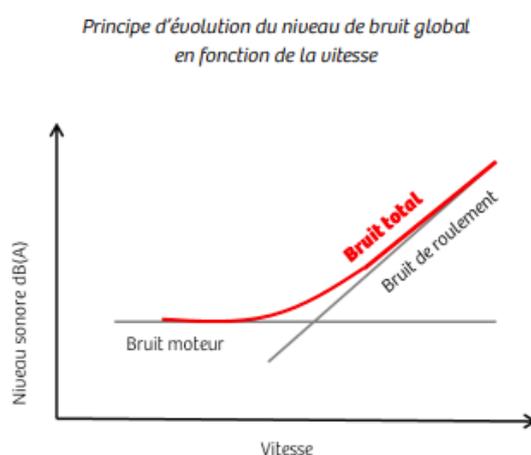


Figure 14 - Schéma - Evolution du niveau de bruit global selon la vitesse - Source : Bruitparif

Le graphique ci-dessus (figure 14) montre bien l'évolution de la relation entre le bruit et la vitesse. Plusieurs courbes sont identifiables : celle du bruit moteur, qui elle ne varie pas ou peu, celle du bruit de roulement ; qui varie selon la vitesse, le

¹² Source : <https://www.isere.gouv.fr/contenu/telechargement/10676/69998/file/Generalites+sur+le+bruit.pdf>

¹³ Source : <https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/300%20Publications/600%20Rapports%20d'%C3%A9tude%20-%20bruit%20routier/2016-10-05%20-%20Note%20synth%C3%A9tique%20sur%20le%20bruit%20routier.pdf>

comportement mécanique de la voiture et le revêtement de la chaussée ; et enfin, la dernière courbe est celle du bruit total, qui augmente selon la vitesse et les bruits des deux autres courbes.

Aux bruits relativement constant des voitures en milieu urbain s'ajoute une nuisance plus sporadique, celle des motos en pleine accélération. Ces bruits ne sont pas à minimiser, car même s'ils ne sont pas réguliers, ils atteignent toutefois des pics de 90 décibels (parfois 100 décibels)¹⁴. D'après l'échelle des décibels (voir figure 13), cela correspond à un bruit équivalent à celui d'une tondeuse à gazon, et atteint le seuil de danger pour l'organisme si l'exposition tend à se prolonger.

Comme évoqué précédemment, le revêtement joue un rôle important dans l'émission de bruits. Différents paramètres sont à prendre en considération, comme le type de revêtement, l'usure de celui-ci, la température ou encore la météo. La surface de la chaussée est principalement constituée d'un enrobé bitumineux, soit un mélange entre différents graviers, granulats et du sable, le tout liés par du bitume. Selon la composition exacte de cet enrobé, et les caractéristiques des matériaux utilisés, le revêtement est plus ou moins rugueux. Ainsi, le son émis par le pneu au contact des graviers ou granulats en surface varie et peut entraîner des bruits supplémentaires importants¹⁵.

L'usure de l'enrobé peut aussi influencer sur le bruit émis. Deux cas de figures existent. Dans un premier temps, un revêtement abîmé devient plus poreux. Comme abordé précédemment, un obstacle poreux tend à absorber davantage les sons. Toutefois, une chaussée détériorée (fissures, trous, etc.) tend à favoriser l'augmentation du bruit émis par le contact des pneus avec l'enrobé. Dans un second temps, un enrobé neuf va avoir sensiblement les effets inverses. La porosité étant réduite, les sons vont avoir plutôt tendance à se réfléchir. En revanche, un enrobé plus lisse va avoir comme effet de réduire les sons de contact avec les pneus. Selon la situation, un revêtement abîmé fera donc plus ou moins de bruit qu'un revêtement neuf. Aujourd'hui, de plus en plus

¹⁴ Source : <https://www.leparisien.fr/societe/quand-les-deux-roues-font-trop-de-bruit-c-est-legal-15-11-2019-8194404.php>

¹⁵ Source : <https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/300%20Publications/600%20Rapports%20d'%C3%A9tude%20-%20bruit%20routier/2011-12-01%20-%20Dossier%20technique%20-%20Etat%20des%20lieux%20des%20performances%20acoustiques%20des%20rev%C3%AAtements%20de%20chauss%C3%A9e.pdf>

de nouveaux matériaux sont développés pour permettre d'insonoriser au maximum les voies de circulation. Cela sera abordé plus en détails dans la suite de ce dossier.

Enfin, la météo est également un facteur important, influant sur la façon dont le son émis par le contact entre le pneu et le revêtement se propage dans l'espace. Lorsqu'il pleut, l'eau recouvre les porosités de la route, favorisant ainsi la réflexion du son. La pellicule d'eau présente sur la chaussée est également projetée par les rainures des pneus, créant une source supplémentaire de bruit. Les ondes sonores sont aussi dépendantes de la direction du vent. Ainsi, il est tout à fait possible d'entendre clairement le son du trafic d'une autoroute située à plusieurs centaines de mètres, et de l'entendre nettement moins par vent contraire.

Le transport ferroviaire est la dernière source principale de nuisances sonores en lien avec les transports terrestres. Les spécificités de ces bruits sont bien différentes de celles des bruits issus des transports routiers. Premièrement, le bruit ferroviaire est intermittent. Contrairement aux bruits liés à la voirie, qui sont plus ou moins toujours en fond sonore dans les espaces urbains, les sons ferroviaires ne sont pas continus. La « signature temporelle »¹⁶ est toujours la même : le bruit du train croît doucement, atteint son maximum lors du passage au point d'observation, puis décroît alors qu'il s'éloigne. Bien sûr cette « signature » change selon les types de train et leur vitesse, mais le concept reste similaire. Enfin, il apparaît que la tonalité des bruits ferroviaires comporte plus de fréquences aiguës que celle des bruits routiers. Ce qui fait de ces sons une nuisance, c'est principalement sa soudaineté. A chaque passage de train, les personnes à proximité subissent une exposition à des bruits intenses, mais relativement courts. Cependant, pour certains, cette particularité fait du bruit ferroviaire un bruit moins gênant que ceux issus des transports routiers, puisque moins régulier.

Pour aider au développement des communes et permettre une meilleure lutte contre les nuisances sonores dues aux transports, trois documents d'urbanisme importants ont été mis en place depuis une quinzaine d'année : la CSB, le PPBE et le PEB.

¹⁶ Source : <https://www.isere.gouv.fr/contenu/telechargement/10676/69998/file/Generalites+sur+le+bruit.pdf>

La CSB, ou Carte Stratégique du Bruit, est « Une carte de bruit est constituée de courbes de niveaux sonores qui permettent d'évaluer l'exposition des populations au bruit généré par les transports et les industries les plus importantes. »¹⁷. Elle est rendue obligatoire pour les communes de plus de 100 000 habitants par la directive européenne 2002/49/CE, portant sur la gestion du bruit dans l'environnement. Cette carte est réalisée à partir d'une base de données regroupant les sources de bruit et la topographie du terrain. Ensuite, un algorithme estime les émissions sonores des différentes sources de bruits et évalue les niveaux sonores présents sur le territoire. La CSB ne permet donc pas d'avoir une idée précise des nuisances sonores sur place, mais permet d'avoir un modèle applicable à tout le territoire européen, facilitant ainsi l'homogénéisation des données. Son but est également de sensibiliser le grand public à la question du bruit, via des représentations cartographiques simples. Cette CSB sert de base de données de départ pour le second document d'urbanisme, le PPBE.

Le PPBE, ou Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement, « [...] définit les actions locales à mettre en œuvre afin de prévenir et réduire, si nécessaire, le bruit dans l'environnement [...] »¹⁸. Également issu de la directive européenne 2002/49/CE, ce plan de prévention vise à assurer une cohérence entre les différentes politiques de la ville (comme l'urbanisme, les transports et déplacements, la prévention des nuisances, etc.) pour la lutte contre le bruit. Pour sa réalisation, toutes les sources de bruit doivent être prises en compte : les routes, voies ferrées, aéroports et aéronefs, activités bruyantes, mais également les bruits de voisinages. Ce document est plus complet et complexe à réaliser que la CSB, car il nécessite un long diagnostic initial, complété par des recensements, une analyse du territoire et l'élaboration d'un plan d'actions visant à réduire les effets des nuisances sonores.

Enfin, le PEB, ou Plan d'Exposition au Bruit, vient compléter les deux documents précédents en se concentrant cette fois-ci uniquement sur les nuisances dues au transport aérien. Il fixe les conditions de l'utilisation des sols dans un périmètre défini autour des plus grands aéroports de France, permettant ainsi de mettre en place un développement maîtrisé des communes aux alentours afin d'exposer le moins possible la population aux bruits des avions.

¹⁷ Source : <https://www.bruitparif.fr/les-cartes-strategiques-de-bruit-csb/>

¹⁸ Source : <https://www.bruitparif.fr/les-plans-de-prevention-du-bruit-dans-l-environnement-ppbe/>

Les infrastructures de transport ne sont pas les seules sources de nuisances sonores dans les espaces urbanisés. Pour 21 % de la population¹⁹, les bruits de voisinages, ou bruits de comportements, sont la seconde source principale de nuisance auditive en ville. Ces bruits peuvent regrouper une multitude de sources. Selon une étude réalisée en 2010²⁰, les principales causes de ces nuisances en France seraient en premier les bruits de conversation des individus dans le voisinage, qui prend en compte les discussions, les cris ou encore les chants. Vient ensuite les bruits des animaux domestiques, comme les aboiements, voire les chants de coq ou braiements d'âne dans les espaces ruraux. Sont également pris en considération les bruits « d'objets », qui regroupent l'utilisation d'outils de bricolage, de jardinage, d'instrument de musique ou le moteur d'une machine à laver. Depuis quelques décennies, les appareils multimédias jouent aussi un rôle important dans ces nuisances « d'objets », le son d'une télévision pouvant largement atteindre les 80 décibels (seuil de risque, voir figure 13). Enfin, les divers déplacements des individus dans les immeubles fait partie des dernières sources de bruits domestiques²¹. A la grandes différences des nuisances issues du transport terrestre, ces bruits n'ont pas réellement de structures répétitives classiques. Chaque personne sujette à ces nuisances va avoir une expérience différente, là où pour le trafic routier les différents modèles de nuisances sont sensiblement similaires peu importe l'espace urbain fréquenté.

A ces bruits de comportements viennent s'ajouter les bruits dits d'activité. Toujours selon la même étude évoquée précédemment, 9 % des Français considèrent ces bruits d'activités comme une source importante de nuisances sonores, la troisième derrière les bruits de transports et les bruits de comportements. Quatre grands facteurs de nuisances peuvent se distinguer.

Pour 31 % de la population gênée par les bruits d'activités, les sons émis par les chantiers et les travaux sont les plus dérangeants. Les engins et machines bruyantes utilisées sur les chantiers en pleine zone urbaine sont des sources importantes de nuisances sonores (environ 120 décibels pour un marteau-piqueur). Même si les

¹⁹ Source : <https://www.ecologie.gouv.fr/bruit-nuisances-sonores-et-pollution-sonore>

²⁰ Source : <https://www.bruit.fr/les-chiffres-du-bruit/les-francais-et-les-nuisances-sonores>

²¹ Source : <https://www.bruit.fr/les-chiffres-du-bruit/les-francais-et-les-nuisances-sonores>

travaux ne sont généralement que temporaires, les troubles engendrés peuvent entraîner des conséquences importantes sur la vie des riverains.

En seconde place arrive le bruit généré par les services de ramassage des ordures, avec 9 % des Français sensibles à ces nuisances. Deux paramètres interviennent dans cette catégorie : le bruit généré par les véhicules et l'horaire de passage. Le bruit des camions-poubelle et de nettoyage peut parfois dépasser les 90 décibels en extérieur, et atteindre les 70 décibels en intérieur, même avec des fenêtres en double-vitrage. Ces relevés sont ceux d'un habitant de Rouen qui, excédé par ces nuisances, a décidé d'interpeller la commune en 2021 afin de trouver une solution²². L'horaire à laquelle ces camions interviennent participe également au renforcement du caractère désagréable et dérangent de ces bruits. Les ramassages dans certaines zones se font entre 5h30 et 6h30 du matin, avec parfois plusieurs passages dans une même rue. Associées aux décibels élevés, ces horaires de passages font que certains riverains subissent ce service, alors qu'il est initialement présent pour améliorer les conditions de vie en milieu urbain en gardant les espaces publics le plus propre possible.

Pour 5 % de la population concernées par les nuisances d'activités, les bruits liés à l'industrie en sont la troisième source principale. Cette nuisance concerne principalement les employés du milieu industriel et non les riverains comme les sources précédentes. Différents bruits peuvent être perceptibles par les travailleurs. Les bruits continus, par exemple, qui sont généralement dus au fonctionnement constant des machines sur un même mode, comme des ventilateurs, des pompes, etc. Il existe également les bruits intermittents, générés par le cycle de certaines machines qui entraînent une variation de l'intensité du bruit émis. A cela s'ajoutent les bruits d'impacts répétitifs, comme l'estampage ou le pilonnage dans l'industrie métallurgique.

Enfin, pour environ 4 % des personnes interrogées concernant les nuisances d'activités, les bruits dus aux activités commerciales et de loisir sont une source importante de nuisance. Les bars, restaurants ou discothèques sont souvent pointés du doigt par les riverains pour leur tendance à dépasser le seuil légal de décibels,

²² Source : https://actu.fr/normandie/rouen_76540/excede-cet-habitant-de-rouen-est-reveille-chaque-matin-a-six-heures-par-les-camions-de-nettoyage_45668852.html

fixé à 105 décibels en intérieur. Si l'isolation phonique des locaux n'est pas aux normes, les ondes acoustiques parviennent à traverser les parois (phénomène de transmission, voir figure 8) et entraînent des nuisances sonores importantes pour les voisins. Il arrive parfois que certaines structures aient des terrasses, ce qui vient ajouter une nuisance supplémentaire, cette fois-ci extérieure, qui peut toucher plus de riverains car les ondes sonores se propagent dans l'espace au lieu d'être contenues entre les murs.

Après avoir vu ces différentes sources de nuisances sonores, il est important de préciser que chacun peut être exposé à plusieurs sources au cours de la journée, parfois même en simultané. L'illustration ci-dessous, issue d'un dossier sur la « perception et propagation du bruit dans les logements en Région de Bruxelles-Capitale »²³, met en avant les différentes nuisances possibles qu'un riverain peut expérimenter dans son logement en milieu urbain.

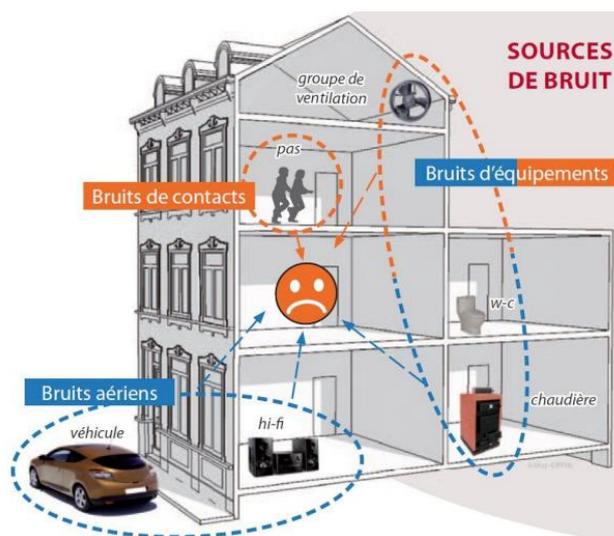


Figure 15 - Schéma - Les différentes sources de bruit dans un logement urbain - Source : Bruxelles Environnement

Dans cet exemple spécifique, la classification des nuisances sonores est différente de celle évoquée précédemment. Ici les bruits de transports et bruits de voisinages ont laissés place aux bruits aériens, bruits de contacts et bruits d'équipements.

²³ Source : https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Bru_52

C. Quel lien entre les nuisances sonores et la santé ?

Pour mieux comprendre pourquoi une exposition prolongée à un bruit, même de faible intensité, peut être dangereuse, il faut se pencher sur les effets des nuisances sonores sur l'organisme et la psychologie des individus.

Dans un premier temps, il convient de faire un point sur le fonctionnement de l'oreille. Elle est composée de trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne.

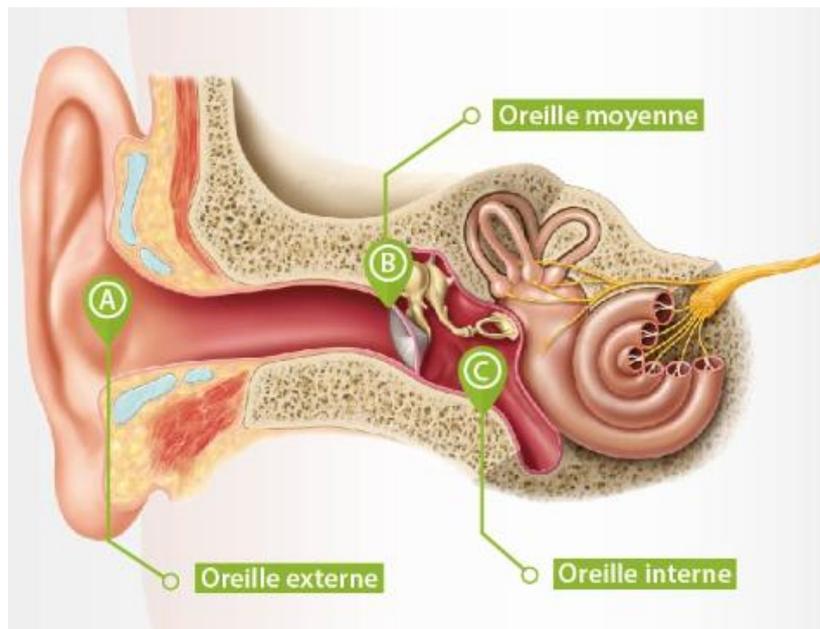


Figure 16 - Schéma - Anatomie de l'oreille humaine - Source : AuditionSanté

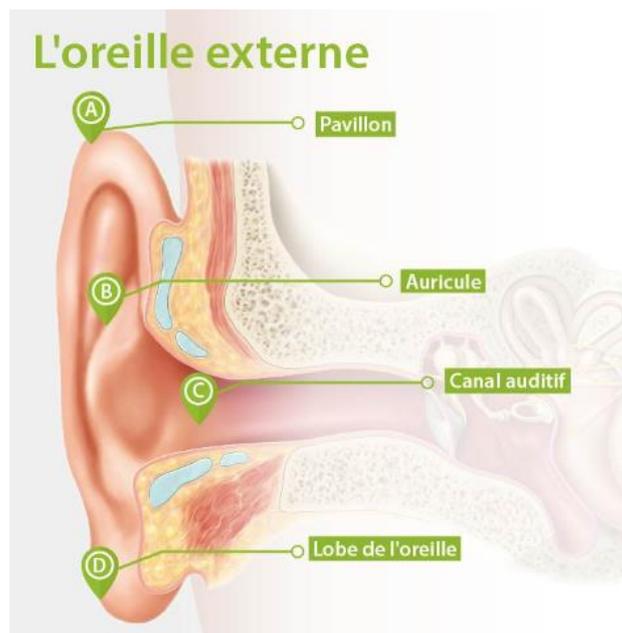


Figure 17 - Schéma - Oreille externe - Source : AuditionSanté

L'oreille externe regroupe le pavillon, l'auricule, le canal auditif et le lobe d'oreille (voir figure 17). Ces quatre parties ont pour objectif de concentrer et diriger les ondes acoustiques extérieures vers l'intérieur de l'organe auditif, à l'image d'un entonnoir. L'oreille externe sert également de caisse de résonance, en amplifiant l'air en vibration reçu dans le conduit auditif, permettant une meilleure perception du son.

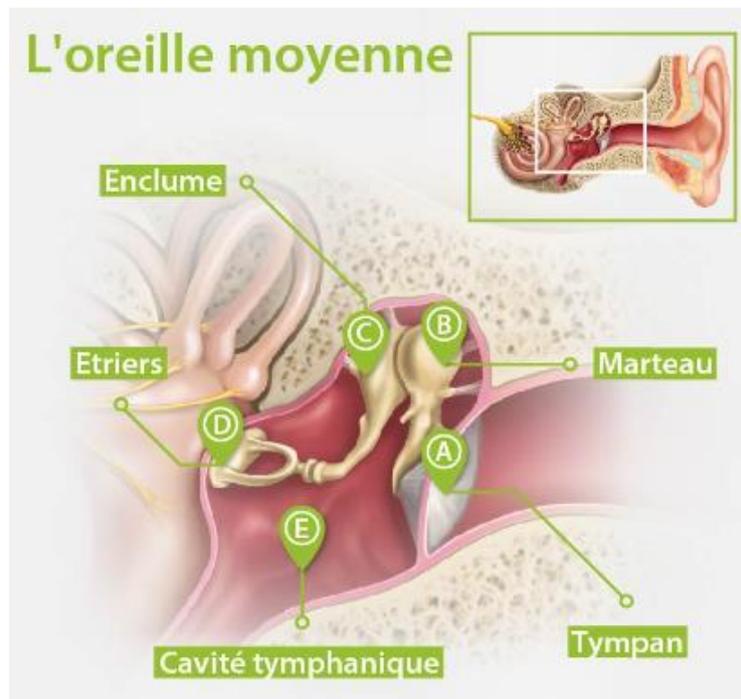


Figure 18 - Schéma - Oreille moyenne - Source : AuditionSanté

L'oreille moyenne, située derrière le tympan, est responsable de la transformation des vibrations. Le tympan est une membrane hermétique qui se calque sur les ondes acoustiques, suivant ainsi les vibrations de l'air. Lorsque cette membrane vibre, les trois osselets les plus petits du corps humain, à savoir le marteau, l'enclume et l'étrier, reprennent cette vibration et la transmettent à la fenêtre ovale. Cette fenêtre ovale, qui n'apparaît pas sur le schéma ci-dessus (figure 18), est une membrane collée à l'étrier ayant pour objectif l'amplification des ondes acoustiques. L'agencement spécifique dans l'oreille moyenne permet aux vibrations sonores d'être amplifiées 20 fois, ce qui assure une transmission efficace vers l'oreille interne. A cette mécanique d'amplification s'ajoute la cavité tympanique, point de départ des trompes d'Eustache qui mènent directement au naso-pharynx, permettant ainsi la ventilation de l'oreille moyenne et l'équilibrage de la pression.

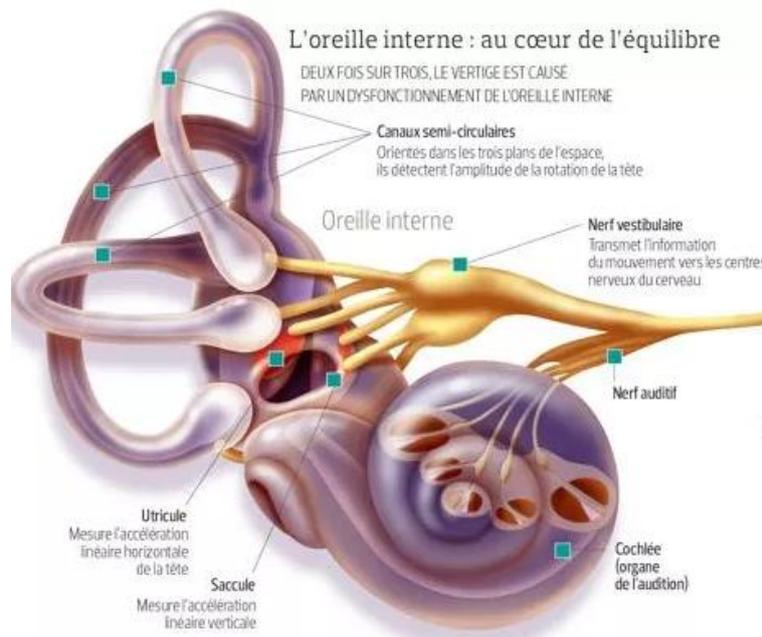


Figure 19 - Schéma - Oreille interne - Source : LeFigaro

L'oreille interne est le dernier élément composant l'appareil auditif. Elle se compose des canaux semi-circulaires, du nerf vestibulaire, du nerf auditif, de l'utricule, du saccule et de la cochlée. La cochlée est l'organe clé qui va venir convertir le signal mécanique (perçu par le tympan et transmis via les osselets à la fenêtre ovale) en signal électrique (réceptionné par le système nerveux). De forme circulaire, la cochlée est composée de trois tubes enroulés en spirales renfermant les membranes basilaires, elles-mêmes tapissées de cellules sensorielles ciliées. Au nombre de 24 000 par oreilles, ces cellules font office d'émetteur-récepteur. Chacune correspond à une fréquence perceptible et est directement connectée au système nerveux. L'oreille humaine possède alors un spectre audible compris entre 20 et 20 000 hertz²⁴ (Hz).

Précision importante, les cils présents sur ces cellules ne sont pas renouvelables. Effectivement, lorsqu'un cil est endommagé, il ne peut plus se reconstituer (mais peut parfois cicatriser). De fait, lorsqu'un individu est exposé à des bruits trop importants et / ou de manière prolongée, l'état des cils s'en trouve altéré. Cela peut mener à l'apparition fréquente d'acouphènes, à l'hyperacousie (« [...] sensation d'intolérance aux sons ou à des bruits présentés à un volume jugé tolérable par

²⁴ Source : <https://www.auditionsante.fr/blog/audition-et-perte-auditive/la-capacite-auditive-humaine-etude-comparative/>

l'entourage. »²⁵), voire à la surdité partielle ou totale. A cela s'ajoute la dégradation naturelle de ces capteurs qui s'accroît avec l'âge.

Le bruit influe donc significativement sur l'appareil auditif, mais pas seulement. En effet, s'ajoutent à l'altération de l'audition des effets dits « extra-auditifs »²⁶. Dus également à une exposition à des bruits trop importants et / ou de manière prolongée, ces effets sont compliqués à démontrer précisément, car la réaction d'un individu au bruit lui est propre, et varie d'une personne à l'autre. Selon la source de bruit, le contrôle que l'individu a sur celle-ci, ou encore si l'exposition aux nuisances est voulue ou non, tous ces paramètres peuvent faire varier les conséquences du bruit sur l'organisme et la psychologie de chacun. Les effets extra-auditifs peuvent être classés en deux grandes catégories. En premier il y a les effets physiopathologiques, qui regroupent la perturbation du sommeil, les impacts sur les systèmes cardiovasculaire et endocrinien, ainsi que les effets psychologiques.

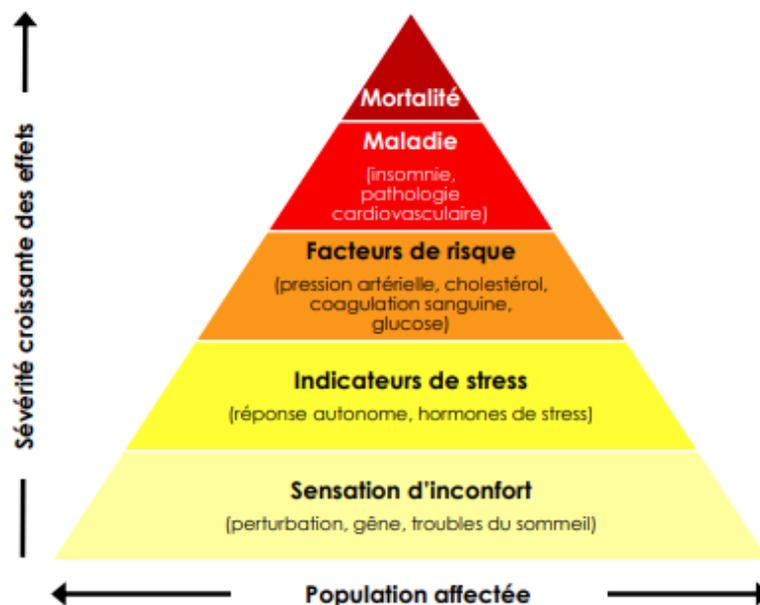


Figure 20 - Schéma – Impact des effets extra-auditifs du bruit sur la population selon Wolfgang Babisch, chercheur dans le domaine du bruit environnemental – Les facteurs de risque s'accroissent à partir d'une exposition répétée à un bruit de 65 dB(A).

²⁵ Source : <https://www.polycliniquedeloreille.com/nos-services-en-sante-auditive/audiologie-generale/evaluation-hyperacousie#:~:text=Qu'est%2Dce%20que%20,entend%20trop%20%C2%BB%20les%20sons%20quotidiens.>

²⁶ Source : Blond O., Mietlicki F., Evrard A.-S., « Les effets du bruit sur la santé ». ADSP, n°121, mars 2023.

Viennent ensuite les effets psychosociaux, à savoir la création d'une sensation de gêne, la dégradation des performances cognitives, de la qualité de vie ou encore de l'état de santé perçue par l'individu exposé à des bruits importants.

D'après une étude de l'Organisation mondiale de la santé réalisée en 2011²⁷, la perturbation du sommeil un des effets les plus néfastes des nuisances sonores. La qualité et la durée du sommeil peuvent être fortement influencées par le bruit, altérant ainsi les fonctions réparatrices du sommeil. Par exemple, un bruit d'une intensité de 45 décibels, équivalent à une circulation faible entendue derrière une fenêtre à double vitrage, peut augmenter la séquence d'endormissement de plusieurs minutes²⁸. Les éveils nocturnes conscients ou non peuvent également s'accroître selon l'intensité du bruit. Cela influe sur la durée du sommeil lent profond et du sommeil paradoxal, les deux phases les plus réparatrices, et donc sur la qualité et le temps de sommeil. Ainsi, un sommeil de mauvaise qualité peut avoir d'importantes conséquences sur la vie quotidienne : l'augmentation des somnolences, la baisse de l'attention et donc l'augmentation des risques d'accidents de circulation ou du travail sont les exemples les plus fréquents. A long terme, l'exposition au bruit la nuit peut entraîner des conséquences néfastes sur l'organisme. Le système nerveux autonome, qui régule entre autres le rythme de la respiration ou encore la tension artérielle, peut se retrouver stimulé plus que nécessaire, pouvant entraîner des pathologies métaboliques et cardiaques²⁹.

Ces risques cardiovasculaires et endocriniens en lien avec les nuisances sonores sont également un sujet important à prendre en considération. Une exposition à des bruits trop élevés peut entraîner un stress physiologique. D'après l'INRS, « le stress est une réponse physiologique d'adaptation de l'organisme qui nous permet de réagir à notre environnement changeant. »³⁰. Ce stress entraîne une libération importante d'hormones comme le cortisol, les catécholamines (adrénaline et dopamine) ainsi que

²⁷ Source : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326424>

²⁸ Source :

<https://www.isere.gouv.fr/contenu/telechargement/10678/70006/file/les#:~:text=Modification%20des%20sta des%20du%20sommeil,per%C3%A7u%20consciemment%20par%20le%20dormeur.>

²⁹ Source : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB_Effets%20du%20bruit_vf.pdf

³⁰ Source : [https://www.inrs.fr/risques/stress/effets-sante.html#:~:text=Le%20stress%20est%20une%20r%C3%A9ponse,%2C%20r%C3%A9sistance%20et%20C% A9ventuellement%20C% A9puisement\).](https://www.inrs.fr/risques/stress/effets-sante.html#:~:text=Le%20stress%20est%20une%20r%C3%A9ponse,%2C%20r%C3%A9sistance%20et%20C% A9ventuellement%20C% A9puisement).)

des acides gras libres³¹. L'augmentation excessive de ces hormones entraîne par la suite des effets cardiovasculaires indésirables, comme de l'hypertension artérielle, l'augmentation du risque d'infarctus ou des modifications profondes du métabolisme pouvant amener à de l'obésité ou du diabète de type 2. Le tableau ci-dessous met en avant la corrélation entre l'exposition aux bruits de transports (axe des abscisses) et l'augmentation des risques de maladies cardiovasculaires (axe des ordonnées). L'intensité du bruit est exprimée en Lden (Level day, evening and night ou Niveau jour, soirée et nuit), qui correspond à une moyenne des niveaux sonores sur 24 heures.

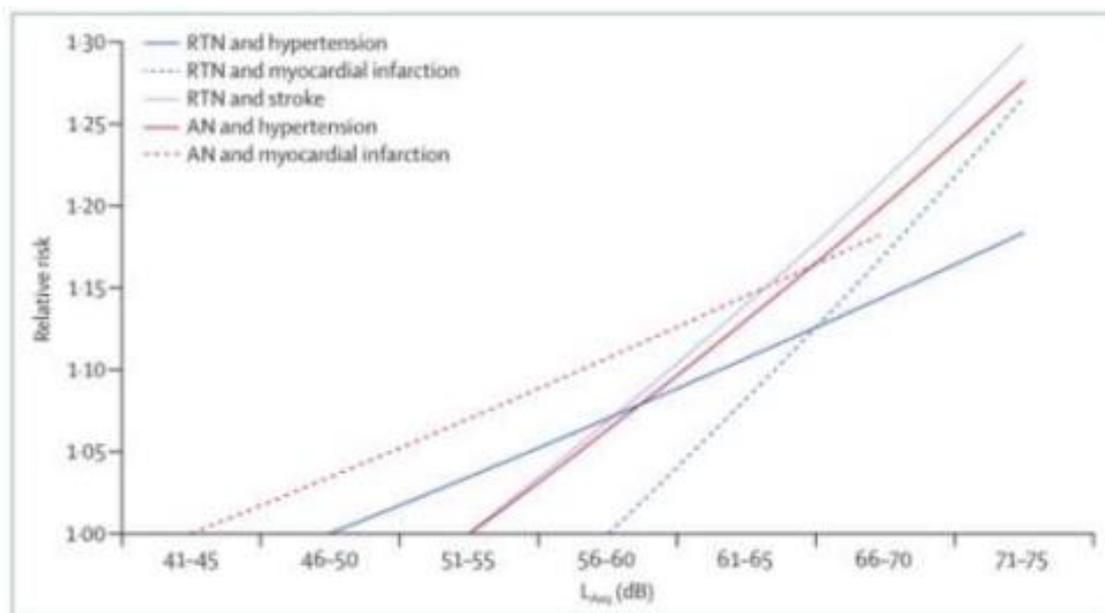


Figure 21 - Tableau - Relation entre l'exposition au bruit de transports et le risque de contracter une maladie cardiovasculaire - Source : Conseil National du Bruit

D'après ce tableau, une exposition importante aux bruits du trafic terrestre ou aérien augmente le risque de développer une hypertension artérielle ou d'être victime d'un infarctus.

Enfin, une exposition accrue aux bruits peut engendrer un certain nombre d'impacts négatifs sur la santé mentale et la cognition des individus. Une personne subissant à long terme des nuisances sonores peut développer un stress important, se traduisant par un état de fatigue constant, et provoquant parfois une baisse de l'efficacité du système de défenses de l'organisme. Un stress présent quotidiennement peut donc rendre un individu plus fragile face aux maladies³². Le bruit

³¹ Source : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB_Effets%20du%20bruit_vf.pdf

³² Source : DRASS Rhône Alpes – Groupe Régional Bruit – 2009 – URL : <https://www.isere.gouv.fr/content/download/10676/69998/file/Generalites%20sur%20le%20bruit.pdf>

peut également être la source d'anxiété et de dépression, qui sont renforcées par cette sensation de stress. Plusieurs études montrent que les nuisances dues aux bruits de transports accentuent la consommation d'anxiolytique et d'antidépresseurs³³.

Outre le stress et le mal-être psychologique, le bruit influe également sur les capacités cognitives des personnes. En 2017, le Conseil National du Bruit, une instance relevant du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, réalise un dossier sur les effets du bruit et met en avant des travaux de recherches américains portant sur les effets des nuisances sonores sur la cognition. Cette étude américaine, publiée en 2005, confirme la corrélation entre des enfants riverains d'un aéroport, subissant ainsi les nuisances du trafic aérien, et l'apparition de troubles cognitifs touchant la mémoire et la compréhension de la lecture³⁴. Le bruit du trafic aérien s'invite dans les salles de classe, rendant la compréhension pour les élèves plus difficile. Il est précisé que le bruit de fond d'une salle de classe doit idéalement être inférieur à 35 décibels, afin que les propos des professeurs soient intelligibles pour tous. Or, selon la qualité de l'isolation phonique des bâtiments, il est tout à fait possible que ces 35 décibels soient dépassés, surtout à proximité d'un aéroport. Ainsi, ce dépassement de seuil altère grandement le fonctionnement des capacités cognitives des enfants qui, entre 3 et 7 ans, sont en plein développement phonologique (période d'acquisition des subtilités du langage, qui permet par la suite de former et prononcer les mots correctement).

³³ Source : Blond O., Mietlicki F., Evrard A.-S., « Les effets du bruit sur la santé ». ADSP, n°121, mars 2023.

³⁴ Source : Conseil National du Bruit – URL :

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB_Effets%20du%20bruit_vf.pdf

II. La pollution sonore à Reims

Cette seconde partie abordera la question des effets des nuisances sonores sur le territoire rémois. Des relevés d'intensité sonore seront effectués à travers la ville, puis analysés et comparés aux données existantes. Cette étude a pour objectif de mettre en avant les impacts du bruit sur la population locale. Dans l'optique d'établir un constant le plus précis possible, les points de relevés seront limités et définis précisément. À la suite de cela, un point sera effectué sur les solutions existantes et futures pour réduire les sources et les effets du bruit en milieu urbain.

A. L'état des lieux des nuisances

D'après la Carte Stratégique du Bruit (CSB) du Grand Reims, publiée en mars 2023, seulement 3 % de la population serait exposée à des nuisances sonores, dues aux transports, dépassant un certain seuil. Les données sont ici évoquées en Lden (Level day, evening and night ou Niveau jour, soirée et nuit). Cet indicateur prend en compte le niveau sonore d'un point fixe à différentes périodes de la journée, dont la moyenne est ensuite calculée, exprimant ainsi le niveau sonore moyen sur 24 heures.

« En croisant les niveaux sonores ainsi calculés avec les estimations des populations et des établissements sensibles exposés, ces cartes traduisent globalement un environnement marqué par un bruit routier rarement en situation de dépassement de seuil, pour 3% de la population, mais qui impacte le territoire de manière diffuse, de sorte que 22% de la population uniquement puisse bénéficier d'un niveau sonore cumulé (routier, fer, industrie) inférieur à 55 dB(A). »³⁵.

Il est important de préciser que le seuil est ici fixé à 68 décibels, un bruit équivalent à un aspirateur en marche. Cette valeur est définie par l'arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement³⁶.

³⁵ Source :

https://www.grandreims.fr/fileadmin/grandreims/MEDIA/12_cadre_de_vie_environnement/cartes_du_bruit/R-A-21315-03-E_CUGR_CBS_RNT.pdf

³⁶ Source : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006053526/>

« De l'ordre de 8 400 personnes sont potentiellement exposées à des niveaux de bruit supérieurs à 68 dB(A) vis-à-vis du bruit routier selon l'indicateur LDEN, soit environ 3% de la population du territoire. »³⁷.

Cette étude (ainsi que toutes les autres CSB réalisées en France) considère alors que seule une exposition sur 24 heures à un bruit dépassant les 68 décibels peut être considéré comme une nuisance sonore importante. Or, comme cela a été évoqué précédemment, une exposition à un bruit, même réduit, sur une longue durée, peut affecter significativement la santé physique et mentale d'une personne.

Ces chiffres avancés par le Grand Reims sont donc à considérer avec précaution. Par exemple, c'est plus de 98 500 personnes, soit près de 33 %, qui sont exposés à des bruits d'un niveau supérieur ou égal à 60 décibels, ce qui équivaut au bruit d'une fenêtre ouverte sur une rue passante présent constamment en fond sonore dans la journée.

Classes d'exposition - Lden

Période 24h	Bruit routier		Bruit ferroviaire		Bruit industriel		Bruit cumulé (routier, ferroviaire, industriel)	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%
Population exposée								
A moins de 55 dB(A)	72 600	24%	280 300	93%	293 600	98%	67 300	22%
Entre 55 dB(A) et 60 dB(A)	124 000	41%	6 600	2%	800	0%	122 200	41%
Entre 60 dB(A) et 65 dB(A)	68 000	23%	6 900	2%	500	0%	71 400	24%
Entre 65 dB(A) et 70 dB(A)	28 300	9%	1 000	0%	100	0%	30 700	10%
Entre 70 dB(A) et 75 dB(A)	2 100	1%	200	0%	0	0%	3 200	1%
A plus de 75 dB(A)	100	0%	100	0%	0	0%	200	0%
Dépassement de seuil	8 400	3%	100	0%	0	0%	/	/

Figure 22 – Tableau – Exposition au bruits des populations du Grand Reims - Source : CSB Grand Reims, 2023

Afin d'apporter plus de précisions à ces données publiées par le Grand Reims, une dizaine de relevés d'intensité sonore ont été effectués à différents emplacements dans le centre-ville rémois. La méthodologie utilisée pour ces relevés est la suivante. A l'aide d'un sonomètre, l'intensité du bruit en lien avec le trafic routier a été mesurée à plusieurs reprises. Les plages horaires choisies pour ces mesures sont : 08h30, 12h00, 17h30 et 21h00. Ainsi, la majeure partie de la journée est couverte, permettant de prendre en considération les moments de congestion routière aux sorties de

³⁷ Source :

https://www.grandreims.fr/fileadmin/grandreims/MEDIA/12_cadre_de_vie_environnement/cartes_du_bruit/RA-21315-03-E_CUGR_CBS_RNT.pdf

bureaux tout comme les moments d'accalmie en soirée. Chaque mesure dure en moyenne dix minutes.

Différents points géographiques spécifiques ont été sélectionnés pour ces relevés (voir carte ci-dessous, figure 24). Plusieurs grands axes de communication du centre-ville, comme le boulevard de la Paix, le boulevard Lundy ou encore la rue de Venise. Les ponts traversant le canal et permettant de connecter le centre aux quartiers plus éloignés : le pont de Vesle, le pont de Venise et le pont Flechambault. Enfin, des mesures ont également été réalisées sur les places principales du centre-ville, à savoir la place Drouet d'Erlon, la place du Forum ainsi que la place Aristide Briand.

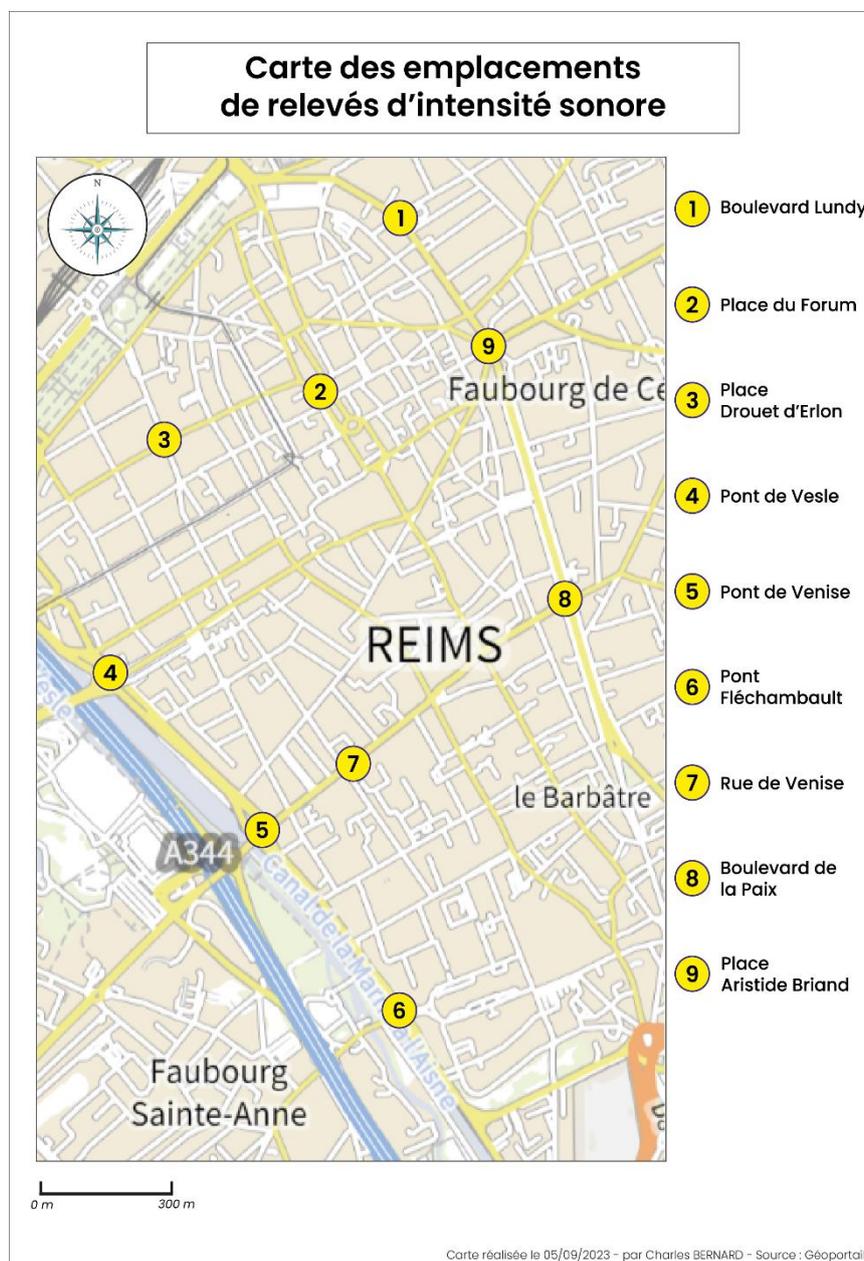


Figure 24 - Carte - Emplacement des relevés d'intensité sonore - Source : Auteur et Géoportail

	Rue de Venise	Bd de la Paix	Place Aristide Briand	Bd Lundy
08h30 - dB Min	69 dB	67 dB	68 dB	63 dB
08h30 - dB Max	79 dB	73 dB	78 dB	69 dB
12h00 - dB Min	55 dB	55 dB	65 dB	63 dB
12h00 - dB Max	76 dB	73 dB	73 dB	81 dB
17h30 - dB Min	56 dB	53 dB	55 dB	53 dB
17h30 - dB Max	75 dB	69 dB	77 dB	72 dB
21h00 - Min	59 dB	48 dB	50 dB	56 dB
21h00 - Max	75 dB	77 dB	63 dB	74 dB
Moyenne journalière Min	60 dB	56 dB	60 dB	59 dB
Moyenne journalière Max	76 dB	73 dB	73 dB	74 dB

Figure 25 - Tableau - Relevés d'intensité sonore - Partie 1 - Source : Auteur

Pont de Vesle	Pont de Venise	Pont Flechambault	Place d'Erlon	Place du Forum
64 dB	55 dB	53 dB	66 dB	55 dB
74 dB	67 dB	74 dB	78 dB	77 dB
62 dB	65 dB	59 dB	68 dB	63 dB
76 dB	78 dB	72 dB	75 dB	76 dB
56 dB	58 dB	54 dB	61 dB	65 dB
77 dB	75 dB	70 dB	72 dB	78 dB
52 dB	54 dB	49 dB	55 dB	53 dB
74 dB	73 dB	69 dB	69 dB	72 dB
59 dB	58 dB	54 dB	63 dB	59 dB
75 dB	73 dB	71 dB	74 dB	76 dB

Figure 26 - Tableau - Relevés d'intensité sonore - Partie 2 - Source : Auteur

Les tableaux ci-dessus regroupent les résultats des relevés effectués. Pour chaque période de la journée, il est indiqué l'intensité sonore la plus basse et la plus élevée. La dernière ligne correspond aux moyennes journalières.

Les intensités basses correspondent généralement avec une diminution du trafic due à un feu tricolore passant au rouge. D'après le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cérema), un feu rouge peut durer jusqu'à deux minutes maximum³⁸. La présence de ces feux tricolores, indispensables pour une bonne circulation, crée donc un « schéma » de nuisances à proximité, alternant entre une baisse du bruit lorsque les véhicules sont à l'arrêt et une augmentation significative de l'intensité sonore dans les phases de redémarrage et d'accélération.

C'est cette présence de feu tricolore qui rend possible de constater, dans la même rue et à quelques secondes d'intervalle, une intensité passant de 56 décibels à 75 décibels (rue de Venise à 17h30). Une telle variation peut engendrer une gêne importante, les riverains devant s'adapter aux grandes différences d'intensité, comme au niveau du boulevard de la Paix où, en soirée, il est possible que le niveau sonore passe rapidement de 48 décibels à 77, soit une différence de 29 décibels.

A propos des intensités les plus hautes, elles ne prennent pas en compte les passages occasionnels de motos, qui font parfois monter le niveau de décibels à plus de 90, comme ce fut le cas boulevard Lundy où une moto a été mesurée à plus de 92 décibels. Comme évoqué dans la première partie de cette étude, les véhicules à deux roues motorisés peuvent parfois dépasser les 100 décibels en milieu urbain, atteignant ainsi le seuil de dangerosité pour les organes auditifs et l'organisme en cas d'exposition fréquente et prolongée. Pour rappel, un bruit de 90 décibels équivaut, par exemple, au bruit d'une tondeuse à gazon, et un bruit de 100 décibels à un bruit d'hélicoptère. Pour comparer au mieux les données recueillies avec les résultats de la CSB, il a été choisi de ne pas prendre en compte ces pics sonores afin d'illustrer principalement le bruit de fond constant subi par les riverains sur toute une journée. En effet, la CSB ne montre pas clairement l'importance des pics d'intensités sur les représentations cartographiques. Les pics de nuisances sonores, dus au trafic routier

³⁸ Source :

https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/10/120secondes_Rapport_d_etape_phase2_20161017_modele_PCI_cle597d3c.pdf

mais également aux bruits de voisinages et autres activités urbaines, sont un sujet différent à traiter mais tout aussi important que les nuisances constantes.

Afin d'interpréter les résultats présents dans les tableaux ci-dessus (voir figures 25 et 26), il est nécessaire de les comparer aux cartes issues de la CSB, visibles ci-dessous (voir figures 27 et 28). La CSB du Grand Reims divise le territoire de l'intercommunalité en un quadrillage de 282 cases, chacune représentant une carte à l'échelle 1/10 000ème. Pour cette étude, seules les cases J09 et J10, illustrant le centre-ville rémois, seront prises en compte. Sur ces cartes sont indiqués les points de relevés d'intensité sonore, à l'instar de la figure 24 présentée précédemment. La CSB classe cette intensité sonore selon six niveaux : inférieure à 55 décibels ; entre 55 et 60 décibels ; entre 60 et 65 décibels ; entre 65 et 70 décibels ; entre 70 et 75 décibels ; et supérieure à 75 décibels. En observant les résultats des relevés sur le terrain et ceux de la CSB, il est possible de noter certaines différences.

Par exemple, les relevés effectués sur les places du Forum, Drouet d'Erlon et Aristide Briand, sont constamment plus élevés que les niveaux estimés par la CSB. En observant les points 2, 3 et 9 sur la figure 27 (qui correspondent aux places), le constat est le suivant : les place du Forum et d'Erlon (points 2 et 3) sont classées entre 60 et 65 décibels par la CSB, là où en relevés réels sur le terrain la moyenne atteint les 74 et 76 décibels, avec des pics à 78 décibels. Il en va de même pour la place Aristide Briand, classée entre 65 et 70 décibels alors que les relevés de terrain indiquent un niveau de 73 décibels avec un pic à 78 décibels également.

Concernant les ponts, les relevés de terrain correspondent à ceux de la CSB pour les points 4 et 5 (ponts de Vesle et de Venise). Classés entre 70 et 75 décibels par la carte stratégique du bruit, les prises d'intensités réelles sont en moyenne autour de 75 décibels pour le pont de Vesle et 73 pour le pont de Venise, avec des pics entre 77 et 78 décibels. Le pont Flechambault (point 6), quant à lui, est classé entre 65 et 70 décibels, soit un niveau moins élevé que les 71 décibels relevées sur place.

Viennent enfin les relevés effectués dans les grands axes de communications. Les décibels constatées au niveau du boulevard Lundy (point 1) ainsi que du boulevard de la Paix (point 8) sont similaires à celles mises en avant par la CSB. Les deux boulevards sont classés entre 70 et 75 décibels sur la carte du Grand Reims, et les relevés de terrain sont en moyenne autour de 73 et 74 décibels, avec toutefois des pics à 81 décibels. En revanche, la rue de Venise, classées entre 65 et 70 décibels selon la CSB, atteint des niveaux de 76 à 79 décibels sur le terrain.

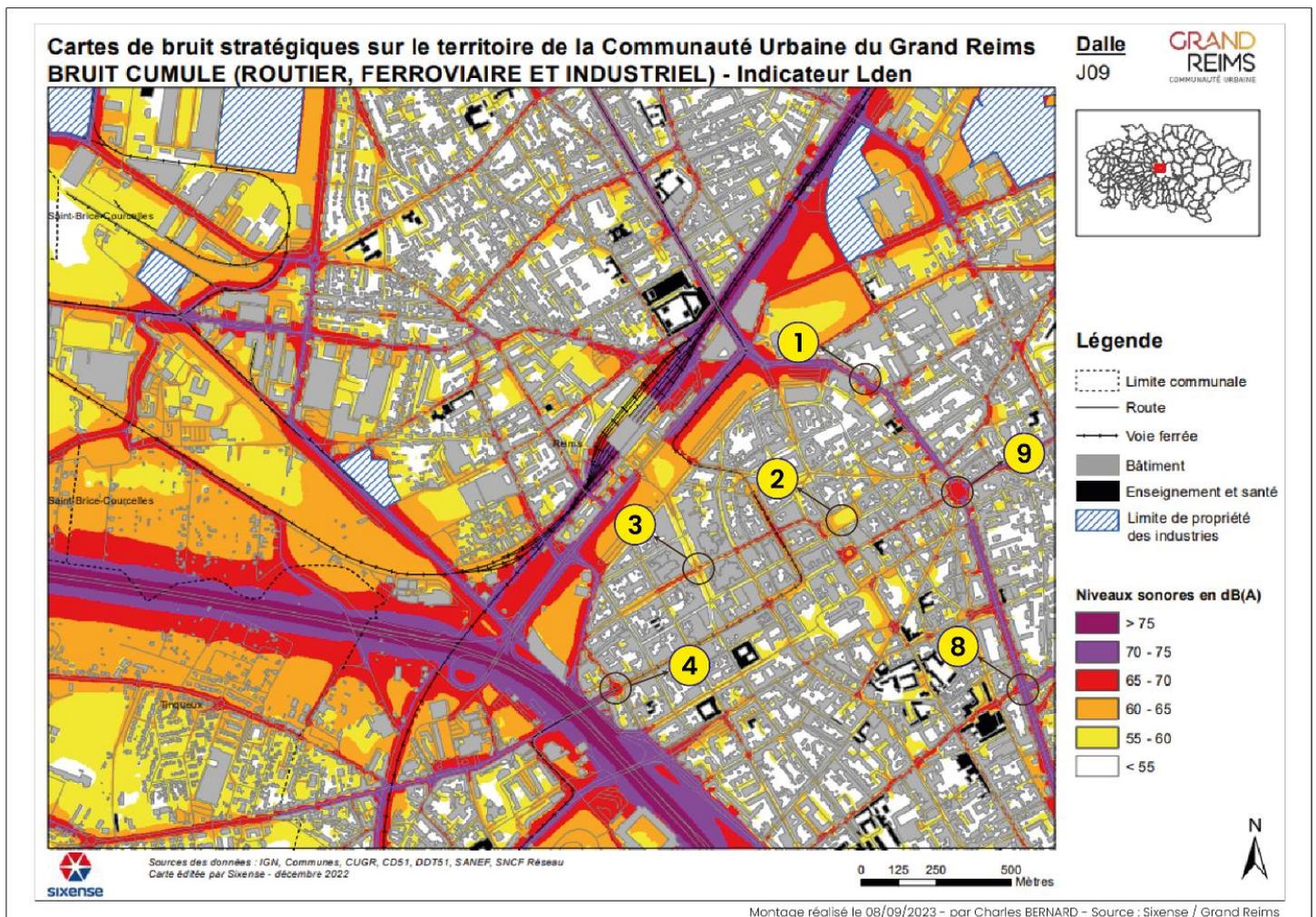


Figure 27 - Carte - Carte du bruit stratégique du Grand Reims avec les points de relevés d'intensité sonore (voir figure 24) – Partie 1 – Source : Auteur / Sixense / Grand Reims

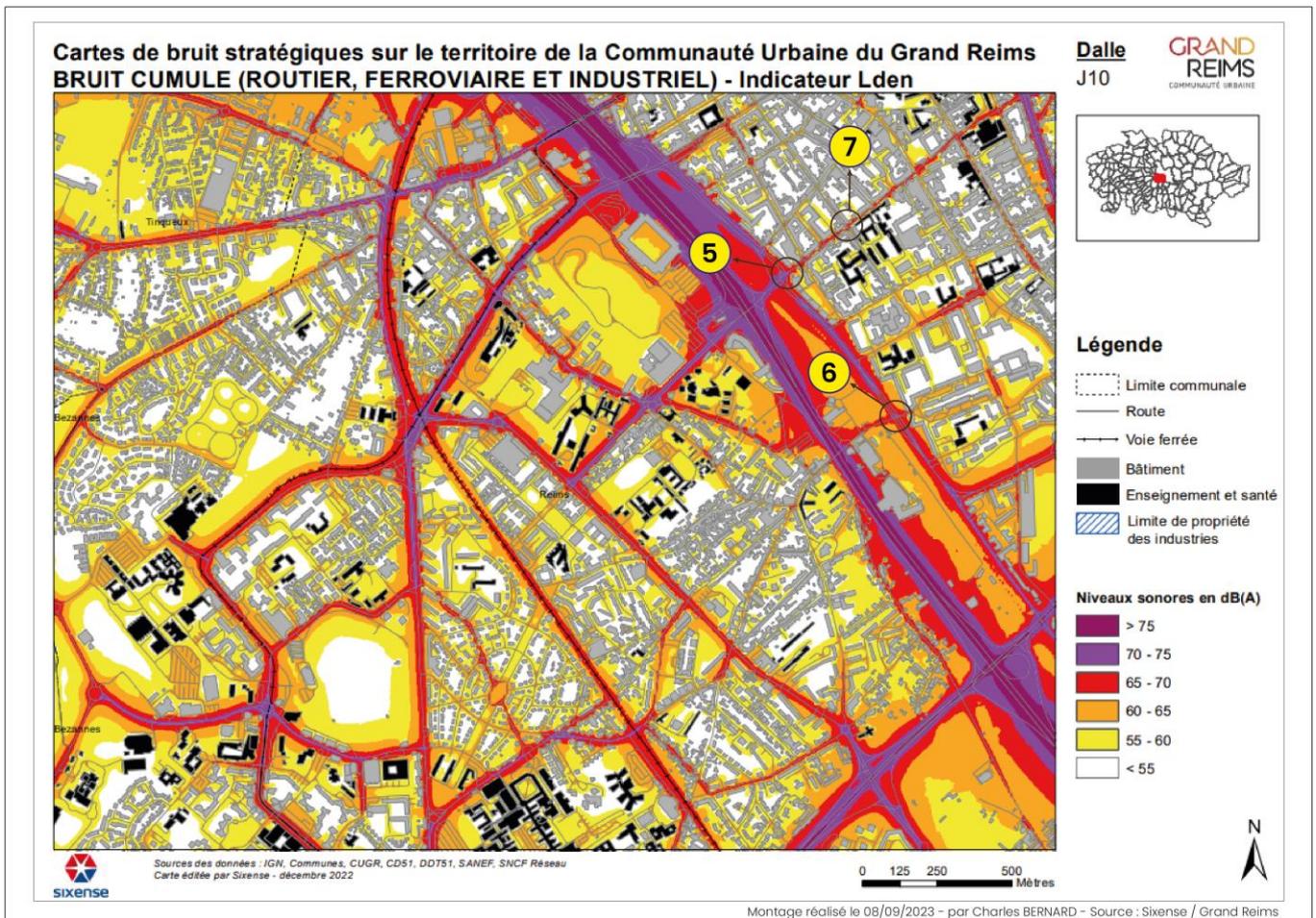


Figure 28 - Carte - Carte du bruit stratégique du Grand Reims avec les points de relevés d'intensité sonore (voir figure 24) – Partie 2 – Source : Auteur / Sixense / Grand Reims

Finalement, sur neuf relevés effectués sur le terrain avec un sonomètre, cinq diffèrent avec les résultats de la carte stratégique du bruit, étant chaque fois plus élevés.

Ce constat vient questionner la crédibilité de cette CSB, ainsi que sa fiabilité en tant que base de réflexion pour de futures actions concrètes. Le but premier d'une carte stratégique du bruit, c'est de créer un référentiel le plus précis possible afin de faciliter la prise de décision des communes quant à la question des nuisances sonores. Par exemple, en fonction des résultats obtenus lors de la réalisation d'une CSB, les communes peuvent mettre en place un plan de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE). Ce PPBE a pour objectifs de réduire le niveaux de bruit, protéger les zones dites « calmes » (zones extérieures à faible exposition au bruit)³⁹,

³⁹ Source : <https://outil2amenagement.cerema.fr/le-plan-de-prevention-du-bruit-dans-l-r1301.html>

ou encore « recenser les mesures prévues pour traiter les situations bruyantes identifiées par les CSB »⁴⁰. La CSB se doit donc d'être un outil fiable. Or il existe un certain nombre de failles dont certaines pouvant amener à une sous-estimation des niveaux sonores.

Avant tout, il est nécessaire de préciser que l'objectif ici n'est pas de dénigrer purement et simplement la carte stratégique du bruit réalisée par le Grand Reims, mais plutôt d'identifier les limites et d'apporter des précisions quant à la lecture du compte-rendu public disponible sur le site du Grand Reims⁴¹.

Comme évoqué dans la première partie de cette étude, la réalisation d'une CSB se fait via des calculs algorithmiques et non via des relevés sur le terrain. Une base de données initiale (comprenant des relevés de niveaux sonores) est utilisée comme référentiel, puis un modèle algorithmique est réalisé et appliqué sur tout le territoire. Cette méthodologie n'est évidemment pas propre au Grand Reims, mais généralisée au niveau national. Et c'est cette méthodologie qui vient poser quelques questions.

Selon la loi (qui fixe le niveau sonore considéré comme nuisible, soit 68 décibels) et le système de calcul détaillé dans le compte-rendu de la CSB, la carte est effectivement juste. Cependant, lorsque des relevés de l'intensité sonore sont réalisés sur le terrain et comparés aux données de la CSB, c'est là qu'apparaissent les limites de celle-ci. La prise de données sur le terrain montre la limite des calculs algorithmique. En effet, d'après les mesures réalisées sur le terrain pour cette étude, les données réelles sont plus élevées que celles de la CSB presque une fois sur deux. Il est certain que pour une meilleure comparaison, il aurait fallu étaler ces prises de données réelles sur une durée plus longue, mais cet échantillon permet déjà de mettre en avant une limite de la CSB, la sous-estimation potentielle des nuisances réelles.

De plus, lors de la réalisation d'une carte stratégique du bruit, les niveaux sonores sont lissés sur 24 heures. Il est certain que le niveau sonore moyen constant est une donnée importante à avoir lors de la réflexion sur les solutions possibles pour lutter

⁴⁰ Source : <https://www.departement13.fr/nos-actions/routes/des-dispositifs/le-plan-de-prevention-du-bruit-dans-lenvironnement/#:~:text=Le%20PPBE%2C%20c'est%20quoi,engage%20%C3%A0%20mettre%20en%20%C5%93uvre.>

⁴¹ Lien : <https://www.grandreims.fr/cadre-de-vie-et-environnement/developpement-durable/cartes-du-bruit-du-grand-reims>

contre les nuisances sonores, mais cela met de côté une donnée importante, les pics de bruit. Les pics d'intensité sonores, correspondant par exemple à une moto passant dans la rue ou un véhicule plus bruyant que la moyenne, sont des éléments clés à prendre en compte dans la lutte contre les nuisances sonores. Une augmentation soudaine du niveau sonore peut engendrer un certain nombre d'effets sur l'organisme des riverains touchés, particulièrement la nuit lors des phases réparatrices du sommeil (voir partie I.C). Les mesures d'intensité sonore sur le terrain viennent apporter des précisions importantes concernant ces pics de bruit, qui devraient être visibles sur la carte stratégique du bruit. Les relevés d'intensité sonore effectués sur le terrain étant déjà plus élevés que les résultats de la CSB, il suffit d'imaginer la possible augmentation du niveau sonore moyen si les pics étaient pris en considération.

Pour résumer, le plus important lors de la lecture et la compréhension de cette carte stratégique du bruit, c'est de nuancer les résultats et les conclusions apportées par le compte-rendu. Ce document a été rédigé de sorte qu'une personne n'ayant aucune compétence particulière en acoustique et en algorithmie puisse comprendre facilement de quoi il est question. Il est donc susceptible d'être lu par beaucoup, et devrait, à ce titre, être plus nuancé et apporter les précisions évoquées précédemment. Cette carte stratégique du bruit n'aborde le son que comme une valeur uniquement mathématique, avec une tolérance limite du bruit fixée à 68 décibels et mettant de côté les effets néfastes sur l'organisme observables à des niveaux d'intensité sonore bien moins élevés. La CSB reste toutefois un document important à réaliser pour mieux appréhender la question du bruit en milieu urbain, mais nécessite d'être appuyée par des données réelles mesurées sur le terrain pour être réellement efficace.

B. Quelles solutions pour limiter le bruit en ville ?

Après s'être penché sur le fonctionnement du bruit, ses sources et ses impacts sur la santé et le milieu urbain, il est nécessaire de se concentrer sur les solutions qu'il est possible de mettre en place pour limiter les effets du bruit en ville. Il est possible de distinguer trois différents types de solutions face à ces nuisances sonores : des solutions qui peuvent être qualifiées de « techniques », d'autres plutôt « sociétales » et enfin des solutions plus « juridiques ». Ces appellations sont non-officielles et uniquement utilisées dans le cadre de cette étude.

Les solutions « techniques » regroupent toutes les opérations possibles influant sur l'aspect structurel de la ville. C'est principalement dans ce domaine qu'il existe le plus d'action à entreprendre.

Comme cela a été abordé précédemment, le type de revêtement de la chaussée joue beaucoup sur la création et la propagation du bruit. Modifier ou renouveler la chaussée pourrait jouer un rôle important dans la diminution du bruit lié au contact des pneus avec la route. Il existe deux types principaux de revêtements acoustiques fiables et déjà sur le marché, les bétons bitumineux drainants (BBDr) et les enrobés bitumineux à couche mince ou très mince (BBM et BBTM)⁴². Les techniques de conceptions et de poses varient selon les revêtements, mais les performances acoustiques sont sensiblement similaires, avec un gain situé entre 3 et 9 décibels pour les deux bitumineux. Concernant le BBDr, ce gain est dû au fait que le revêtement comporte de nombreux espaces vides qui permettent d'absorber le bruit. L'inconvénient de cet enrobé, c'est qu'il nécessite d'effectuer un nettoyage deux fois par an avec une machine spécialisée, permettant ainsi de libérer les espaces vides qui se voient comblés avec le temps et les aléas climatiques. Cela entraîne donc un surcoût dans l'entretien des voies. De plus, étant moins résistant que les enrobés actuels, il est déconseillé d'utiliser le BBDr dans des espaces à forte fréquentation, comme des carrefours ou des ronds-points. Les BBM et BBTM, quant à eux, permettent une réduction du bruit grâce à leur texture en surface qui est parsemée

⁴² Source : <https://www.bruitparif.fr/pages/Entete/700%20Accompagner/700%20PPBE%20en%20IdF/600%20Les%20solutions%20techniques%20pour%20lutter%20contre%20le%20bruit/850%20Lutter%20contre%20le%20bruit%20routier%20-%20Opter%20pour%20des%20rev%3AAtements%20acoustiques.pdf>

d'aspérités assez profondes pour réduire l'effet de réflexion du son. Leur faible granulométrie permet également de réduire l'épaisseur du revêtement, favorisant ainsi l'absorption acoustique. L'avantage de cet enrobé réside dans sa faible quantité de matière nécessaire à sa réalisation, ce qui le rend financièrement attractif et plus facile à renouveler. Toutefois, sa limite se trouve dans ses capacités antidérapantes parfois limitées, réduisant ainsi l'adhérence, particulièrement lorsque la chaussée est humide.

Si la chaussée est un élément prépondérant dans les milieux urbains, il convient qu'aujourd'hui, dans un contexte de changement climatique, il est nécessaire de réduire les espaces imperméables et bétonisés pour laisser place à plus de nature en ville. Permettant d'une part de réduire les îlots de chaleur, une végétalisation des espaces urbains permettrait également, si les projets sont pensés intelligemment, de réduire la propagation du bruit. En effet, la végétation fait office de frontière face aux ondes acoustiques. Les arbres avec leurs feuilles entravent la diffusion du bruit dans l'espace, et le développement de la végétalisation des façades, lorsque le contexte le permet, joue un rôle positif sur l'absorption des ondes sonores. Cependant, il est important de nuancer les effets de la végétalisation sur les décibels. D'après Bruitparif, développer la végétation en ville n'est pas une mesure de réduction du bruit très efficace. Pour obtenir une diminution acoustique « de l'ordre de 1 à 3 décibels, il faudrait une forêt d'arbres plantés densément de plus d'une centaine de mètres de largeur »⁴³ par rapport à la source du bruit. Mais la réussite de la végétalisation en matière de bruit réside ailleurs. La création d'un espace vert peut former un écran visuel et ainsi masquer la source du bruit. Il s'avère que d'après certaines études, il semble que « l'acceptation du bruit peut être meilleure si la source sonore est masquée »⁴⁴. Les avantages du développement de la verdure en ville sont donc multiples : faible coût (en comparaison avec le renouvellement des chaussées par

⁴³ Source : <https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/700%20Accompagner/700%20PPBE%20en%20IdF/600%20Les%20solutions%20techniques%20pour%20lutter%20contre%20le%20bruit/770%20Bruit%20et%20urbanisme%20-%20R%3%A9duire%20les%20nuisances%20sonores%20-%20A0%20l'%20A9chelle%20de%20l'%20AElot.pdf>

⁴⁴ Source : <https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/700%20Accompagner/700%20PPBE%20en%20IdF/600%20Les%20solutions%20techniques%20pour%20lutter%20contre%20le%20bruit/770%20Bruit%20et%20urbanisme%20-%20R%3%A9duire%20les%20nuisances%20sonores%20-%20A0%20l'%20A9chelle%20de%20l'%20AElot.pdf>

exemple, réduction de la chaleur en ville, mais aussi une réduction de quelques décibels dans les bâtiments ayant une façade végétalisée (voir figure 29).



Utiliser les espaces verts comme un frein pour la diffusion du bruit est une solution peu efficace. C'est pourquoi il existe des écrans anti-bruit. Véritable bouclier anti-ondes acoustiques, ces écrans viennent absorber les bruits ou les réfléchir permettant ainsi de réduire le niveau sonore. Les écrans peuvent prendre différentes formes. Il existe par exemple des écrans de faible hauteur, d'une taille de moins d'un mètre. Leur petite taille permettent à ces aménagements de prendre place dans des centre-ville au trafic peu dense, là où des écrans plus traditionnels de plusieurs mètres de haut n'auraient pas leur place. La ville de Lyon a mis en place ce nouveau type de mobilier urbain en plein centre-ville. Composé de matériaux recyclés et totalement végétalisé, ce petit mur anti-bruit a permis une réduction de 4 décibels aux alentours.



Figure 30 - Photo - Mur anti-bruit dans le centre-ville lyonnais - Source : Bruitparif

Le mobilier urbain classique peut également servir d'écran face aux ondes sonores. Par exemple, repenser l'installation des abribus en ville tout en ajoutant à proximité du « mobilier écran », comme le muret ci-dessus ou des sortes de paravents urbains, permettrait de réduire la propagation du bruit dans les milieux urbains.



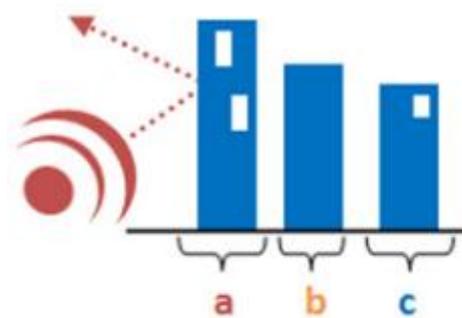
Figure 31 - Photo - Paravents urbains dans la ville de Cannes, France - Source : Bruitparif

A ces nouvelles façons de penser les écrans anti-bruit viennent s'ajouter les plus traditionnels murs anti-bruit qu'il est possible d'observer le long des autoroutes et voies rapides, généralement en périphérie des villes. Ces ouvrages, de plusieurs mètres de haut, ont pour objectif de réfléchir le plus possible les ondes sonores afin de les rediriger vers des espaces dépourvus d'habitations. Avec le temps, les techniques d'élaboration de ces constructions ont évoluées, puisque désormais ces murs ont de plus en plus tendance à absorber les ondes sonores plutôt qu'à les dévier (voir figure 32). Ces murs qui peuvent atteindre 5 mètres de haut restent globalement très efficaces, permettant de réduire l'intensité sonore d'environ 15 décibels à une distance de 15 mètres derrière la structure. Ils restent cependant surdimensionnés pour être installés en centre-ville, donc inefficaces pour réduire les nuisances sonores en milieu urbain dense.



Figure 32 - Photo - Installation d'un mur anti-bruit absorbant les ondes acoustiques - Source : Bruitparif

Enfin, il existe également le concept de bâtiment-écran. Le principe est simple, il suffit de construire un bâtiment d'une certaine hauteur du côté de la source de bruit, pour ensuite pouvoir construire d'autres structures, plus basses cette fois-ci, qui se retrouvent protégées du bruit par ce bâtiment-écran (voir figure 33). Il faut toutefois porter une attention particulière sur la destination de ce bâtiment-écran. Idéalement, son utilisation doit être en adéquation avec sa proximité au bruit. C'est-à-dire qu'il est difficilement concevable que ce bâtiment soit une résidence, mais il devrait plutôt se destiner à des activités commerciales ou d'entrepôt. Si jamais le bâtiment-écran se trouve être finalement un lieu d'habitation, il faut penser intelligemment la distribution des pièces, la forme architecturale du bâti et surtout respecter les normes d'isolation acoustique pour les façades.



La hauteur du bâtiment « écran » doit être suffisante pour assurer la protection des bâtiments situés à l'arrière.

Figure 33 - Schéma - Concept du bâtiment-écran - Source : Bruitparif

Ce concept de bâtiment-écran permet de faire la transition vers une autre solution technique importante, la réflexion sur les formes urbaines. Cette piste de réflexion intervient principalement lors de la création de nouveaux quartiers, et se penche sur leur morphologie. Ici, deux principaux concepts sont liés : la continuité du bâti et l'éloignement. L'enjeu de la continuité du bâti face aux nuisances sonores est la capacité de limiter la propagation du bruit autour des bâtiments. Ainsi, une rue où les constructions sont majoritairement alignées et contiguës va permettre de créer un espace à l'abri du bruit à l'arrière de la construction (voir figure 34). Le principal inconvénient de cette configuration est qu'une façade sera forcément exposée au bruit de la voirie. Il convient donc de penser la distribution des pièces internes en fonction du bruit extérieur.

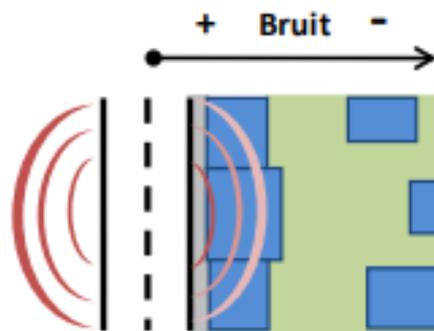


Figure 34 - Schéma - Concept de continuité -
Source : Bruitparif

Le principe d'éloignement consiste à reculer les constructions d'au minimum 20 mètres par rapport à la source de bruit (en général la chaussée), afin de profiter du principe de décroissance (voir figure 11). Cela concerne principalement les espaces péri-urbains ou ruraux, car il y a plus de place qu'en milieu urbain pour réaliser ces aménagements. Reculer un bâtiment permet d'atténuer l'intensité sonore d'environ 3 décibels à chaque doublement de distance. Même si la limite d'éloignement est généralement fixée à moins d'une centaine de mètres, ce concept finira sans doute par

être obsolète, dans un contexte de densification urbaine et de projet de zéro artificialisation nette.

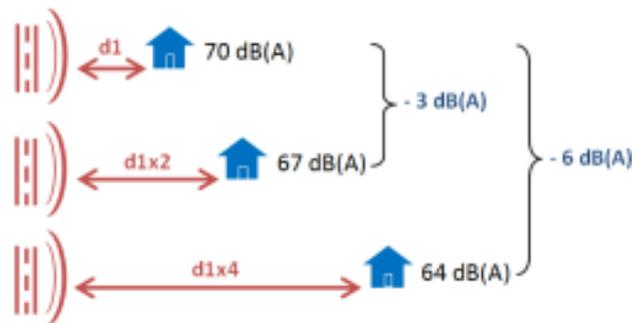


Figure 35 - Schéma - Concept d'éloignement et perte de décibels lors du doublement de distance – $D_1 = 20$ mètres - Source : Bruitparif

Autre élément important sur lequel il existe une grande marge d'amélioration concernant les nuisances sonore : l'isolation acoustique des façades. Il n'est pas rare que dans les centres-villes, la majorité des bâtis aient été construits il y a plusieurs décennies, voire parfois plusieurs siècles. Avant 1970, aucune norme acoustique n'était en vigueur pour la construction d'un nouveau bâtiment. De fait, la majorité des bâtiments se retrouvent aujourd'hui mal isolés face au bruit permanent de la circulation urbaine. Pour pallier cela, il convient donc de développer les efforts entrepris pour remettre aux normes les bâtiments fortement touchés par les nuisances sonores (identifiables notamment via la carte stratégique du bruit). A l'instar des rénovations énergétiques qui aujourd'hui deviennent une obligation, il serait nécessaire de lier à celles-ci la rénovation acoustique. Cela permettrait de remettre à neuf toutes les isolations des bâtis, et de réduire considérablement le nombre de personnes subissant des nuisances sonores. Il existe différents types d'isolants acoustiques, qu'ils soient minéraux (laine de verre, laine de roche), naturels (ouate de cellulose, liège) ou synthétique (polyuréthane, polystyrène expansé). Chacun a un taux d'affaiblissement acoustique différent (capacité à réduire l'intensité sonore). Néanmoins, ces isolants ne sont utilisés que pour renforcer une isolation acoustique en intérieur. Les matériaux de constructions utilisés pour réaliser le bâti ont également une importance particulière face à la propagation du bruit. Selon le matériau, l'affaiblissement acoustique sera plus au moins performant. Par exemple, un mur en béton plein de 10 cm d'épaisseur sera un meilleur isolant qu'un mur de briques pleines de 15 cm d'épaisseur. Pour

simplifier la mise en place des opérations de rénovations acoustique, il est possible d'imaginer une prise en charge par des programmes d'aides financières tels que MaPrimeRénov', une aide de l'Agence Nationale de l'Habitat pour « financer les dépenses lors de travaux d'amélioration de la performance énergétique d'un logement »⁴⁵.

Les solutions qualifiées de « sociétales » correspondent à des changements de comportements progressifs pouvant amener à une diminution du bruit dans les milieux urbains. Pour y parvenir, deux changements importants sont à initier : la limitation du trafic et le report modal.

Il existe un certain nombre de décisions possibles pouvant amener à une réduction du nombre de véhicules en ville. Il serait d'abord possible d'aborder la question via le concept de chrono urbanisme. Cette théorie consiste à modifier l'usage d'un lieu, rendant son utilisation flexible selon la temporalité. Ainsi, des rues très passantes d'un centre-ville aux heures de pointes pourraient se retrouver piétonisées à partir de la fin de journée pour permettre aux riverains de se déplacer de façon plus sécurisée pour aller faire leurs courses une fois rentrés chez eux par exemple. Cette piétonisation temporaire viendrait également réduire considérablement les nuisances sonores en soirée, augmentant potentiellement la qualité de sommeil des habitants proches. Autre exemple, cette fois-ci observable à Reims, limiter les accès aux voitures dans certaines rues animés du centre-ville pendant le week-end.

Cette mise en place d'un chrono urbanisme favorisant le piéton plutôt que le « tout voiture » doit aller de pair avec une réflexion autour de l'aménagement urbain général. Retirer la voiture temporairement c'est une bonne chose, mais si les rues ne sont pas conçues pour le bien-être des piétons, le concept ne fonctionne qu'à moitié. A Madrid, par exemple, la ville prévoit de restreindre la voiture sur plus de 200 hectares de son centre-ville, et en parallèle va réinventer 24 de ses rues les plus fréquentées pour y rendre la vie des piétons plus agréable. C'est donc une réflexion globale à avoir sur cette question précise, et ne pas se contenter uniquement de fermer quelques

⁴⁵ Source : <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance/mesures/maprimerenov>

rues le temps d'un instant pour ensuite laisser la place aux congestions automobiles le lundi matin.

Si le concept est bien exploité, le chrono urbanisme peut permettre de faire changer progressivement les esprits des habitants, déclenchant peut-être des prises de conscience sur la place du piéton et de la voiture en ville. Plus une ville prend les devants et encourage, sensibilise et promeut la décroissance du nombre de voitures en milieu urbain, plus le report modal devient une réalité.

Le report modal désigne le « report d'une partie des flux d'un mode de transport vers un autre »⁴⁶, par exemple de la voiture vers le bus ou le vélo. C'est un objectif important pour toute ville qui souhaite lutter à la fois contre le changement climatique et les nuisances sonores urbaines. Le principe est de favoriser le développement des transports en commun et des mobilités douces (vélo, trottinette, etc.) afin de réduire considérablement la place de la voiture en ville. En Norvège, par exemple, ce report modal à Oslo s'est initié par la suppression d'un millier de places de stationnement, puis par la mise en place d'une politique encourageant l'utilisation des transports en commun et le développement des pistes cyclables. Il existe également d'autres moyens d'initier un départ progressif des voitures du centre-ville, avec des solutions qui peuvent être considérées comme plus contraignantes, comme la création de péage urbain à l'image de la ville de Londres, qui demande une certaine somme pour pouvoir accéder au centre-ville, ou la mise en place de zone à faibles émissions (ZFE). Ces ZFE sont des zones urbaines dont l'accès est réservé aux véhicules les moins polluants, identifiés par des vignettes « CRIT'Air » indiquant le niveau d'émission de particules polluantes émises par leur moteur. Ainsi, une zone à faibles émissions, selon la réglementation en place dans la commune, va réduire la présence de certains véhicules dans les espaces concernés, ce qui est un premier pas vers l'interdiction des voitures personnelles en ville. Les véhicules à combustion étant progressivement interdits de circulation dans les zones à faible émission, il est possible que cela favorise la transition vers des véhicules hybrides ou électriques qui, même s'ils ne polluent pas forcément moins, font moins de bruit sur les routes.

⁴⁶ Source : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/transfert-modal-report-modal>

Enfin, les solutions « juridiques » viennent mettre de nouvelles règles sur l'utilisation de la route. Comme cela a été évoqué dans la partie I.B, la vitesse influe sur l'intensité du bruit produit par une voiture en déplacement. Ainsi, mettre en place des zones à vitesse restreinte en ville pourrait limiter ces nuisances. Par exemple, dans une rue limitée à 30 km/h, le bruit des voitures serait en moyenne 4,5 décibels moins élevé que dans une rue classique d'agglomération limitée à 50 km/h.

Limitier la vitesse permettrait également de mettre en place des zones de rencontre. Ces espaces sont un ensemble de voies où les piétons ont la priorité et sont autorisés à circuler sur la chaussée, qui est généralement au même niveau que le trottoir. La vitesse pour les véhicules y est limitée à 20 km/h. La création de zones de rencontre en centre-ville des communes pourrait être un premier pas vers la piétonisation pérenne de celui-ci, et venir favoriser le report modal évoqué auparavant.



Figure 36 - Photo - Exemple d'une rue en zone de rencontre dans la ville de Saint-Prix - Source : Site de la mairie de Saint-Prix

Finalement, les villes pourraient mettre en place un radar sonore dans les rues les plus touchées par les nuisances. En février 2022, la ville de Paris a inauguré son premier radar sonore, installé dans le 20^{ème} arrondissement (voir figure 37). Ce dispositif mesure constamment le bruit avec précision, et le relie au véhicule qui en est à l'origine tout en photographiant sa plaque d'immatriculation. L'objectif est de verbaliser à hauteur de 135 euros tous les véhicules dont le bruit dépasse les 85 ou 90 décibels. A cela s'ajoute les contrôles effectués par les policiers, qui possèdent désormais des sonomètres portatifs, pouvant ainsi verbaliser directement les conducteurs.



Figure 37 - Photo - Premier radar sonore de Paris - Source : Site de la mairie de Paris

Afin de mieux comprendre la mise en place et l'influence de certaines de ces solutions en milieu urbain, des coupes de trois voies de circulation rémoises ont été effectuées : la place Drouet d'Erlon, le pont de Venise et la rue de Venise. Sur ces coupes sont représentés deux temporalités : la première, celle visible sur la figure 38, représente l'état actuel des voies, et la seconde, sur la figure 39, représente l'état des voies après certaines transformations.

Les cercles gris visibles sur les deux figures sont les éléments clés pour identifier l'impact des transformations des voies sur les nuisances sonores. Les cercles avec les traits continus représentent la propagation des ondes acoustiques depuis sa source primaire (ici la voiture). Les cercles aux traits en pointillés représentent les rebonds de ces ondes acoustiques sur les surfaces proches, qui viennent modifier la trajectoire initiale du son pour la rediriger vers d'autres espaces. Les transformations effectués sur la figure 39 ont pour objectif de réduire à la fois la propagation initiale des ondes et les rebonds de celles-ci.

Pour ce faire, deux des solutions évoquées auparavant ont été choisies : la végétalisation de l'espace (figurés en vert clair sur la figure 39) et le changement d'enrobée de la chaussée (figurés en trait noir gras sur la figure 39). Ces deux modifications sont les plus simples à mettre en place en ville et les plus réalistes quant à leur possible réalisation dans la réalité. L'ajout d'espaces verts là où initialement le béton domine permet de réduire de 3 décibels maximum le bruit en milieu urbain.

Cette solution à elle seule n'aurait que peu d'effets pour les riverains, si ce n'est venir augmenter légèrement l'acceptation du bruit si la source se retrouve masquée en partie par la végétation. C'est pourquoi il faut la coupler avec une solution plus efficace, la modification de la surface de la chaussée. Utiliser un revêtement acoustique pour les voies de circulation urbaine permettrait un gain de maximum 9 décibels (voir page 36). Additionné avec les effets de la végétalisation, en jouant à la fois sur la source du bruit et la propagation de celui-ci, il serait possible de réduire les nuisances sonores d'environ 10 décibels (pour rappel, les décibels ne s'additionnent pas comme des mètres ou des grammes, mais se calculent de façon logarithmique).

La réduction globale de l'intensité sonore s'observe sur la figure 39 via les cercles de propagation et de rebonds qui sont moins importants que sur la figure 38. Cela est particulièrement visible pour le cas de la rue de Venise, qui, en plus de ces deux solutions évoquées précédemment, s'est vu retirer une voie de circulation, permettant de réduire encore plus l'intensité sonore via la limitation du trafic. L'impact du changement d'enrobée est également significatif dans le cas du pont de Venise, qui voit sa génération de bruit bien amoindrie par le nouveau revêtement.

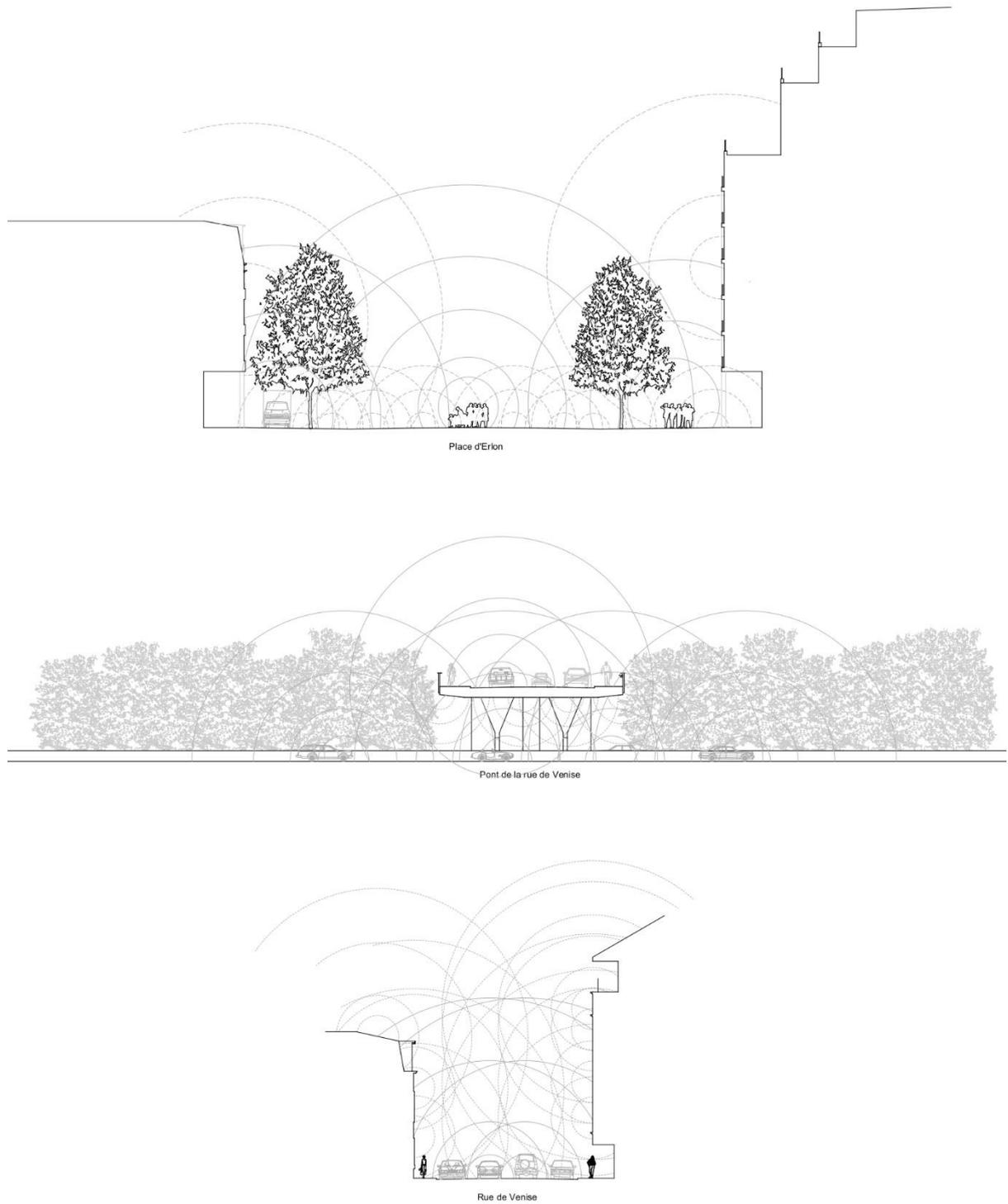


Figure 38 - Schéma - Coupes d'espaces rémois et de propagation du son – Etat actuel – Source : K. Lelièvre

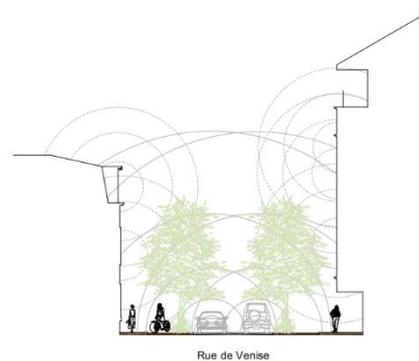
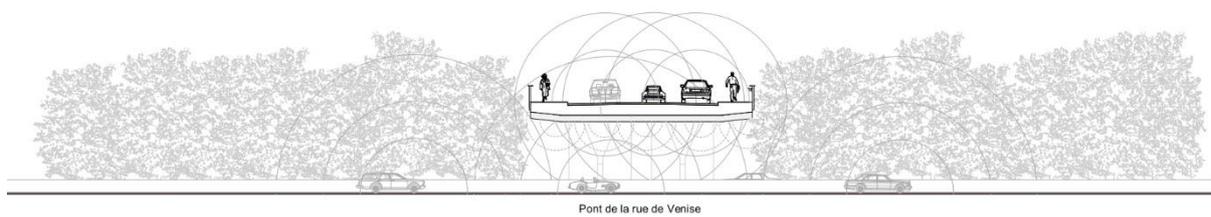
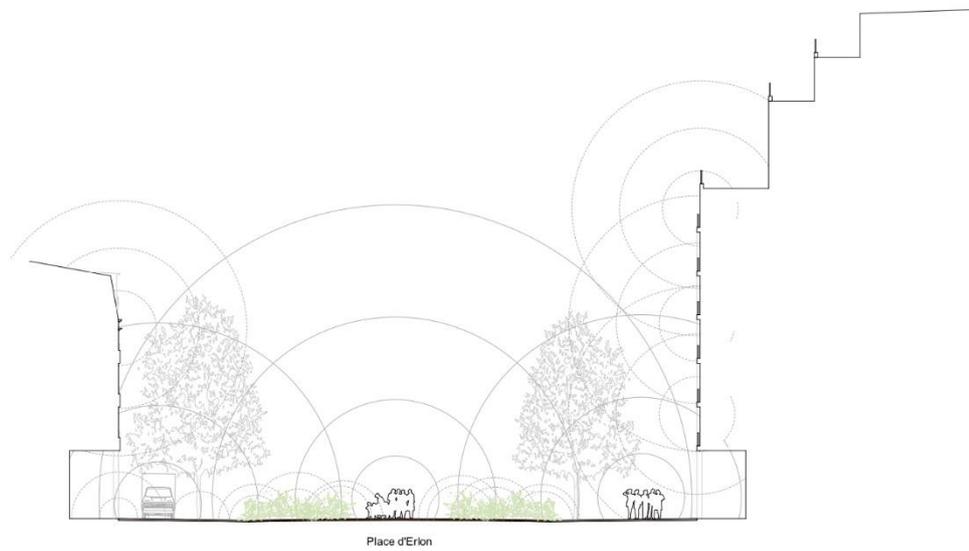


Figure 39 - Schéma - Coupes d'espaces rémois et de propagation du son – Etat après transformations - Source : K. Lelièvre

Table des figures

Figure 1 - Schéma - Addition des décibels - Source : Bruitparif	4
Figure 2 - Schéma - Multiplication des décibels - Source : Bruitparif	4
Figure 3 - Schéma - Effet de la température sur les ondes sonores – Warm air : air chaud / Cool air : air frais - Source : Soft dB	5
Figure 4 - Schéma - Effet de masque - Source : Bruitparif	5
Figure 5 - Schéma - Phénomènes intervenant dans la propagation du son - Source : Bruitparif	6
Figure 6 - Schéma - Phénomène de Diffusion - Source : K. Lelièvre	6
Figure 7 - Schéma - Phénomène de Réflexion - Source : K. Lelièvre	7
Figure 8 - Schéma - Phénomène de Transmission - Source : C. Bernard	7
Figure 9 - Schéma - Phénomène d'Absorption - Source : K. Lelièvre	8
Figure 10 - Schéma - Phénomène de Diffraction - Source : K. Lelièvre	8
Figure 11 - Schéma - Effet de la décroissance spatiale sur différentes sources de bruits - Source : Bruitparif	9
Figure 12 - Schéma - Phénomène de Décroissance spatiale - Source : K. Lelièvre	9
Figure 13 - Schéma - Echelle des décibels - Source : Bruitparif	10
Figure 14 - Schéma - Evolution du niveau de bruit global selon la vitesse - Source : Bruitparif	12
Figure 15 - Schéma - Les différentes sources de bruit dans un logement urbain - Source : Bruxelles Environnement	18
Figure 16 - Schéma - Anatomie de l'oreille humaine - Source : AuditionSanté	19
Figure 17 - Schéma - Oreille externe - Source : AuditionSanté	19
Figure 18 - Schéma - Oreille moyenne - Source : AuditionSanté	20
Figure 19 - Schéma - Oreille interne - Source : LeFigaro	21
Figure 20 - Schéma – Impact des effets extra-auditifs du bruit sur la population selon Wolfgang Babisch, chercheur dans le domaine du bruit environnemental – Les facteurs de risque s'accroissent à partir d'une exposition répétée à un bruit de 65 dB(A).	22
Figure 21 - Tableau - Relation entre l'exposition au bruit de transports et le risque de contracter une maladie cardiovasculaire - Source : Conseil National du Bruit	24
Figure 22 – Tableau – Exposition au bruits des populations du Grand Reims - Source : CSB Grand Reims, 2023	27
Figure 23 - Tableau d'exposition au bruits des populations du Grand Reims - Source : CBS Grand Reims, 2023	27
Figure 24 - Carte - Emplacement des relevés d'intensité sonore - Source : Auteur et Géoportail	28
Figure 25 - Tableau - Relevés d'intensité sonore - Partie 1 - Source : Auteur	29
Figure 26 - Tableau - Relevés d'intensité sonore - Partie 2 - Source : Auteur	29
Figure 27 - Carte - Carte du bruit stratégique du Grand Reims avec les points de relevés d'intensité sonore (voir figure 24) – Partie 1 – Source : Auteur / Sixense / Grand Reims	32
Figure 28 - Carte - Carte du bruit stratégique du Grand Reims avec les points de relevés d'intensité sonore (voir figure 24) – Partie 2 – Source : Auteur / Sixense / Grand Reims	33
Figure 29 - Schéma - Réduction de l'intensité sonore grâce aux façades végétalisées - Source : Bruitparif	38
Figure 30 - Photo - Mur anti-bruit dans le centre-ville lyonnais - Source : Bruitparif	38
Figure 31 - Photo - Paravents urbains dans la ville de Cannes, France - Source : Bruitparif	39
Figure 32 - Photo - Installation d'un mur anti-bruit absorbant les ondes acoustiques - Source : Bruitparif	39
Figure 33 - Schéma - Concept du bâtiment-écran - Source : Bruitparif	40
Figure 34 - Schéma - Concept de continuité - Source : Bruitparif	41
Figure 35 - Schéma - Concept d'éloignement et perte de décibels lors du doublement de distance – D1 = 20 mètres - Source : Bruitparif	42
Figure 36 - Photo - Exemple d'une rue en zone de rencontre dans la ville de Saint-Prix - Source : Site de la mairie de Saint-Prix	45
Figure 37 - Photo - Premier radar sonore de Paris - Source : Site de la mairie de Paris	46
Figure 38 - Schéma - Coupes d'espaces rémois et de propagation du son – Etat actuel – Source : K. Lelièvre	48
Figure 39 - Schéma - Coupes d'espaces rémois et de propagation du son – Etat après transformations - Source : K. Lelièvre	49