



HAL
open science

La complexité des sources de bruit comme symbole de l'environnement sonore urbain ?

Pierre-Olivier Mattei

► **To cite this version:**

Pierre-Olivier Mattei. La complexité des sources de bruit comme symbole de l'environnement sonore urbain ?. *Sonorités*, 2017. hal-03538542

HAL Id: hal-03538542

<https://hal.science/hal-03538542>

Submitted on 21 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La complexité des sources de bruit comme symbole de l'environnement sonore urbain ?

Pierre-Olivier Mattei

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, CNRS.

4 impasse Nikola TESLA

CS 40006

13453 MARSEILLE CEDEX 13

Au travers du prisme de mon expérience de directeur du laboratoire sans mur « Ville Silencieuse Durable », qui a regroupé et unifié pendant 4 années les recherches consacrées au sonore en milieu urbain de près de cent cinquante chercheurs académiques et industriels en France, je présente une vision de la complexité des sources sonores en milieu urbain. Cette complexité est issue non seulement de la morphologie et du tissu urbain extrêmement riches des villes mais aussi de la variabilité temporelle des usages urbains et des conditions de propagation sonore. Cette complexité des sources sonores rend si particulière la nature du sonore en milieu urbain. Nous verrons, au travers des résultats d'études de terrain, de mesures physiques et de modèles de propagation, non seulement pourquoi la signification des cartes de bruit ainsi que leur interprétation sont sujettes à caution mais aussi comment prendre en compte cette complexité dans la description du sonore en milieu urbain.

1 - Introduction

Acousticien, spécialiste en vibroacoustique et dynamique d'oscillateurs non-linéaires, je travaille au CNRS, au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique de Marseille et j'ai dirigé de début 2010 à fin 2013 le Groupement de Recherche (GdR) « Ville silencieuse durable ». Un GdR est un laboratoire sans mur dont la « durée de vie » oscille entre 4 et 8 années et qui vise à fédérer des équipes de recherches issues de milieux variés (industriels, opérateurs, institutionnels, académiques) autour d'un thème unificateur avec mise en commun de moyens. Le but de ces GdRs, il en existe près de deux cents en France, est de créer un réseau

de compétences et de savoir afin non seulement d'améliorer et de partager les connaissances mais aussi de former par la recherche. Notre GdR regroupait près de cent cinquante chercheurs issues d'une trentaine d'équipes réparties sur tout le territoire français. Son acronyme, Visible, a été pour les partenaires du projet, au-delà du sérieux du thème, un clin d'œil choisi en invoquant le visible pour désigner une entité qui s'occupait d'environnement sonore urbain. Le sonore, d'après la définition d'Henry Torgue¹ « *désigne ce qui est relatif à certaines fréquences du phénomène vibratoire et aux sensations auditives* », il peut être vu non seulement comme le domaine qui décrit tout ce qui a trait au son perçu que celui-ci soit voulu ou non, mais encore comme une « *clé de nos relations au monde, aux autres et au chronos* ». Je vais vous présenter une synthèse tout à fait personnelle de quelques travaux qui concernaient le sonore et le bruit des transports en milieu urbain.

Pour introduire mon propos, j'ai extrait le texte ci-après du livre « City on Fire » de Garth Risk Hallberg² : « *Car si les faits indiquent quelque chose, c'est que la Ville unique et monolithique n'existe pas. Ou si elle existe, elle est la somme de milliers de variations qui toutes rivalisent pour occuper le même lieu géographique* ». Même si cette citation se réfère à la ville de New-York, qui est quasiment l'héroïne de l'ouvrage, il me semble que l'on peut l'appliquer à pratiquement toutes les villes. Il est en tout cas symptomatique de retrouver dans un roman cette notion d'espace partagé, vivant, vibrant de structures temporelles et spatiales que des indicateurs trop formels ne peuvent décrire. L'idée que je souhaite vous présenter, et qui a progressivement émergé des travaux de notre GdR et d'autres publications et ouvrages que j'ai été amené à consulter pour les diverses conférences que j'ai été amené à donner, est la suivante : le tissu urbain est caractérisé par la complexité des sources sonores qui l'occupe. Sous cette acception, je regroupe le sens usuel de lieu dont la richesse résiste à une description en composantes élémentaire mais aussi le sens que lui donne Edgar Morin³ « *[...] tout ceci tisse la complexité : complexus, c'est ce qui est tissé ensemble ; c'est le tissu venu de fils différents et qui sont devenus un. Autrement dit, tout cela s'entrecroise et s'entretisse pour former l'unité de la complexité ; mais l'unité du complexus ne détruit pas la variété et la diversité des complexités qui l'ont tissé.* » Ce « tissé

¹ Henri Torgue, *Le sonore, l'imaginaire et la ville*, p. 12, L'Harmattan, 2012

² Garth Risk Hallberg, *City on Fire*, p. 17, Plon, 2015

³ Edgar Morin, *Science avec conscience*, Fayard, Nouvelle édition remaniée, p. 175, coll. Points, 1990

ensemble » permet l'émergence de qualités non incluses dans les données de départ. Cette complexité, non seulement trouve ses origines dans la morphologie du tissu urbain extrêmement riche des villes ainsi que dans la variabilité temporelle des usages urbains et des conditions de propagation sonore mais aussi résiste à la description des indicateurs car comme toute notion complexe, au milieu de l'apparent désordre émerge une nouvelle forme de régularité. On retrouve ici la préoccupation toujours d'actualité de Raymond Murray Schafer⁴ qui prévient que « *celui qui travaille sur le paysage sonore ne doit jamais confondre l'agrégat avec le singulier. Un tissu sonore n'est pas la somme de sons individuels. C'est quelque chose d'autre. Ces combinaisons complexes de faits sonores qui ne s'additionnent ni ne se soustraient restent parmi les grandes énigmes de l'illusion auditive.* » Nous verrons, au travers des résultats d'études de terrain, de mesures physiques et de modèles de propagation non seulement pourquoi la signification des cartes de bruit ainsi que leur interprétation sont sujettes à caution, mais aussi comment prendre en compte cette complexité dans la description du sonore en milieu urbain.

Je débiterai par quelques commentaires sur le bruit et en particulier sur ce qu'est le bruit. Il est souvent plus qu'utile de s'entendre sur la définition de ce dont on va parler. De nombreuses fois, on parle du bruit sans pouvoir lui associer des mots et des représentations précises. Après avoir défini le bruit, je rappellerai quelques faits à propos de la ville qui, même s'ils sont connus pour la plupart d'entre vous, permettront de bien comprendre l'importance de la ville aujourd'hui. Nous verrons ensuite, au travers de quelques exemples de sources sonores et de l'étude de la propagation sonore à grande distance en milieu urbain, comment la complexité de l'environnement rend toutes les cartes de bruit que vous pouvez voir, sinon partiellement fausses du moins difficiles à lire ! Enfin, je terminerai par la présentation d'un travail, réalisé par des collègues architectes sur les ambiances sonores urbaines, dans lequel il apparaît non seulement que la présence d'espace naturels en ville est nécessaire mais aussi que la juxtaposition de signatures sonores des trois grands types de sources sonores (d'origine humaine, mécanique et naturels) rend le sonore en milieu urbain si particulier.

⁴ Raymond Murray Schafer, *Le paysage sonore*, p.233, Wildproject, 2010

2 - Le bruit

Définir le bruit n'est pas simple. Même définir le son est loin d'être trivial. Bernie Krause⁵ dit à ce propos : « *Le son est difficile à décrire au-delà de ses propriétés physiques – fréquence, intensité, timbre et durée-. Il joue pourtant un rôle essentiel dans la façon dont les sociétés et leurs membres s'expriment ; il est la base de la voix collective de la nature, de la musique et des bruits acoustiques de toutes sortes. Ses éléments de base échappent tout simplement à nos capacités linguistiques.* Une des grandes difficulté du son et, plus généralement du sonore est qu'il est la seule perception de notre environnement qui donne accès au temps. On sait la difficulté de définir le temps, Saint Augustin⁶ dit dans le livre XI de ses confessions « *Qu'est-ce donc que le temps ? Si personne ne m'interroge, je le sais ; si je veux répondre à cette demande, je l'ignore.* » Il prend l'exemple du chant pour expliquer que l'instant n'existe que lorsqu'il se raccorde à l'anticipation du futur et la mémoire du passé. La musique, et plus généralement le son, est un des seuls domaines dont le temps est l'étoffe même. Selon Michel Eltchaninoff⁷, la musique n'est rien d'autre qu'une structuration et une esthétisation de la durée et l'écoute de la musique constitue une des voies d'accès à l'instant qui dure. De fait, tout indicateur sonore sans dimension temporelle sera forcément réducteur.

Comment définir le bruit ? On ne peut se contenter de sa définition comme « phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante » car on transfère sa définition sur celles du désagrément et de la gêne. Une bonne idée est de le définir par rapport à son opposé, par rapport au calme⁸. La première notion de calme précisément définie le fut dans le dictionnaire de l'imprimeur et lexicographe Robert Estienne en 1539⁹ qui donnait dans son dictionnaire Français-Latin comme exemple « *Quand la mer est calme* ». Le calme, c'était la nature, c'était la mer au repos. Il est intéressant de noter ici que la langue anglaise utilise le mot « noise » pour désigner le bruit et prend son

⁵ Bernie Krause, *Le grand orchestre animal*, p. 27, Flammarion, 2013

⁶ Augustin d'Hippone, *Les confessions*, livre XI, chap. XIV, p. 194, Traduction M. Moreau 1864, édition numérique réalisée par l'abbaye Saint Benoit de Port-Valais (Suisse), Samizdat, 2013

⁷ Michel Eltchaninoff, *À la recherche de la durée*, Philosophie magazine, 101, p. 53-55, 2016

⁸ Pauline Delaitre et al., *What is the Definition for the French Word "calme" in the European Directive Related to "Quiet Areas"? A Lexicographic Study from the 16th Century Until Today*, Acta Acustica united with Acustica, 98, p. 734-740, 2012

⁹ Consultable en ligne sur le site de la Bibliothèque Nationale de France (consulté le 12/09/2016), URL : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4396v/f91.image.r=robert+estienne>

origine¹⁰ dans le vieux français « noise » qui signifiait¹¹ au XI^e siècle « bruit, tapage » issu du latin *nausea* « mal de mer ». Le calme correspondait à la mer au repos et le bruit à la nausée induite par le mal de mer causé par la mer en furie. Au fur à mesure de l'évolution des esprits et de la société, peu à peu une bascule s'est faite en passant de « *mer calme* » à « *Qui n'est point agité par la tempête, qui n'a l'esprit ni ému, ni agité, tranquillité et repos* » dans le dictionnaire de César-Pierre Richelet en 1680¹², puis dans le dictionnaire de l'Académie Française en 1694¹³, en définissant le calme par rapport à son opposé comme « *lieu calme et hors du bruit* » et enfin en 1999 le Larousse illustré dit : « *calme, qui fait peu de bruit* ». Vous voyez que nous sommes passés d'une notion intimement liée à la nature à une notion qui place l'homme et l'urbanisation de notre société au centre. L'antonyme du bruit c'est le calme. On oppose donc le calme, qui correspond à la nature au repos, au bruit qui est créé par l'agitation de l'homme ! Rappelons ce texte extrait de l'épopée de l'AtraHasîs, le « Supersage », qui est une des plus anciennes trace écrite d'épopée : ce récit mésopotamien du déluge date de près de 40 siècles¹⁴ : « *Douze cents ans ne s'étaient pas écoulés que le territoire se trouva élargi et la population multipliée. Comme un taureau, le pays tant donna de la voix que le dieu-souverain fut incommodé par le tapage. – La rumeur des humains est devenue trop forte : je n'arrive plus à dormir, avec ce tapage ! Commandez donc que leur vienne l'Epidémie.* » Le dieu-souverain, Enlil, a recours à un certain nombre de solutions brutales (épidémie, sécheresse) qui échouent toutes ; Enlil se décide alors un cataclysme radical : le Déluge. Comme Enlil, nous désapprouvons les hommes qui font trop de bruit et nous continuons, depuis 40 siècles, la lutte contre le bruit mais au travers de solutions un peu moins brutales. Cette notion de calme reste évidemment très personnelle, Bernie Krause¹⁵ dit à ce propos : « *Chris Watson a cherché à comprendre si la nature du « calme acoustique » était un état d'esprit ou un lieu réel. Certains sons, tels ceux produits par la respiration, les battements du cœur, les pas, le clapotis des vagues, le murmure des ruisseaux, les chants des oiseaux ou des grillons étaient généralement qualifiés d'apaisants (ils*

¹⁰ http://etymonline.com/index.php?allowed_in_frame=0&search=noise

¹¹ Dictionnaire *Le petit Robert*, Dictionnaires Le Robert, 1993

¹² Consultable en ligne sur le site de la Bibliothèque Nationale de France (consulté le 12/09/2016), URL : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k57914v/f212.image.r=pierre+richelet.langFR>

¹³ Consultable en ligne sur le site de la Bibliothèque Nationale de France (consulté le 12/09/2016), URL : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k503971/f161.image.r=>

¹⁴ Jean Bottero & Samuel Noah Kramer, *Lorsque les dieux faisaient l'homme : Mythologie mésopotamienne*, p. 541, Gallimard, 1989

¹⁵ Bernie Krause, *op.cit.*, p. 236.

renverraient aux sons perçus dans la matrice de la mère). La tranquillité renvoie à une couche fondamentale du son, une base acoustique élémentaire sur laquelle reposent nos processus mentaux...»

Toutefois, et sur ce point j'insiste beaucoup, à chaque fois que je rencontre un homme politique ou un décideur je lui dis, comme l'a si bien écrit J.-J. Rousseau¹⁶, que l'inverse du bruit n'est pas le silence. « *Un silence absolu porte à la tristesse. Il offre une image de la mort.* » Dites-vous bien que les seuls lieux silencieux dans les villes sont les cimetières. Il reste toutefois évident qu'il n'existe pas de lieu parfaitement silencieux, Bernie Krause¹⁷, citant R. Murray Schafer dit bien que « *chaque paysage sonore caractérise de manière unique un lieu et un moment par une combinaison spécifique de ses voix, que ce soit celles de la ville (anthropophonie), de la campagne (biophonie) ou de la nature (géophonie)* ». L'anthropophonie comporte quatre types principaux de sons, les sons électromécaniques (transports, outillage, téléviseurs, ...), physiologiques (toux, respiration, bruits corporels, ...) maîtrisés (concerts, théâtre) et annexes (bruissement d'étoffe, bruits de pas...). La biophonie comporte les sons émis par les animaux (chants, cris, stridulations, vols, pas, ...). La géophonie regroupe les sons créés par l'interaction d'une des composantes en mouvement de l'environnement avec une partie fixe (bruit du vent dans les arbres ou dans les roches, bruit de l'eau tels la pluie ou les rivières, grondement de l'orage,...). Toujours suivant Bernie Krause¹⁸ : « *tout organisme vivant a dû s'adapter à la géophonie (pour que son souffle, ses claquement, rugissements, chants et autres appels puissent émerger du bruit géophonique), l'homme comme les autres animaux à dû s'adapter et a été attiré par ces voix géophoniques qui exprimaient des messages primordiaux lui permettant de se repérer, de trouver sa nourriture et, éventuellement, de se relier au monde spirituel [...] Dans certaines régions semi-arides d'Australie aux paysages monotones, certaines tribus comme les Pitjantjajaras s'orientent et se déplacent en s'aidant de repères audibles (eg suis cet itinéraire tant que tu entends le chant des fourmis vertes) [...] Les paysages sonores sauvages sont riches en information détaillée et si une photo vaut mille mots, un paysage sonore vaut mille photos. Alors que celle-là ne montre qu'une tranche bidimensionnelle de temps, des événements limités par la lumière disponible, ceux-ci sont tridimensionnels, révèlent l'espace, la*

¹⁶ Jean-Jacques Rousseau, *Les rêveries du promeneur solitaire*, Promenade V, p. 155-116, Genève, 1782

¹⁷ Bernie Krause, *op. cit.*, p. 35.

¹⁸ Bernie Krause, *op. cit.*, p. 48.

profondeur, et des événements qui se déroulent sur plusieurs plans qu'un support visuel ne peut espérer saisir... ». Comme nous le verrons par la suite, ces trois types d'environnement sonores se retrouvent presque totalement dans la perception de l'espace sonore urbain et nous y reviendrons dans la dernière partie de ce texte.

Il est important de rappeler que les conséquences sanitaires du bruit sont loin d'être négligeables. À l'instigation de l'OMS, un rapport a paru en 2011¹⁹ sur les conséquences du bruit de l'environnement en Europe de l'ouest. L'essentiel du bruit environnemental subi par les gens qui habitent l'Europe de l'ouest voit son origine dans le bruit routier. Les auteurs ont cherché un indicateur qui traduise aisément l'effet du bruit sur les citoyens. Même si globalement, je désapprouve ces indicateurs, par définition trop réducteurs et simplistes, dans le cas présent, l'exercice a abouti à un nombre vraiment parlant. Cet indicateur est le nombre d'années de vie en bonne santé perdues. Qu'est-ce que c'est qu'une année de vie en bonne santé perdue ? Par exemple, vous n'avez pas pu dormir pendant plusieurs nuits cela vous a affaibli, vous êtes tombé malade pendant une semaine et vous avez perdu une semaine de vie en bonne santé. Les auteurs ont donc estimé combien les habitants d'Europe de l'ouest (environ 400 millions de personnes) perdaient d'années de vie en bonne santé. Leur étude indique que chaque année sont perdues : 61000 années pour maladies cardiaques, 45 000 années pour trouble du développement cognitif chez l'enfant, 903 000 années pour troubles du sommeil, 22 000 années pour acouphènes et 654 000 années pour la gêne. Cela correspond à un total d'à peu près 1,5 millions d'années de vie en bonne santé perdues par an en Europe de l'ouest. C'est absolument colossal et cela rejoint toutes les études qui montrent que 86 % des français se disent gênés par le bruit à leur domicile (enquête IFOP réalisée en septembre 2014), principalement en milieu urbain. Une étude récente²⁰ évalue le coût social du bruit de l'ordre de 57 milliards d'Euros chaque année en France, dont 20 milliards d'Euros pour les seuls transports et 20 autres milliards d'Euros induits par la perte de productivité en milieu professionnel. Cette étude met clairement en avant le fait que le bruit reste un problème sociétal majeur.

¹⁹ WHO Regional Office for Europe Report, *Burden of disease from environmental noise*, 2011

²⁰ Ernst & Young pour l'ADEME, *Analyse bibliographique des travaux français et européens : le coût social des pollutions sonores*, mai 2016, consultable sur le site de L'ADEME (consulté le 12/09/2016), URL : <http://www.ademe.fr/analyse-bibliographique-travaux-francais-europeens-cout-social-pollutions-sonores>.

3 - Quelques faits sur la ville

La ville est un formidable champ d'étude. Pour nous physiciens, je peux vous assurer que ce champ d'étude présente une richesse extraordinaire qui fait appel à une grande variété de domaines de recherches, de la physique extrêmement fine et complexe, des mathématiques, de l'ingénierie, de la sociologie, de l'histoire, de la géographie, du calcul numérique, de l'architecture... C'est un champ d'étude absolument universel. Beaucoup de gens considèrent Lewis Mumford²¹, qui fut spécialiste des sciences et techniques et historien de l'urbanisme, comme le dernier grand savant humaniste universel.

L'année 2008 est une année charnière de l'histoire de l'humanité puisque, depuis cette année-là, la moitié de la population humaine habite en ville ; en France ce fut en 1940 et en Angleterre en 1840. Ainsi que l'ont clairement montré Marcel Mazoyer & Laurence Roudart²², cet exode rural est un phénomène intimement lié à l'industrialisation et aux révolutions agricoles qui en découlèrent et qui forcèrent les habitants des campagnes à partir en ville pour chercher un travail. Industrialisation, bruit et urbanisme vont vraiment de pair. Selon Raymond Murray Schafer²³, « *le bruit est concomitant avec le développement industriel (et par suite au développement de la ville). Le bruit attire l'attention et a une importance telle au point que sans bruit, l'industrialisation n'aurait pas connu le succès qu'elle a connu au point que l'on peut parler d'impérialisme sonore.* ». Actuellement les villes occupent près de 3% de la surface continentale arable de la planète. Il est estimé²⁴ qu'entre 2000 et 2050, l'étalement urbain sera multiplié par 4, l'étalement urbain passant de 300 000 km² à près de 1,2 millions de km², pour fixer les idées, cela correspond à peu près à une augmentation de 50 km² chaque jour, soit une ville comme Lausanne chaque jour pendant cinquante années ! Un point peut-être moins connu de vous c'est que les chaleurs dégagées par les villes influencent le climat. Par exemple pour le Canada, si on ne prend pas en compte les villes du nord de l'Amérique dans les modèles, on se trompe de 2°C sur la température estimée. Au Québec typiquement, il fait plus chaud de 2°C à cause des villes du

²¹ Lewis Mumford, *La cité à travers l'histoire*, Agone, 2011

²² Marcel Mazoyer et Laurence Roudart, *Histoire des agricultures du monde : Du néolithique à la crise contemporaine*, Seuil, Collection : Points Histoire, 2002

²³ Raymond Murray Schafer, *op. cit.*, p.123-124

²⁴ Shlomo Angel et al, *The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050*, Progress in Planning, p. 53-107, 2011

nord-est des Etats-Unis²⁵. On peut considérer que les villes ont une influence au niveau planétaire. Néanmoins, c'est un sujet très difficile à traiter car c'est un problème multi-échelle : de l'échelle du bâtiment de quelques dizaines de mètres carrés, à la cité d'à peu près 1 km² (au minimum) jusqu'à la zone urbaine de dizaine de milliers de km². C'est quelque chose qui physiquement, mathématiquement et numériquement est impossible à traiter à toutes les échelles. Et cette impossibilité n'est pas simplement due à un manque de savoir mais plus profondément à la nature même d'un problème tridimensionnel de très grande taille qui fluctue au cours du temps et comporte une variété considérable d'échelles spatio-temporelles qu'il est par essence absolument impossible à qualifier, quantifier et modéliser.

4 - Quelques exemples de sources de bruit

Ainsi que l'a montré le rapport de l'OMS déjà évoqué au second paragraphe, l'essentiel du bruit subit par les habitants des villes d'Europe de l'ouest a son origine dans le bruit routier. Nous allons légèrement étendre le domaine concerné au bruit de véhicules terrestres à quatre roues et plus (voitures, bus, tramways, trains) qui représentent la nuisance dominante afin de présenter quelques résultats qui mettront en exergue les problèmes et usages du bruit d'origine routière. Pour ce faire, je me suis inspiré des présentations de Ecole d'automne de 2013 « Ville et Acoustique » réalisées par C. Fillol et F. Poisson²⁶, M.-A. Pallas²⁷ et M. Bérengier²⁸.

L'origine du bruit de ce type de véhicule dépend fortement de sa vitesse. Aux vitesses inférieures à 30 km/h, le bruit des véhicules à moteur à combustion interne est dominé par le bruit du moteur. Pour les véhicules ferrés, aux vitesses inférieures à 80 km/h, c'est le bruit des équipements (moteur, compresseur, ventilation) qui domine. Aux

²⁵ Benoît Beckers, *Modélisation multi-physique et multi-échelle de la ville*. Ecole d'automne Ville et Acoustique, Nantes, 2013, consultable sur le site de la Société Française d'Acoustique (consulté le 29/09/2016) URL : <http://intranet.sfa.asso.fr/archives/J80-VISIBLE/>

²⁶ Corinne Fillol & Franck Poisson, *Bruit émis par les matériels roulants ferrés et pneumatiques*. Ecole d'automne Ville et Acoustique, Nantes, 2013, consultable sur le site de la Société Française d'Acoustique (consulté le 29/09/2016) URL : <http://intranet.sfa.asso.fr/archives/J80-VISIBLE/>

²⁷ Marie-Agnès Pallas, *Véhicules électriques et hybrides, quels enjeux acoustiques ?* Ecole d'automne Ville et Acoustique, Nantes, 2013, consultable sur le site de la Société Française d'Acoustique (consulté le 29/09/2016) URL : <http://intranet.sfa.asso.fr/archives/J80-VISIBLE/>

²⁸ Michel Bérengier, *Impact des aménagements urbains sur le bruit routier*. Ecole d'automne « Ville et Acoustique ». Nantes 2013, consultable sur le site de la Société Française d'Acoustique (consulté le 29/09/2016) URL : <http://intranet.sfa.asso.fr/archives/J80-VISIBLE/>

moyennes vitesses, entre 30 km/h et 130 km/h pour les véhicules routiers et entre 80 km/h et 300 km/h pour les véhicules ferrés, c'est le bruit de roulement, qui varie en $30 \log$ (vitesse), qui domine. Au-delà de 300 km/h, le bruit aérodynamique, qui varie en $55 \log$ (vitesse), domine (voir Figure 4-1).

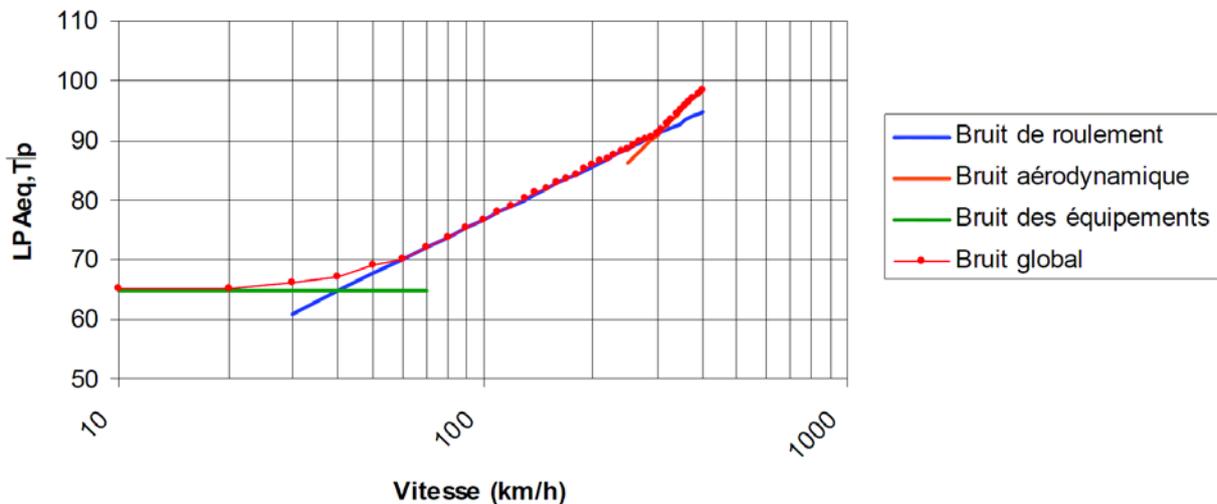


Figure 4-1 : Répartition du bruit ferroviaire (d'après F. Poisson & C. Fillol)

Le bruit des véhicules ferrés se caractérise par la mesure du bruit au passage (mesure prise à 7,50 m de la voie à 1,20 m de hauteur) qui conduit à définir 2 indicateurs, le niveau équivalent en dBA sur le temps de passage T_p et, sur le temps d'exposition T_e , le Sound Exposure Level (voir figure 4-2). Le signal présente une structure temporelle caractéristique, relativement brève sans être impulsionnelle, il comporte un spectre à large bande. La source principale de ce bruit prend son origine dans le bruit de roulement.

Le bruit de roulement est causé par les rugosités (qui sont des défauts de quelques mm) de la roue et du rail. Ces irrégularités agissent comme des micro-impacts qui font vibrer la roue qui rayonne principalement en haute fréquence, le rail qui rayonne principalement en moyenne fréquence et les traverses qui rayonnent principalement en basse fréquence. Pour les tramways (voir figure 4-3) la situation est comparable et le bruit du moteur domine à très basse vitesse (inférieur à 20km/h). La localisation du bruit en partie basse du véhicule permet une atténuation efficace par des écrans bas.

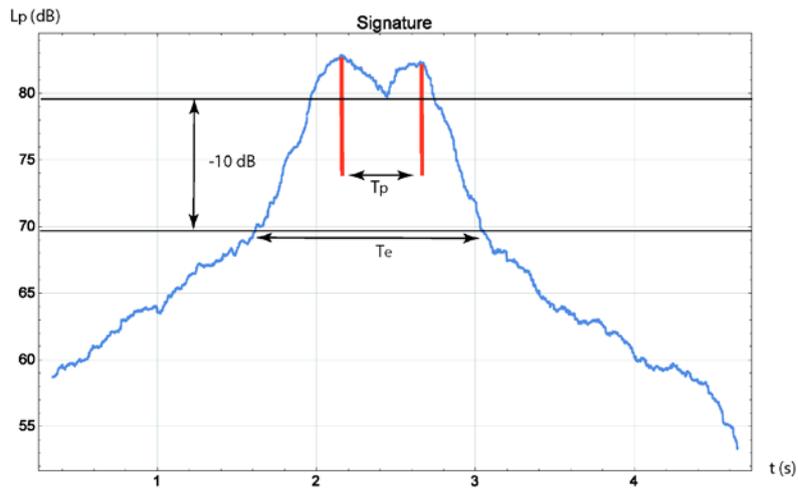


Figure 4-2 : Enregistrement d'un AGC au passage à 80 km/h (d'après F. Poisson & C. Fillol)

En règle générale, les solutions les plus efficaces pour la réduction des nuisances sonores résultent d'une combinaison de solutions sur le matériel roulant (optimisation des systèmes de ventilation et de refroidissement, diminution du bruit de roulement, optimisation de l'aérodynamique) et sur l'infrastructure (pose d'écran, entretien des voies, mise en place d'absorbeurs vibratoires) et sont à promouvoir.

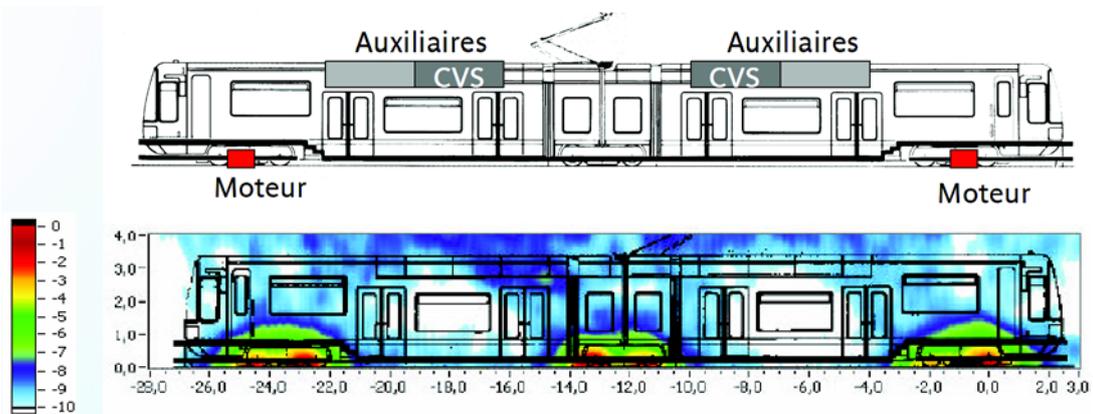


Figure 4-3 : Identification des sources sonores d'un tramway (d'après F. Poisson & C. Fillol)

On peut noter que le bruit n'est pas toujours négatif, le principe d'un dispositif visant à identifier la rugosité du rail et de la roue d'un train en service à partir de mesures du bruit rayonné par la roue et le rail a été validé²⁹. La mesure du champ acoustique rayonné par la roue permet (voir figure 4-4) d'identifier le champ vibratoire de la roue et du rail et ainsi d'en déduire la force excitatrice et donc la rugosité.

²⁹ Pierre-Emile Chartrain. Lecture acoustique de la voie ferrée. Thèse CIFRE SCNF-CNRS, 2013

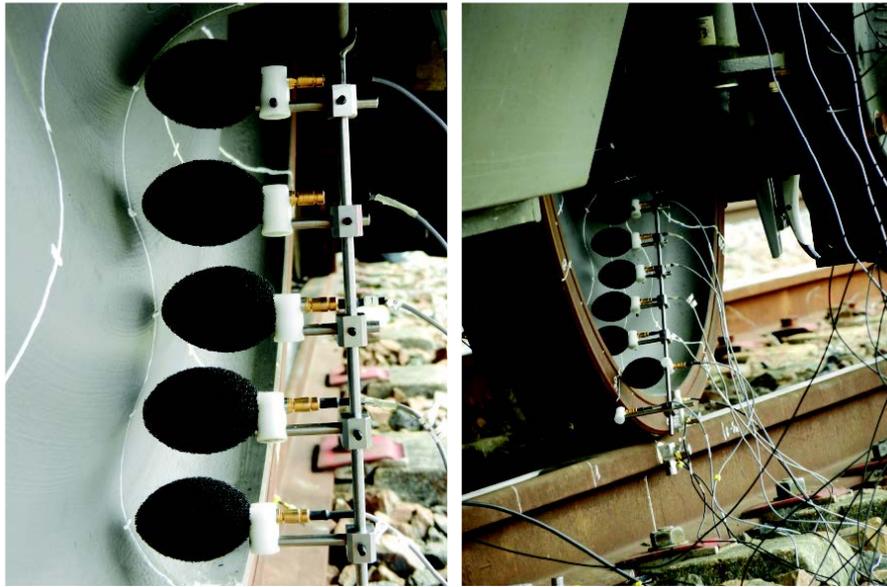


Figure 4-4 : Mesures acoustique sur une roue de train (d'après P.E. Chartrain)

Le bruit des véhicules routiers est par nature même beaucoup plus difficile à quantifier et contrôler. Il varie, pour un flot de véhicules à vitesse stabilisée, comme $20 \log(\text{vitesse})$. Même si de grands progrès ont été réalisés, en particulier sur le bruit des motorisations, il reste encore de très nombreux problèmes à régler.

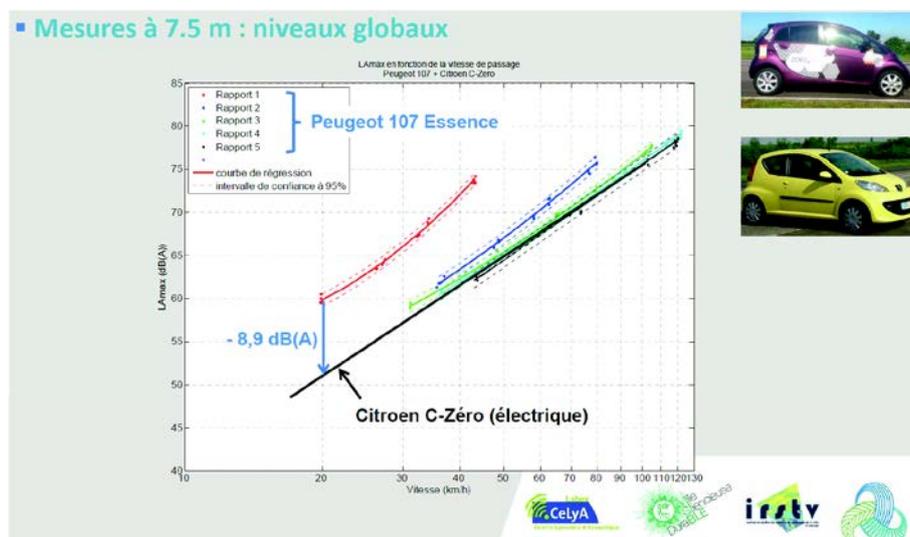


Figure 4-5 : bruit au passage de véhicules à moteur électrique et à combustion interne (d'après M.-A. Pallas)

Alors que beaucoup voient dans le véhicule électrique la panacée, les mesures réalisées montrent que le bilan est bien plus nuancé. Les mesures réalisées par Marie-Agnès Pallas sur deux véhicules de même classe du même fabricant montrent qu'aux très basses vitesses (typiquement inférieures à 30 km/h, lorsque le bruit moteur domine) le véhicule électrique émet au passage un niveau sonore abaissé de près de 9 dBA (voir figure 4-5). Au-delà, le gain est quasiment nul car le bruit moteur est masqué par le bruit de roulement. En outre, si le quart des véhicules insérés dans un trafic sont électriques (avec un niveau sonore réduit de 10 dBA par rapport aux autres véhicules), le gain sur le niveau global n'est que 1 dBA, si la moitié des véhicules sont électriques, le gain approche les 3 dBA.

Il est plus aisé de quantifier le gain apporté par des infrastructures optimisées qui n'ont évidemment d'influence que sur le bruit de roulement. Le gain apporté par le remplacement d'un enrobé bruyant par un enrobé silencieux de type drainant est aisément quantifiable et peut amener une réduction du niveau sonore de près de 10 dB (un gain de 3 à 5 dB est plus souvent observé). Le gain sur le niveau sonore apporté par les ralentisseurs ou des passages piétons pavés est globalement négatif, une augmentation du niveau sonore de 3 à 10 dBA est généralement mesurée (voir figure 4-6), et ce indépendamment de la vitesse réduite dans les secteurs urbains qui comportent des équipements routiers qui limitent le niveau sonore et améliorent la sécurité.

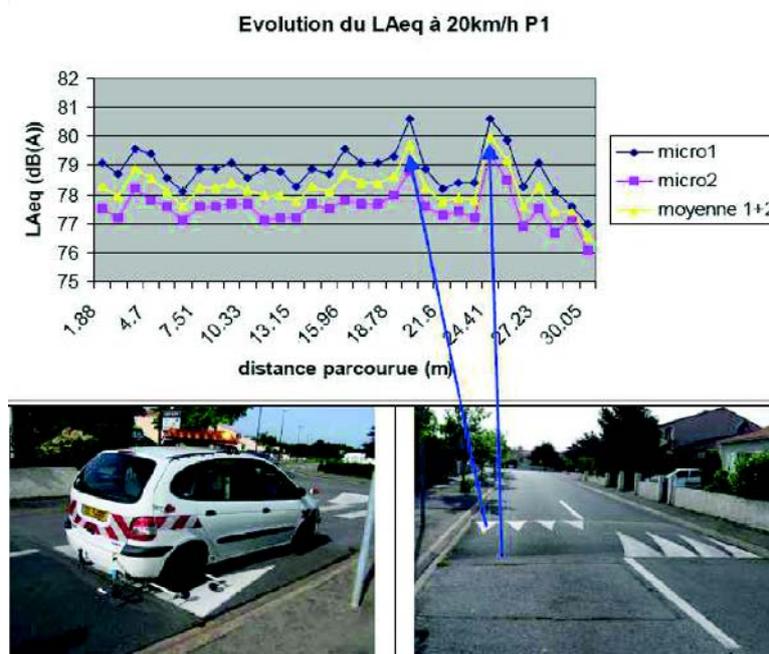


Figure 4-6 : bruit d'un véhicule vers 30 km/h passant sur ralentisseur (d'après M. Bérengier)

5 - La propagation sonore

Un résultat que je souhaitais mettre en évidence concerne la complexité des phénomènes de propagation sonore en milieu urbain³⁰. Vous savez que la législation Européenne a imposé depuis 2008 d'avoir des cartes de bruit, l'intérêt pour les Acousticiens de telles cartes est grand même si, ainsi que l'a fait malicieusement remarquer Raymond Murray Schafer³¹, « *L'intérêt véritable d'une législation dur le bruit ne résidait pas dans son efficacité - Depuis le déluge, a-t-elle jamais porté ses fruits? - mais qu'elle permettait en revanche d'établir des comparaisons entre les sons-phobie des diverses époques et sociétés. Les sons proscriptions ont une importance considérable (mots interdits : nom des peuples ennemis, nom de Dieu, des démons, interdiction de faire du bruit la nuit par peur d'éveiller les démons,...). Fait intéressant, tout son-tabou devient tout-puissant* ». La difficulté d'interprétation d'une carte de bruit réside dans sa conception même qui traduit un niveau sonore, par définition variable dans le temps, par une couleur fixe sur une image. Toujours selon Raymond Murray Schafer³² « *Les diagrammes (carte de bruit) ne sont que des points de repère. Mais peut-on attendre de la visualisation des sons davantage que des indications que l'oreille devra ensuite pousser plus loin à sa manière ? Ils sont plus facilement lisibles par les non-initiés que les autres types de représentation graphique, ce qui est un avantage... Dans tous les cas, si vous n'entendez pas méfiez-vous !*».

Outre cette difficulté de corrélation son / image, ce qu'il faut toujours garder à l'esprit est que ces cartes de bruit sont faites à partir de codes de calculs qui estiment des niveaux sonores à partir de quelques mesures et d'une modélisation plus ou moins fine de la typographie de la ville, des sources de bruit et d'un modèle de propagation des ondes sonores. Les cartes ne sont que la représentation d'une situation idéalisée qui n'a peut-être jamais existé. Par exemple, sur l'agglomération Lyonnaise, il y a une trentaine de balises qui vont mesurer le bruit (voir figure 5-1), et à partir de ces balises réparties sur toute l'agglomération en fonction de la densité de population (mais d'autres choix pourraient se révéler tout aussi pertinents) on va estimer les niveaux de bruit sur toute l'agglomération.

³⁰ Benoît Gauvreau, *Propagation acoustique en milieu extérieur. Généralités sur les phénomènes physiques*. Ecole d'automne « Ville et Acoustique ». consultable sur le site de la Société Française d'Acoustique (consulté le 29/09/2016) URL : <http://intranet.sfa.asso.fr/archives/J80-VISIBLE/>

³¹ Raymond Murray Schafer, *op. cit.*, p. 197

³² Raymond Murray Schafer, *op. cit.*, p. 289

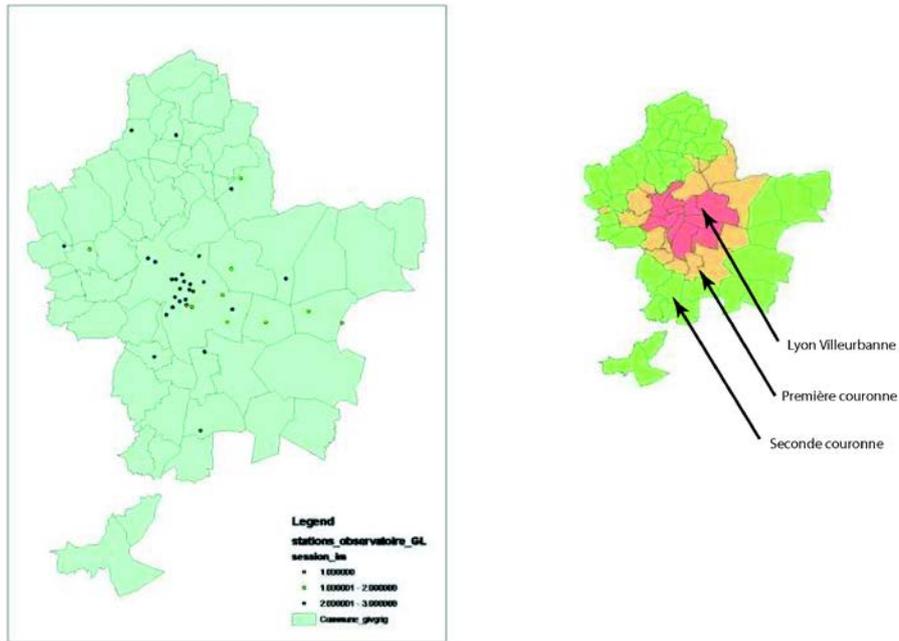


Figure 5-1 : Répartition des balises de l'agglomération Lyonnaise (d'après B. Vincent)

Pour estimer un niveau de bruit, il faut disposer d'une mesure du niveau sonore en un point (ou une série de points), puis vous devez propager cette onde sonore dans le milieu jusqu'au récepteur (voir figure 5-2).

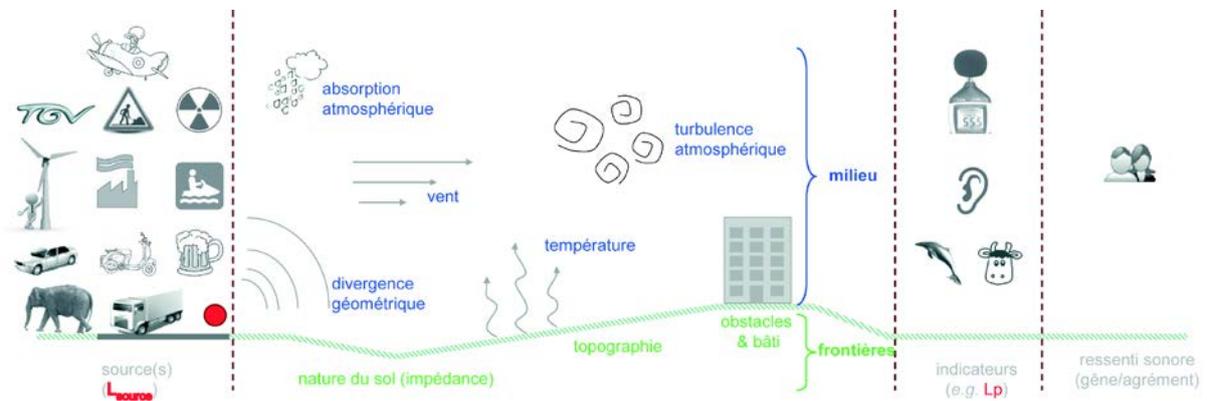


Figure 5-2 : La propagation, depuis la source jusqu'au récepteur (d'après B. Gauvreau)

Or le milieu change au cours du temps, il change au cours de la journée, des saisons, il change en fonction de l'altitude et de l'espace entre la source et le récepteur. L'absorption atmosphérique change avec l'humidité de l'air. L'atmosphère est animée de mouvements dont la direction et la vitesse (vent et convection naturelle), comme sa température (la célérité des ondes sonores varie comme la racine carrée de la température en exprimée en

degrés Kelvin), varie continûment dans l'espace et le temps, et ce faisant modifie la direction de propagation des ondes sonores et leur amplitude. La figure 5-3 montre un exemple de propagation sonore à 4 kHz en atmosphère au repos (cartographie de gauche) en présence de vent à 2 m/s en condition défavorable (cartographie de droite), dans ce cas le vent souffle depuis le récepteur vers la source. La zone d'ombre s'élargit et l'énergie sonore se concentre dans des bandes plus étroites.

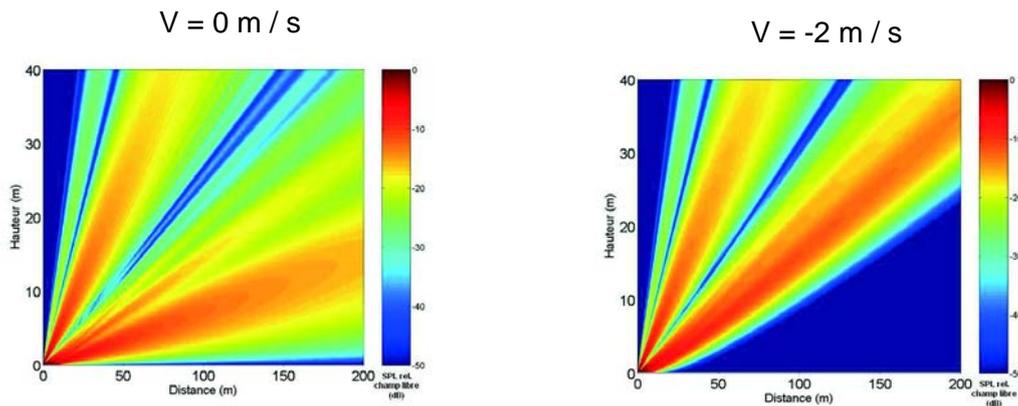


Figure 5-3 : propagation sonore en atmosphère au repos et en présence de vent en condition défavorable (d'après B. Gauvreau)

La figure 5-4 montre un exemple de propagation sonore à 4 kHz en atmosphère au repos (cartographie de gauche) en présence de vent à 2 m/s en condition favorable (cartographie de droite), dans ce cas le vent souffle depuis la source vers le récepteur. Dans cette configuration, une grande part de l'énergie sonore est diffusée dans la zone d'ombre qui existait au sol en l'absence de vent.

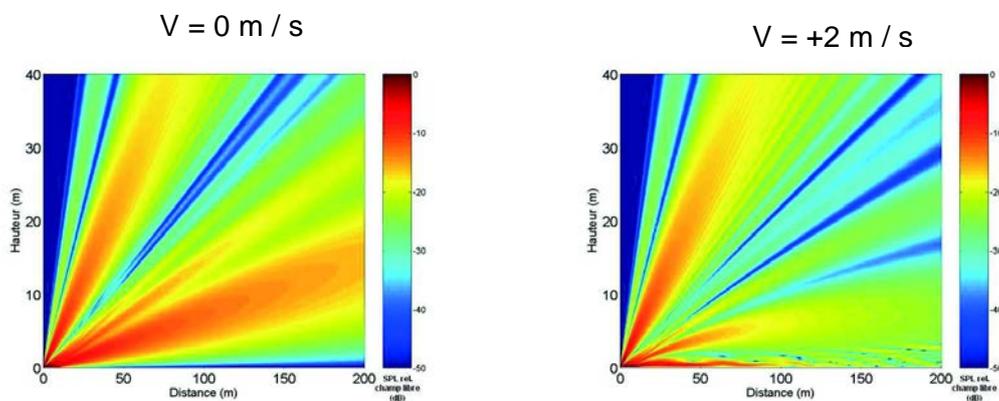


Figure 5-4 : propagation sonore en atmosphère au repos et en présence de vent en condition favorable (d'après B. Gauvreau)

Ces effets s'expliquent par le fait que la vitesse du vent se combine à la vitesse des ondes sonores et en présence de vent, la couche limite qui se développe au sol fait que la vitesse du vent varie progressivement passant du zéro au sol à sa célérité à sa célérité maximale suivant un profil logarithmique induisant un gradient de vitesse de propagation des ondes qui de fait induit une trajectoire de propagation des ondes non rectiligne.

La présence de gradients thermiques dans une atmosphère au repos conduit aux mêmes types de résultats. Si la température augmente avec l'altitude (on parle d'inversion thermique), la vitesse des ondes augmente avec l'altitude et les ondes sonores seront déviées vers le sol, lorsque la température diminue (ce qui est la situation normale) avec l'altitude, la vitesse des ondes sonores diminue aussi avec l'altitude et les ondes sonores seront déviées vers le haut.

La turbulence atmosphérique perturbe la propagation des ondes en introduisant une part aléatoire (amplitude, phase et direction de propagation des ondes). On montre dans la figure 5-5 un exemple de propagation d'une onde sonore à 4 kHz dans une atmosphère au repos (cartographie de niveau de gauche) et en présence de turbulence (cartographie de droite) ; dans cet exemple, la turbulence homogénéise les niveaux dans l'espace et diffuse l'énergie sonore dans la zone d'ombre.

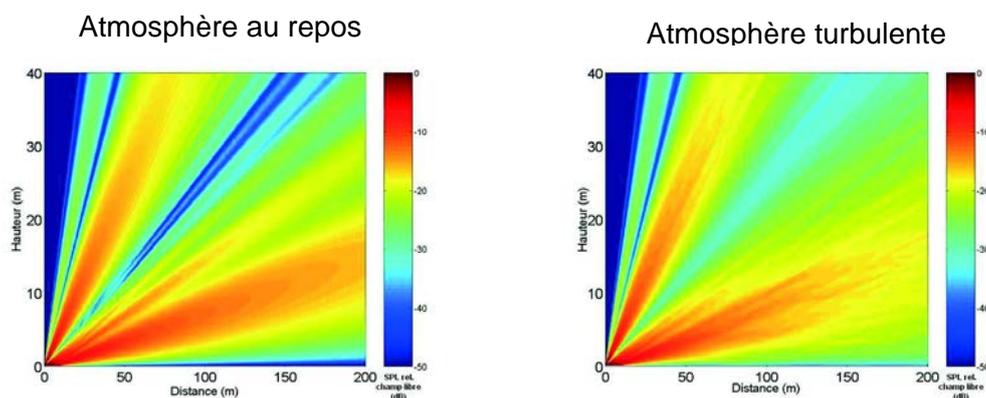


Figure 5-5 : propagation sonore en atmosphère au repos et turbulente (d'après B. Gauvreau)

Les bâtiments se présentent comme des obstacles à la propagation qu'il est parfois difficile à modéliser finement (comment décrire les irrégularités des façades, les fenêtres ouvertes ou fermées, etc.). Le sol change au cours des saisons ; par exemple l'impédance d'un sol naturel n'est pas la même en été, en hiver, au printemps, ou lorsque le sol est mouillé, couvert de

glace, de neige ou sec. Les végétaux changent au cours de l'année. Cette variabilité naturelle (dans l'espace et dans le temps) du milieu va modifier la propagation sonore. En outre, la difficulté d'accès à la connaissance des caractéristiques du milieu de propagation (mesurer la température, la vitesse du vent ou encore le niveau de turbulence de l'atmosphère à tout instant et en tout point de l'espace d'une ville n'est tout simplement pas possible) ajoute encore aux incertitudes. Enfin, il faut définir des indicateurs qui estiment le champ sonore qui arrive aux points de mesure, comme le niveau sonore, le L_p (pour « Level of Pressure»). Le résultat de ces mesures et de ce calcul est une courbe qui indique le niveau sonore mesuré en un point de la ville (par exemple la façade de votre immeuble). On trouve parfois des indicateurs comme $L_p = 45,75$ dB ; attention, méfiez-vous, plus de deux chiffres après la virgule n'a vraiment aucun sens en acoustique urbaine. Plus justement, on a un niveau $L_p = 45$ dB +/- 10 dB. Cette variation de plus ou moins 10 dB, en pratique, est considérable ; cela correspond à des niveaux sonores qui d'acceptables deviennent inacceptables. Toutes les cartes qui ne tiennent pas compte de ces fluctuations, n'ont pas beaucoup de sens puisque ces variations ne sont pas liées qu'à une incertitude des codes de calcul ou des sources mais aussi à la variabilité même de notre milieu environnant. Comme il varie en permanence, la propagation sonore change constamment et le niveau reçu en un point varie continûment. B. Gauvreau³³ l'énonce très clairement : « *Le comportement d'un modèle correspond dans une certaine mesure, et dans une certaine plage de validité seulement, au comportement de la réalité. La ressemblance n'est quantifiable que dans quelques cas* », et ce que le modèle soit numérique ou expérimental.

Ceci n'est pas une vue de l'esprit, quand on réalise des mesures dans des bâtiments, c'est effectivement ce qu'on observe. Par exemple une étude³⁴ a montré que la variabilité des écarts moyens en niveaux L_{A-eq} mesurés en façade sur une année variait (voir figure 5-6), indépendamment des variations de niveaux moyens relevés, entre 5 dB (le samedi) et plus de 8 dB (le mardi) et montrait près de 10 dB entre l'écart jour-nuit le plus faible (2,6 dB le samedi) et le plus élevé (12 dB certains lundi). Les riverains pouvant être confrontés même le samedi, qui était le jour de la semaine qui présentait le moins de variation de niveau

³³ Benoît Gauvreau, *op. cit.*

³⁴ Bruno Vincent, Acoucity, *L'environnement Sonore Urbain, un enjeu pour le développement durable de la ville*. Ecole d'automne « Ville et Acoustique ». Nantes, 2013., consultable sur le site de la Société Française d'Acoustique (consulté le 29/09/2016) URL : <http://intranet.sfa.asso.fr/archives/J80-VISIBLE/>

(repéré par un signe + rouge sur la figure 5-6), à des écarts extrêmes pouvant atteindre près de 16 dB entre un « samedi calme » (le niveau moyen sur la journée relevé était de 62 dB) et un « samedi bruyant » (niveau moyen sur la journée relevé était de 78 dB). Ces écarts considérables s’observent dans de nombreux sites et ne dépendent que des conditions de propagation, mais alors, pourquoi des cartes ?

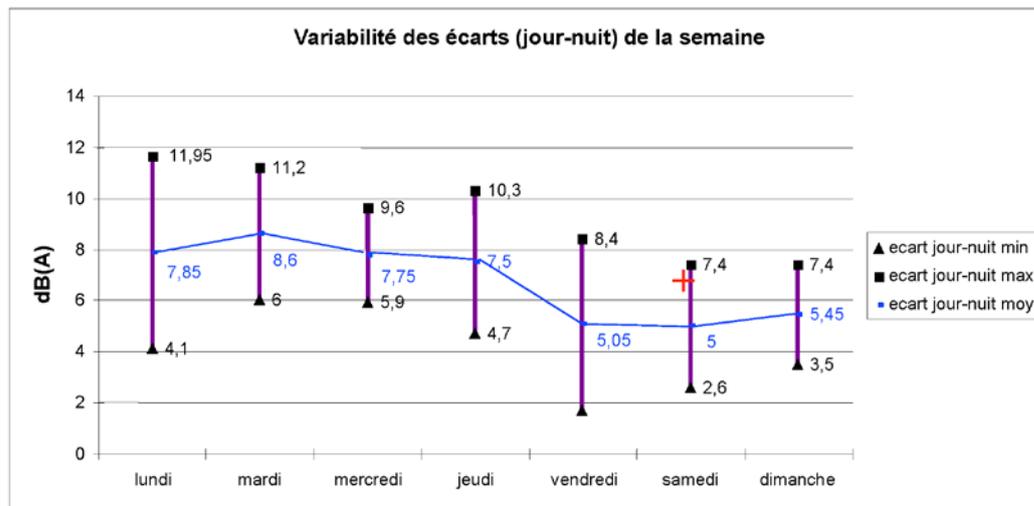


Figure 5-6 : Variabilité des niveaux sonores (d’après B. Vincent)

Comme le dit bien Joël Chételat³⁵ « *La carte comme tout modèle de la réalité, est vue comme une réduction du monde, tant dans sa forme que dans son contenu et ne reflète qu’une vision parmi tant d’autres. Et paradoxalement, c’est ce processus de simplification [...] qui confère à la carte toute son utilité. [...] Elle est un outil de raisonnement et de communication.* »

L’association aux cartes de bruits usuelles d’échantillons sonores, association rendu plus facile par les Technologies de l’Information et de la Communication (TIC), permet de nuancer le message figé et monolithique de la carte de bruit usuelle. Il faut malgré tout nuancer le propos car le coût en terme de gestion des données est pour l’instant inenvisageable, tant du point de vue de la capture des échantillons sonores (par définitions pris à une période donnée et non susceptibles d’évoluer) que des cartes de bruit calculées à partir des signaux capturés par les balises pour toutes les raisons évoquées ci-avant. La modélisation de la cartographie sonore à l’aide des TIC reste encore balbutiante, et de gros efforts seront

³⁵ Joël Chételat, *La figuration cartographique de l’espace sonore*, Images Re-vues [En ligne], 7, 2009, document 8, mis en ligne le 21 avril 2011 (consulté le 08 juin 2016), URL : <http://imagesrevues.revues.org/437>

encore à fournir, en particulier l'usage interactif de cartographie couplée à des séquences sonores pour lesquels de nouveaux outils restent encore à développer. Ceux-ci devront permettre de saisir les textures, le vocabulaire ainsi que les rythmes et fines modulations propres aux espaces sonores urbains.

Autant la cartographie globale des villes et des espaces sonores reste contestable, ou en tout cas doit encore progresser, la cartographie locale est porteuse de sens. Les deux exemples ci-après en montrent l'intérêt. Le premier exemple, issu du projet VegDUD³⁶, s'intéressait à l'effet de la végétalisation des façades sur la propagation sonore. À partir de mesures d'impédance de façades végétalisées, les auteurs ont pu calculer l'effet de la présence de végétaux en façade d'immeubles entourant une voie routière. L'effet de végétaux conduit à une réduction des niveaux sonores sur la partie haute des façades mais reste sans effet pour le bruit au niveau de la voirie comme on peut l'observer sur les cartes présentées figure 5-7. La carte est ici porteuse de sens car elle permet la visualisation immédiate d'un effet contrôlé.

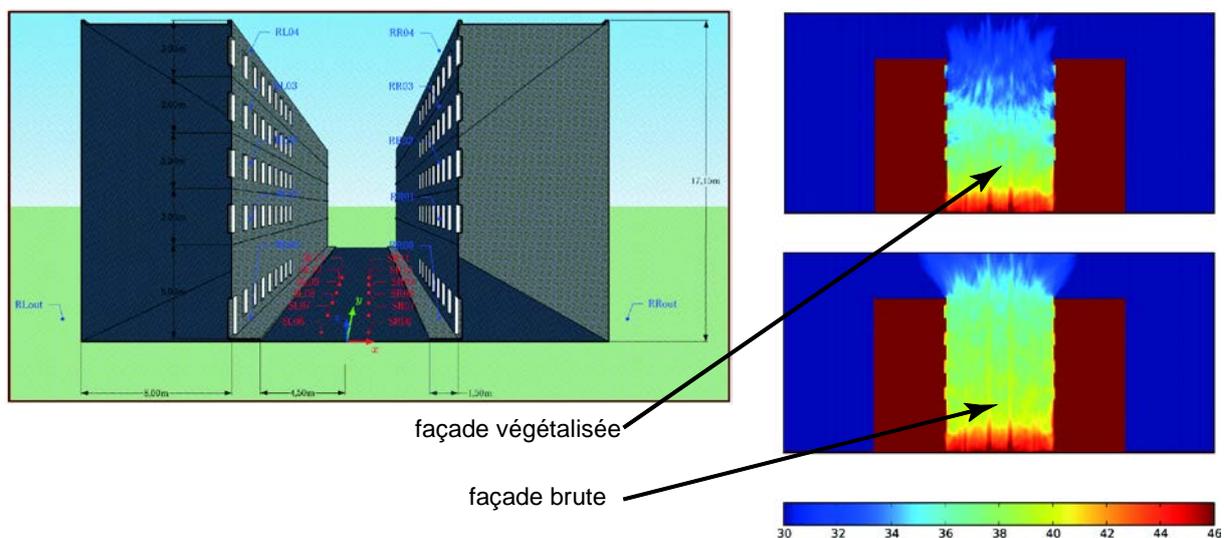


Figure 5-7 : Effet de la végétalisation des façades sur les niveaux sonores (d'après B. Gauvreau)

³⁶ Marjorie Musy – coordinatrice, *Rôle du végétal dans le développement urbain durable ; une approche par les enjeux liés à la climatologie, l'hydrologie, la maîtrise de l'énergie et les ambiances*. Programme ANR - Villes Durables (Edition 2009), 2010-2014

Le second exemple, issu du projet Hosanna³⁷, concernait l'effet de l'implantation in situ d'un écran végétalisé de basse hauteur en bordure d'une voie routière, le quai Fulchiron à Lyon.

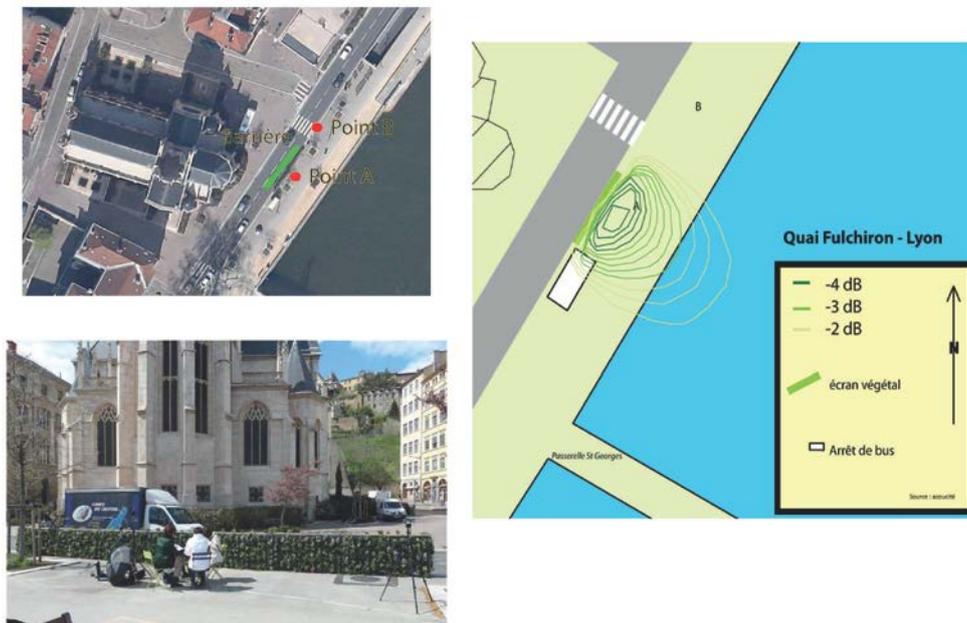


Figure 5-8 : Effet d'un écran végétalisé sur les niveaux sonores (d'après B. Vincent)

L'étude combinait des mesures physiques, des calculs de cartographie sonore à faible distance et des enquêtes de terrain. Le niveau mesuré en bordure de la voie effectué sur 4 jours avec 4000 véhicules jour (avec environ 2% de poids-lourds) donnait un $L_{A-eq(12h-18h)}=68$ dB. L'ajout d'un écran végétalisé de 1m de haut sur 10 m de long a conduit à un gain (mesuré et calculé) d'environ 4dB au droit de l'écran. La carte de bruit présentée figure 5-8 est ici encore porteuse de sens car elle permet de visualiser aisément la portée d'un effet contrôlé.

6 - Ambiances sonores urbaines

Le dernier résultat que je souhaitais mettre en évidence concerne des travaux qui ont été effectués il y a quelques années par des collègues qui travaillent dans deux écoles nationales d'architecture, l'une à Bordeaux et l'autre à Grenoble et à l'INRETS³⁸. Ils étaient partis du

³⁷ Bruno Vincent, Acouctité, *Réduction des niveaux de bruit par des solutions naturelles et artificielles combinées et durables*. PCRD 7, 2009-2013

³⁸ Catherine Sémidor, Henry Torgue, Jacques Beaumont. *ASTUCE, Ambiances Sonores, Transports Urbains, Cœur de ville et Environnement*, ADEME, 2010

postulat qu'améliorer la qualité sonore d'un cadre de vie ne se limite pas à la réduction du niveau du bruit et qu'elle concerne aussi un équilibre calme-bruyant spécifique à chaque zone. De plus, l'espace sonore n'est pas fixe, un même lieu reçoit et développe des espaces sonores différenciés au cours du temps ; comme l'avait si bien noté Saint Augustin, il n'y a pas de vérité sonore hors du temps. Il y a donc nécessité de définir des indicateurs adaptés à cette qualification du bruit en environnement complexe que la simple lecture d'une carte du bruit ne suffit pas à décrire. En menant des enquêtes de terrain, les chercheurs se sont aperçus que la complexité du milieu urbain qui a été évoquée tout à l'heure, non seulement se retrouve dans le sonore et mais représente une attente des citoyens. Dans un milieu urbain vous avez plusieurs types de sources sonores et des morphologies urbaines très différentes. Une ville ce n'est pas uniquement de grandes rues haussmanniennes, c'est une succession d'espaces de morphologies différentes (rues très étroites ou ouvertes, espaces ouverts, espaces confinés) où il existe une typologie de sons tridimensionnels. Typiquement dans une grande place, où le son possède une structure tridimensionnelle marquée, la structure sonore diffère de celle d'espaces fermés, où le son résonne et n'est pas facile à localiser, ou encore de celle des grandes rues, où le son est guidé dans une direction privilégiée. La complexité d'une ville se retrouve aussi au niveau de ses usages, des situations temporelles et des demandes des citoyens.

En fait, ce qui est ressorti des enquêtes, c'est que malgré, ou grâce à, la complexité des ambiances sonores urbaines, celles-ci peuvent se caractériser par 3 types de séquences sonores : la première, nommée en tête de toutes les enquêtes d'opinion, se caractérise comme une séquence animée, où il y a une présence animée, une présence humaine forte, des cafés, des parcs, des commerces et qui possède une signature moyenne fréquence et peut être identifiée à l'anthropophonie de Bernie Krause. La deuxième séquence sonore, correspond à une séquence sonore circulée liée aux transports collectifs ou individuels, qui ne reprend que la partie machinerie de l'anthropophonie. Elle se caractérise par une signature très basse fréquence. Et enfin, le troisième type de séquence sonore se caractérise par une séquence sonore calme, associée aux bruits naturels, au bruit du vent dans les feuilles, aux oiseaux, au bruit des fontaines... Elle possède une signature haute fréquence et est un mélange de la biophonie et de la géophonie. L'essentiel de la gêne ressentie était causé par des sons liés à la circulation tels que les voitures et les motos. Le ressenti était

d'autant plus défavorable que le véhicule utilisait un espace d'ordinaire réservé aux piétons ou au tramway (pour mémoire, vous savez que 90% de l'espace public urbain est dédié à, voire privatisé par, la voiture). D'une manière générale, les enquêtes font ressortir que les sources de bruit liées aux activités humaines sont ressenties favorablement : les habitants apprécient entendre les bruits de pas, les conversations, le bruit d'une poussette qui roule.

La caractéristique sonore d'un espace urbain à être pleinement une ville tient à cet équilibre entre ces trois séquences sonores complexes à composantes basses, moyennes et hautes fréquences, les séquences sonores liées à la présence des hommes, les séquences sonores liées au mouvement et les séquences sonores qui traduisent la présence de parcs, de fontaines et plus généralement d'un milieu naturel. L'environnement sonore urbain, qui catégorise à part les sons liés au mouvement des transports, diffère en ce sens du paysage sonore naturel. Si vous n'avez pas un parc au milieu d'une ville, les gens considèrent que la ville n'est pas bonne d'un point de vue acoustique. Il faut insister sur la présence de jardins ou d'espaces naturels qui est très importante en ville, pas uniquement pour la biodiversité, mais aussi pour l'agrément sonore des citoyens. A tel point qu'une expérience a été tentée en 2014 à Aix, dans le parc de la Bastide Cézanne qui jouxte une autoroute³⁹, où la structure sonore du parc a été modifiée amoindrissant la signature spectrale du bruit routier et en renforçant et maintenant les sonorités naturelles du parc (faune et bruit d'eau) pour rendre l'espace sonore non pas moins bruyant mais plus agréable pour les usagers du parc.

La description des paysages sonores en trois composantes (anthropophonie, biophonie et géophonie) ont conduit Bernie Krause à introduire le concept de niche écologique sonore qui permet de circonscrire le territoire géographique des animaux par analyse de l'expression biophonique. Les niches de différentes espèces coexistent à différents moments de la journée et quand l'une s'arrête, l'autre prend le relais donnant l'impression de conserver intacte la structure acoustique sous-jacente et ceci ne peut se produire que si suffisamment d'espèces partagent un même territoire. Ceci introduit une difficulté dans la reconstitution des paysages sonores naturels en ville dans des espaces souvent trop petits et plaide pour un plus grand partage de l'espace urbain.

³⁹ Frédéric Fradet, *Conception d'un paysage sonore pour le parc de la Bastide Cézanne à Aix-en-Provence*, 2014 (consulté le 12/09/2016), URL : www.thinphonic.com

Ces séquences de temporalité et de rythme sonore, vus comme des marqueurs de la ville, ne peuvent pas être décrits par une carte sonore. Ce qui ressort c'est que la mixité des usages marque la centralité et qu'ainsi aménager le centre-ville revient à équilibrer ce qu'on appelle la permittivité de l'espace public urbain⁴⁰. Cela revient à autoriser les voitures à certains moments, les interdire à d'autres, permettre d'entendre les oiseaux, les sons naturels, le bruit de l'eau (fut-il artificiel comme les fontaines) ainsi que les sons de l'activité humaine. Aucune ville n'est fixe à toute heure et pour ses habitants, la plupart des éléments sonores qui vont rythmer un lieu ont des rapports à la mobilité, les déplacements et la temporalité. Ainsi, plus qu'un simple élément structurant de l'espace urbain, le tramway est un des transports les plus appréciés, non seulement comme moyen de transport en tant que tel, mais comme marqueur de la pulsation et du temps d'une ville. Ces marqueurs sonores du temps sont, mais de moins en moins, les cloches des églises en occident (dans un pays du moyen orient, le chant du muezzin marque le temps qui passe). En particulier la cloche ou la sonnette du tramway font partie de la signature sonore de la ville, contribuent à son identité et scandent l'animation du centre-ville. Raymond Murray Schafer dit à ce propos que « *Les rythmes circadiens et saisonniers de la vie des villages et petites villes est marqué par des signaux sonores (cloches, sirènes, agitation, brouhaha de la rue ou de l'école, suivis de silence) et l'augmentation du bruit de circulation conduit souvent à une réduction de la diversité des signaux sonores* ». La réimplantation du tramway en ville se traduit par une limitation de la circulation routière sur la voie occupée par le tramway, atténuant ainsi le bruit routier et autorisant de nouveau une plus grande palette de signaux sonores.

En outre, pour beaucoup, le tramway est vu non seulement comme un identifiant de la qualité d'un lieu, mais aussi comme un repère et un rappel de la secondarité de l'espace : il témoigne qu'à tout moment, on peut monter dans un véhicule qui nous emmène dans un ailleurs maîtrisé. Ceci se retrouve actuellement dans beaucoup de villes qui s'équipent ou se rééquipent de tramways. Par exemple, Marseille était une des villes la mieux équipée d'Europe en tramway au début du XXème siècle ; le réseau s'était dégradé au cours des années et c'est en train de changer, simplement parce que les citoyens s'aperçoivent que le tramway c'est très bien. Les citoyens sont contents de savoir qu'il y a un tramway en bas de chez eux et que leur maire a bien aménagé l'espace urbain en améliorant leur confort.

⁴⁰ Catherine Sémidor, Henry Torgue, Jacques Beaumont, *op. cit.*

Plus récemment, de nombreuses villes ont décidé d'agir en impliquant les citoyens pour lutter contre le bruit. Nantes ouvre une maison de la tranquillité publique en novembre 2016, à Lausanne, depuis le 15 octobre 2015, des correspondants de nuit agissent sur le terrain pour responsabiliser les noctambules, Rennes a lancé depuis fin 2015 une application dédiée aux smartphones afin de signaler les incivilités de tout ordre et va lancer un projet fin 2016 une expérimentation sur des « capteurs citoyen » géolocalisés et dédiés à la mesure de NO², CO², température, hygrométrie et bruit afin de réaliser une cartographie accessible par internet afin d'informer la population et si besoin de lancer des actions. En avril 2016, des balades sonores étaient proposées dans différentes villes de Suisse. Enfin, on peut signaler le projet du collectif de chercheurs, Good City Life⁴¹, qui vise à créer des cartes interactives, hélas non sonorisées, mais qui représentent les lieux urbains classé en composantes sonores principales suivant 5 toponymies : transport, nature, humain, musical et mécanique. Ces diverses actions sont révélatrices d'une prise de conscience, tant des pouvoirs publics que des citoyens, de la nécessité de protéger et d'améliorer l'environnement sonore urbain ou naturel. Et l'on ne peut que s'en réjouir.

7 – Conclusion

Pour conclure, je dirais que le son est intimement lié aux sociétés humaines, il peut être augmenté mais pas trop, réduit mais pas trop, maîtrisé, il permet de connaître et d'améliorer l'environnement. Je terminerai par une citation de Shakespeare issue de Macbeth (acte 5, scène 5) : « La vie [...] : c'est une histoire, racontée par un idiot, pleine de bruit et de fureur, et qui ne signifie rien ». La version originale dit : « Life [...]: it is a tale, told by an idiot, full of sound and fury, signifying nothing ». Or « full of sound and fury » peut être traduit du vieil anglais par : « plein de sons et d'intensité », confirmant qu'un des marqueurs de la vie reste le sonore.

⁴¹Daniele Quercia, Rossano Schifanella, Luca Maria Aiello, *Good City Life* (consulté le 12/09/2016), URL : <http://goodcitylife.org/chattymaps/index.html>