



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

Archive ouverte UNIGE

<https://archive-ouverte.unige.ch>

Master

2020

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Bruit routier : quand l'État fait la sourde oreille. Vers une mise en oeuvre plus efficace de la politique environnementale

Boucard, Timothée

How to cite

BOUCARD, Timothée. Bruit routier : quand l'État fait la sourde oreille. Vers une mise en oeuvre plus efficace de la politique environnementale. Master, 2020.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:158263>

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.

Université de Genève
Faculté des sciences de la société
Département de science politique et relations internationales

Master en Management Public

Directeur de stage : P^r Alexandre Flückiger
Responsables de stage : P^r Frédéric Varone et M^r Éric Moachon

Mémoire de stage

Bruit routier : quand l'État fait la sourde oreille.

Vers une mise en œuvre plus efficace de la politique environnementale

Vendredi 21 août 2020

Timothée Boucard

Timothee.boucard@etu.unige.ch

15-308-174

Table des matières

Liste des principales abréviations utilisées	4
0 Avant-propos.....	6
1 Introduction.....	7
2 Le bruit routier, un problème public complexe.....	8
2.1 Bruit et perception : de l'origine physique du phénomène à sa perception.....	8
2.1.1 Définition et mesure du phénomène.....	8
2.1.2 Source du bruit routier.....	9
2.1.3 Propagation.....	13
2.1.4 Immission et perception humaine	15
2.1.5 Synthèse : un phénomène complexe à appréhender.....	21
2.2 Impact d'un environnement bruyant.....	22
2.2.1 Le bruit, un problème de santé publique	23
2.2.2 Impact économique	25
2.2.3 Autres (social-inégalités).....	25
2.2.4 Synthèse : des externalités négatives nécessitant l'intervention de l'État.....	26
2.3 Instruments de lutte en Suisse : programme administratif	26
2.3.1 LPE / OPB une base légale fédérale.....	26
2.3.2 Exécution cantonale à Genève	31
2.3.3 Synthèse : un programme fédéral mis en œuvre par les cantons.....	33
2.4 Une mise en œuvre déficiente	33
2.4.1 Une faible protection	33
2.4.2 Une vision restreinte des groupes cibles	34
2.4.3 Des mesures constructives	36
2.4.4 Synthèse : Une protection contre le bruit limitée.....	36
3 Les causes d'une mise en œuvre inefficace	38

3.1	Acteurs.....	38
3.1.1	État régulateur	39
3.1.2	Triangle de fer	39
3.1.3	Organisation sectorielle de l'administration	40
3.1.4	Synthèse : des acteurs environnementaux faibles	41
3.2	Base scientifique.....	41
3.2.1	Suivi de l'environnement	41
3.2.2	Suivi des technologies	44
3.2.3	Suivi de la politique.....	45
3.2.4	Organisation du suivi	45
3.2.5	Synthèse : une politique s'appuyant sur un monitoring fragile.....	46
3.3	Programme administratif	46
3.3.1	Objectifs concrets	47
3.3.2	Éléments évaluatifs	47
3.3.3	Éléments opérationnels	48
3.3.4	Organisation et financement.....	49
3.3.5	Instruments et procédures administratives	50
3.3.6	Synthèse : un programme mal ciblé	51
3.4	Structure administrative.....	51
3.4.1	Suivi indépendant.....	51
3.4.2	Administration environnementale organisée par milieu	51
3.4.3	Administration environnementale focalisée sur les sources	51
3.4.4	Administration environnementale coordonnée par groupe cible	52
3.4.5	Politique environnementale transversale.....	53
3.4.6	Politique environnementale décentralisée	53
3.4.7	Formation des acteurs.....	54
3.4.8	Synthèse : renforcer l'administration environnementale cantonale	54

3.5	Mise en œuvre	55
3.5.1	Travail technique et volonté politique.....	55
3.5.2	Plan d'action.....	55
3.5.3	Instruments collectifs	56
3.5.4	Évaluation.....	56
3.5.5	Synthèse : vers une mise en œuvre plus efficace	56
4	Synthèse générale.....	58
4.1	Le bruit routier, un problème public complexe	58
4.2	Les causes d'une mise en œuvre inefficace	58
5	Conclusion : l'utilisateur, le grand passager clandestin	59
6	Bibliographie.....	60

Liste des principales abréviations utilisées

ADME	Agence de la transition écologique (France)
CCPB	Commission cantonale de protection contre le bruit
CEPP	Commission externe d'évaluation des politiques publiques
CFLB	Commission fédérale pour la lutte contre le bruit
dB	Décibel (unité logarithmique)
DS	Degré de sensibilité I, II, III ou IV (LPE, OPB)
IR	Metric intermittency ratio
Leq	Niveau sonore équivalent
LNA	Low noise asphalt
LPE	Loi fédérale sur la protection de l'environnement (RS 814.01)
LUMin	Loi fédérale concernant l'utilisation de l'impôt sur les huiles minérales à affectation obligatoire et des autres moyens affectés à la circulation routière et au trafic aérien (RS 725.116.2)
OAC	Office cantonal des autorisations de construire (DT)
OCEV	Office cantonal de l'environnement (DT)
OCGC	Office cantonal du génie civil (DI)
OCSTAT	Office cantonal de la statistique
OFEV	Office fédéral de l'environnement (DETEC)
OFS	Office fédéral de la statistique (DFI)
OPB	Ordonnance sur la protection contre le bruit (RS 814.41)
PRASSOB	Commission interdépartementale pour le suivi des projets d'assainissement du bruit routier
RPBV	Règlement sur la protection contre le bruit et les vibrations (K 1 70.10)

SR	Service des routes (OCGC)
TCS	Touring Club Suisse
TJM	Trafic journalier moyen
TPG	Transports publics genevois
VA	Valeur d'alarme (LPE, OPB)
VLI	Valeur limite (LPE, OPB)
VP	Valeur de planification (LPE, OPB)
WTI	Indice utilisé par l'OFEV pour mesurer le rapport coût-efficacité

0 Avant-propos

L'écriture de ce travail a été conduite dans le cadre du master en management public suivi à l'université de Genève entre 2018 et 2020. Il s'agit de mon mémoire de stage que j'ai eu l'occasion d'effectuer à la Cour des comptes de Genève du 1^{er} avril au 30 juin 2020 sur la problématique du bruit routier. Ce dernier s'est déroulé dans des circonstances particulières liées à la pandémie, avec un recours important au télétravail lors des deux premiers mois. Cela m'a octroyé une autonomie importante dans la conduite du projet. Je remercie à cette occasion la confiance qui m'a été accordée par Éric Moachon et Frédéric Varone, m'ayant permis de vivre une expérience très enrichissante notamment lors de la conduite des entretiens.

Ce stage s'est déroulé dans un premier temps par une revue de la littérature et une analyse documentaire afin de comprendre l'efficacité des instruments de lutte contre le bruit routier. Un travail important a été nécessaire afin de s'approprier la technicité du sujet. Dans un second temps, j'ai eu l'occasion de préparer et conduire plusieurs entretiens avec des responsables d'administrations impliquées dans la mise en œuvre de cette politique publique, au niveau fédéral, cantonal et communal. Sur la base de ce travail, j'ai participé au suivi des recommandations émises par un précédent rapport de la CEPP¹ (2012) et à un examen ciblé de la politique publique de lutte contre le bruit routier à Genève.

Cette contribution s'appuie en grande partie sur le travail effectué dans le cadre de ce stage, en recouvrant plusieurs aspects de la mise en œuvre de cette politique publique. Elle a pour ambition de revenir sur un point qui m'a paru important : le déficit de mise en œuvre. J'espère que ce travail pourra apporter une analyse intéressante, tant pour la communauté universitaire que pour l'État de Genève en identifiant des pistes d'améliorations.

Je remercie Alexandre Flückiger pour la relecture attentive de mon travail et ses conseils pertinents.

¹ Commission externe d'évaluation des politiques publiques, dont la mission a été transférée le 1^{er} juillet 2013 à la Cour des comptes.

1 Introduction

En 1964, la motion Blinder jetait les bases de ce qui allait devenir vingt ans plus tard la loi de protection de l'environnement (LPE). Le principe défendu : protéger les êtres humains et leur environnement des atteintes de polluants nuisibles et incommodants. Le bruit a ainsi été défini parmi ces polluants et fait l'objet depuis l'entrée en vigueur de la LPE et de ses ordonnances d'une politique publique visant à limiter les immissions sonores. Le bruit des transports est particulièrement visé par cette politique environnementale et plus particulièrement le bruit routier, responsable d'une part importante de ces atteintes. Ce dernier est un problème d'autant plus important que la mobilité est en croissance forte. La Suisse a ainsi entamé il y a 35 ans un programme d'assainissement de ses installations routières qui malgré un premier délai fixé à 2002 et une prolongation à 2018 n'a pas réussi à mettre en œuvre ce principe de protection. En 2019, l'OFEV dresse un constat d'échec de cette tâche avec plus d'un million de personnes toujours exposées à des valeurs dépassant les seuils légaux. Cette pollution sonore concerne principalement les milieux urbains, rendant la problématique particulièrement importante dans le canton de Genève avec près d'un quart des habitants surexposés. Dans ce travail, je vais m'intéresser aux causes de cette mise en œuvre défailante en essayant d'identifier les points d'améliorations possibles.

Pour cela, je vais tout d'abord contextualiser la politique de lutte contre le bruit routier en revenant sur l'origine du bruit, sa conceptualisation comme problème public et les instruments de lutte mis en œuvre en Suisse et à Genève.

Après avoir rapidement discuté du déficit de mise en œuvre, j'en identifierais les causes en m'appuyant notamment sur le travail de Peter Knoepfel (1997) afin de proposer d'éventuels points d'améliorations.

2 Le bruit routier, un problème public complexe

Dans cette première partie, nous allons poser les éléments de contexte permettant de comprendre le cadre d'intervention de l'administration publique dans la lutte contre le bruit routier. Qu'est-ce que le bruit ? D'où vient-il ? Comment est-il perçu ? Quel impact a-t-il sur notre société ? Pourquoi et comment lutte-t-on contre lui ? Afin de répondre à ces questions, nous allons dans un premier temps définir quelques éléments techniques sur le bruit, sa mesure, son origine, sa propagation et sa perception. Il s'agit de comprendre au mieux le phénomène physique qu'est le son pour que par la suite nous ayons les compétences suffisantes afin d'envisager les instruments de lutte. Dans un second temps, nous allons comprendre pourquoi le bruit routier est un problème public suffisamment construit en Suisse pour justifier l'intervention de l'État. Enfin, nous introduirons ces instruments de lutte en détaillant la stratégie d'intervention déployée en Suisse : le programme administratif. Pour cela, nous aurons principalement recours à une revue de la littérature ainsi qu'une analyse documentaire effectuée lors de mon stage. À la fin de cette partie, nous aurons les éléments pour identifier les points de blocages à une mise en œuvre efficace de cette politique publique environnementale.

2.1 Bruit et perception : de l'origine physique du phénomène à sa perception

Le phénomène sonore est complexe à appréhender tant pour le mesurer, identifier sa source, son chemin de propagation dans l'environnement et enfin pour analyser sa perception, en partie subjective.

2.1.1 Définition et mesure du phénomène

Le son est un phénomène physique caractérisé par la vibration d'un milieu engendrée par une source solide. Par exemple, la corde d'une guitare qui rentre en vibration par l'action mécanique du musicien et transmet cette vibration à son milieu : l'air. On caractérise cette vibration du milieu comme une onde acoustique qui transmet un signal. Cette onde sera peut-être perçue par des êtres vivants en fonction de ses caractéristiques. On en distingue trois principales : la fréquence, l'intensité et le timbre.

2.1.1.1 Fréquence

La fréquence (hauteur pour les mélomanes) correspond au nombre d'oscillations (inversion du signal) observé par unité de temps (secondes). L'unité de mesure de cette caractéristique est le

Hertz (Hz). Un son est grave à faible fréquence et aigu haute fréquence. Cette caractéristique d'un signal sonore détermine des propriétés différentes lors de sa propagation et de sa perception comme nous allons le voir.

2.1.1.2 Intensité

L'intensité correspond à l'amplitude de l'onde sonore, soit la variation de pression du milieu entre deux oscillations. C'est la puissance de l'onde sonore. L'intensité d'un son va déterminer sa distance de propagation et sa perception. L'intensité sonore se mesure dans l'air en Pascal (Pa) comme une variation de la pression atmosphérique. De cette mesure dérive d'autres unités permettant de mieux rendre compte de la perception humaine comme le dB SPL (decibel sound pressure level)². Les unités en dB suivent une échelle logarithmique. L'équivalence entre ces deux unités est : 0 dB SPL = 20 µPa. Nous verrons que la mesure de cette intensité est un point important dans la politique de lutte contre le bruit.

Tableau illustrant la relation entre l'augmentations en dB et la multiplication de l'intensité :

+ 1dB	+ 2dB	+3dB	+ 4dB	+5 dB	+10 dB	+20 dB
x 1,26	x 1.59	x 2	x 2.52	x 3,16	x 10	x 100

2.1.1.3 Complexité

Enfin, le timbre est la complexité du signal d'un son. À fréquence identique, la courbe formée par le signal peut avoir des formes différentes. Ainsi, un diapason produit une note dite pure avec une sinusoïdale simple, tandis qu'on peut observer des signaux plus complexes (en dent de scie, carrée...). En musique c'est ce qui pour une même note permet de distinguer les instruments sources. Cette caractéristique n'est cependant pas prise en considération dans les études du phénomène sonore concernant les politiques environnementales.

2.1.2 Source du bruit routier

Maintenant que nous saisissons mieux ce qui caractérise un phénomène sonore, il faut nous intéresser à son origine dans le cas du bruit routier. Cette connaissance des sources est importante pour déterminer les instruments pertinents afin de lutter efficacement contre le bruit routier.

² Voir iii. Immission et perception humaine.

Au cours d'une large revue de la littérature, il convient d'identifier quatre sources de bruit routier : le bruit de roulement, le bruit de moteur, le bruit aérodynamique et enfin, les bruits d'origine humaine. Il est cependant difficile de modéliser les émissions de bruit d'un véhicule (fréquence et intensité), car cela dépend de nombreux facteurs. Tout d'abord la nature même de l'objet qui évolue en déplacement à des vitesses différentes, dans des conditions changeantes. Ensuite, la diversité des types de véhicules et des modèles au sein même de ces catégories. Enfin, le facteur humain important dans sa conduite, qui peut avoir une influence déterminante sur les émissions. Tout cela rend l'identification précise des sources complexes et difficilement proportionnables.

2.1.2.1 Motorisation

La motorisation du véhicule est une source sonore, principalement due aux moteurs thermiques. Il est communément admis que les véhicules électriques ont des émissions sonores dues à leur motorisation négligeable. On admet souvent que le bruit des voitures est caractérisé principalement par les émissions du moteur à faible vitesse : jusqu'à 25-30 km/h environ. Il existe cependant une zone (entre 15 et 40 km/h) où la prépondérance entre le bruit de roulement ou de moteur dépend de plusieurs paramètres (ancienneté du véhicule, style de conduite, pente, fluidité du trafic, type de revêtement, technologie motrice). Il est communément admis que dès le troisième rapport, le bruit moteur devient plus faible que celui de roulement.

La situation pour les poids lourds est différente. Du fait de leur masse, leur moteur est davantage sollicité et le bruit moteur est prépondérant jusqu'à 60-70 km/h environ. Il en va de même pour les 2 roues, pour lesquels le bruit du moteur est prépondérant (régime nominal élevé). C'est pourquoi il est important de distinguer les véhicules dits bruyants des autres dans les modèles de prévision de trafic : une proportion importante de véhicules bruyants peut par exemple rendre la pose d'un revêtement LNA (Low Noise Asphalt) en ville moins utile que pour un trafic de voitures, ce dernier n'agissant que sur le bruit de roulement.

Il a été montré par TCS que les véhicules nouvellement immatriculés font de moins en moins de bruit. Ainsi, entre 2005 et 2015, le bruit à l'échappement (en situation d'homologation) est passé de 81,17 dB(A) à 75,86 dB(A) en moyenne. Soit 5,31 dB(A) de moins en 10 ans. Ainsi, un véhicule immatriculé en 2005 ferait 3,4 fois plus de bruit à l'échappement qu'un véhicule immatriculé en 2015. L'injection électronique, la turbocompression, les systèmes antipollution et l'insonorisation des blocs moteurs afin d'améliorer le confort des véhicules expliquent en grande partie ces avancées, sans toutefois être un objectif direct des constructeurs (Dubois, 2012).

Cette source sonore du bruit routier semble par conséquent très importante dans les milieux urbains avec un potentiel important de réduction des nuisances avec l'électrification des transports (Habermacher, 2018). La fluidité du trafic joue aussi un rôle déterminant, tout comme le style de conduite (agressive ou écodrive), et la technologie moteur. Enfin, les déclivités importantes et la masse des véhicules exigent une charge moteur plus importante engendrant plus de bruit.

2.1.2.2 Roulement

Le bruit de roulement est prépondérant dès 25km/h environ pour les voitures, jusqu'aux environs de 120 km/h où le bruit aérodynamique devient alors le plus déterminant de l'intensité sonore (Dubois, 2012). Guillaume Dubois a publié une thèse en 2012 sur la modélisation dynamique du bruit de roulement. Il explique notamment que l'interaction du véhicule avec la chaussée par l'intermédiaire de ses pneumatiques est à l'origine du bruit de roulement. Celle-ci provoque la déformation de la surface du pneumatique (indentation) ainsi qu'une succession d'impacts au bord d'attaque et de relâchement au bord de fuite des pains de gomme. Le comportement dynamique (accélération, freinage, courbes) génère aussi des ondes sonores. L'ensemble de ces vibrations se propagent dans le pneumatique et rayonnent. En outre, lorsque le pneu atteint ses limites d'adhérences lors de phases dynamiques, des bruits de frottement sont générés en sus. Ces phénomènes de frottement sont perceptibles à moindre échelle en roulement normal. De plus, l'adhérence des pneumatiques, et la rupture rapide de la liaison avec la chaussée entraînent aussi un phénomène appelé stick/snap lors du « décollement » de la gomme.

Outre ces phénomènes d'origine mécanique, Guillaume Dubois (2012) observe un mécanisme aérodynamique lorsque le pneumatique est amené à effectuer une rotation à des vitesses élevées, entraînant un phénomène de pompage d'air, renforcé par la présence de crans. Cela crée des surpressions localisées dans les cavités de la route et des pneumatiques engendrant des ondes sonores. Cela est renforcé sur un chaussé lisse (sans porosités de surfaces). Le brassage de l'air par les jantes est aussi à l'origine de bruits aérodynamiques.

Il observe enfin que ces phénomènes mécaniques et aérodynamiques sont amplifiés par des mécanismes de résonance acoustique (air dans le pneumatique) et l'effet dièdre (forme conique de l'angle à la surface de contact entre la bande de roulement et la chaussée). En outre, la largeur de pneus a un impact sur le bruit.

Le bruit de roulement résulte donc tant du pneumatique que de la chaussée. Pour le réduire, l'abaissement de la vitesse, l'utilisation de pneumatiques silencieux ou la pose de revêtement silencieux (avec porosités de surface) sont des mesures efficaces.

2.1.2.3 Aérodynamique

Le bruit d'origine aérodynamique est passablement peu étudié dans l'automobile. Il ressort toutefois que sa prépondérance n'interviendrait qu'à haute vitesse (aux environs de 120 km/h), et qu'il serait directement corrélé à la vitesse de circulation du véhicule. Dans le cadre de notre étude portant principalement sur le canton de Genève, avec sa situation urbaine, le bruit aérodynamique semble pouvoir être négligé tant les bruits de moteur et de roulement sont prépondérants.

2.1.2.4 Comportement

Pour finir, le bruit routier est aussi le fruit du comportement des automobilistes. En effet, ce comportement peut amplifier les sources précédemment citées (accélération brusque, vitesse excessive), mais être lui-même la source de nuisances sonores avec l'utilisation d'accessoires (sirènes, klaxon, radio...). Ces autres bruits, et leur impact relatif aux émissions « normale d'un véhicule » sur l'intensité sonore ou la nuisance sont très peu documentés. Il n'est par exemple pas possible de dire qu'en ville x % du bruit s'explique par les klaxons ou les sirènes. Certains projets de recherche comme le Projet Sound Of New York City (SONYC) s'appuient sur des réseaux de capteurs et une technologie d'apprentissage automatique pour identifier et catégoriser les sources de chaque bruit en ville. On pourrait aussi identifier les bruits liés à l'entretien de la chaussée avec l'utilisation d'engins spéciaux ou les nombreux chantiers engendrés. Cependant, ces derniers rentrent dans un cadre plus large que celui que je me fixe dans ce travail, avec des dynamiques de lutte très différentes.

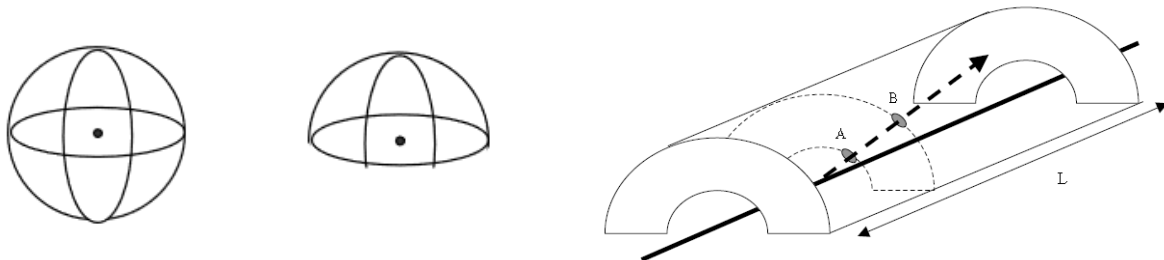
Les émissions sonores sont proportionnelles au trafic routier. La lutte contre le bruit routier à la source nécessite une vision micro en termes de caractéristique des véhicules, des pneumatiques, de la chaussée et de comportement des conducteurs. Celle-ci doit être complétée par une vision plus large sur la gestion du trafic routier (charge de trafic et fluidité).

2.1.3 Propagation

Après avoir été produite par la vibration d'un objet solide, l'onde sonore se propage dans le milieu (solide, liquide et gazeux). Cette propagation est toutefois complexe à modéliser, tant le nombre de variables à prendre en compte est important. Cette caractéristique n'est pas sans poser de problèmes dans la mise en œuvre de la lutte contre le bruit comme nous le verrons par la suite.

2.1.3.1 Distance à la source

Une des premières caractéristiques physiques est que l'intensité d'une onde sonore se déplaçant dans un milieu homogène et libre diminue au carré de la distance parcourue. C'est la divergence géométrique. Cela s'explique par la propagation en sphère de l'onde sonore dans un milieu homogène libre. L'intensité sonore se disperse alors dans l'environnement en proportion de la surface d'onde. Dans ces conditions, l'intensité sonore diminue alors de 6 dB lorsqu'on double la distance entre la source et le point de mesure (correspondant à une division par 4 de l'intensité sonore). Cette propagation en sphère peut s'observer dans la réalité avec un avion en altitude. Cependant, au sol, la propagation se fait en demi-sphère puisque l'on peut considérer que le sol réfléchit l'onde sonore. Dans ce cas, l'intensité sonore diminue toujours au carré de la distance, avec toutefois une intensité doublée à émission égale comparée à une propagation sphérique.



Toutes les sources ne peuvent pas être considérées comme ponctuelles. Par exemple, une route à fort trafic continu devient une source linéaire. En effet, la propagation du son peut être considérée comme de multiples demi-sphères (pour chaque véhicule) formant par conséquent un demi-cylindre le long de l'axe routier. Dans ce cas, l'intensité sonore ne diminue plus au carré de la distance, mais proportionnellement à celle-ci. Soit -3dB à chaque fois que l'on double la distance.

La question de la distance de mesure est donc déterminante lorsque l'on souhaite comparer deux intensités sonores. Dans un tout autre domaine, les fabricants d'appareils électroménagers donnent souvent des informations concernant le bruit de leur appareil (en dB(A)) sans toujours préciser la distance de mesure, plusieurs normes coexistant. Ces dernières peuvent s'effectuer

à 1, 2, 5 ou 7,5m. Or, à 7,5m le même appareil fait 56 fois moins de bruit qu'à 1m, soit 17,5dB de moins. Il faut alors être attentif à ne pas comparer deux appareils n'ayant pas été mesurés à la même distance, au risque d'acheter le plus bruyant.

Cette caractéristique a pour conséquence de rendre les estimations de modélisation très imprécises à mesure de la distance parcourue, toute erreur dans l'estimation des émissions ou des caractéristiques de propagation s'amplifiant avec la distance.

2.1.3.2 Célérité

La vitesse de propagation (célérité) d'un son varie en fonction de la masse volumique du milieu traversé et de sa compressibilité isentropique. Cette célérité varie donc en fonction de la température et des matériaux. Dans l'air par exemple la vitesse du son dépend de la température, de la pression atmosphérique et de son humidité. Elle est d'environ 340 m/s dans l'air sec à 15°C au niveau de la mer, environ 1480 m/s dans l'eau, 3100 m/s dans le béton et entre 5600 et 5900 m/s dans l'acier.

La vitesse du son engendre une certaine immédiateté entre l'émission et l'immission. Cette caractéristique particulière pour un polluant explique en partie une identification hâtive et peu précise des sources.

On peut ensuite distinguer quatre principaux phénomènes physiques caractérisant la propagation d'un son dans l'espace :

2.1.3.3 Réfraction

La réfraction s'observe lorsque l'onde sonore traverse des milieux non homogènes (célérité différente). La différence de vitesse de propagation entraîne un effet de rotation du front d'onde et par conséquent une déviation des ondes sonores. Par exemple, on observe parfois la nuit, notamment en milieu urbain une inversion des températures : l'atmosphère est alors plus chaude que l'air près du sol. Cela entraîne un phénomène de réfraction des sons émis vers le sol, faisant que les sons se propagent plus loin au niveau du sol la nuit. Une température de l'air près du sol plus élevée que la couche supérieure entraîne au contraire la propagation du son vers le haut dans une salle de spectacle.

2.1.3.4 Réflexion

La réflexion d'un son est similaire à la loi de Descartes pour l'optique : lorsqu'une onde sonore rencontre un obstacle, elle est en partie réfléchi avec un angle de réflexion égale à celui d'incidence. Cependant, cette réflexion dépend notamment de la longueur d'onde (relation entre

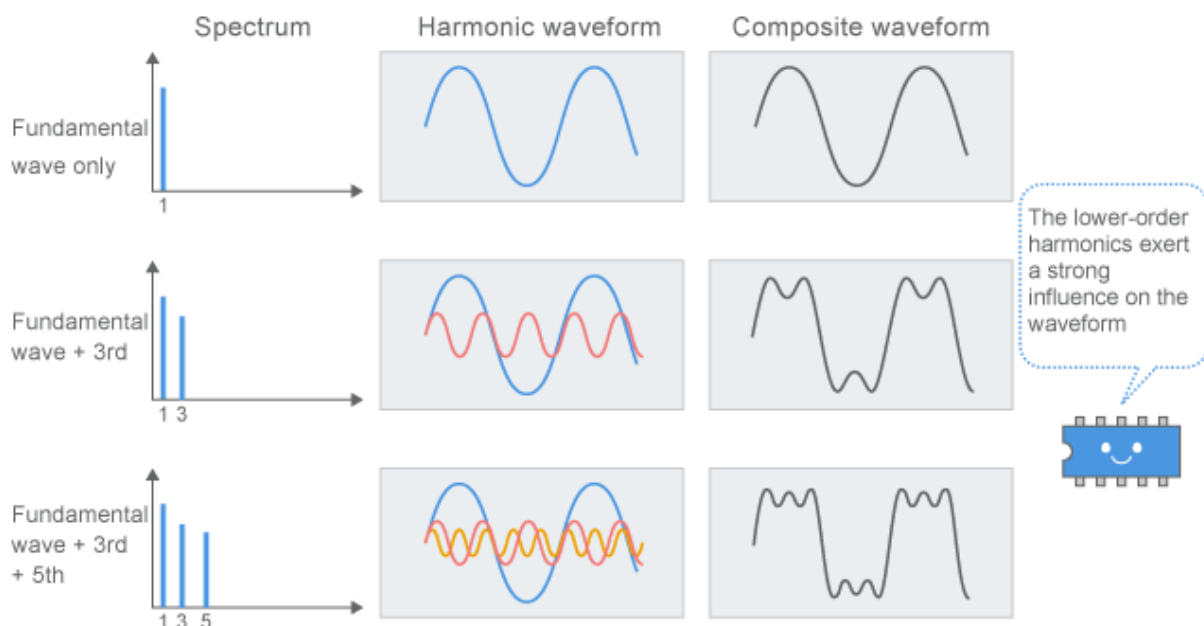
sa fréquence et célérité) et le coefficient d'absorption du matériau. Les sons aigus ont tendance à être plus réfléchis tandis que les sons graves ont tendance à être moins absorbés. Le coefficient d'absorption des matériaux est défini par bande de fréquence. En général, l'absorption est fonction de la porosité des matériaux.

2.1.3.5 Diffraction

La diffraction est une capacité spécifique des ondes sonores à contourner un obstacle ou à passer par une petite ouverture de cet obstacle. Cette capacité est fonction de la taille de l'obstacle et de la longueur d'onde. Ainsi, les sons graves diffractent plus facilement à taille d'obstacle égal et contournent par conséquent plus facilement un obstacle. Les sons graves parcourent par conséquent des distances plus grandes et sont plus difficiles à contenir.

2.1.3.6 Interférence

L'interférence se produit lorsque deux ondes sonores se rencontrent. Cela intervient lorsqu'il y a plusieurs sources sonores. Les ondes peuvent alors se modifier : en cas de déphasage elles s'annulent entre elles, mais se renforcent en cas de parfaite synchronisation. Ces interférences modifient les caractéristiques du signal (fréquence, intensité, timbre).



2.1.4 Immission et perception humaine

Après avoir été émis par une source, le son se propage dans l'environnement. Ce son peut alors rencontrer le chemin d'êtres vivants dotés d'une sensibilité à cette onde. Il convient donc d'en

savoir plus sur la façon dont on perçoit un son, afin de mieux comprendre la manière dont il peut devenir gênant. C'est en effet de gêne dont il est question lorsque l'on parle de bruit : selon la 9^e édition du dictionnaire de l'Académie française, le bruit est un « son ou ensemble de sons qui se produisent en dehors de toute harmonie régulière. ». En électronique, il s'agit alors d'une « perturbation indésirable dans la transmission d'un signal ». Le mot bruit caractérise un son indésirable, incontrôlé. Dans le cas du bruit routier, nous pouvons considérer que le bruit engendré par la circulation n'est pas désiré ni désirable afin de remplir sa fonction de mobilité. La seule exception à cette vision d'inutilité du bruit routier peut être la sécurité des piétons ou cyclistes. En effet, le bruit sert à communiquer l'approche d'un véhicule aux autres usagers de l'espace public. Le cas des véhicules électriques est un bon exemple, les constructeurs ont en effet l'obligation d'inclure un système d'avertissement acoustique du véhicule (AVAS) lorsque ce dernier évolue à moins de 19km/h depuis 2019 pour les nouveaux modèles et dès 2021 pour toute nouvelle mise en circulation (Règlement (UE) No 540/2014). Cela vise à prévenir les piétons. Le système reste cependant désactivable par le conducteur, bien qu'activé par défaut au démarrage du véhicule.

Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, seuls les sons perçus peuvent être considérés comme potentiellement gênants ou nuisibles. Il faut distinguer 3 aspects pour comprendre la perception de l'intensité d'un son. Tout d'abord l'**environnement sonore** (Pa ou dB SPL) qui est la mesure objective de l'intensité sonore du milieu. Ensuite, la **perception** de ce niveau sonore par l'oreille humaine (courbes isophoniques, Phones), qui nous permet de mettre la mesure environnementale à l'échelle humaine. Enfin, le **rapport subjectif** entre deux intensités sonores perçues (Sonie), qui permet de comparer l'intensité subjectivement ressentie. Nous allons maintenant aborder ces trois aspects et leur mesure.

2.1.4.1 Environnement sonore et exposition

Pour mesurer l'intensité sonore de l'environnement, on mesure la variation d'amplitude de la pression atmosphérique d'un milieu par bande de fréquence avec un sonomètre en pascal, puis converti en dB SPL (decibel sound pressure level) avec comme nous l'avons vu l'équivalence $0 \text{ dB SPL} = 20 \mu\text{Pa}$. Cela correspond à la mesure de l'intensité au sens physique. Cette mesure de l'environnement sonore est objective. Cependant elle ne correspond pas avec notre perception. En effet, celle-ci varie notamment en fonction de la fréquence d'oscillation (grave/aigu) du son comme nous allons le voir. Dans le cas du bruit routier, il convient de mesurer l'exposition sonore d'un individu défini comme bénéficiaire final de la politique de protection. Comme nous le verrons, cela se traduit souvent par l'exposition d'une fenêtre

d'habitation, que l'on définit comme lieu d'immission, le lieu où le bruit est perçu. La difficulté réside dans la définition de ce lieu d'immission, mais aussi dans ce que l'on entend par exposition. Deux valeurs sont très souvent utilisées dans les études pour le bruit routier : Leq et Lmax.

La première (Leq) représente le niveau équivalent. Il s'agit de l'exposition moyenne sur une période donnée. Ce dernier est construit à partir des mesures instantanées du sonomètre formant une courbe. L'aire sous cette courbe représente le niveau sonore total que l'on peut diviser par le temps d'exposition. Cette dernière est donc dépendante du temps de réponse du sonomètre aux impulsions sonore qui est pour cela normé. En effet, un bruit très fort, mais très court (impact d'un pneumatique sur une bouche d'égout mal ajusté) sera mal pris en compte avec un temps de réponse long. Les Leq sont souvent utilisés dans les bases légales, il en existe plusieurs variantes. Ce niveau équivalent peut être mesuré sur différentes périodes, en le détaillant par tranche d'horaires formant des catégories significatives : la nuit (22-6 h), le jour (6-22h) ou même détailler d'autres périodes sensibles (début de soirée). Des Leq peuvent recouvrir ces différentes périodes en attribuant des coefficients censés refléter le temps de présence au domicile par exemple, ou bien des pénalités reflétant une plus grande gêne à certaines périodes. D'autres manipulations peuvent être faites, en retirant un certain nombre de dB en fonction des caractéristiques du bruit. Par exemple, pour des trafics faibles (route), l'occurrence de grincements (voie ferrée). Cette grande disparité rend les comparaisons entre indicateurs complexes. Bien que très utilisées, les Leq restent cependant des moyennes avec les défauts que cela implique, et notamment le problème de dispersion : à Leq égale, un cours d'eau peut-être moins gênant qu'une voie de chemin de fer. De même, un seul évènement sonore intense dans une rue calme (passage d'une moto rugissante, klaxon) a peu d'influence sur le Leq alors qu'il impacte grandement le sommeil.

C'est pourquoi le Lmax est aussi utilisé. Ce dernier prend en compte l'évènement sonore le plus intense sur une période. D'autres indicateurs peuvent compléter les indices Leq et Lmax, comme le temps d'exposition supérieur à une valeur seuil ou encore le « metric intermittency ratio (IR) » (Brink et al., 2016; Wunderli et al., 2016). L'IR permet de connaître la proportion du bruit causé par des évènements uniques. Ainsi, un IR élevé sera observé au bord d'une voie de chemin de fer isolée, tandis qu'une autoroute génère un bruit continu caractérisé par un IR faible. C'est un outil intéressant pour qualifier la dispersion de l'énergie sonore, et étudier son importance dans l'impact du bruit sur la santé par exemple.

2.1.4.2 Perception sonore

La perception sonore se fait sur une plage d'oscillation (fréquence) limitée, cette plage varie notablement entre espèces³ :

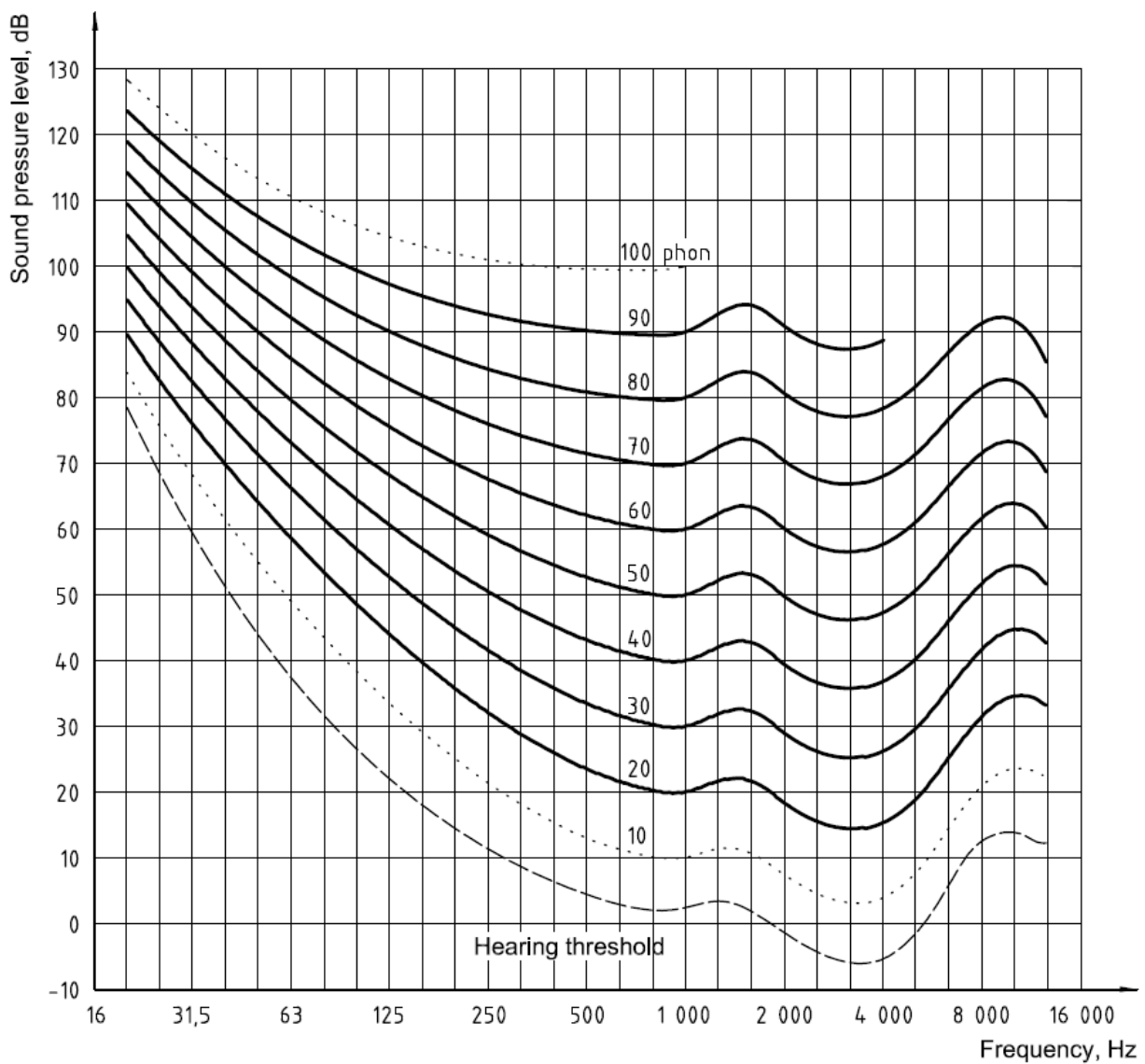
Animal	Emission (Hz)	Réception (Hz)
Brochet	50 à 4000	1000 à 5000
Rainette	50 à 8000	50 à 10000
Alligator	100 à 300 Hz	50 à 340
Rouge-gorge	2000 à 13000	250 à 21000
Chauve-souris	10000 à 120000	1000 à 120000
Dauphin	7000 à 120000	150 à 150000
Chat	760 à 1520	60 à 65000
Chien	450 à 1080	15 à 50000
Homme	85 à 1100	20 à 20000

Elle varie aussi entre les individus, en fonction de critères d'âge, héréditaire et des facultés développées (éducation acoustique) (Goyé 2002).

Ensuite, l'intensité sonore de l'environnement (dB SPL) n'est pas perçue de la même façon sur toute la gamme de fréquences. L'oreille humaine est par exemple moins sensible aux sons graves, notamment à faible intensité. La norme ISO 226:2003 présente les courbes dites isophoniques construites sur une base expérimentale établie par de nombreux chercheurs avec des sujets « normaux » âgés de 18 à 25 ans (courbes page suivante).

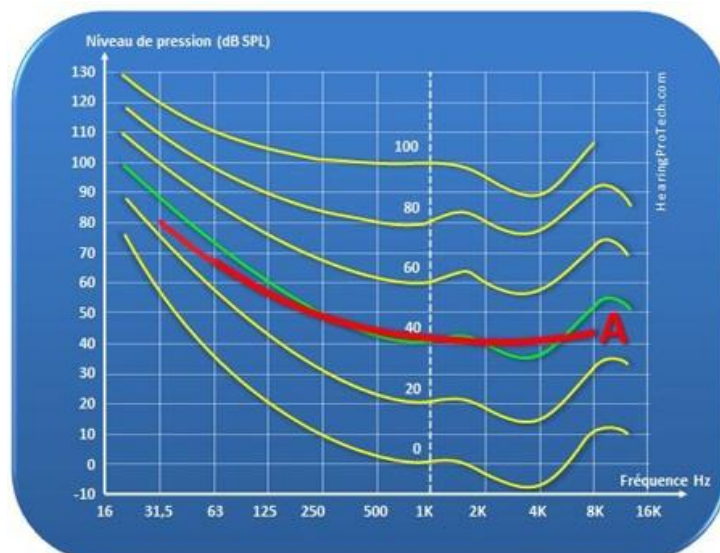
Cette perception varie notablement avec l'âge, avec notamment une perte d'audition dans les aigus.

³ Tableau publié dans Tanzarella et Mamecier (2006)



ISO 226:2003

Ces courbes mettent en relation l'intensité sonore de l'environnement (dB SPL) avec l'intensité perçue (Phone) en fonction de la fréquence et de l'intensité d'un son « pur » avec pour base d'équivalence 1KHz. Cependant, le phone est très peu utilisé. On lui préfère en effet l'échelle de pondération A : dB(A). Cela s'explique par son ancrage historique dans le domaine normatif, et dans une moindre mesure par son calcul plus simple. Cette pondération à la même ambition que les phones, mais ne prend pas en compte une courbe différente en fonction de l'intensité sonore. Cette dernière rend moins bien compte de la réalité :



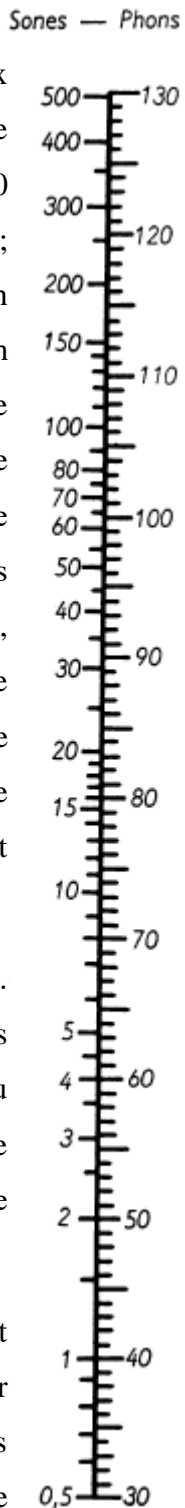
2.1.4.3 Rapport subjectif

Enfin, il convient d'établir une échelle permettant de comparer la perception subjective de deux intensités : un son deux fois plus intense est-il vraiment perçu comme tel ? On utilise alors le sone qui est une unité proportionnelle à l'intensité perçue. Par convention, 1 sone vaut 40 phones, puis on hiérarchise les sons par une méthode empirique (Stevens [ISO 532:1975] ; Zwicker [ISO 532-1:2017] ; Moore-Glasberg [ISO 532-2:2017]). Selon ces études, un humain ressent une intensité sonore doublée lorsque le niveau sonore augmente de 10dB. Ainsi, un son 10 fois plus intense serait perçu comme 2 fois plus fort. Cependant, dans la réalité, cette perception est fonction de nombreux paramètres rendant la modélisation de cette dernière complexe. Parmi eux, on observe des variations lors des faibles intensités, en fonction de l'angle d'écoute par rapport à la source, des effets d'interaction entre les 2 oreilles lors que des sons différents sont perçus, selon la régularité/durée de l'évènement sonore (Goyé, 2002). Enfin, Goyé (2002) précise que les tests psychoacoustiques peuvent être déformés par une tendance naturelle et inconsciente à essayer de deviner les propriétés de la source et d'analyser sa propre perception. Toutes ces données restent donc relativement dépendantes de la méthodologie expérimentale employée : un autre chercheur cité par Goyé (Warren) identifie un doublement de la sonie tous les 6dB seulement.

Le gêne occasionné par la perception d'un son peut en outre varier en fonction des individus. En effet, l'information sonore perçue est traitée par le cerveau à travers des mécanismes neuronaux. Par exemple, lors d'une conversation, si du bruit vient gêner l'auditeur, le cerveau maintient une illusion de continuité (Vinnik et al, 2011) sur la base de ses connaissances. Le sujet est alors persuadé d'avoir entendu le son alors que ce dernier était masqué. Ce mécanisme varie en fonction des individus et divers facteurs peuvent interférer dans son fonctionnement.

La perception d'un son dépend donc de l'auditeur. Elle est en partie subjective. On peut cependant dégager des tendances, avec une oreille « type ». Les courbes isophoniques ont par exemple été construites empiriquement avec des individus âgés de 18 à 25 ans présentant des caractéristiques moyennes. Cependant, l'interprétation purement quantitative du phénomène sonore ne prend jamais en compte la complexité d'un son (timbre).

L'étude de la perception sonore par des moyens quantitatifs a donc ses limites afin de représenter la réalité. Le recours à des moyens de mesure qualitatifs peut pallier ces limites lorsqu'ils sont utilisés en complément. Ces études qualitatives peuvent permettre d'établir les sources les plus fréquemment citées comme gênantes, l'exposition ressentie à la nuisance, ou



encore mesurer l'efficacité subjective d'un instrument de lutte contre le bruit introduit localement.

Augmenter le niveau sonore de :	C'est multiplier l'énergie sonore par :	C'est faire varier la sensation auditive :
3 dB	2	Légèrement : on fait la différence entre deux lieux où le niveau diffère de 3 dB, mais il faut tendre l'oreille.
5 dB	3	Nettement : on ressent une aggravation ou on constate une amélioration lorsque le bruit augmente ou diminue de 5 dB.
10 dB	10	Comme si le bruit était deux fois plus fort.
20 dB	100	Comme si le bruit était 4 fois plus fort. Une variation de 20 dB peut réveiller ou distraire l'attention.
50 dB	100 000	Comme si le bruit était 30 fois plus fort. Une variation brutale de 50 dB fait sursauter.

Source : Bruitparif

Ainsi, une diminution de moitié du trafic entraîne une baisse de 50% de la pression sonore, soit -3dB. Cependant, elle est perçue subjectivement comme une baisse de seulement 18,8% pour les études ayant conduit à l'adoption de la norme ISO 532.

2.1.5 Synthèse : un phénomène complexe à appréhender

L'étude des principes du comportement d'une onde sonore nous permet de mieux comprendre les enjeux de la lutte contre le bruit. Un signal sonore comporte des caractéristiques diverses qui le rendent unique (fréquence, intensité, timbre, temps d'occurrence). La propagation du bruit est complexe à modéliser et difficile à contenir, c'est pourquoi il est nécessaire de lutter à la source de celui-ci. Il faut en outre être particulièrement attentif aux méthodes de mesures afin de pouvoir comparer des résultats. De plus, la perception du bruit est en partie subjective et l'étude de cette dernière comporte encore de nombreuses interrogations. Le bruit est donc un phénomène complexe et technique tant à modéliser qu'à objectiver. Cela aura des répercussions sur la mise en œuvre de politiques de lutte efficaces.

2.2 Impact d'un environnement bruyant

En Suisse, l'OFEV (2019b) a modélisé la cartographie sonore de l'année 2015. Il est alors estimé que 1,1 million de personnes étaient exposées à des valeurs nuisibles ou incommodes (défini par les valeurs limites légales⁴) le jour soit une personne sur sept et 1 million la nuit. Ces chiffres peuvent être croisés avec les données récoltées par l'OFEV lors de ses enquêtes périodiques (imposé comme nous le verrons par la loi) auprès des cantons. Par cette méthode, on obtient environ 1,3 million de personnes exposées le jour. Ces chiffres nous permettent d'avoir une idée précise de l'ordre de grandeur du phénomène.

Le bruit routier touche particulièrement les zones urbaines (90 % des personnes exposées à des valeurs supérieures aux valeurs limites fixées par l'OPB sont en zone urbaine, OFEV 2018).

Ainsi, le canton de Genève avec une densité de 2042 hab./km² (OCSTAT 31.12.2018) est un canton fortement urbanisé. En effet, alors que 63% de la population suisse vit dans des centres urbains, à Genève, c'est 91,1 % de la population, soit la plus forte proportion avec le Canton de Zoug (91,8%⁵).

L'OFEV estime qu'initialement⁶, 17,7% des habitants étaient exposés à un dépassement des valeurs limites selon l'OPB. Genève a alors la plus forte proportion d'habitants exposés initialement, avec 29,7% soit 148 500 habitants, faisant de la politique de lutte contre le bruit routier un enjeu très important dans le canton. Fin 2018, environ 113 000 l'étaient encore soit près d'un quart de la population (OFEV, 2019b).

Dans cette partie, nous allons voir en quoi le bruit routier a impact négatif particulièrement en Suisse. Le but étant de comprendre l'étendue de ce dernier, et sa force. Cependant, comme nous le verrons dans la partie suivante, le bruit routier a été problématisé sous un angle bien particulier. La majorité des études concernant la Suisse étant financées par l'office fédéral de l'environnement, elles risquent de ne s'intéresser qu'aux impacts touchant les bénéficiaires finaux définis politiquement. Ces derniers sont principalement les habitants et les propriétaires de biens immobiliers. Par exemple, l'impact du bruit routier sur la faune, l'utilisation de l'espace public, ou le tourisme est très peu documenté. Nous allons par conséquent aborder

⁴ Nous décrivons plus précisément ces valeurs légales dans la partie suivante.

⁵ Chiffres OFS au 31.12.2018

⁶ L'état initial correspond à une situation sans intervention

dans un premier temps les impacts les plus renseignés sur la santé et ceux économiques avant de discuter des autres.

2.2.1 Le bruit, un problème de santé publique

L'impact du bruit sur la santé est de mieux en mieux documenté. Une récente étude de l'OMS parue en 2018 émet des recommandations sur la base d'une métaévaluation des risques en Europe. Ce rapport s'appuie sur les RR (Relevant Risk) qui est un coefficient mesurant la surreprésentation (ou sous-représentation) d'un groupe dans le développement d'un type de risque (maladie) en fonction de son exposition. Pour évaluer l'exposition, l'OMS s'appuie sur les L_{den} . Il s'agit du niveau équivalent (Leq) pondéré en fonction de 3 périodes : jour (L_{day} de 7 à 19h), soirée ($L_{evening}$ de 19 à 23h avec une pénalité de + 5dB) et nuit (L_{night} de 23 à 7h avec une pénalité de +10dB). Cet outil est très utilisé par les pays européens. L'OMS dispose de tableaux de référence par risque permettant de définir des seuils au-delà desquels ils sont considérés comme sérieux.

Le rapport conclut à une augmentation jugée certaine du risque de maladie coronarienne ainsi qu'une augmentation de la gêne et des troubles du sommeil. Cependant, les résultats concernant l'hypertension et la gêne cognitive sont peu significatifs à ce stade de la recherche. Enfin, le bruit routier n'engendrerait pas de troubles de l'audition.

L'influence du bruit routier sur la maladie coronarienne est jugée très significative par l'OMS et il dépasse le seuil de préoccupation RR fixé à 5% dès une exposition supérieure à 59,3 dB L_{den} .

L'OMS juge la situation sanitaire inquiétante lorsque plus de 10% de la population se dit « très gênée », taux atteint à 53.3 dB L_{den} . Le modèle de Brink et Al (2018) nous permet de convertir avec une précision intéressante cette exposition L_{den} en L_{day} et L_{night} , comme utilisé en Suisse. 53.3 dB L_{den} équivaut à 51dB L_{day} (6h-22h) et 44 dB L_{night} (22h-6h) (avec une marge d'erreur respective de 0.8 et 0.9 dB).

Enfin, concernant l'exposition nocturne, l'OMS a pour référence un seuil de 3% de la population « très gênée dans son sommeil ». Malgré des intervalles de confiance importants, l'OMS estime que le bruit routier représente un risque significatif, avec un dépassement du seuil dès une exposition nocturne de plus de 45,4 dB L_{night} (23h-7h) soit selon le modèle de Brink et Al (2018), 44.3 dB L_{night} (22h-6h) avec une marge d'erreur de 0.6 dB.

En plus de ces risques significativement prouvés, l'OMS soupçonne le bruit routier d'avoir des effets négatifs sur la concentration (cognitif) notamment des enfants, et l'hypertension. Cependant, les études actuelles ne sont pas suffisamment significatives. En outre, le bruit pourrait favoriser le stress, la fatigue, les comportements asociaux (communication et isolement) sans toutefois en connaître la force.

L'OMS fait donc trois recommandations dites « fortes ». Ne pas dépasser une exposition supérieure à 53 dB L_{den} ni supérieure à 45 dB $L_{night(23h-7h)}$. Cela correspond environ à 50.7 dB $L_{day(6h-22h)}$ et 43.7 dB $L_{night(22h-6h)}$ (Brink et al, 2018). En outre, elle recommande fortement de respecter ces limites en agissant tant à la source du bruit que sur son chemin de propagation.

En prenant pour base les valeurs recommandées par l'OMS, le nombre de personnes surexposées est bien plus important que celui trouvé par l'OFEV (2019b) avec les valeurs légales.

L'OFEV (2019) a commandé une étude s'appuyant en partie sur celle de l'OMS (2018) estimant l'impact du bruit sur la santé. Cette dernière se base sur les DALY (disability-adjusted life years). Elle conclut que les bruits dus au transport (avion, train et routes) engendreraient la perte de 69 300 années de vie en bonne santé pour la seule année 2015 (hypothèse moyenne). Cela s'expliquerait par les troubles du sommeil (44 %), la gêne (43 %) et les maladies coronariennes (13 %). 77 % de cette perte est imputable au bruit routier. Ainsi, le bruit routier fait perdre entre 25 000 et 180 000 années de vie en bonne santé en 2015, avec une hypothèse moyenne de 53 318 années. En mettant ce chiffre en relation avec celui de l'espérance de vie en bonne santé (OFS, 2019) disponible pour l'année 2017, cela équivaut à 758 morts⁷, soit bien plus que les 253 morts de la circulation routière en 2015 (OFS).

Une comparaison par canton n'est pas disponible. Cependant, nous pourrions faire l'hypothèse que cet impact sur la santé est proportionnel au nombre de personnes exposé au bruit.

Nous pouvons conclure que l'impact du bruit sur la santé nécessite encore de la recherche pour le comprendre précisément et déduire l'ampleur de ce dernier. Cependant, le bruit est indiscutablement néfaste pour la santé, dans des proportions comparables à d'autres risques nécessitant une forte intervention de l'État comme la sécurité routière. La santé est donc un enjeu majeur pour justifier la lutte contre le bruit.

⁷ Ce chiffre a été calculé pour donner une idée plus précise de l'ordre de grandeur en divisant les DALY par l'espérance de vie moyenne en bonne santé. Ce dernier reste toutefois théorique et son interprétation sujette à précaution.

2.2.2 Impact économique

L'impact économique de la circulation routière engendré par le bruit est très important. Actuellement, il ne s'évalue qu'en deux secteurs : la santé et l'immobilier. D'autres aspects, comme le tourisme, le commerce, les loisirs, la productivité au travail ne sont que peu renseignés. En Suisse, ce coût est estimé à 2 180 millions de francs rien que pour le bruit routier soit 18,4 % des coûts externes imputables au transport routier individuel et de marchandise privée (ARE, 2020). Cela représente 80 % des coûts imputable au bruit du secteur du transport. 55 % sont des coûts de santé et 45 % des pertes de valeurs immobilières. Ces dernières représentent les pertes dues à la nuisance dans la mesure où il renseigne sur la valeur accordée à un environnement calme et la propension à payer pour celui-ci. Dans le détail, l'ARE estime que 36 % de ces nuisances imputables au bruit routier sont dues au transport de marchandises et 61,5 % au transport motorisé privé.

L'impact économique du bruit est donc certainement sous-évalué, mais est très important. On remarque encore que la santé joue un rôle prépondérant dans ce bilan.

2.2.3 Autres (social-inégalités)

L'impact du bruit routier sur la société pourrait être bien plus important que celui qu'on arrive à mesurer. En effet, on peut estimer qu'il a des impacts sociaux. Tout d'abord, la répartition des personnes exposées à des nuisances sonores est inégale. En effet, les personnes défavorisées sont d'avantages exposées aux nuisances, du fait de loyers inférieurs dans les zones bruyantes. Cela s'ajoute aux bruits de voisinages certainement plus importants dans des immeubles peu isolés et plus denses. Il y a donc une inégalité dans l'exposition de la nuisance qui est certainement très importante, sans que cela soit toutefois bien documenté. En outre, le bruit a un impact sur l'utilisation des espaces. Le bruit enferme dans les espaces moins bruyants (intérieur) dans la mesure où il est gênant. Le bruit empêche ainsi d'utiliser les espaces extérieurs, plus propices aux interactions sociales. L'utilisation de l'espace public en est certainement négativement impactée, avec une réduction des surfaces utiles et un attrait moindre. C'est pourquoi l'aménagement de zones calmes en milieux urbains est important (Cercle bruit, 2015).

Enfin, d'autres impacts sont très peu documentés, comme les nuisances sur la faune (nidification, reproduction, espaces).

2.2.4 Synthèse : des externalités négatives nécessitant l'intervention de l'État

Le bruit routier est par conséquent une externalité négative entraînant un impact très important sur la santé des personnes exposées, et pèse sur l'activité économique. De nombreuses autres nuisances restent peu étudiées, notamment l'impact social, ou sur la faune. Il n'en demeure pas moins que les arguments plaçant pour une réduction du bruit sont importants et justifient une intervention de l'État.

2.3 Instruments de lutte en Suisse : programme administratif

Nous allons maintenant finir cette contextualisation par une présentation du cadre instrumental de la lutte contre le bruit routier en Suisse et à Genève. La lutte contre le bruit routier s'appuie en grande partie sur un programme fédéral, exécuté par les cantons.

2.3.1 LPE / OPB une base légale fédérale

La lutte contre le bruit trouve ses sources dans la constitution fédérale avec la protection de l'environnement (art. 74 Cst) et des atteintes nuisibles et incommodes pour l'être humain. Cet article institue en outre le principe de pollueur payeur en s'appuyant sur le principe de causalité, ainsi que le principe de prévention. Cet article est l'héritier de l'article 24^{septies} introduit dans la constitution de 1874 après la votation populaire de 1971 (Mahon et Sow, 2018) impulsée par la motion Binder de 1964. Il offre à la confédération une compétence législative générale en matière de protection de l'environnement, tout en confiant l'exécution de ces dispositions aux cantons.

La confédération a fait usage de cette compétence législative en adoptant la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE) le 7 octobre 1983. La LPE est rentrée en vigueur au 1^{er} janvier 1985, quatorze ans après l'introduction du principe constitutionnel. C'est dans cette loi que l'on trouve les bases de la lutte contre le bruit. Concernant le bruit routier, la LPE s'applique par l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) entrée en vigueur le 1^{er} avril 1987. Il convient tout d'abord de remarquer que le législateur a principalement visé les installations produisant des émissions de bruit. L'art. 7 al. 1 OPB définit les atteintes comme dues à la construction ou à l'exploitation d'installations, à l'utilisation de substances, d'organismes ou de déchets ou à l'exploitation des sols. Dans le cas du bruit routier, le groupe cible défini par la LPE et l'OPB sont donc principalement les propriétaires d'infrastructures routières. La notion de bruit est ainsi conditionnée à sa provenance d'une construction ou de l'exploitation d'une

installation (Favre, 2010). Le bruit recouvre alors l'ensemble des émissions dues à l'exploitation de l'installation.

2.3.1.1 Valeurs maximales d'immission

L'évaluation des immissions est, dans le cas du bruit routier, directement réglementé par l'OPB. Il existe ainsi 3 valeurs légales d'immission déclinées en période de jour (6h-22h) et de nuit (22h-6h). Les valeurs de planification (VP), les valeurs limites d'immission (VLI) et les valeurs d'alarme (VA). Ces valeurs sont en outre établies en fonction de degrés de sensibilités, avec 4 degrés possibles, allant de la zone de détente à la zone industrielle. Ces limites s'appliquent aux locaux définis comme sensibles au bruit, en prenant comme point de référence les fenêtres ouvertes. Par exemple, une cuisine non habitable, un placard ou une salle de bain ne sont pas définis comme sensibles au bruit et ne sont par conséquent pas des lieux d'immission. En outre, les locaux d'exploitation sensibles au bruit (ne générant pas de bruit important) bénéficient de valeurs limites de 5dB supérieurs (des bureaux par exemple).

Degré de sensibilité (art. 43)	Valeur de planification Lr en dB (A)		Valeur limite d'immission Lr en dB (A)		Valeur d'alarme Lr en dB (A)	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Ces valeurs d'immission pour le bruit routier s'appuient sur une formule de Leq en dB(A), comme une moyenne annuelle d'exposition sonore sur la tranche horaire définie (jour ou nuit). En prenant en compte aussi les émissions des chemins de fer le cas échéant. Ce Leq doit être déterminé en tenant compte des émissions de l'installation, de la distance de la source, des effets du sol et des obstacles sur la propagation du son. Les émissions annuelles doivent être calculées en fonction du trafic journalier moyen (TJM), avec une distinction opérée entre les véhicules bruyants (camions, semi-remorques, autocars et autobus, motos et tracteurs) et les autres

(voitures de tourisme, voitures de livraison, minibus, cyclomoteurs et trolleybus). Une particularité peut être soulignée, avec l'application d'une correction de niveau (K_1) en fonction du trafic horaire annuel moyen. Ainsi, la valeur d'immission est réduite par une formule allant de -5dB pour une circulation moyenne inférieure à 31,6 véhicules par heures jusqu'à ne plus être corrigée à plus de 100 véhicules par heures. Il en résulte que ce Leq est spécifique à la Suisse et n'est pas toujours directement comparable avec d'autres indicateurs.

La propagation du son étant éminemment complexe, l'OFEV a édicté des normes afin de modéliser tant les émissions que la propagation du bruit routier. Deux modèles existent : StL86+ et Sonroad, nous y reviendrons plus tard.

2.3.1.2 Assainissement et VLI

Les installations doivent être assainies dans le but de respecter les valeurs limites d'immission. L'autorité d'exécution cantonale peut exiger une évaluation des immissions engendrées par l'exploitation d'une installation, et en cas de dépassement des valeurs limites applicables, ordonner des mesures d'assainissement dans un délai, aux frais du propriétaire de l'installation. Cela peut passer par des mesures de constructions d'équipement ou d'exploitation particulières. Le principe de proportionnalité s'applique : les mesures doivent être notamment économiquement supportables. Dans le cas où un intérêt prépondérant existe, l'autorité d'exécution cantonale peut octroyer des allègements.

Pour déterminer la valeur limite applicable, il faut considérer d'abord le degré de sensibilité affecté au lieu d'immission (et non d'émission). Les lieux sensibles aux bruits sont majoritairement situés DS II et DS III. Il existe parfois une tendance des communes à préférer l'attribution de DS III plutôt que DS II afin de ne pas subir les contraintes plus strictes ayant potentiellement des répercussions sur l'activité économique de la commune. La jurisprudence estime cependant que le la DS II doit être préférée lorsque le secteur n'a pas d'activités bruyantes ou est dévolu avant tout à l'habitation. L'OPB offre toutefois la possibilité de déclasser une zone d'un degré lorsque ce dernier était déjà exposé de manière importante au bruit (+de 5dB selon la jurisprudence). À l'origine, l'article 44 alinéa 2 de l'OPB (avant son changement au 1er janvier 2008 [RO 2007 4477]) imposait aux cantons de veiller à l'attribution de ces zones avant le 1^{er} avril 1997. Aujourd'hui encore, certaines communes genevoises n'ont toujours pas attribué les DS suite à des désaccords sur les DSII. Cela concerne cependant quelques communes rurales, principalement inquiètes pour l'activité agricole.

Les valeurs de planifications (VP) s'appliquent pour les nouvelles installations (après 1985) ou les installations entièrement modifiées. Elles peuvent être dépassées par les nouvelles installations au bénéfice d'allègements.

Les valeurs limites d'immissions (VLI) s'appliquent à toutes les installations. En cas de modifications notables d'une installation, l'assainissement de cette dernière doit être effectué au préalable ou de façon concomitante. Elles peuvent être dépassées par les installations au bénéfice d'un allègement. Cependant, les nouvelles installations ne peuvent les dépasser sans prendre des mesures sur les lieux d'immission (fenêtres antibruit).

Les valeurs d'alarme (VA) permettent à l'autorité d'exécution d'apprécier l'urgence de la situation. Elles ne doivent jamais être dépassées par une installation qui n'est pas publique ou concessionnaire. En cas de dépassement, des mesures sur le lieu d'immission doivent être prises.

2.3.1.3 Autres instruments

En matière de bruit routier, l'OPB introduit trois instruments principaux :

- Respect des valeurs de planification pour les nouvelles installations
- Assainissement des installations existantes (respect des VLI)
- Les nouvelles constructions de lieux sensibles au bruit doivent respecter par principe les valeurs limites d'immission

L'ordonnance prévoit ainsi de résoudre le problème public (nuisances et inconvénients) en étant exigeante sur les nouvelles installations et en assainissant les existantes dans un délai raisonnable (15 ans à compter de l'entrée en vigueur de l'OPB, repoussé de 15 ans avec échéance au 31 mars 2018). Elle prévoit en outre de ne pas exposer de nouvel habitant à des nuisances en limitant la construction dans les lieux bruyants.

Dans le cadre de mes recherches, je n'ai pas eu l'occasion d'étudier en profondeur la prise en considération du bruit dans la procédure d'autorisation de construire, et la pesée des intérêts qui y est faite. Cependant, l'OPB prévoit aussi des exceptions si un intérêt public prépondérant existe en cas de dépassement des valeurs légales, délivré par l'autorité d'exécution cantonale (OAC⁸ à Genève).

L'assainissement est l'instrument le plus utilisé dans la lutte contre le bruit routier.

⁸ Office des autorisations de construire

2.3.1.4 Rôle de la confédération

La confédération octroie des subventions aux cantons et communes assainissant leurs routes. Ces subventions se font de deux manières :

- Par l'intermédiaire des contributions globales octroyées dans le cadre de la loi fédérale concernant l'utilisation de l'impôt sur les huiles minérales à affectation obligatoire et des autres moyens affectés à la circulation routière et au trafic aérien (LUMin) pour les routes principales. En effet, la confédération n'octroie pas de subventions supplémentaires pour l'assainissement du bruit considérant que les contributions globales recouvrent aussi cette mission.
- Depuis 2008, par des conventions programmes de 4 années pour les autres routes, négociées avec les cantons. Ces subventions représentaient environ 33 millions de francs annuels avant 2018. Elles sont octroyées en fonction de critères centrés sur l'efficacité des instruments. Ainsi, la lutte à la source est mieux subventionnée. Dans les premières années, 50% des investissements étaient subventionnés (ils étaient cependant très faibles avant 2008) tandis qu'aujourd'hui cela représente environ 16%⁹.

L'octroi de ces subventions est dans plusieurs aspects conditionné par le respect des principes du manuel du bruit routier édité par l'OFEV qui décrit la méthode à adopter pour exécuter un assainissement, et particulièrement l'établissement des plans d'assainissement bruit (PAB).

La confédération joue aussi un rôle de coordinateur et effectuant un suivi de l'exécution des assainissements auprès des autorités d'exécution cantonale avec une enquête périodique (OPB art. 20). Cela permet de suivre l'utilisation des subventions, mais aussi de favoriser les bonnes pratiques par l'intermédiaire de rapports d'état comparant les cantons. Cette coordination passe aussi par un suivi des technologies, avec par exemple la tenue d'une base de données des revêtements silencieux et de leur performance dans le temps (auquel le canton de Genève participe beaucoup).

En outre, la confédération finance des recherches sur le bruit, recherches que nous avons beaucoup utilisées afin de mieux appréhender l'origine du bruit routier et les instruments de lutte contre le bruit. Ces études permettent enfin d'avoir une meilleure connaissance des

⁹ Il est à noter que souvent les travaux d'assainissement sont programmés lors d'entretiens nécessaires. Ainsi, le vrai coût de l'assainissement ne réside que dans le surcoût lié au bruit. Cependant, la confédération prend en compte l'ensemble de l'investissement. De cette manière, le surcoût lié au bruit est en majorité supporté par la confédération, le surcoût lié à la pose d'un revêtement silencieux tendant à être nul.

immissions sonores avec des outils de modélisation intéressants permettant d'estimer le nombre de personnes exposées au-dessus des valeurs limites (OFEV, 2018).

Enfin, la confédération a un rôle dans l'information aux citoyens et la prévention. L'OFEV administre un site internet dédié au bruit, en y publiant des informations clés ainsi que les études mandatées. Elle a mené aussi en collaboration avec les cantons une campagne de sensibilisation pour les lieux silencieux entre 2017 et 2018.

La confédération est ainsi l'instigatrice de la politique de lutte contre le bruit routier. Elle a joué un rôle déterminant dans l'élaboration du programme politico-administratif en définissant les propriétaires d'infrastructures comme le principal groupe cible. Elle joue aussi un rôle important dans l'exécution de cette politique publique, avec l'octroi de subventions importantes et une coordination nationale.

2.3.2 Exécution cantonale à Genève

La LPE et l'OPB prévoient une exécution cantonale. Cependant, l'art.42 al. 1 LPE prévoit la création d'un service cantonal spécialisé à même d'examiner les questions relatives à la protection de l'environnement, en orientant ainsi cette exécution.

À Genève, la loi d'application de la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LaLPE) entre en vigueur le 1^{er} janvier 1998, treize ans après la LPE. Le règlement sur la protection contre le bruit et les vibrations (RPBV) entre en vigueur le 20 février 2003.

Un plan de mesures d'assainissement du bruit routier est adopté en août 1998 afin de répondre à l'exigence de l'art. 19 OPB exigeant un programme d'assainissement des routes (abrogé en 2004). Ce plan de mesure a été partiellement mis à jour en 2016.

En octobre 2001, la L8644 octroie un crédit de 85 millions de francs sur la période 2002-2012 pour l'assainissement des routes cantonales. Entre 2002 et 2010, seuls 5,8 millions ont été dépensés au titre de la L8644, qui ne commencera à être vraiment utilisée qu'en 2012 (5,2 millions de dépenses annuelles) et est toujours la base légale des dépenses actuelles pour l'assainissement des routes cantonales (70,6 millions utilisé fin 2019). La mise en œuvre de la politique de lutte contre le bruit dans le canton de Genève commence ainsi plus de 25 ans après l'entrée en vigueur de la LPE, 48 ans après la motion Binder.

2.3.2.1 Autorité d'exécution

Le RPBV désigne la direction générale du génie civil comme l'autorité d'exécution en matière de « bruit des routes » pour appliquer l'OPB. Il s'agit donc de l'office cantonal du génie civil (OCGC) dont fait aussi partie le service de routes (SR) exploitant des routes cantonales.

2.3.2.2 SABRA

Le service spécialisé au sens de l'art. 42 al. 1 LPE est le service de l'air du bruit et des rayonnements non ionisants (SABRA)¹⁰. Ce dernier est principalement en charge d'établir le cadastre du bruit routier, rendre des préavis aux autorités d'exécutions, effectuer des contrôles sur la demande de l'autorité d'exécution ou de son initiative.

2.3.2.3 Commission PRASSOB

Le RPBV crée une commission interdépartementale pour le suivi des projets d'assainissement des routes (PRASSOB). Elle est présidée par le SABRA qui regroupe les préavis émis par les membres de cette commission dans un préavis de synthèse. On y trouve représenté en plus du SABRA, l'OCGC, l'office des autorisations de construire (OAC), l'office du patrimoine et des sites, l'office cantonal des transports (OCT), les TPG¹¹, la police routière et la Ville de Genève.

La logique d'action est ainsi la suivante : sur la base du plan de mesure, qui définit les axes à assainir, les propriétaires des routes présentent un plan d'assainissement bruit (PAB) en commission PRASSOB. Ces PAB sont discutés lors d'une séance technique puis d'une séance plénière où ils sont validés. Lors de ces séances, les membres de la commission peuvent faire des observations et demander des modifications du PAB proposé par l'exploitant de l'installation bruyante. Les PAB sont établis sur mandat par l'exploitant (SR pour les routes cantonales, services communaux). Ils comportent un état des lieux de la situation à horizon +20 ans sans intervention, puis décident des instruments nécessaires au respect des valeurs légales et de leur efficacité. Le PAB examine ensuite la proportionnalité et le caractère économiquement supportable des mesures possibles sur la base de critères établis par la confédération. On utilise le WTI qui est un indice permettant de prendre en considération l'efficacité et le coût d'une mesure. Dans le manuel du bruit routier, il est par exemple établi un coût maximum de 5 000 CHF par décibel et par personne. Ainsi, diminuer les immissions de 3dB pour 5 personnes ne devrait pas coûter plus de 75 000 CHF. Au-delà le caractère économiquement supportable n'est pas respecté. Ce WTI est donc calculé pour chaque mesure

¹⁰ Anciennement le service de protection contre le bruit et les rayonnements non ionisants (SPBR)

¹¹ Transports publics genevois

envisagée et permet d'écartier les mesures disproportionnées. Dans le cas où toutes les mesures envisageables et économiquement supportables ne permettent pas de respecter les valeurs légales, des allègements sont accordés (art. 7 et 14 OPB) par bâtiments.

2.3.3 Synthèse : un programme fédéral mis en œuvre par les cantons

L'essentiel de l'effort d'intervention de l'État s'appuie sur un programme d'assainissement des installations routières. Ce programme est défini au niveau fédéral et mis en œuvre par l'autorité d'exécution cantonale. On observe que le programme a nécessité des délais très importants pour être adopté, tant au niveau fédéral qu'au niveau cantonal.

2.4 Une mise en œuvre déficiente

Nous avons vu que l'adoption du programme de lutte contre le bruit routier a nécessité des délais très importants. Dans cette partie nous allons en outre constater un certain nombre de déficiences dans la mise en œuvre de ce programme.

2.4.1 Une faible protection

Dans son bilan portant sur l'état de mise en œuvre des assainissements en 2018, l'OFEV (2019b), montre que les cantons romands appliquent bien le principe de lutte à la source, au contraire des autres cantons favorisant la pose de fenêtres antibruit. Il en résulte que la lutte à la source est beaucoup plus efficace et efficiente pour protéger les habitants. Le canton de Genève est le canton ayant protégé le plus de personnes en nombre absolu (35 400 fin 2018). Il protège une part importante des personnes initialement exposées en comparaison intercantonale. Toutefois, avec 22,6 % de la population exposée, il reste plus de 110 000 personnes surexposées à l'échéance du délai légal d'assainissement. La politique de protection contre les atteintes nuisibles et incommodes reste donc très peu mise en œuvre concernant le bruit routier.

La LPE prévoit (art. 15) que « les valeurs limites d'immissions s'appliquant au bruit et aux vibrations sont fixées de manière que, selon l'état de la science et l'expérience, les immissions inférieures à ces valeurs ne gênent pas de manière sensible la population dans son bien-être ». Or, les valeurs limites n'ont jamais été révisées depuis l'application de l'OPB en 1987. La commission fédérale de lutte contre le bruit (CFLB) se penche actuellement sur l'opportunité d'une révision de ces valeurs. Il est à noter que le respect des recommandations de l'OMS en la matière (50,7 dB(A) le jour et 43,7dB(A) la nuit) ne correspond même pas au VLI d'une DSI, très rarement attribué (uniquement l'hôpital de Belle Idée à Genève). Les VLI applicables en

Suisse sont donc moins strictes que les recommandations de l’OMS. Un habitant d’une zone DSIII peut supporter 14dB de plus le jour et 11dB de plus la nuit que les valeurs de l’OMS, soit respectivement près de 27 et 13 fois les recommandations. Cela équivaut dans les deux cas à plus que doubler le risque relatif sur lequel s’appuie l’OMS pour établir ses recommandations.

Nous pouvons toutefois souligner la difficulté à adopter de telles valeurs limites dans la mesure où elles s’appuient à la fois sur des connaissances scientifiques (Knoepfel et Imhof, 1991) et la perception du risque politique associé (Knoepfel, 1992). Dans le premier cas, les bases sont souvent des connaissances partielles engendrant de l’incertitude. Dans le second, l’adoption de VLI s’apparente à une formalisation du risque admissible par la société, comme la définition exacte du seuil de risque tolérable¹². Ce dernier peut être difficile à assumer politiquement en augmentant la conflictualité auprès des acteurs sociaux (Knoepfel et Varone, 1999). Ainsi, cette formalisation des priorités reste complexe à opérer pour la Commission fédérale de lutte contre le bruit (CFLB) et les autorités d’exécution cantonales.

2.4.2 Une vision restreinte des groupes cibles

Une politique publique est un programme politico-administratif qui tente de résoudre un problème collectif qui a été mis à l’agenda politique. Comme nous l’avons vu dans notre première partie, dans le cas du bruit routier le problème collectif est politiquement défini afin de protéger les habitants des immissions sonores néfastes et gênantes produites par les infrastructures routières. Le principal groupe cible de cette politique est donc le propriétaire d’infrastructures routières qui doit respecter des valeurs limites d’immissions. La politique définit d’autres groupes cibles, comme les propriétaires de terrains constructibles qui ne peuvent construire que lorsque les valeurs limites d’immission sont respectées.

Ce programme politico-administratif est constitué d’un certain nombre d’objectifs, d’instruments, de procédures et de ressources qui produit une activité engendrant des produits administratifs. Ces produits ont des effets sur les groupes cibles, avec un impact auprès des bénéficiaires finaux. Cet impact doit dans la mesure du possible résoudre le problème collectif.

Dans le cas de cette politique publique de lutte contre le bruit routier, l’effet recherché sur les groupes cibles est l’assainissement des axes routiers. Cela aura un impact en limitant l’intensité sonore subie par les habitants, ce qui de manière plus globale répondra à l’objectif de réduire la

¹² À ce propos, on peut prendre l’exemple l’ordonnance sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer (RS 742.144) qui a pour objectif de protéger 2/3 des personnes surexposées (art. 2 al. 3). C’est la formalisation d’une allocation inégalitaire des polluants politiquement acceptable.

nuisance et la gêne subie par la population en limitant les atteintes à la santé et à la qualité de vie dans les lieux définis comme sensibles au bruit. De cet objectif constitutionnel de protection de l'être humain et de son environnement naturel contre les atteintes nuisibles ou incommodantes (art. 74 al. 1 Cst.), la LPE s'oriente vers une protection des hommes, des animaux et des plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes (art.1 al.1 LPE). On constate que le concept de « nuisible ou incommodant » est traduit dans l'OPB par des valeurs $Leq L_{day(6h-22h)}$ et $L_{night(22h-6h)}$ que les installations doivent respecter, valeurs supérieures aux recommandations de l'OMS. Les bénéficiaires finaux de la politique se restreignent alors aux occupants des locaux définis comme sensibles au bruit. En outre l'art. 74 al. 2 Cst., promeut le principe du pollueur payeur. Cependant, ce principe se retrouve limité par l'outil d'assainissement mis en place qui ne s'adresse qu'aux propriétaires d'infrastructures routières en oubliant totalement le rôle des utilisateurs de la route dans l'émission du bruit. Ce principe est même dévoyé lorsqu'il met les propriétaires de terrain constructibles à contribution en leur interdisant l'édification de locaux sensibles au bruit dans des zones surexposées.

Les constructeurs de véhicules sont mis à contribution à travers les normes d'homologation européennes, en restant toutefois assez souples dans la mesure où les véhicules sportifs peuvent émettre plus de bruit que les autres, et que l'évolution de la sévérité de ces normes ne suit pas les efforts des constructeurs, fussent-ils involontaires (amélioration du confort et des performances, respect des normes antipollution). L'étiquetage des pneumatiques en 2014 et l'interdiction des valves d'échappement permettant le contournement du silencieux en 2016 sont les dernières évolutions notables les concernant.

L'utilisateur d'un véhicule est très peu visé par la politique de lutte contre le bruit routier. L'art. 42 de la loi sur la circulation routière et l'art. 33 de l'ordonnance sur les règles de la circulation routière prévoient cependant que les conducteurs doivent faire en sorte de ne pas engendrer des nuisances sonores qu'ils peuvent éviter. Mais dans la pratique, les autorités peinent à contrôler les émissions sonores disproportionnées et poursuivre leurs auteurs. Seuls les contrôles (périodique ou inopportun) visant à vérifier que le véhicule respecte les normes d'homologation se font. Cependant, dans le cas périodique, l'utilisateur peut démonter des dispositifs avant contrôle et dans le cas inopportun, le matériel nécessaire au contrôle ainsi que son utilisation mobilisent beaucoup de ressources de sorte que ces derniers restent anecdotiques, réservés à des actions de communication coup de poing. En outre, un véhicule satisfaisant aux normes d'homologation peut être bruyant du fait de son utilisation inappropriée. Le comportement du conducteur, bien que les bases légales existent, ne semble cependant que rarement contrôlé ou

poursuivi. Au niveau fédéral, deux initiatives parlementaires ont été déposées en juin 2020 dans le but de créer une base légale permettant de mieux encadrer le bruit des utilisateurs de la route. La première demande de restreindre la circulation des motos qui dépassent les 95 décibels à l'arrêt¹³ (un des tests d'homologation européens). La seconde souhaite permettre l'utilisation répressive de radars acoustiques¹⁴ pour lutter contre les comportements bruyants.

2.4.3 Des mesures constructives

L'assainissement des routes mobilise la majorité des ressources de la confédération, des cantons et des communes dans la lutte contre le bruit routier. L'assainissement reste cependant très orienté vers des mesures constructives telles que la pose de revêtements silencieux ou dans le pire des cas, la pose de fenêtres antibruit. Ainsi, au 31.12.2018, le canton de Genève a mobilisé 77,9% des investissements pour l'assainissement du bruit des routes cantonales dans la pose de revêtements silencieux (RD 1282). De telles proportions sont plus difficiles à calculer pour les communes, cependant, il ressort des entretiens effectués que le revêtement silencieux est de loin la mesure la plus mise en œuvre. Le phonoabsorbant est considéré comme un instrument magique, permettant de réduire jusqu'à 10 décibels le bruit routier. Cependant, ce dernier n'agit que sur le bruit de roulement, et bien que ce dernier soit prépondérant dès 25 ou 30 km/h, il n'en reste pas moins qu'il n'agit pas sur le bruit de moteur ni sur les bruits liés aux comportements. Ainsi, il est considéré par le manuel du bruit routier que la pose d'un revêtement silencieux réduit de 3dB les émissions sonores globales, ce qui correspond à une diminution par deux du trafic. Une telle hypothèse apparaît suffisamment ambitieuse dans la mesure où même si l'on supprime le bruit de roulement totalement, les bruits de moteur et de comportement demeurent, et il peut être considéré qu'en ville ces derniers représentent la moitié du bruit émit. Ainsi, une diminution de la moitié du bruit correspond à une baisse de 3dB. Or, les performances des revêtements silencieux tendent à diminuer dans le temps avec la perte des porosités de surfaces. Cette mesure constructive ne peut donc pas être la solution unique à l'ensemble des axes routiers, ne permettant pas toujours de respecter les valeurs légales.

2.4.4 Synthèse : Une protection contre le bruit limitée

La protection contre le bruit routier est mise en œuvre de manière assez limitée. On observe qu'une part très importante de la population urbaine est exposée à des valeurs supérieures au seuil légal, lui-même supérieur aux valeurs de l'OMS. En outre, plusieurs acteurs participant à

¹³ <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20200444>

¹⁴ <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20200443>

cette pollution sont les passagers clandestins de cette lutte qui se concentre sur les détenteurs d'infrastructures routières. Enfin, les mesures prises sont principalement constructives et ne permettront pas d'atteindre les objectifs de la LPE à elles seules.

3 Les causes d'une mise en œuvre inefficace

Près de 50 ans après l'entrée dans la constitution fédérale de la volonté de lutter contre les atteintes nuisibles ou incommodes à l'être humain et son environnement, le bruit routier demeure une pollution diffuse et continue très importante, avec une très large part de la population exposée à des niveaux sonores supérieurs aux recommandations de l'OMS. Les instruments de lutte contre le bruit actuels contiennent tout juste les effets de la croissance de la mobilité en transport individuel motorisé (TIM). Il est par conséquent nécessaire d'identifier les points de blocage dans la mise en œuvre du principe constitutionnel de lutte contre les émissions nuisibles et incommodes.

La contribution de Peter Knoepfel traduite en 1997 par Christophe Clivaz (Knoepfel et Clivaz, 1997) identifie les conditions nécessaires à une mise en œuvre efficace des politiques environnementales. L'auteur s'appuie sur de nombreuses recherches comparatives réalisées au niveau international, et à son expérience dans la politique environnementale suisse et sa gestion.

La réflexion se construit en cinq étapes à propos des acteurs, des bases scientifiques, du programme administratif, de la structure administrative et de la mise en œuvre. À chacune d'elles, l'auteur identifie les points importants afin de faciliter la mise en œuvre de la politique environnementale en évitant les points de blocages. Cette vue d'ensemble m'a semblé pertinente afin d'apporter une réflexion sur les éventuelles recommandations qui pourraient être adressées aux autorités administratives et politiques pour améliorer la lutte contre le bruit routier en Suisse et à Genève. À de très nombreuses reprises, j'ai, dans le raisonnement de l'auteur, identifié des points pertinents qui s'appliquaient à la politique étudiée, à tel point que cette dernière en devenait un cas d'école. Les éléments qui sont abordés me semblent assez représentatifs des enjeux identifiés lors de mon stage, me permettant par cette occasion d'en couvrir une bonne partie.

3.1 Acteurs

Knoepfel note que les politiques environnementales ont inclus les acteurs dans leur construction et mise en œuvre en deux temps. Jusqu'à la fin des années 70, une relation bilatérale entre l'État et les groupes cibles puis un triangle de fer en incluant aussi les associations environnementales.

3.1.1 État régulateur

Dans le premier temps, l'État assure un rôle de régulateur en imposant des valeurs limites d'émission ou en formulant des interdictions d'utilisation adressées individuellement aux groupes cibles. Ces derniers participent à la formulation de la législation les concernant, prennent part à de nombreuses commissions officielles et apportent de cette manière leurs connaissances indispensables à la gestion de la problématique, tout en défendant leurs intérêts. Les négociations opérées entre l'État et les groupes cibles portent plus sur les modalités de transition et les délais d'application que sur les valeurs limites. On observe bien ce phénomène avec le bruit routier, où le débat se centre sur les conditions de subventionnement des assainissements et leur délai de mise en œuvre.

3.1.2 Triangle de fer

Knoepfel identifie que dès le milieu des années 70, les associations environnementales tentent de s'inviter au débat. Depuis les années 80, elles sont de plus en plus écoutées et considérées comme des partenaires tant dans l'élaboration que la mise en œuvre de ces politiques. Pour l'auteur, l'environnement étant une affaire de tous, les associations ont toute leur place dans les politiques environnementales. L'État et les groupes cibles doivent dès lors composer avec elles, en formant le triangle de fer.

Les administrations publiques qui portent traditionnellement un regard méfiant vis-à-vis des associations environnementales laissent place à une relation client. Ces associations sont des leviers précieux en apportant leur expertise, permettent de légitimer l'intervention de l'État et de le mobiliser en fournissant des informations pertinentes sur le niveau de pollution et son impact. Pour Knoepfel, une politique environnementale efficace ne peut se passer des associations environnementales dans la mesure où ces dernières permettent de mobiliser l'opinion publique (mise à l'agenda, prévention), mais aussi d'assurer un certain contrôle sur les groupes cibles (chiens de garde). Les associations environnementales ont ainsi de plus en plus la parole notamment à travers les études d'impacts et les voies de recours. D'autre part, ces discussions peuvent aussi avoir lieu en dehors d'un cadre formel (médiation, gentleman agreement). En l'absence d'inclusion de ces dernières, des conflits violents peuvent apparaître lors de la mise en œuvre.

Les groupes cibles ont aussi compris l'intérêt à entretenir de bonnes relations avec les associations environnementales. Un phénomène d'autorégulation s'opère lorsque les associations s'emploient à dénoncer les « moutons noirs ». Il existe de nombreux cas de

gentlemen agreement ayant conduit à des émissions ou des normes internes plus strictes que la législation. Dans ce 2^e temps, les groupes cibles sont plus ouverts à la transparence et fournissent des informations autrefois secrètes aux associations.

Ces dernières jouent donc un rôle intéressant pour améliorer les politiques environnementales.

Dans le cas du bruit routier en suisse, on observe peu d'influence des associations environnementales sur la politique, tant dans sa conception que dans sa mise en œuvre. Le triangle de fer ne semble pas constitué, et la politique de lutte contre le bruit routier se joue principalement entre l'État et les groupes cibles. Cela va même plus loin puisque les exploitants d'infrastructures routières sont des administrations publiques. L'intérêt pour ces dernières d'inclure les associations environnementales dans la partie est donc très faible, la gestion de la problématique se faisant au sein des administrations.

Knoepfel insiste en effet que ce triangle de fer n'est pas naturel. C'est sur une culture de la coopération que ces structures d'acteurs se construisent. L'État doit ainsi favoriser la constitution d'associations environnementales, notamment en leur conférant une expertise (formation) et en instaurant une culture de la transparence chez les groupes cibles. Les discussions tripartites doivent être privilégiées.

On comprend alors les difficultés à favoriser l'émergence d'un triangle de fer dans la politique de lutte contre le bruit routier, tant au niveau fédéral que cantonal : Le bruit est un domaine technique tant dans l'évaluation de sa présence, de son impact sur l'environnement que dans les instruments de lutte et leur efficacité. Une expertise nécessite un accès à des données souvent difficiles d'accès et complexe à interpréter. Les groupes cibles, souvent des administrations de génie civil disposent de compétences très spécifiques avec une connaissance monopolistique des infrastructures routières. La lutte contre le bruit routier reste ainsi grande partie une affaire de bureaucrates, avec toutefois quelques exceptions, comme la tentative de constitution d'un consortium de plaignants à la suite de l'échéance du délai légal d'assainissement ou encore la diffusion d'informations par des associations venant toutefois majoritairement de l'expertise administrative.

3.1.3 Organisation sectorielle de l'administration

Knoepfel complète cette cartographie des acteurs en soulignant l'importance de l'organisation sectorielle de l'État souvent composé d'administration défendant l'intérêt économique de leur secteur au détriment des pratiques environnementales. Ces administrations sectorielles sont les

alliées naturelles des groupes cibles. Cela est encore plus compliqué lorsque cela concerne les ouvrages infrastructurels de l'État. Ainsi, lors de la mise en place d'une administration environnementale, l'auteur considère qu'il est nécessaire de conférer un poids suffisant à la protection de l'environnement par rapport à des services infrastructurels établis de longue date sans quoi les exigences tendront à être moins sévères qu'à destination du secteur privé.

À Genève, l'autorité d'exécution de l'OPB pour les installations privées est le SABRA rattaché à l'office cantonal de l'environnement. Cependant, lorsque les installations sont publiques comme les routes, les installations militaires ou de sport, le RPBV définit les administrations concernées comme autorité d'exécution, si bien que l'OCGC est l'autorité d'exécution de l'OPB dans le domaine du bruit routier. Aussi, le poids accordé à la protection de l'environnement a toutes les chances d'être faible dans cette politique environnementale selon Knoepfel.

3.1.4 Synthèse : des acteurs environnementaux faibles

La politique de lutte contre le bruit routier n'a pas atteint le stade du triangle de fer. Les associations environnementales ne semblent pas incluses dans le jeu des acteurs et ne peuvent pas jouer un rôle favorable à une mise en œuvre de cette politique environnementale. La régulation de l'État risque d'être faible d'autant plus que le groupe cible de la politique est un acteur public et que le poids de l'administration environnementale est assez faible dans la mise en œuvre genevoise.

3.2 Base scientifique

Une politique publique environnementale nécessite un suivi de l'environnement, des technologies et de la politique. Ce suivi est technique et nécessite pour Knoepfel des bases scientifiques afin de refléter au mieux la réalité du terrain.

3.2.1 Suivi de l'environnement

Il est ainsi nécessaire de connaître l'origine des émissions et l'évolution de celle-ci afin de savoir où agir. En outre, la connaissance des valeurs d'immissions permet d'identifier les situations d'urgences et de mesurer l'efficacité de la mise en œuvre de la politique environnementale.

3.2.1.1 La connaissance des émissions

La distinction entre émission et immission est très pertinente pour de nombreux polluants se propageant et se concentrant dans des espaces vastes (eaux, air). Dans le cas du bruit, les lieux d'immissions sont relativement proches des lieux d'émission, et la vitesse de propagation proche de l'instantané. La relation entre immission et émission a été jugée suffisamment directe pour imposer aux groupes cibles des limites d'immission et non pas d'émission. Cependant, la connaissance de l'origine et des causes des émissions a son importance afin de choisir les bons instruments de lutte. Cette connaissance semble parfois faire défaut en sous-estimant l'impact du comportement sur les émissions. Dans l'état actuel de la littérature, il est assez difficile de rendre compte de la proportion de bruit émis en fonction des sources (roulement / moteur, 2 roues / voitures, bruits de comportement / bruit normaux), d'autant plus en milieu urbain. Une telle connaissance permettrait cependant de mieux définir les instruments pertinents, et démontrerait certainement la nécessité des mesures complémentaires à celle de nature infrastructurelle principalement mise en œuvre actuellement.

Pour Knoepfel, il s'agit de reconstruire la chaîne de pollution pour servir de base à l'intervention de l'autorité politico-administrative. La méthode de cette reconstruction a un impact direct sur cette intervention.

3.2.1.2 Impact de la méthodologie de mesure

L'OPB imposant la tenue d'un cadastre des immissions, c'est ce dernier qui est tenu par les cantons. La méthodologie d'élaboration de ces cadastres est toutefois un point très important à prendre en compte, car il a un effet politique direct. Il existe schématiquement deux façons d'établir un cadastre : par modélisation ou par mesure in situ. À Genève, on combine ces deux méthodes en effectuant des mesures in situ (de courte durée) des émissions globales d'un axe routier et en modélisant la propagation de ces émissions sur les lieux d'immission (façades). On observe d'une part que les mesures d'émission globale ne permettent pas de rendre compte de manière précise des sources d'émissions (roulement, moteur, comportement), ce qui serait pourtant pertinent afin de choisir les instruments de lutte. En outre, comme nous l'avons vu dans notre première partie, la propagation du bruit est éminemment complexe à modéliser, tant le nombre de variables l'influençant est important.

L'OFEV a mis en place une première méthode de modélisation des immissions StL-86 en 1986, légèrement amélioré en 1995 (StL-86+), et a développé un nouveau modèle en 2004 (SonRoad). Ces modèles permettent de calculer les immissions sonores en 2 étapes. Une modélisation des émissions, puis une modélisation de la propagation. Les émissions sont calculées à partir du

trafic journalier moyen (TJM) avec une distinction entre les véhicules bruyants et les véhicules normaux. D'autres facteurs sont pris en considération comme le type de revêtement, la déclivité de la route, la vitesse réelle des véhicules. Le principal défaut de ces modèles est qu'ils s'appuient sur des valeurs fixes qui ne reflètent pas la diversité des sources d'émissions (modèle des véhicules, caractéristiques exactes du revêtement, fluidité du trafic, impact météorologique). Ces modèles reposent ainsi sur des valeurs moyennes et l'état de la technique lors de leur conception.

Ainsi, la modélisation des émissions ne prend pas en compte les accélérations ni les caractéristiques directionnelles de la source. La propagation des émissions prend en compte la distance, les effets de sol et les effets d'obstacles. Cependant, les caractéristiques réelles des matériaux ne sont pas connues, les effets météorologiques ne sont pas pris en considération, les réflexions multiples ne sont pas modélisées et l'analyse se fait uniquement en coupe (pas de modélisation 3D) ne permettant pas de simuler les effets de diffraction.

Il est à noter que le modèle SonRoad est encore peu utilisé par les autorités d'exécutions malgré sa promotion par l'OFEV depuis 16 ans. Le modèle StL-86+ dont la désuétude des bases scientifiques a justifié la mise au point de SonRoad (Heutschi, 2004) lui est toujours préféré. Cela s'explique par deux raisons : StL-86+ étant plus simpliste il nécessite moins de données d'entrée et est ainsi plus simple à mettre en œuvre. En outre, les estimations de propagation de SonRoad semblent moins favorables sur sol dur et en présence d'obstacles (ville) que celles estimées par StL-86+, avec une différence allant jusqu'à +6dB. Au contraire, SonRoad semble plus favorable sur sol mou (campagne) avec une différence d'estimation allant jusqu'à - 4 dB par rapport à StL-86+. Le bruit étant principalement une problématique urbaine, on comprend que l'utilisation de SonRoad conduirait à une mise en œuvre plus complexe de l'OPB avec des estimations plus sévères. Il n'en demeure pas moins que la fourchette d'estimation allant de - 4dB à +6dB nous renseigne sur la précision offerte par la modélisation d'autant plus que le décibel est une échelle logarithmique. Le choix des méthodes d'estimation des immissions a donc une importance toute particulière tant elles peuvent varier avec les conséquences sur la mise en œuvre d'instruments de protection. Il est par conséquent préférable d'effectuer des mesures in situ. Cependant, comme nous l'avons vu dans notre première partie, la méthode de mesure a elle aussi des impacts importants sur le processus décisionnel : les Leq ne prennent pas en compte toutes les nuisances ni la perception de ces dernières.

3.2.1.3 Mise à jour

Pour finir avec ce suivi (monitoring) de l'environnement, la précision du cadastre du bruit qui va servir de base décisionnelle nécessite une mise à jour régulière. Dans le canton de Genève, le SABRA ne dispose cependant pas de personnel alloué à cette tâche et a établi une mise à jour partielle en 2017. Cette absence de suivi régulier ne permet pas au canton et communes de suivre l'efficacité des mesures d'assainissement, ni d'identifier rapidement des changements de dynamique importants. Cela renforce une vision très statique des émissions s'alliant bien avec les mesures de type infrastructurelles.

3.2.1.4 Conclusion

Le cadastre du bruit routier genevois a le mérite de s'appuyer sur quelques mesures in situ des émissions. Cependant la fréquence et leur durée ainsi que les indicateurs utilisés (Leq) ne permettent pas de prendre suffisamment en considération les émissions d'origine comportementales. Le recours à la modélisation de la propagation engendre une marge d'erreur d'estimation importante, source de marge de manœuvre administrative et d'incertitudes pesant sur la nécessité d'agir. Enfin, l'absence de mise à jour régulière a souvent été pointée du doigt par les interlocuteurs, notamment afin de suivre l'efficacité des mesures mises en œuvre.

3.2.2 Suivi des technologies

Une politique environnementale nécessite en outre un suivi (monitoring) technologique. Le suivi des technologies existantes permet d'établir un état de la technique afin de combler l'écart entre la recherche et la pratique. L'OFEV tient par exemple à jour une liste du suivi des performances d'un échantillon de revêtements silencieux dans le temps auquel le canton de Genève participe de manière importante. Elle promeut aussi les bonnes pratiques (revêtement silencieux, baisse des vitesses) lors de réunions informelles regroupant les autorités d'exécution cantonales plusieurs fois dans l'année ou à travers des guides.

Ce suivi doit aussi permettre de mener une réflexion plus globale sur le comportement des groupes cibles et de l'opinion publique dans une approche sociologique. Le but étant pour Knoepfel de développer une ingénierie sociale adéquate à la mise en œuvre efficace de la politique environnementale. Il ne s'agit ainsi pas seulement de disposer des solutions technologiques adéquates, mais aussi la méthode de leur adoption. Par exemple comment faire en sorte que les automobilistes achètent des pneus silencieux ou comprendre pourquoi les cantons alémaniques ont davantage recours à la pose de fenêtre silencieuse que de mesures à la source ?

3.2.3 Suivi de la politique

Après le suivi environnemental et technologique un troisième type de suivi est mis en avant par Knoepfel : le suivi politique. Il s'agit principalement de l'accès aux données nécessaires à l'évaluation de la politique environnementale par les responsables d'administration, les gouvernements et autorités d'exécutions, mais aussi aux associations environnementales et aux citoyens.

Cela passe par une cartographie de ce qui a été mis en œuvre et une mise en relation avec d'autres données sur les secteurs polluants (charges de trafic, cadastre des émissions) et une évaluation périodique mettant en relation ce qui a été mis en œuvre et l'impact sur les bénéficiaires finaux. Dans son enquête annuelle, l'OFEV demande le nombre de personnes protégées (ramenées en dessous des valeurs légales) par axes. Nous avons d'ailleurs vu que le manuel du bruit routier dans son analyse WTI permettant d'estimer le caractère économiquement supportable préconise une mesure en coût / dB-personne. Cette vision sur l'impact auprès des bénéficiaires finaux demeure néanmoins peu utilisée par l'autorité d'exécution genevoise qui utilise principalement des indicateurs financiers (pourcentage de budget utilisé) ou directement centré sur des produits administratifs (nombres de projets validés par la PRASSOB, kilomètres de routes assainies). L'objectif environnemental de protection des personnes contre les immissions nuisibles ou incommodantes ne se reflète pas dans le suivi opéré par l'autorité d'exécution. L'OFEV tente cependant d'insuffler cette vision.

Knoepfel souligne la difficulté d'ordre technique ou en termes de ressources à effectuer un tel suivi. Il est vrai que de mettre en relation le cadastre du bruit avec les occupants de lieux sensibles au bruit n'est pas si aisé. De nombreux biais peuvent apparaître. Il est par exemple difficile de savoir la répartition des appartements et pièces dans un immeuble ainsi que leur nombre d'occupants. Il n'en demeure pas moins qu'il est possible de croiser ces données de manière suffisamment satisfaisante pour orienter les décisions et évaluer l'impact des mesures mises en œuvre.

3.2.4 Organisation du suivi

Pour conclure avec les bases scientifiques de la mise en œuvre d'une politique environnementale, Knoepfel émet une recommandation quant à l'organisation du suivi (monitoring). Il préconise en effet de séparer le suivi environnemental et politique de l'autorité de mise en œuvre afin d'assurer indépendance et crédibilité. Cela permet d'avoir une observation continue et objective de l'environnement. Le meilleur moyen étant de créer une

agence indépendante en collaboration étroite avec l'administration. Un accès aux données et analyses publiées doit être assuré.

De telles agences sont communes avec par exemple AirParif à Paris (qualité de l'air) ou BruitParif qui sont des associations investies de missions d'intérêt général ayant pour but de suivre la pollution dans l'environnement et d'informer les acteurs politiques, administratifs et les citoyens. Elles sont généralement composées de membres représentant des associations environnementales, des entreprises polluantes (groupe cible), des collectivités (communes) et l'État (autorité d'exécution). On y retrouve ainsi la composition du triangle de fer.

Dans le cas genevois, la création d'une telle agence permettrait d'allouer des ressources suffisantes à l'établissement d'un cadastre de qualité tenu à jour. Cependant, il apparaît peu probable qu'une telle organisation s'établisse, le rôle des associations environnementales étant faible.

3.2.5 Synthèse : une politique s'appuyant sur un monitoring fragile

Les méthodes utilisées afin de suivre l'évolution de l'environnement ont un impact sur la mise en œuvre de la politique publique. Il est ainsi préférable de confier cette tâche à une institution indépendante disposant des ressources nécessaires pour faire un suivi régulier et objectif in situ du bruit. Le suivi des technologies ne devrait pas seulement s'orienter vers des mesures constructives, mais de manière plus globale identifier l'ingénierie sociale à même de changer le comportement de tous les groupes cibles. Enfin, le suivi de la politique publique devrait se faire avec des indicateurs centrés sur l'impact auprès des bénéficiaires finaux (personnes protégées).

3.3 Programme administratif

Le programme administratif repose sur une base légale. Comme nous l'avons vu dans le cas du bruit routier, c'est principalement la LPE mise en application par l'OPB qui cadre ce programme administratif. Ces dispositions sont reprises dans le droit cantonal genevois dans le RPBV qui définit l'organisation de mise en œuvre (OCGC, SABRA, PRASSOB, CCPB).

Knoepfel souligne l'importance de cinq points pour une mise œuvre efficace d'une politique environnementale. Ainsi la base légale doit comporter des objectifs concrets, des éléments évaluatifs, opérationnels, une organisation et un financement, et enfin des instruments et procédures administratives.

3.3.1 Objectifs concrets

Il s'agit tout d'abord de fixer des valeurs limite d'immission afin de porter un jugement sur la qualité d'un milieu. Elles se fixent sur la base de connaissances écotoxicologiques empiriques et de l'estimation politique des risques encourus. Comme nous l'avons vu, les VLI fixées dans l'OPB n'ont pas été revues depuis son entrée en vigueur, alors que les connaissances écotoxicologiques ont évoluées en une trentaine d'années. Si bien qu'elles sont largement supérieures aux valeurs fixées par l'OMS. En outre, Knoepfel précise que l'estimation du risque politique est particulièrement difficile à évaluer dans le cas où des groupes particuliers évaluent de manière subjective la charge polluante. Pour illustrer ce point, il cite l'exemple du bruit. En effet, comme nous avons pu le voir, la perception du bruit comporte une subjectivité importante qui est source de variance entre individus et entre type de bruit (intermittence, fréquence, timbre...). La définition de VLI risque donc d'être une tâche saillante du fait de cette difficulté expliquant peut-être que ces valeurs n'ont pas changé depuis leur introduction. Une révision est cependant prévue par la CFLB depuis quelques années, qui devrait présenter ses travaux d'ici peu de temps.

3.3.2 Éléments évaluatifs

Comme nous l'avons vu en traitant des bases scientifiques des politiques environnementales, la méthode de mesure est un élément central tant elles peuvent influencer les résultats. Pour Knoepfel, « chacun mesure ce qu'il veut bien mesurer ». Ainsi, celui qui est responsable de la mesure dispose d'un pouvoir d'appréciation très important avec le choix des instruments, des méthodes, des lieux et heure de mesures, de la fréquence des contrôles. Cela a un impact particulièrement important dans l'application effective des valeurs limites. Ces méthodes doivent par conséquent être précisées dans la base légale afin que ces considérations techniques influent le moins possible la mise en œuvre de la politique. Nous avons pu voir que le recours à la modélisation pose d'importants problèmes, car il est tout à fait possible de n'effectuer aucune mesure in situ si ce n'est les charges de trafic. L'évaluation de la pollution sonore repose en très grande partie sur des estimations extrapolées de modèles. Or, StL-86+ qui est toujours utilisé repose sur des bases techniques désuètes, conçues à une époque où la puissance de calcul était limitée. Ce dernier est très favorable au milieu urbain, satisfaisant ainsi les exploitants d'axes routiers. Le modèle SonRoad est encore très peu utilisé et uniquement dans des cas où ses résultats peuvent être plus favorables que les estimations de StL-86+ en valorisant davantage les mesures de réduction de vitesse. On assiste dans le cas du bruit routier à une forte marge de manœuvre méthodologique.

Cette importante marge de manœuvre, couplée à des mises à jour rares et éparses font que l'évaluation des charges polluantes risque fortement d'être tronquée, lorsqu'elle n'est pas inexistante.

Ainsi, le recours à la modélisation devrait être réduit autant que possible, en favorisant les mesures in situ régulières. La ville de Carouge a participé à un projet européen H2020 Synchronicity promouvant la « smart city ». Dans ce cadre, plusieurs centaines de capteurs ont été posés sur les façades de la ville courant 2018 afin de faire une cartographie en trois dimensions du bruit. Bien que le projet semble dans un état d'expérimentation délaissé avec aucun retour sur le terrain, les technologies existent pour effectuer un suivi en temps réel de l'environnement sonore sur le long terme, à un coût raisonnable en limitant fortement le recours aux ressources humaines. L'utilisation d'un tel réseau de capteur aurait, en milieu urbain, une forte valeur ajoutée pour l'autorité d'exécution de cette politique environnementale en supprimant les biais de la modélisation se basant sur les charges de trafic. Cela permettrait en outre d'avoir un cadastre à jour en temps réel avec la possibilité de mesurer l'efficacité des mesures prises, et d'informer les citoyens.

La mise en place d'un tel réseau semble néanmoins peu probable avec une administration environnementale ayant un faible poids sur l'exécution de cette politique, de même que les associations environnementales. D'autant plus si de tels capteurs révélaient des valeurs sensiblement supérieures aux estimations, engendrant des coûts importants pour les exploitants (vision infrastructurelle des instruments de lutte). Cela renforce l'argumentation de l'auteur sur la nécessité d'une définition claire des éléments évaluatifs dans la base légale.

3.3.3 Éléments opérationnels

Knoepfel souligne que dans de nombreuses politiques environnementales, les objectifs concrets sont traduits en valeur limite d'émission pour les groupes cibles. Pour le bruit routier, on ne retrouve ces valeurs limites d'émission que pour l'homologation des véhicules (compétence européenne) et pour information lors de la vente de pneumatiques. La politique du bruit a donc cette particularité d'imposer les valeurs limites d'immission directement aux exploitants.

L'auteur affirme la nécessité que ces valeurs limite d'émission soient à même de faire respecter les limites d'immissions. Les normes d'homologation des véhicules définissent une valeur maximale en fonction du type de véhicule et de sa puissance. Les véhicules sportifs peuvent ainsi légalement faire plus de bruit que les autres (+4dB). En outre, les conditions de mesure (passage à 50 km/h normalisé et à l'arrêt à l'échappement) ne permettent pas de définir une

limite maximale à ne pas dépasser, quelles que soient les conditions. Ainsi, en cas de comportement « sportif » ou « agressif », qui diffère sensiblement des conditions d'homologations, le bruit peut être largement supérieur aux limites d'émission légale.

Enfin, les modalités d'homologation favorisent les moteurs tournant à haut régime. Ainsi, l'homologation à l'arrêt se fait à 75% du régime nominal pour les véhicules ayant leur puissance maximale à moins de 5000 tours minutes tandis que les moteurs ayant un régime nominal de plus de 7500 tr/min sont mesurés à 50% du régime (entre 5000 et 7500 tr/min de régime nominal, la mesure s'effectue à 3750 tr/min). De cette manière, les deux roues et véhicules sportifs sont favorisés lors de ce processus d'homologation en permettant aux constructeurs de faire des véhicules plus bruyants que les autres.

Une réglementation plus stricte demeure toutefois de la compétence de la Commission européenne, la Suisse pouvant difficilement faire cavalier seul.

3.3.4 Organisation et financement

La base légale doit définir de manière claire l'acteur de mise en œuvre. Knoepfel attire l'attention sur le fait que ce dernier doit à la fois disposer de ressources suffisantes, mais aussi être suffisamment concerné par la problématique environnementale (intérêt). À Genève, le SABRA ne dispose pas de ressources suffisantes pour mettre régulièrement à jour le cadastre et l'OCGC a fait l'objet de coupes budgétaires très importantes sur ses investissements avec près de 30% de dépenses annuelles en moins sur la période 2015-2019 par rapport à 2011-2014. D'autre part, l'OCGC est désignée par le RPBV comme l'autorité d'exécution, alors que cette dernière est principalement chargée de l'entretien et la construction des infrastructures publiques. La problématique environnementale n'est donc pas le cœur de son expertise, au contraire de l'OCEV qui paraîtrait plus concernée. Cette organisation imposée par le RPBV rend l'OCGC à la fois juge et partie, ce qui risque de poser des problèmes lors de la mise en œuvre de la lutte contre le bruit. Bien que le PRASSOB soit présidé par le SABRA et que les préavis de cette commission soient systématiquement suivis par l'OCGC, il demeure que le rôle actif qui revient à l'autorité d'exécution dans la planification des assainissements n'est pas rempli. L'OPB prévoit que cette autorité doit définir les installations devant être assainies et les mesures à prendre après avoir entendu le détenteur en fixant des délais d'exécution en fonction de l'urgence de la situation (notamment le nombre de personnes exposées et le dépassement des valeurs alarmes). Dans la pratique à Genève, les détenteurs d'axes identifiés dans le plan de mesure de 2016 doivent présenter un projet d'assainissement bruit (PAB) dans les délais qui

leur semble pertinent, en fonction de priorités qui leur est propres (état du réseau en sous-sol, opportunité d'un entretien). Aucun délai n'est fixé par l'autorité d'exécution se basant sur des critères environnementaux, de même qu'aucun contrôle d'efficacité n'est prévu. L'OCGC se contente de rappeler annuellement les détenteurs de leur obligation légale d'assainir. On peut noter aussi que la mise à jour très tardive du plan de mesure de 1998 en 2016, deux ans avant l'échéance légale du 31 mars 2018 qui identifie de nombreux nouveaux axes à assainir dénote un échec de l'autorité d'exécution dans sa planification des assainissements.

En outre, l'OCGC ne joue pas un rôle moteur dans la recherche de solutions innovantes permettant de réduire le bruit routier, explorant notamment très peu les sources comportementales du bruit. Enfin, le recours presque exclusif aux mesures infrastructurelles et la vision par axe routier s'expliquent en partie par le choix de cette autorité d'exécution.

Ainsi, le choix de l'autorité d'exécution par le RPBV n'est pas très pertinent, et devrait être modifié au profit de l'OCEV. Des ressources suffisantes devraient être octroyées pour établir le suivi environnemental et effectuer les contrôles d'efficacité par ailleurs prévus par l'OPB.

3.3.5 Instruments et procédures administratives

Knoepfel recommande de codifier les procédures administratives et les instruments juridiques pouvant être utilisés. Pour les procédures administratives, il s'agit notamment de spécifier la périodicité des contrôles et les étapes d'un assainissement. Si l'OPB exige des contrôles d'efficacité après mise en œuvre, le RPBV genevois prévoit la possibilité d'en effectuer, sur demande de l'autorité d'exécution ou sur initiative du SABRA sans préciser leur nécessité. Dans la pratique ces derniers ne sont effectués que s'il existe de sérieux doutes, mais jamais de manière systématique. Enfin, une vision continue de l'assainissement en imposant notamment une mise à jour régulière du plan de mesure d'assainissement qui identifie les axes à assainir en fixant des délais d'exécution permettrait d'assurer une mise en œuvre dans le temps de la politique de lutte contre le bruit routier, en s'adaptant aux évolutions du milieu.

L'auteur souligne enfin que la base légale doit clairement identifier les acteurs ayant qualité pour recourir (accès aux tribunaux). C'est là que les associations environnementales peuvent avoir une place importante. En Suisse ces dernières ont par exemple accès aux tribunaux lors des analyses d'impact environnemental. Cependant, dans le cas du bruit routier, elles n'ont pas qualité pour recourir contre un PAB ou un plan de mesure.

3.3.6 Synthèse : un programme mal ciblé

La base légale introduit un objectif concret avec des valeurs limite d'immissions avec toutefois des questions qui peuvent se poser quant à leur pertinence. La définition des bases évaluatives est déficiente avec une large marge de manœuvre laissée aux services spécialisés au point de rendre l'évaluation des charges polluantes parfois inexistantes. Les limites d'émission ne sont utilisées qu'à destination du moteur des véhicules lors de leur homologation, avec cependant une tolérance importante pour les véhicules sportifs et les deux roues. La définition de l'autorité d'exécution cantonale n'est pas pertinente en accordant un poids trop faible à l'environnement, cela est renforcé par l'absence de possibilité de recours par des associations environnementales. Le programme administratif comporte ainsi de nombreux points bloquant une mise en œuvre efficace de la protection contre le bruit routier.

3.4 Structure administrative

Après avoir précisé le programme administratif par la base légale, la mise en œuvre d'une politique publique nécessite la mise en place d'une structure administrative. Knoepfel fait sur la base de ce que nous avons vu précédemment neuf recommandations afin de tenir compte des spécificités d'une politique environnementale.

3.4.1 Suivi indépendant

Tout d'abord, afin d'éviter un phénomène d'autolégitimation et assurer un traitement continu et objectif des données environnementales, il préconise de séparer le monitoring de l'administratif avec la création d'organes indépendants.

3.4.2 Administration environnementale organisée par milieu

Ensuite, il préconise que l'autorité d'exécution de la politique soit une administration environnementale, et que cette dernière se structure selon les milieux, ce qui est le cas à Genève pour le service spécialisé (SABRA) par exemple. Une telle structure permet d'obtenir des résultats immédiatement perceptibles sur ces milieux, en se concentrant sur les immissions et leur impact.

3.4.3 Administration environnementale focalisée sur les sources

Cependant, la structure administrative doit se focaliser sur les émissions afin d'adopter une stratégie de lutte efficace en identifiant la source du problème, sans quoi les actions réparatrices ne seraient qu'un vain traitement des symptômes. De ce point de vue la politique de lutte contre

le bruit établit un lien trop direct entre les installations routières (infrastructures) et les immissions. Elle ne permet pas de connaître avec précision les sources exactes du bruit, en négligeant particulièrement la responsabilité des utilisateurs d'infrastructures, des constructeurs de véhicules et de l'exploitation même de l'infrastructure (charges de trafic). Cela conduit à une focalisation par axe routier, pas toujours pertinente, notamment en milieu urbain, et une focalisation sur des mesures constructives locales. Cette méconnaissance des sources conduit à ne pas envisager des mesures infrastructurelles plus globales (gestion des charges de trafic, transport public, parking relais) ni des mesures à destination des usagers (prévention, incitation, répression). Une structure davantage orientée émissions permettrait d'acquérir une connaissance accrue des émetteurs, et de favoriser la communication entre les groupes cibles (détenteurs, exploitants, usagers, constructeurs) et l'administration publique environnementale. Des solutions innovantes pourraient ainsi être trouvées. Dans cette logique, un service bruit devrait par exemple se diviser en section bruit routier, bruit ferroviaire, bruit des installations industrielles, bruit des établissements publics et bruit de voisinage. La section bruit routier pourrait quant à elle se diviser en sous-section infrastructures, véhicules, usagers, exploitation trafic et aménagement du territoire. De cette manière l'administration se spécialise en fonction des groupes cibles avec une structure orientée sur les émetteurs. Cela permet d'avoir recours à des instruments bien adaptés, sans oublier de sources de bruit afin de respecter l'objectif de valeurs d'immission fixé.

3.4.4 Administration environnementale coordonnée par groupe cible

Pour Knoepfel l'étape suivante à cette structure administrative consiste à faire en sorte que chaque émetteur dispose d'un seul interlocuteur environnemental. Dans ce but, une interconnexion entre milieux doit s'opérer afin de faciliter la communication avec les administrés. Cette interconnexion permet en outre une gestion rationnelle de la politique environnementale en intégrant l'ensemble des milieux. Cela fait ainsi plus de sens de gérer des écosystèmes que des milieux isolément alors que ces derniers sont interreliés. Cela permet une coordination efficace des politiques environnementales. Cela passe par des unités de coordination transversales. De telles pratiques s'appliquent par exemple lors du traitement d'une demande d'autorisation, avec circulation du dossier entre sections concernées qui émettent des préavis synthétisés par l'unité de coordination.

3.4.5 Politique environnementale transversale

Cette interrelation ne doit pas s'opérer uniquement au sein de l'administration environnementale, car l'efficacité des politiques environnementales dépend bien souvent des politiques publiques non environnementales. Par exemple, dans le cas du bruit routier, la gestion des charges de trafic par l'OCT a des impacts directs sur les émissions sonores, tandis que l'aménagement du territoire géré par l'OAC impacte la disposition des lieux d'immissions. C'est pourquoi il est nécessaire d'interrelier les administrations environnementales avec celles s'occupant d'autres politiques importantes pour l'environnement. Cela se fait par l'intermédiaire de préavis (respect des VLI projet de construction), mais peut prendre d'autres formes, notamment pour favoriser une élaboration pertinente des politiques en question. Pour cela, Knoepfel préconise le recours à des « têtes de pont » promouvant ce type de relations. Cela peut prendre la forme de groupe de travail interministériel, la présence de collaborateur de l'administration environnemental dans d'autres administrations, la mise en place de référents ou une redéfinition de certaines politiques comme environnementales. Il existe à Genève quelques canaux de ce type pour le bruit comme la CCPB pour le niveau stratégique ou la PRASSOB pour la mise en œuvre des assainissements. Il serait toutefois intéressant d'étudier la coopération « inter-policy » notamment avec l'aménagement du territoire, le transport, la santé ou la police routière. Ces deux derniers domaines semblent cependant peu interreliés.

Il s'agit alors de renforcer ces interrelations par le biais de procédures établies. Cela passe par une mise en réseau rendu possible par l'adoption de processus créant des « sentiers battus » (circulation de dossier, séances de coordination périodiques, groupes de travail, règle procédurale). Mais aussi par des processus informels.

3.4.6 Politique environnementale décentralisée

Knoepfel identifie encore trois principes dont une séparation de la formulation du programme de sa mise en œuvre et une mise en œuvre au niveau régional. Ces deux principes sont bien appliqués en Suisse, notamment avec la LPE qui prévoit une exécution cantonale des politiques. Le programme administratif a donc été défini au niveau fédéral et est mis en œuvre par les cantons. Cela a l'avantage de permettre l'adoption d'objectifs scientifiquement fondés, en dehors des pressions que subiraient les autorités d'exécutions. Une telle séparation implique cependant quelques défauts selon l'auteur, et notamment la programmation irréaliste ou irréalisable des tâches. Ce dernier s'illustre très bien dans cette politique publique avec un délai d'exécution qui a dû être repoussé au double des prévisions initiales (15 ans) et qui au 31 mars

2018 n'a que très partiellement été réalisé. Enfin, Knoepfel soulève un point intéressant concernant les communes. Ces dernières, à l'exception des grandes villes, ne disposent pas des connaissances techniques très exigeantes des politiques environnementales, c'est pourquoi il est inefficace de leur confier des tâches d'exécution dans ce domaine. Il apparaît ainsi que l'élaboration des PAB, qui est un exercice très technique ne devrait pas être à l'initiative des communes, mais de l'autorité d'exécution cantonale. En effet, l'élaboration de ceux-ci n'est alors pas toujours lancée, ou confiée à des mandataires externes. Enfin, la relation entre les communes et l'autorité d'exécution cantonale doit être de bonne qualité sans quoi l'exécution sera bloquée. Une collaboration active avec les communes est ainsi nécessaire, allant plus loin qu'un simple courrier annuel de rappel des obligations légales. Le SR a déjà participé occasionnellement à des réunions informelles d'information, mais il n'existe pas de véritable processus d'accompagnement en dehors de la commission PRASSOB. Ni dans la planification des PAB ni dans leur exécution.

3.4.7 Formation des acteurs

Knoepfel termine ses recommandations concernant la structure administrative sur la formation du personnel. Il relève que la politique environnementale se caractérise par sa nature technique, comme nous avons pu le voir dans ce travail. Une politique efficace ne peut être conçue et mise en œuvre seulement par des juristes et employés administratifs. Des connaissances spécifiques sont nécessaires : ingénieur de l'environnement, biologiste, économiste de l'environnement, etc. Cette formation n'est pas seulement nécessaire aux fonctionnaires, mais aussi aux acteurs de la politique : le triangle de fer (groupes cibles et associations environnementales). Cela permet à chacun de participer à un débat constructif, favorable à la politique environnementale. Cette technicité pourrait notamment être vulgarisée par l'administration environnementale afin d'être en partie délivrée aux citoyens afin de mieux les sensibiliser à la problématique et offrir ainsi les bases d'un débat sur d'éventuelles mesures. L'OFEV remplit en partie ce rôle concernant les conséquences du bruit sur son site internet, mais l'origine du bruit routier reste assez peu expliquée.

3.4.8 Synthèse : renforcer l'administration environnementale cantonale

La structure administrative mettant en œuvre la politique de protection contre le bruit ne donne par conséquent pas suffisamment de poids à l'intérêt environnemental au niveau cantonal. Une redéfinition de l'autorité d'exécution semble un prérequis à l'application des recommandations

ambitieuses de Knoepfel. Cependant, ce poids ne pourra être suffisant qu'en menant une réflexion plus globale de la place de l'administration environnementale parmi les autres.

3.5 Mise en œuvre

Avec la participation des acteurs centraux, une base scientifique solide, un programme administratif pertinent et une structure administrative adaptée, la mise en œuvre d'une politique environnementale devrait se faire de manière efficace. Knoepfel revient cependant sur quelques points intéressants durant cette phase, en s'appuyant sur son expérience des politiques environnementales européennes.

3.5.1 Travail technique et volonté politique

La mise en œuvre est un processus politique : le travail technique et la volonté politique doivent se concilier afin de permettre une mise en œuvre efficace. Sans le travail technique, la mise en œuvre sera inefficace et sans la volonté politique elle sera ineffective. Il y a peut-être un peu des deux avec le bruit routier, d'une part une focalisation sur les infrastructures au mépris des autres sources de bruit et d'autre part des délais d'assainissements repoussés aux calendes grecques. La conciliation entre ces deux éléments se concrétise généralement par la mise en place d'une administration publique environnementale solide, objectif qui ne pourra être atteint à Genève qu'à partir d'un changement de l'autorité d'exécution.

3.5.2 Plan d'action

L'élaboration d'un plan d'action permet de définir les priorités d'action en fonction des ressources disponibles. Bien que Genève se réjouit d'être le premier canton à avoir adopté ce type de plan en 1998 (qui résultait d'une obligation de l'art.19 l'OPB), ce dernier reste toutefois insuffisant, d'une part par qu'il a fallu 18 ans pour le mettre à jour et d'autre part parce qu'il établit un raisonnement basé sur les immissions. Cela entraîne une vision par axe routier localisé, sans définir de véritables priorités ni reconstruire la chaîne de causalité de cette pollution. L'arrivée courant 2008 des revêtements silencieux de seconde génération (LNA) semble être en parallèle avec les conventions programmes généreusement subventionnés par la confédération le seul véritable déclencheur de la mise en œuvre de ce plan d'action. Aucun suivi de ce plan d'action n'a été effectué par l'administration environnementale (n'étant pas autorité d'exécution), engendrant un recours limité de certaines mesures opérationnelles visant les comportements, ou de restriction d'exploitation (vitesse, étanchéification).

3.5.3 Instruments collectifs

Concernant les mesures individuelles, Knoepfel souligne un point qui est pertinent pour la politique de lutte contre le bruit. La mise en œuvre peut en effet se faire par des décisions individuelles, engendrant un travail important pour l'administration, ou bien, lorsque des caractéristiques identiques distinguent des pollueurs, il est possible de faire appel à des instruments collectifs. Ainsi, il ressort de cela que la majorité des PAB effectués en milieu urbain impose la mise en place d'un revêtement silencieux. Il serait ainsi intéressant d'établir des zones de protection contre le bruit plus vaste qu'un seul axe, et imposer des mesures de manière globale comme la pose de revêtement silencieux. Dans ces zones, d'autres mesures globales pourraient être prises (restriction de circulation des véhicules bruyants, baisse de la vitesse, contrôle de police routière, panneaux d'information, radar pédagogique, étanchéification des quartiers...). Cela limite le nombre de PAB, en réduisant leur coût d'élaboration (sur mandat) et de traitement (commission PRASSOB), tout en accélérant la mise en place de mesures avec une approche plus intégrée.

3.5.4 Évaluation

Pour finir, Knoepfel rappelle la nécessité d'une évaluation de la mise en œuvre, s'appuyant notamment sur les données récoltées par l'organe indépendant afin de déterminer si les mesures adoptées ont réellement une efficacité sur les émissions et un impact sur les immissions. Il est nécessaire d'effectuer ces évaluations de manière transparente, en collaboration avec des experts extérieurs, et de rendre les résultats de cette évaluation publique. L'autorité d'exécution modifie alors son plan d'action en fonction des résultats de cette évaluation, en revoyant les instruments ou les priorités. Ce type de pratique s'effectue en partie avec les enquêtes périodiques de l'OFEV qui lui permet d'établir une évaluation de la mise en œuvre du programme administratif. Cependant cette démarche est peu présente au sein de l'autorité d'exécution cantonale. Les rapports à l'attention du Grand Conseil concernant l'utilisation du crédit d'assainissement des routes cantonales exigé tous les deux ne comportent que des indicateurs financiers. L'évaluation de l'efficacité ou de l'impact de la politique n'est pas une démarche adoptée au niveau cantonal en dehors des institutions supérieures de contrôle (CEPP, Cour des comptes).

3.5.5 Synthèse : vers une mise en œuvre plus efficace

La mise en œuvre peut en elle-même s'améliorer avec une volonté politique suffisante. En outre, un véritable suivi d'un plan d'action mieux ciblé doit s'opérer. Le processus

d'élaboration des PAB pourrait par ailleurs mobiliser moins de ressources et gagner en efficacité avec une approche plus globale. Enfin, les acteurs de mise en œuvre devraient garder une vision sur l'objectif de la politique publique pour évaluer leur intervention.

4 Synthèse générale

4.1 Le bruit routier, un problème public complexe

Le bruit est un phénomène technique et complexe. Ses sources sont multiples et se combinent de manières différentes en fonction des caractéristiques locales et globales. Il est difficile de rendre compte de la perception subjective du son avec des outils quantitatifs. Et la modélisation de la propagation du son est complexe. Le bruit a en outre un impact important sur la santé et l'économie, rendant nécessaire l'intervention publique. Nous avons pu décrire le programme politico-administratif tel que mis en place en Suisse dans le but de protéger l'être humain et son environnement des atteintes nuisibles et incommodes. Cependant, pour le bruit routier, ces dernières demeurent très présentes. La mise en œuvre de cette politique environnementale est donc particulièrement déficiente, avec une définition restreinte des groupes cibles et le recours presque exclusif à des mesures constructives.

4.2 Les causes d'une mise en œuvre inefficace

Nous avons, grâce à la grille d'évaluation de Knoepfel, identifié plusieurs points expliquant des difficultés dans la mise en œuvre de cette politique publique environnementale. La protection contre le bruit routier demeure une politique technocratique, avec une faible collaboration des associations environnementales. Tant au niveau du programme que du suivi environnemental, les sources du bruit sont mal identifiées, en restreignant trop la responsabilité sur les détenteurs d'infrastructures. Au niveau cantonal, le faible poids de l'administration environnementale dans cette politique explique la lenteur de mise en œuvre, et un panel de mesures réduit. Afin de mettre en œuvre une protection efficace contre le bruit, des changements structurels seraient ainsi nécessaires. Au niveau du Canton de Genève, un changement d'autorité d'exécution au profit de l'OCEV est un premier pas. Il conviendra ensuite de mesurer plus efficacement le bruit, et définir objectivement les sources détaillées de celui-ci, afin d'envisager d'éventuels instruments en incluant tous les acteurs dans ce débat.

5 Conclusion : l'utilisateur, le grand passager clandestin

Le bruit routier a un impact important sur notre société en termes de santé publique, d'activité économique et d'inégalités sociales. Après 35 ans de lutte mis en œuvre par la LPE, les atteintes nuisibles et incommodes restent un problème majeur en exposant une très large part de la population. Le programme administratif ne prend pas suffisamment en compte la variété des sources du bruit et la technicité du phénomène, en simplifiant la chaîne de causalité. Seules les mesures de nature constructives sur les infrastructures étaient jusqu'à récemment envisagées en négligeant en partie que le bruit venait des véhicules et de leurs utilisateurs. Cette vision infrastructurelle demeure, mais s'ouvre à des mesures d'exploitation comme les restrictions de vitesses sans toutefois consentir une restriction des charges de trafic. Aujourd'hui encore l'utilisateur de la route est le grand passager clandestin de cette politique, alors même qu'il est à l'origine du déplacement polluant, les mesures à son encontre sont anecdotiques.

Des associations environnementales plus présentes sur cette thématique pourraient susciter une réelle volonté politique de mettre en œuvre une protection efficace. Pour cela, un renforcement du poids des administrations environnementales par rapport aux administrations sectorielles (infrastructures et transport) est nécessaire afin d'envisager des mesures complémentaires et rendre la mise en œuvre de cette politique plus effective et efficace. La technicité du phénomène sonore demeure toutefois un obstacle de taille à une définition objective des groupes cibles, et à l'élargissement du cercle des acteurs.

6 Bibliographie

ADEME, PREDIT. (2007). Bruit des transports terrestres : recueil des recherches.

ADEME. (2014). Impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air, le climat, l'énergie et le bruit : synthèse de l'étude.

ARE. (2020). Coûts et bénéfices externes des transports en Suisse. Transports par la route et le rail, par avion et par bateau 2017.

Baranzini, Andrea, Ramirez, José, & Schaerer, Caroline. (2007). Nuisances : Une étude mesure l'impact du bruit sur les loyers.

Basler & Hofmann AG. (2018). Kantonsstrasse 25 Lärmsanierung Grabenstrasse, Zug Versuch Tempo 30.

Bayer, R., Schwarz, R., Ströhle, M. (2010). Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen

Bernasconi, A., Notari, N. (2017). Vergleich der Lärmemissionen von Winter- und Sommerpneus an den MfM-U Messstandorten : Kurzbericht.

Bichsel M., Muff W. 2006 : Caractère économiquement supportable et proportionnalité des mesures de protection contre le bruit. Optimisation de la pesée des intérêts. L'environnement pratique no 0609. Office fédéral de l'environnement, Berne. 62 p.

Bläter, R. (2017). Entwicklung der PKW-Reifen-Lärm-Emissionen bei abgefahrenen Sommer-, und Winterreifen (15'000 km)

Brink, M., Schäffer, B., Pieren, R., & Wunderli, J. (2018). Conversion between noise exposure indicators Leq24h, LDay, LEvening, LNight, Ldn and Lden: Principles and practical guidance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(1), 54-63.

Brink, M., Pieren, R., Foraster, M., Vienneau, D., Eze, I., Schaffner, E., Héritier, H., Cajochen, C., Probst-Hensch, N., Roosli, M., Wunderli, J.M., 2016. Do short-term-temporal variations of noise exposure explain variance of noise annoyance? In: INTER-NOISE 2016. Hamburg.

Bühlmann et al. (2017). Forschungspaket lärarme Beläge Innerorts : Teilprojekt 3, Langzeitmonitoring.

Bühlmann et al. (2019). Disposition d'exécution en matière d'acoustique pour les enrobés semi-denses : Analyse des paramètres mécaniques.

Bühlmann et al. (2020). CPX-Messungen Strassenbeläge Messbericht 2019.

CFLB. (2015). La limitation à 30 km/h comme mesure de protection contre le bruit - Document de base : situation juridique, conséquences acoustiques et effets pour la population.

Conseil Fédéral. (2017). Plan national de mesures pour diminuer les nuisances sonores. Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat Barazzone 15.3840 du 14 septembre 2015.

Conseil d'État genevois. (2016). Plan de mesures d'assainissement du bruit routier.

Conseil d'État genevois. (2019). Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil sur l'avancement des travaux du crédit d'investissement pour les études et les mesures d'assainissement des nuisances sonores des routes cantonales et nationales (L 8644). RD1282.

Chollet, V. (2012). Mesures Physiques - Acoustique II. Université de Franche-Comté, IUT Belfort Montbéliard.

Defrance, J., Jean, P., & Barrière, N. (2019). Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore ? Santé Publique, S1(HS1), 187-195.

Dubois, G (2012). Modèle de contact dynamique pneumatique chaussée par approche multi-aspérités : application au bruit de roulement. Acoustique [physics.class-ph]. Ecole Centrale de Nantes (ECN).

Edwards, G., Sharkansky, I., & Maltcheff, A. (1981). *Les politiques publiques : élaboration et mise en oeuvre* (Management Public. Ed. d'organisation). Paris: Ed. d'Organisation.

État de Vaud, SEVEN et SR. (2007). Bruit du trafic routier et Assainissement : Références légales, constat et mesures de protection.

Flückiger, A. et al. (2000). *Évaluation du droit de recours des organisations de protection de l'environnement*. Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 299 p.

Flückiger, A. (2006). *La mise en oeuvre du principe de transparence dans l'administration*. Genève: Schulthess.

Favre, A., & Jungo, F. (2010). Chronique du droit de l'environnement : La protection contre le bruit et les rayons non ionisants. *Revue De Droit Administratif Et De Droit Fiscal : Revue Genevoise De Droit Public. Partie 1, Droit Administratif*, 66, 199-238.

Gattlen, N. (2015). Encourager des comportements moins bruyants.

Gaulin, D., & Berengier, M. (1999). Caractérisation des sources sonores d'origine routière pour le milieu urbain. *BULLETIN-LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES*, 71-84.

Gontier, F., Lagrange, M., Aumond, P., Can, A., & Lavandier, C. (2017). An efficient audio coding scheme for quantitative and qualitative large scale acoustic monitoring using the sensor grid approach. *Sensors*, 17(12), 2758.

Cosandey L., Ingold K., Lüthi-Freuler N., Pestalozzi H. 2007: Assainissement du bruit routier. Situation et perspectives: décembre 2006. État de l'environnement no 0729. Office fédéral de l'environnement, Berne. 49 p.

Goyé, A. (2002). La perception auditive (cours P.A.M.U.). Ecole nationale supérieur des télécommunications.

Grolimund & Partner AG. (2018). Lärminderungspotential leiser Reifen auf gängigen Schweizer Strassenbelägen.

Grunder. (2017). Entwicklung der PKW-Lärm-Emissionen bei der Zulassung – Analyse der Stand- und Vorbeifahrtsmessung der Jahre 2005 bis 2015.

Habermacher, M. (2018). Potential verschiedener Strassenlärmmassnahmen

Heutschi, K. (2004). SonRoad – Modèle de calcul du trafic routier. Cahier de l'environnement no 366. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 74 p.

Junker, F., Gauvreau, B., Blanc-Benon, P., Cremezi-Charlet, C., Ecotiere, D., Baume, O., & Cotté, B. (2006). Classification de l'influence relative des paramètres physiques affectant les conditions de propagation à grande distance. Rapport final du projet MEDD.

Kindler, B. ; Klausner, A. (2018). Lärmemissionen öffentlicher Verkehr Städtische Verkehrsbusse.

Killer et al. (2019), Kosten-/Nutzenbetrachtung von Massnahmen zur Förderung leiser Reifen.

Knoepfel, P., Imhof, R., & Coulon, F. (1991). *Les cycles écologiques et le principe de légalité : De la nécessité d'assouplir les liens de causalité* (Cahiers de l'IDHEAP : recherches et analyse 72). Lausanne: Institut de hautes études en administration publique.

Knoepfel, P., & Clivaz, C. (1997). *Conditions pour une mise en oeuvre efficace des politiques environnementales* (Cahiers de l'IDHEAP : recherches et analyse 167). Lausanne: Institut de hautes études en administration publique.

Knoepfel, P., & Varone, F. (1999). Mesurer la performance publique : Méfions-nous des terribles simplificateurs. *Politiques Et Management Public*, 17(2), 123-145.

Mahon, P., & Sow, D. (2018). La constitutionnalisation du droit du vivant et du droit de l'environnement en Suisse. *Droits Constitutionnels Du Vivant : Approches Comparées De Nouveaux Objets Constitutionnels : Bioéthique Et Environnement*, 271-301.

Mazmanian, D., & Sabatier, P. (1983). *Implementation and public policy* (The Scott, Foresman Public Policy Analysis and Management Series). Glenview Ill. ; Dallas Tex. etc.: Scott Foresman.

McMinn, T. (2013). A-weighting: Is it the metric you think it is?. *Acoustics* 2013, 1-4.

Müller-Wenk, R. (2002). Imputation au trafic routier des atteintes à la santé dues au bruit. Cahier de l'environnement no 339. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 70 p.

Obidi, T. Yomi. (2014). Theory and Applications of Aerodynamics for Ground Vehicles, SAE International. ProQuest Ebook Central.

OFEFP. (1995). Bruit du trafic routier : Correction applicable au modèle de calcul du trafic routier.

OFEV. (2006). Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen.

OFEV. (2018). Pollution sonore en Suisse. Résultats du monitoring national sonBASE, état en 2015. Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 1820 : 29 p.

OFEV. (2018b). Veränderung der Lärmemissionen von Fahrzeugen auf Schweizer Strassen : 1998 bis 2017

OFEV. (2019). Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz. Ecoplan.

OFEV. (2019b). Assainissement du bruit routier. Bilan et perspectives. État 2018. Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 1922 : 35 p.

OFEV. (2020). Rapport explicatif concernant la modification de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB). S392-1579

OFROU. (2018). Bases d'évaluation de l'effet d'une vitesse de 30 km/h sur le bruit.

Matthey, B. (1992). L'adaptation des législations cantonales en matière d'environnement. *Droit De L'environnement : Mise En Oeuvre Et Coordination*, 83-115.

Moor, P., Favre, A., & Flückiger, A. (2010). *Loi sur la protection de l'environnement (LPE)* (Commentaire Stämpfli). Berne: Stämpfli.

Moore, B. C., & Glasberg, B. R. (1996). A revision of Zwicker's loudness model. *Acta Acustica united with Acustica*, 82(2), 335-345.

Moore, B. C., Glasberg, B. R., Varathanathan, A., & Schlittenlacher, J. (2016). A loudness model for time-varying sounds incorporating binaural inhibition. *Trends in hearing*, 20, 2331216516682698.

Morand, C. (1992). *Droit de l'environnement : Mise en oeuvre et coordination* (Collection genevoise). Bâle ; Francfort-sur-le-Main : Genève: Helbing & Lichtenhahn ; Faculté de droit de Genève.

Müller-Wenk, R., 2002: Imputation au trafic routier des atteintes à la santé dues au bruit. Cahier de l'environnement no 339. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 70 p.

Schguanin G., Ziegler T. (2006). Manuel du bruit routier. Aide à l'exécution pour l'assainissement. État : décembre 2006. L'environnement pratique n° 0637. Office fédéral de l'environnement, Berne. 47 p.

Schwab, B. (2019). Geräuschmessung bei Motorrädern Untersuchung an neuen sowie im Gebrauch stehenden Fahrzeugen.

Tanzarella, S., & Mamecier, A. (2006). *Perception et communication chez les animaux*. Bruxelles: De Boeck.

Vincent, P. (date inconnue). Physique acoustique : Acoustique des salles. Institut Lumière Matière Lyon. [en ligne] <http://ilm-perso.univ-lyon1.fr/~pvincent/docaudio/cours.pdf> [consulté le 11/05/2020]

Vinnik, E., Itskov, P. M., & Balaban, E. (2011). Individual differences in sound-in-noise perception are related to the strength of short-latency neural responses to noise. *PloS One*, 6(2).

World Health Organization. (2018). Environmental noise guidelines for the European region.

Wunderli et al. (2016). Intermittency ratio: a metric reflecting short-term temporal variations of transportation noise exposure. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 26, 575–585.