afsse agence française de sécurité sanitaire environnementale

Impacts sanitaires du bruit

État des lieux

Indicateurs bruit-santé

novembre 2004

Agence française de sécurité sanitaire environnementale
94704 Maisons-Alfort Cedex – Tél. +33 1 56 29 19 30

Composition du groupe de travail

Fabienne Anfosso-Lédée (LCPC, centre de Nantes), Claude Azais (ancien membre de l'ACNUSA), Michel Bérengier (LCPC, centre de Nantes), Didier Cattenoz (mission bruit du MEDD), Pierre Campo (INRS), Patrick Cellard (LNE), Jérôme Defrance (CSTB, centre de Grenoble), Nicolas Grénetier (DGS), Michel Hubert (IFEN), Agnès Job (CRSSA), Romain Kania (Hôpital Lariboisière, Paris), Jacques Lambert (INRETS – centre de Lyon-Bron), Philippe Lepoutre (ACNUSA), Paul Louit (DRT), Annie Moch (Université Paris 10 Nanterre), Colas Morillon (mission bruit du MEDD), Alain Muzet (CNRS), Marc Renard (ARDDS), Ariane Revol-Briard (ODES), Jacques Roland (CSTB), Michel Vallet (AEDIFICE).

En outre, des documents techniques nous ont été aimablement fournis par David Delcampe (mission bruit du MEDD), Françoise Duchézeau (RATP), Bernard Favre (Renault véhicules industriels), Pierre-Etienne Gautier (SNCF), Philippe Mercier et Fanny Garrigues (Mairie de Paris) et Michel Rumeau (préfecture de police de Paris).

Comité de pilotage du groupe de travail

Le comité de pilotage, dont la mission a consisté àorienter et organiser les travaux du groupe d'experts, se compose ainsi : Jacques Beaumont (INRETS), Nicolas Grénetier (DGS), Alain Muzet (CNRS), Jacques Roland (CSTB).

Coordination du groupe de travail et rédaction du rapport :

La coordination et le secrétariat scientifique du groupe de travail et du comité de pilotage, ainsi que la rédaction du rapport ont été assurés par le Dr Gilles Dixsaut et Vannina Pomonti de l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale.

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux 7
Liste des figures 8
Sigles et acronymes 9
Sigles et acronymes 9

Préambule 11
Directive européenne 2002/49/CE du 25 juin 2002 : présentation succincte 16

Résumé 17

INTRODUCTION : LE PARADOXE DE L'OPINION A L'EGARD DU BRUIT 27

I) LES SOURCES DE BRUIT ET VIBRATIONS, LA PROPAGATION DU BRUIT 33
I-1) LE BRUIT DANS L'HABITAT ET LES LIEUX DE RESIDENCE 34
I-1-1) Sources de bruit dans l'habitat 34
I-1-2) Aspects réglementaires et contrôle pour les logements 43
I-1-3) Isolation et traitement acoustique des bâtiments 44
I-2) LES NIVEAUX SONORES DANS LES LIEUX PUBLICS FERMES 47
I-2-1) Exposition sonore intentionnelle 48
I-2-2) Bruits subis sans intention 50
I-2-3) Le bruit dans les locaux scolaires 52
I-2-4) État actuel et évolution de la réglementation, bilan de l'application des textes 62
I-3) LE BRUIT AMBIANT 66
I-3-1) Bruits émis par les différents moyens de transport 66
I-3-2) Bruits dans les moyens de transports 100
I-3-3) Bruits d'origine industrielle 102
I-3-4) Bruits volontaires dans l'environnement 124
I-4) PROPAGATION DES BRUITS DANS L'ENVIRONNEMENT ET MOYENS DE PROTECTION 132
I-4-1) Effet des conditions météorologiques et topographiques sur la propagation du son 132
I-4-2) Les écrans acoustiques 139
I-4-3) L'isolation de façade des bâtiments 144
I-4-4) Les solutions mixtes 144

II) IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT 145

II-1) BRUIT ET AUDITION 145
II-1-1) Rappels physiologiques sur le fonctionnement de l'oreille 145
II-1-2) Description des pathologies de l'oreille liées à l'exposition au bruit 148
II-1-3) Aspects épidémiologiques des atteintes de l'audition 155
II-2) EFFETS BIOLOGIQUES EXTRA-AUDITIFS DU BRUIT 158
II-2-1) Les effets du bruit sur le sommeil 158
II-2-2) Les effets du bruit sur la sphère végétative 165
II-2-3) Les effets du bruit sur le système endocrinien 167
II-2-4) Les effets du bruit sur le système immunitaire 168
II-2-5) Les effets du bruit sur la santé mentale 169
II-2-6) L'exposition au bruit et la consommation de médicaments 170
II-3) EFFETS SUBJECTIFS DU BRUIT 172
II-3-1) La gêne due au bruit 172
II-3-2) Les effets du bruit sur les attitudes et les comportements 178
II-3-3) Les effets du bruit sur les performances 180
II-3-4) Bruit et intelligibilité de la parole 181
II-3-5) Les valeurs guides de l'OMS 183
II-3-6) Conclusion 184
II-4) POPULATIONS SENSIBLES, MULTI- ET CO-EXPOSITIONS 185
II-4-1) Populations sensibles : le cas des enfants en milieu scolaire 185
II-4-2) Connaissance des multiexpositions au bruit 189
II-4-3) Connaissance des coexpositions à différents types de nuisances 192
II-5) DEFICIENCE AUDITIVE, HANDICAP SOCIAL ET EFFETS DU VIEILLISSEMENT 203
II-5-1) Surdité et presbyacousie 203
II-5-2) Conséquences des surdités acquises 204
II-5-3) Appareillage, rééducation auditive et compensations spécifiques 206
II-5-4) Mesures de prévention 209
II-5-5) Conclusion 211
II-6) COUTS ECONOMIQUES DES IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT 211

III) DESCRIPTEURS DE BRUIT, INDICATEURS BRUIT-SANTE 213
III-1) RAPPEL DES DESCRIPTEURS EXISTANTS ET PERTINENCE SUR LE PLAN SANITAIRE 213
III-1-1) Notion d'indicateur de gêne 214

III-1-2) Les pratiques au niveau international 216
III-1-3) Pertinence sur le plan sanitaire 222
III-2) AMELIORATIONS DES TECHNIQUES ET PROCEDURES 224
III-2-1) Les critères d'un bon indicateur d'exposition au bruit 224
III-2-2) Choix des descripteurs 225
III-3) AMELIORATIONS OU EVOLUTIONS DES REGLEMENTATIONS EN MATIERE DE FIXATION DES VALEURS LIMITES 228
III-3-1) Des valeurs limites : pour quel(s) objectif(s) ? 228
III-3-2) Les critères pour l'établissement de valeurs limites 228
III-3-3) Les valeurs-limites 229

IV) REGLEMENTATION ET ROLE DES DIFFERENTS ACTEURS 233
IV-1) ROLE DES COLLECTIVITES TERRITORIALES 234
IV-1-1) Compétences générales des collectivités locales 234
IV-1-2) Le Plan local d'urbanisme (PLU) 239
IV-1-3) Le permis de construire 247
IV-1-4) Les Plans de déplacements urbains (PDU) 247
IV-1-5) La résorption des points noirs dus au bruit des transports terrestres 248
IV-2) POLITIQUES DE LUTTE CONTRE LE BRUIT : QUELQUES RESULTATS 253
IV-2-1) Application de la réglementation : de nombreuses difficultés 253
IV-2-2) Quelques exemples dans le Val-de-Marne 255
IV-2-3) Cartographie du bruit : état des lieux 258

Références bibliographiques 262

Présentation des membres du groupe d'experts 276

RECOMMANDATIONS 282
1. INDICATEURS BRUIT - SANTE 284
1.1. Impacts sanitaires du bruit : besoins de recherches 284
1.2. Indices de bruit et indicateurs bruit-santé 290
2. RECOMMANDATIONS POUR LES POUVOIRS PUBLICS : STRATEGIE D'ACTION, DISPOSITIF DE SURVEILLANCE, REGLEMENTATION 293
2.1. Stratégie d'action 293
2.2. Dispositif de surveillance des impacts sanitaires du bruit 293
2.3. Réglementation et valeurs-limites 295
3. RECOMMANDATIONS POUR LES ELUS LOCAUX 299

3.1. Aménagement / urbanisme 299
3.2. Études d'impact : bruit des transports terrestres 300
4. RECOMMANDATIONS POUR LES PROFESSIONNELS 300
4.1. Isolation et conception des bâtiments 300
4.2. Recherches dans le domaine des équipements 302
4.3. Recherches dans le domaine des véhicules automobiles 302
5. RECOMMANDATIONS POUR LE GRAND PUBLIC ET LES POPULATIONS SENSIBLES 303

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats d'enquêtes : les responsabilités des différents niveaux de collectivités dans la gestion des problèmes environnementaux. 32
Tableau 2 : Recommandations en termes de bruit ambiant intérieur pour divers pays 56
Tableau 3 : Niveau d'isolation requis pour les locaux scolaires en fonction du bruit extérieur en Allemagne 58
Tableau 4 : Valeurs d'affaiblissement acoustique entre locaux requises dans différents pays européens 59
Tableau 5 : Isolement requis en fonction de la destination des locaux d'enseignement, en France (1) 60
Tableau 6 : Isolement requis en fonction de la destination des locaux d'enseignement, en France (2) 60
Tableau 7 : Standards français de Temps de Réverbération applicables aux locaux d'enseignement 61
Tableau 8 : Evolution des niveaux réglementaires d'émissions sonores pour les différentes catégories de véhicules routiers en dB (A) 73
Tableau 9 : Facteurs influençant la mesure du bruit à l'intérieur de l'automobile en région parisienne 101
Tableau 10 : Relevés de mesures d'exposition au bruit de voyageurs selon divers modes de transport, en région parisienne 102
Tableau 11 : valeurs-limites de jour et de nuit pour l'évaluation de l'émergence d'un bruit industriel 108
Tableau 12 : Données constructeurs et niveaux sonores mesurés pour différents types de matériels à moteur thermique utilisés dans les parcs et jardins à Paris 116
Tableau 13 : Quelques exemples de niveaux sonores lors de concerts de musique amplifiée à Paris 126
Tableau 14 : Niveaux sonores maximaux autorisés par catégorie de deux-roues 127
Tableau 15 : Évolution des ventes de deux-roues motorisés entre 2002 et 2003 en France 129
Tableau 16 : Estimation des distances d'intelligibilité 183
Tableau 17 : Valeurs guides de l'OMS relatives aux effets spécifiques du bruit sur la santé 184
Tableau 18 : Exemple d'échelle de bruits avec indication des temps d'exposition 209
Tableau 19 : Coût du bruit pour un logement de 100 m² selon les propositions du rapport du CGP 212

Liste des figures

Figure 1 : Inégalité face au bruit et diversité des représentations sociales 29
Figure 2 : Personnes gênées par le bruit en fonction du type d'habitat et du revenu 30
Figure 3 : Une comparaison des rôles entre l'État et les particuliers..... 31
Figure 4 : Niveau de la puissance acoustique moyenne (en dB) émise par un homme parlant à voix normale..... 35
Figure 5 : Exemples de niveaux de bruit perçus dans des espaces publics..... 48
Figure 6: Mécanismes principaux de génération de bruit de roulement d'un pneumatique sur la chaussée..... 68
Figure 7: Moyenne des mesures de bruit des revêtements peu bruyants et comparaison avec des chaussées classiques..... 70
Figure 8 : Comparaison de l'exposition au bruit pour différents types d'avions - Empreinte sonore 90 EPNdB - décollage sans réduction..... 89
Figure 9 : Durée d'émergence des bruits d'avions civils et militaires - Source STNA..... 91
Figure 10 : Géométrie du problème 135
Figure 11 : Modification des trajectoires des rayons sonores en fonction du profil vertical de vitesse du son..... 136
Figure 12 : Principe de fonctionnement d'un écran antibruit 143
Figure 13 : Exemple de calcul par éléments finis de frontière de la diffraction par un écran coiffé d'une casquette en présence d'une glissière de sécurité..... 144
Figure 14 : Planche anatomique de l'oreille. L'organe de transmission (Legent F., 1984) 146
Figure 15 : L'organe de Corti (Legent F, 1984)..... 148
Figure 16 : Gêne due au bruit des différents moyens de transport 174
Figure 17 : Intelligibilité de la voix en fonction du niveau sonore ambiant régulier à l'intérieur d'une salle de séjour de type habituel..... 182
Figure 18 : Organe de Corti. 199
Figure 19 : Réseau de veines et d'artérioles constituant la strie vasculaire ou stria vascularis..... 199
Figure 20 : Voies d'intoxication empruntées par différents agents ototoxiques..... 200
Figure 21 : Stéréocils vus au microscope électronique à balayage..... 200

Sigles et acronymes

ACA : Appareil de Correction Auditive

ACNUSA : Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires

AFNOR : Association Française de Normalisation

AI : Articulation Index

ANAH : Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat

ARDDS : Association pour la Réadaptation et la Défense des Devenus Sourds

ASA : Acoustical Society of America

ASHA : American Speech Language Hearing Association

BNSR : Bureau de Normalisation Sol et Routes

CEN : Centre Européen de Normalisation

CENELEC : Centre Européen de Normalisation Electrotechnique

CERTU : Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques

CIRE : Cellule Interrégionale d'Epidémiologie d'intervention

CPAM : Caisse Primaire d'Assurance Maladie

CRAM : Caisse Régionale d'Assurance Maladie

CREDOC : Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de Vie

CRSSA : Centre de Recherches du Service de Santé des Armées

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

DIREN : Direction Régionale de l'Environnement

DPPR : Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (MEDD)

DRAC : Direction Régionale des Affaires Culturelles

DRASS : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales

EPNdB : Effective Perceived Noise Decibels

ERP : établissement recevant du public

GART : Groupement des autorités régulatrices des transports

ICBEN : International Commission of the Biological Effects of Noise

ICPE : installations classées pour la Protection de l'environnement

IFEN : Institut français de l'environnement

INPES : Institut national de prévention et d'éducation pour la santé

INRETS : Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

IP : indice psophique

IRSN : Institut de recherche et de sûreté nucléaire

ISO : International Organisation for Standardisation

LCPP : Laboratoire Central de la Préfecture de Police

MEDD : Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

NEF : Noise Exposure Forecast

NNI : Noise and Number Index

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ORS : Observatoire Régional de la Santé

PADD : Projet d'Aménagement et de Développement Durable

PDU : Plan de Déplacement Urbain

PEB : Plan d'Exposition au Bruit

PGS : Plan de Gêne Sonore

PLU : Plan Local d'Urbanisme

RASTI : Rapid Speech Transmission Index

RFF : Réseau Ferré de France

S-DSME : Sourd, Devenu sourd ou Mal Entendant

SCHS : Service Communal d'Hygiène et de Santé

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SEL : Sound Exposition Level

SFA : Société Française d'Acoustique

STI : Speech Transmission Index

TC : Technical Committee

TR : Temps de Réverbération

UTP : Union des Transports Publics

WECPNL : Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level

WG : Working Group

ZUS : Zones Urbaines Sensibles

Préambule

Contexte et objectifs

Le rapport **Impacts sanitaires du bruit : état des lieux. Indicateurs bruit-santé** de l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale répond à la fois à une attente du public et à une saisine des autorités publiques.

A la lecture de différents sondages d'opinion publiés en France au cours de l'année 2003, l'exposition au bruit apparaît en effet comme un sujet de préoccupation important pour la population. Une étude de l'INSEE parue en octobre 2002 indique par exemple que, dans les agglomérations de plus de 50 000 habitants, les habitants placent le bruit devant l'insécurité et la pollution quand il s'agit de hiérarchiser les problèmes locaux les plus préoccupants.

Par ailleurs, la directive 2002/49/CE du Parlement Européen et du Conseil relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, dont la transposition en droit français doit être effective au plus tard le 18 juillet 2004, fixe aux États membres de l'Union des objectifs en matière de protection contre le bruit. Cette directive rend obligatoires la définition de plans d'action et la réalisation de cartes de bruit pour les grandes agglomérations et les principaux axes de transport. Elle vise également à accroître l'information du public en matière de bruit dans l'environnement et ses effets.

Pour répondre aux besoins de connaissances et préparer l'élaboration des futurs plans d'action, l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale a été saisie par les ministères chargés de la santé et de l'environnement au cours de l'été 2003 afin de produire :

- un état des lieux concernant les méthodes d'évaluation et la quantification de l'impact sanitaire des nuisances sonores, avec une attention particulière portée à l'exposition des populations « sensibles » (enfants et adolescents, personnes âgées, travailleurs postés, riverains d'autoroutes et d'aéroports, …) ;
- une évaluation des connaissances scientifiques sur la pertinence des « indicateurs » utilisés dans la réglementation française, comprenant un état comparatif avec les réglementations étrangères pertinentes ;
- éventuellement une proposition d'indicateurs complémentaires qui permettent de rendre compte des phénomènes de multiexposition et de multi-nuisances.

Ce rapport dresse un état des lieux des connaissances actuellement disponibles sur le plan international en matière d'impacts sanitaires de l'exposition au bruit, à court et à long terme. Ce faisant il relève de nombreuses lacunes et besoins de recherches.
Le second objectif du rapport est d'évaluer les indicateurs bruit-santé en vue d'identifier ceux qui paraissent les plus pertinents pour la mise en œuvre et l'évaluation des politiques de lutte contre les nuisances sonores, visant à protéger la santé des populations.

L'objet même de ce travail, le bruit, constitue un phénomène omniprésent dans la vie quotidienne, aux sources innombrables et d'une infinie diversité. La neuvième édition du dictionnaire de l'Académie française définit en effet le bruit comme un « *son ou ensemble de sons qui se produisent en dehors de toute harmonie régulière* ». Le bruit est donc un *objet*, phénomène physique, le son, mesurable selon des paramètres constants, mais *connoté* de façon négative, selon des critères *subjectifs.* Chaque individu possède ainsi sa propre perception du bruit, qui dépendra elle-même de composants multiples, contextuels, personnels et culturels. La notion de nuisance sonore est elle aussi éminemment subjective, une nuisance étant définie comme ce qui nuit à la santé ou entraîne une sensation désagréable, ce qui est la cause de désagrément. La conception de la santé qui sous-tend ce rapport correspond ainsi à la définition de l'OMS, très large et en partie subjective : « *la santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité* »[1].

Ce rapport s'attache à la fois aux effets subjectifs de l'exposition au bruit, pouvant entraîner une gêne, définie de façon large par l'OMS comme « *une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement dont l'individu ou le groupe connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé* » et donnant lieu à une déclaration individuelle ; et aux effets objectifs, c'est-à-dire pouvant être mesurés, évalués selon des critères applicables à tous les individus. La difficulté dans ce cas consiste à pouvoir relier de manière certaine le facteur suspecté à l'effet sanitaire observé. Car corrélation ne signifie pas causalité, de nombreux facteurs de confusion tels que les données socioéconomiques pouvant laisser croire à une relation causale.

Historiquement, les émissions sonores, leur mesure, les méthodes pour les réduire, ont été abordées et traitées source par source, selon des logiques institutionnelles ou professionnelles. La multiplicité

[1] Cette définition, qui n'a pas été modifiée depuis 1946, figure dans le Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19-22 juin 1946; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 Etats. 1946; (Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé, n°. 2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948.

des sources de bruit rend difficile la mise en œuvre de politiques globales et complètes de réduction des émissions sonores. Or, du point de vue de l'individu, c'est souvent l'accumulation successive ou concomitante des expositions à différents types de bruit qui génère de la gêne et peut s'avérer nocive pour la santé.

Si l'arsenal réglementaire, qui était éparpillé, a été très utilement intégré et complété avec la loi n°92-1444 du 31 décembre 1992, la mise en application de cette loi reste à ce jour insuffisante. A la demande des responsables politiques, de nombreux rapports et travaux, conduits en France au cours des dernières années, ont établi régulièrement un état des lieux de l'application des textes réglementaires au plan national et ont fourni de nombreuses propositions visant à améliorer la lutte contre les nuisances sonores. Mais leurs résultats et recommandations n'ont souvent que partiellement été pris en compte et mis en application[2].

Les moyens mis en œuvre dans la lutte contre les nuisances sonores ne semblent pas à la mesure des attentes du public et des objectifs d'une politique de santé publique préventive. La volonté politique fait souvent défaut sur un thème qui n'est pas considéré comme prioritaire, par comparaison avec d'autres problématiques environnementales pour lesquelles la mobilisation des acteurs est forte, et dont les responsables sont moins nombreux et mieux identifiés.

Le risque sanitaire lié au bruit n'est le plus souvent pas considéré avec la même inquiétude que celle entourant d'autres types de nuisances environnementales comme par exemple les impacts de la pollution atmosphérique. Dans la majorité des cas, les paramètres acoustiques ne sont que depuis très récemment pris en compte dès la phase initiale d'élaboration des projets d'infrastructure, d'implantation des activités, d'aménagement de l'espace urbain, avant que les plaintes des habitants n'obligent à un questionnement.

La conscience des risques et l'information du public sont très faibles. La recherche par les jeunes de volumes sonores importants est reliée à la valorisation plus générale de la vitesse, du mouvement

---

[2] Parmi les nombreux rapports en matière de lutte contre les nuisances sonores, citons :

- Rapport relatif à la protection des riverains contre le bruit des transports terrestres, présidé par le député Bernard Serrou, 1995. Ce rapport précise les moyens qui doivent être mis en œuvre pour résorber les points noirs.
- La résorption des Points Noirs du bruit routier et ferroviaire, rapport présidé par Claude Lamure, novembre 1998. Ce rapport évaluait à 200 000 le nombre de logements concernés par de fortes nuisances sonores provoquées par les infrastructures routières et ferroviaires.
- Le bruit des deux-roues à moteur. Rapport du groupe de travail interministériel, mission bruit (MEDD), 29/06/2001
- Bruit de l'aviation légère en France. Rapport du groupe de travail, Conseil National du Bruit, rapport présidé par Claude Lamure, 2002.
- Des solutions pour vivre mieux. Rapport du groupe de travail sur les difficultés d'application de la réglementation sur les bruits de voisinage, Conseil National du Bruit, rapport dirigé par Philippe Ritter, janvier 2002.
- Les bruits de voisinage et les communes : prise en charge, difficultés et propositions d'actions, rapport présidé par le docteur Frédéric Hugel, directeur du service Hygiène et Santé de la ville de Strasbourg, mai 2000.
- Évaluation de l'exposition des Parisiens au bruit, Marie Larnaudie, septembre 2002, Service de la protection de l'air et de l'ambiance sonore de la Villes de PARIS
- Rapport d'information sur la politique aéroportuaire, enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale le 2 juin 1999, présenté par Mr. Jean-Pierre Blazy, rapporteur

rapide, de la puissance mécanique. En plus des enjeux économiques, de la multiplicité des sources à contrôler, la lutte contre les nuisances sonores se heurte donc à une résistance en partie culturelle.

Un travail préparatoire a été réalisé au sein de l'Agence, afin d'identifier les compétences nécessaires pour répondre aux questions posées par les saisines ministérielles. Puis, a été constitué un groupe de travail, rassemblant des partenaires disposant d'une expertise scientifique reconnue et comprenant notamment des membres du Centre scientifique et technique du bâtiment, de l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, du Laboratoire central des ponts et chaussées, du Laboratoire national d'essai, de l'Institut français de l'environnement, de l'Institut National de Recherche et de Sécurité, ainsi que des responsables techniques de collectivités territoriales ou d'établissements publics impliqués en particulier dans le domaine des transports.

Ont également été associés à ce groupe de travail des chercheurs universitaires, des médecins spécialistes, le Centre de recherche du service de santé des armées ainsi que le bureau 7C de la Direction générale de la santé et, bien évidemment, la Mission bruit du ministère en charge de l'environnement.

Ce rapport a donc bénéficié des contributions d'un nombre important d'experts issus d'horizons divers du monde scientifique, sociologique, technologique et administratif. Nous remercions vivement pour leur contribution l'ensemble des membres du groupe de travail.

Chacun d'eux est brièvement présenté à la fin de ce rapport.

Plan du rapport

Ce rapport analyse en premier lieu la perception sociale des nuisances sonores en France (Introduction). Les différents types de sources de bruit et vibrations dans l'environnement sont ensuite présentés ainsi que leur cadre réglementaire respectif : bruit dans l'habitat, bruit ambiant et notamment en relation avec les différents moyens de transport, bruit en milieu de travail (Partie I). Lorsqu'elles sont possibles, des comparaisons avec l'arsenal réglementaire d'autres pays sont proposées.

Le rapport établit ensuite un état des lieux des connaissances actuelles sur les différents impacts connus du bruit sur la santé, qu'il s'agisse de l'impact sur l'audition, des effets extra auditifs et des effets subjectifs, ainsi que des effets des multiexpositions au bruit et des expositions combinées du bruit avec d'autres sources de nuisances (partie II). Cet état des lieux fournit les éléments nécessaires à l'étude des indicateurs bruit-santé, indicateurs indispensables à la mise en œuvre d'une politique de réduction des impacts sanitaires du bruit (partie III). Les indicateurs pertinents sur un plan sanitaire sont ceux qui permettent de rendre compte de l'impact sanitaire du bruit.

La dernière partie du rapport rappelle brièvement les nombreux acteurs intervenant dans la lutte contre le bruit et la prévention des nuisances sonores, et présente particulièrement le rôle des collectivités locales (partie IV).

Certains éléments techniques complémentaires sont présentés en annexe :

- les nécessaires descriptions physiques du bruit (caractéristiques physiques des sons, démarche métrologique) : annexe 1 ;
- le bruit ferroviaire en milieu urbain, le cas de la RATP : annexe 2 ;
- les bruits et vibrations liés aux transports sur voies ferrées, le cas de la SNCF : annexe 3 ;
- un exemple de campagne de sensibilisation : les concerts de sensibilisation sur les risques auditifs liés à l'écoute des musiques amplifiées : annexe 4.

Enfin, à partir de l'état des lieux des connaissances préalables, le rapport propose un ensemble de recommandations en matières de lutte contre l'exposition au bruit et de plans d'action afin de lutter contre les effets sanitaires de l'exposition au bruit. Pour certaines de ces recommandations nous avons choisi la présentation par catégorie de destinataire.

Directive européenne 2002/49/CE du 25 juin 2002[3] : présentation succincte

La directive 2002/49/CE du Parlement européen et du conseil, relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, vise à établir une approche commune aux pays membres de la communauté en matière de prévention et de réduction des effets nuisibles de l'exposition au bruit. Cette approche consiste à (1) évaluer l'exposition des populations, par une cartographie du bruit établie selon des méthodes communes, (2) informer le public en matière de bruit dans l'environnement et ses effets, (3) adopter des plans d'action fondés sur les résultats de la cartographie afin de prévenir et de réduire si nécessaire le bruit dans l'environnement, lorsque les niveaux peuvent entraîner des effets nuisibles pour la santé.

La directive vise particulièrement à fournir une base pour mettre au point des méthodes de mesures communes destinées à réduire les émissions sonores provenant des principales sources, en particulier des véhicules, des infrastructures routières et ferroviaires, des avions, des matériels industriels et engins mobiles (les bruits à l'intérieur des bâtiments provenant de sources extérieures sont pris en compte). Certaines catégories de bruit comme les bruits à l'intérieur des moyens de transport et ceux relevant des activités domestiques ne sont pas pris en compte.

Les Etats membres doivent désigner les autorités compétentes et les organismes chargés de la collecte des informations et de l'établissement des cartes de bruit, de l'élaboration des plans d'action, en particulier pour les agglomérations, les axes routiers et ferroviaires ainsi que les grands aéroports. Des cartes de bruit doivent être établies au plus tard en juin 2007 pour toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants et pour tous les grands axes routiers ou ferroviaires ainsi que tous les grands aéroports[4]. En juillet 2008, les autorités compétentes devront avoir établi sur leur territoire des plans d'action visant à gérer des problèmes de bruit et les effets du bruit, y compris la réduction de bruit à proximité des grands axes routiers et dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants avec une protection des zones calmes. En juillet 2013, les autorités compétentes devront avoir établi des plans d'action pour traiter les problèmes de dépassement des valeurs limites pertinentes. Ces plans d'action devront être révisés lorsque surviendra un effet modifiant la situation et au moins tous les cinq ans.

Le public devra être informé des propositions relatives aux plans d'action et à leur réexamen ; cette participation devra être prise en compte. Les cartes de bruit établies et approuvées, ainsi que les plans d'action arrêtés devront être rendus accessibles au public de manière claire et compréhensible.

---

[3] La transposition de cette directive doit être effective au plus tard le 18 juillet 2004 dans les Etats membres.

[4] Au plus tard en juin 2012, les Etats membres devront avoir élaboré des cartes de bruit montrant la situation au cours de l'année civile précédente. Ces cartes de bruit devront être réexaminées et révisées tous les cinq ans.

Résumé

INTRODUCTION

L'opinion des Français à l'égard du bruit semble paradoxale : les enquêtes montrent qu'ils attribuent une valeur importante et croissante au droit à la tranquillité sonore dans leur cadre de vie, mais simultanément le bruit n'occupe qu'une place mineure en tant que problème de santé lié à l'environnement.

Cela est peut-être lié au fait que le bruit n'éveille pas les mêmes inquiétudes que les autres nuisances ou risques environnementaux : il ne conduit pas à des événements catastrophiques non maîtrisables et ne compromet pas les éléments fondamentaux de la vie que sont l'air et l'eau. Cette hiérarchie des problèmes environnementaux est renforcée par l'influence des médias qui ne traitent que très rarement le thème du bruit, difficilement traduisible en image.

Les enquêtes montrent que la sensibilité au bruit s'accroît avec la taille des agglomérations. Le niveau de revenu est un facteur déterminant, les ménages pauvres sont statistiquement plus exposés au bruit. Le bruit est perçu par les Français comme une question *locale* de qualité de vie avant d'être une question de société et d'environnement. Les collectivités locales sont alors plébiscitées en première place pour lutter contre les problèmes de nuisances sonores, très loin devant l'État.

I) LES SOURCES DE BRUIT ET VIBRATIONS, LA PROPAGATION DU BRUIT

Les sources de bruit sont multiples et concernent tous les milieux : bruit dans l'habitat et les lieux de résidence, bruit ambiant et notamment en relation avec les différents moyens de transport, bruit en milieu de travail, bruit au cours des loisirs. A l'intérieur de chaque milieu, les principales sources de bruit peuvent être identifiées. La réglementation en matière de bruit est ainsi organisée d'une part en fonction des différents environnements dans lesquels l'individu est soumis au bruit, d'autre part autour de certaines sources de bruit bien identifiées : bruits émis par les véhicules automobiles, par certains matériels et équipements, par les avions. Les réglementations varient parfois de manière significative entre les pays.

En France, les connaissances en termes d'émissions sonores et d'exposition des populations sont très lacunaires à ce jour, à la fois en ce qui concerne l'intérieur des locaux, les lieux publics, et en milieu extérieur, en particulier durant les loisirs.
Les pratiques et comportements sont déterminants : sont ainsi particulièrement exposés les jeunes dont les pratiques d'écoute de musique amplifiée, à des niveaux sonores élevés, se sont fortement développées. Par ailleurs les émissions sonores dans les discothèques, cinémas, patinoires, piscines, centres commerciaux, présentent des niveaux très élevés. Le cas des expositions auxquelles sont soumis les enfants à l'intérieur des locaux scolaires, particulièrement dans les cantines et salles de sport, est également problématique. Les recommandations françaises (valeurs-limites) sont en ce domaine moins exigeantes que celles de nombreux autres pays.

Les bruits émis par les différents modes de transport sont de mieux en mieux connus, mais la connaissance des expositions cumulées subies par les riverains des infrastructures est encore faible, en particulier pour les bruits ferroviaires. Il n'existe à ce jour aucune norme ou réglementation en France et en Europe en matière de nuisances vibratoires dues aux transports. Des spécifications européennes d'interopérabilité qui fixeront des valeurs-limites pour les émissions sonores des matériels roulants sont attendues au cours des prochaines années. Dans le domaine des bruits aériens, les données de l'ACNUSA pour la région francilienne publiées en 2003 sont nuancées : selon les zones concernées, le bilan résultant de la réorganisation des couloirs aériens est favorable ou non, et si le nombre d'habitants survolés en dessous de 3000 m a diminué, la situation se serait dégradée en ce qui concerne les survols à basse altitude (moins de 1000 m), les plus gênants. Avec la directive 2002/49/CE, le bruit autour des aéroports devient le plus surveillé.
En revanche, les connaissances de l'exposition des voyageurs *à l'intérieur* des modes de transports, ponctuelles, sont très faibles.

En matière de bruits dans l'environnement dus aux activités industrielles, la réglementation, en partie issue de la loi n°92-1444 de 1992, a été complétée au cours de la deuxième moitié de la décennie 1990. Actuellement en cours de révision, cette réglementation impose des méthodes de mesure des bruits et fixe des niveaux maximum d'émergence (en dB(A)).

En milieu de travail, la déclaration des surdités professionnelles, dont le nombre des cas déclarés diminue au cours des dernières années, est indéniablement sous-évaluée. La réglementation s'appuie sur deux indicateurs de niveau de risque : un descripteur énergétique qui représente l'exposition moyenne du travailleur au cours d'une journée, exprimé en dB(A) ; un descripteur de pression acoustique de crête, correspondant à la valeur maximale de niveau de bruit, exprimé en dB,

reçu au cours d'une journée de travail. Une directive européenne, en cours de transposition et qui entrera en vigueur en février 2006, abaisse les seuils d'action.

La propagation du bruit dans l'environnement varie fortement en fonction de paramètres topographiques et météorologiques. Les différents moyens existants de protection physique contre le bruit (écrans acoustiques, isolation des bâtiments) présentent une efficacité variable.

II) IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT

Les impacts sanitaires de l'exposition au bruit sont divers, comprenant l'impact sur l'audition, les effets dits « extra auditifs » (effets sur le sommeil, sur la sphère végétative, sur le système endocrinien, sur le système immunitaire, sur la santé mentale), les effets subjectifs (gêne due au bruit, effets du bruit sur les attitudes et les comportements, effets sur les performances, effets sur l'intelligibilité de la parole). Les effets liés aux multiexpositions au bruit (expositions cumulées) et aux expositions combinées au bruit et à d'autres sources de nuisances (bruit et agents ototoxiques, bruit et chaleur) demeurent mal connus. Certaines populations présentent une vulnérabilité particulière à l'exposition au bruit : enfants en milieu scolaire en phase d'apprentissage, travailleurs exposés simultanément à des nuisances ou médicaments de différents types (solvants aromatiques, monoxyde de carbone et acide cyanhydrique, antibiotiques, diurétiques, acide acétylsalicylique, anti-tumoraux), personnes âgées et personnes touchées par une déficience auditive, appareillées ou non.
Les coûts économiques des impacts sanitaires du bruit comprennent le coût des réductions, voire des suppressions de bruit, jusqu'au coût des traitements médicamenteux pouvant être associés à une exposition au bruit.

Effets auditifs

La soumission au bruit de l'appareil auditif se traduit par la fatigue auditive et la perte auditive, qui sont toutes deux « *évaluées actuellement par une audiométrie tonale liminaire sur la gamme des fréquences audibles* », les « *pertes étant exprimées en dB HL (hearing level) par rapport à une population normale standard (mesures selon normes AFNOR S 30-007 et ISO 389)* ». Les audiogrammes permettent ainsi de mettre en lumière les effets de perte ou de fatigue auditives. Il existe des facteurs de susceptibilité interindividuelle au bruit.
Il est aujourd'hui difficile de faire la part des pertes auditives strictement liées au bruit et peu de données épidémiologiques existent sur les surdités exclusivement liées au bruit. De plus, « *chaque*

étude utilise un mode d'évaluation de la surdité différent, ce qui rend la comparaison des populations difficiles ». Les besoins en matière de recherches épidémiologiques sont donc importants.

Effets extra-auditifs

Les effets extra-auditifs du bruit, nombreux, sont difficiles à attribuer de façon indéniable et univoque au bruit en raison de l'existence de nombreux facteurs de confusion. Ils sont appréciés soit par des mesures *objectives* (par exemples les mesures électrophysiologiques : électroencéphalographie, électrooculographie et/ou des paramètres des systèmes végétatifs : fréquences cardiaque et respiratoire ; les modifications de concentrations hormonales…) ; soit par des mesures *subjectives* (appréciation de la qualité du sommeil par des questionnaires appropriés…). Nous indiquons à quels niveaux de bruit (en dB) les troubles se manifestent, selon diverses études. L'OMS a proposé en 2000 des valeurs guides (exposition mesurée à travers deux descripteurs : un descripteur énergétique et un descripteur événementiel) relatives aux effets spécifiques du bruit sur la santé et dans des environnements spécifiques (intérieur des logements, intérieur des chambres à coucher, salles de classe et jardins d'enfants, etc.).

Diverses études mettent en évidence des différences interindividuelles de la sensibilité au bruit nocturne (différences de seuils de réactivité aux bruits). Les travailleurs de nuit constituent une population particulière du fait de leur exposition pendant le sommeil au bruit diurne.
Les résultats des études conduites dans le champ des effets extra-auditifs du bruit ne sont quant à eux pas congruents.
Les effets du bruit sur la santé mentale sont encore plus difficiles à étudier. On utilise comme indicateur de corrélation entre exposition au bruit et santé mentale la consommation médicamenteuse. Les études concernant la santé mentale de l'enfant aboutissent à des résultats contradictoires. Les difficultés méthodologiques très importantes de tels travaux relèvent essentiellement de la difficulté à dissocier les effets liés au statut socioéconomique et les effets liés au bruit.

Effets subjectifs

L'établissement des liens entre effets sanitaires *subjectifs* et niveaux d'exposition au bruit est très difficile. Les paramètres utilisés pour la mesure physique des bruits (intensité énergétique, durée, fréquence, etc.) semblent insuffisants pour exprimer la très grande variabilité des réactions individuelles. Les réponses individuelles aux bruits sont en effet éminemment subjectives, variant

en fonction de prédispositions physiologiques et psychologiques individuelles et selon les diverses sources.

Un très grand nombre d'enquêtes sociales ou socio-acoustiques a été mené depuis près de 60 ans afin d'étudier la gêne due au bruit. Or « *l'utilisation de différents types d'échelle ainsi que des formulations variées ont rendu difficile la comparaison des résultats d'enquête, surtout sur le plan international* ». Pour ces raisons, des travaux ont été conduits afin de faire des recommandations concernant la conception des enquêtes sur la gêne due au bruit et plus particulièrement sur le choix des échelles de gêne ainsi que sur la formulation et la structure des questions à poser aux personnes enquêtées. Ces travaux ont été repris dans ceux du Groupe de travail 49 de l'ISO (ISO/TC43/SC1) qui a proposé en 2000 un projet de recommandation relatif à l'évaluation de la gêne due au bruit adopté en 2003 (ISO, 2003). Ces enquêtes ont montré pour la plupart « *qu'il est difficile de fixer le niveau précis où commence l'inconfort et ont souligné le caractère variable du lien existant entre les indices de gêne et l'intensité physique du son* ». Des relations «dose-réponse» (European Commission, 2002) ont cependant pu être établies entre niveaux d'exposition au bruit (notamment de transport) et gêne individuelle. L'indicateur utilisé dans ces travaux est le Lden en façade.

Cependant les corrélations entre niveaux d'exposition et gêne individuelle, bien que significatives, sont relativement faibles. Ainsi le bruit n'expliquerait au mieux que 30 à 40 % de la gêne exprimée, bien d'autres facteurs non acoustiques de modulation intervenant dans la réaction individuelle.

Les relations entre bruit et troubles du comportement sont étudiées soit sur le terrain, soit par des travaux en laboratoire. Les mécanismes de ces phénomènes ne sont aujourd'hui pas élucidés.

Multiexposition

La question des multiexpositions est abordée de façons variées sur le plan international : il s'agit parfois d'exposition à des sources combinées ou simultanées, parfois d'expositions cumulées. Cette question soulève plusieurs problèmes : celui de la métrologie acoustique (comment mesurer une multiexposition ? comment évaluer la contribution de chacune des sources au niveau global d'exposition ?) ; celui de l'évaluation de la réaction totale.

La connaissance des populations exposées simultanément à plusieurs sources de bruit (typiquement aux bruits émis par différents modes de transports) en France est désormais ancienne et très incomplète. La compréhension des processus à l'origine des réactions individuelles dans des environnements complexes reste très limitée et elle soulève le problème de la méthodologie d'évaluation de la gêne totale. Or, «*à la lumière de travaux récents, il ne semble pas y avoir actuellement de consensus sur un modèle permettant d'évaluer la gêne totale due à la combinaison de plusieurs sources de bruit* », et « *ces modèles ne s'appuient pas ou de façon insuffisante sur la*

connaissance des processus psychologiques (perceptuel et cognitif) participant à la formation de la gêne, mais sont plutôt des constructions mathématiques de la gêne totale ».

Coexposition

Les connaissances des effets sur la santé des expositions simultanées au bruit et à des agents ototoxiques (antibiotiques, diurétiques, salicylates, anti-tumoraux, solvants aromatiques, monoxyde de carbone et acide cyanhydrique) sont actuellement très limitées. Pour ce qui est des coexpositions au bruit et à des solvants, « *l'audiométrie tonale ne fournit pas de signature audiométrique permettant d'affirmer que la surdité diagnostiquée est due à une intoxication par les solvants, et pas seulement à l'exposition au bruit* ». L'expérimentation animale a permis de fournir certaines informations, par exemple concernant le pouvoir ototoxique des solvants aromatiques.

Finalement, « *les limites d'exposition au bruit ont été établies pour des sujets ne présentant pas de fragilité cochléaire particulière. Cependant, une oreille interne fragilisée par un ou plusieurs agents ototoxiques pourrait se révéler plus vulnérable à une agression sonore qu'une oreille exposée uniquement au bruit* ». La question de la pertinence des limites d'exposition actuellement en vigueur en France et de l'information du public se pose donc avec une grande acuité dans le cas des personnes soumises à la fois au bruit et à des agents ototoxiques.

Des travaux ont porté sur les effets sanitaires des interactions entre bruit et températures ambiantes. Mais la démarche utilisée, centrée sur le confort, était souvent très contraignante (un seul des facteurs environnementaux était modifié). Lorsque les deux paramètres physiques – bruit et température ambiante – étaient modifiés simultanément, le paramètre jugé prédominant en termes de confort était celui pour lequel les valeurs initiales d'exposition étaient les plus « critiques ». Une étude indique que les bruits de niveaux élevés augmentent l'inconfort thermique.

Déficience auditive, handicap social et effets du vieillissement

Parmi les déficiences chroniques les plus fréquentes chez les personnes âgées, la surdité vient en troisième position, entraînant chez elles des répercussions physiques et mentales importantes. Les handicaps liés à la surdité et à l'altération des capacités auditives sont multiples et ne se limitent pas à la déficience auditive (altération de la communication interpersonnelle, altérations des perception de l'espace et du temps, acouphènes, altération des fonctions d'équilibre, etc.). La qualité de vie est globalement et profondément altérée.

La presbyacousie est une détérioration lente de la fonction auditive résultant d'un processus de vieillissement. Elle touche hommes et femmes à partir de 50 ans, avec une grande variabilité interindividuelle. Il s'agit d'un problème de santé publique qui s'aggrave.

La prise en charge technico-sociale des personnes présentant une déficience auditive peut être très largement améliorée (appareillage, rééducation auditive et compensations spécifiques). La prévention est également très insuffisante.

III) DESCRIPTEURS DE BRUIT, INDICATEURS BRUIT-SANTE

A partir de l'état des lieux des connaissances sur les impacts sanitaires du bruit, il est possible de réfléchir aux *indicateurs* pertinents, c'est-à-dire ceux qui présentent une corrélation significative avec les effets sanitaires tels qu'ils sont connus.

Unité de mesure, descripteurs et indicateurs de bruit

Le décibel reste à ce jour l'*unité de mesure* exprimant un niveau énergétique la plus utilisée pour la mesure du son, comme phénomène physique simple. Le PNdB est une autre unité destinée à mesurer les bruits aériens. A partir de ces grandeurs sont calculés des indicateurs plus complexes censés modéliser la gêne ressentie (laquelle varie en fonction de l'heure, mais aussi de la source).

Rappelons qu'un descripteur de bruit est une expression mathématique utilisée pour représenter simplement une situation complexe, variable dans le temps, un outil qui permet une bonne évaluation et surtout des comparaisons de l'exposition au bruit en différents lieux, à divers moments de la journée et de l'année.

La terminologie adoptée dans ce rapport en matière de *descripteurs* de bruit est la suivante :

- le terme *indice* s'applique à une mesure, une description du phénomène physique du bruit, qui prend en compte certains paramètres (fréquences, puissance…) ; l'indice est purement une expression de forme physique ;
- le terme *indicateur* s'intéresse à la relation entre niveaux de bruit (exprimés par un indice) et impacts sanitaires par le biais d'une relation dose-réponse.

Les descripteurs existants ont été construits en fonction des caractéristiques des sources de bruit (initialement dans le cadre de procédures de certification, fixées par les industriels eux-mêmes), et non en fonction de l'incidence sanitaire. Les descripteurs diffèrent selon les sources, l'objectif d'utilisation du descripteur, la période d'émission du bruit, etc.

Cette multiplicité rend complexe la connaissance des expositions et des impacts sanitaires du bruit, aussi bien pour les experts que pour le grand public. Elle entraîne une difficulté de comparaison, le transfert d'un descripteur à l'autre est difficile.
Les descripteurs de bruit utilisés varient également d'un pays à l'autre.

On distingue deux grandes catégories de descripteurs de bruit :
- *les descripteurs énergétiques intégrés* qui prennent en compte le cumul des bruits sur une période donnée - le jour, la nuit, 24h ou plus (ex. : LAeq et ses dérivés comme le Lden, Lnight, Lday, Levening) et peuvent donc caractériser une *exposition de long terme.* On a construit des indicateurs utilisant des pondérations définies arbitrairement, censées représenter la gêne ressentie du fait des émissions sonores, laquelle varie selon le moment de la journée. L'indicateur Lden (day, evening, night), retenu par la directive européenne n° 2002/49/EC, est de plus en plus utilisé.
Il devient de plus en plus évident que l'approche énergétique, fût-elle pondérée selon les périodes d'apparition du bruit, trouve rapidement ses limites eu égard aux réactions manifestées par les personnes. On voit ainsi apparaître également, sans qu'ils soient définitivement adoptés, des descripteurs événementiels caractérisant des phénomènes *uniques*.

- *les descripteurs événementiels* *(ex. : SEL et Lmax*), caractérisant un événement sonore et prenant en compte la caractéristique d'émergence forte de certains bruits (tels œux émis au passage des avions). Le Lmax est le plus utilisé sur le plan international. Il peut être exprimé en deux unités dB(A) ou PNdB. Le PNdB prend en compte le fait que certaines fréquences émises par les bruits d'avions sont considérées comme plus gênantes ; il applique ainsi une pondération en fréquence un peu différente du dB(A) qui est lui-même pondéré en fonction de la sensibilité de l'oreille.
Cependant différentes approches sont utilisées selon les pays.

Certains *indicateurs* de bruit sont construits de manière à représenter la gêne que le bruit peut entraîner. Ils sont alors construits en fonction de relations dose-réponse des effets du bruit sur la santé (par exemple les effets du bruit sur le sommeil) et sont ainsi censés être des marqueurs des effets du bruit sur la santé.
Les indicateurs de bruit, associés à des valeurs-limites et à des périodes d'exposition, sont utilisés principalement dans les actions réglementaires nationales (zonage acoustique, création d'infrastructures de transport, construction de bâtiments, insonorisation de logements…).
Des critères complémentaires peuvent être établis qui visent à prendre en compte la sensibilité de l'appareil auditif au spectre de fréquence des bruits.

Quels que soient les indicateurs utilisés, les corrélations sont difficilement établies entre de tels indicateurs de mesure physique du bruit et les impacts sur la santé des bruits mesurés. Le choix d'indicateurs pertinents repose sur quelques critères : validité, applicabilité pratique, transparence de l'indicateur. Mais « *l'importance relative qui est accordée à ces critères est variable et, la recherche d'un indicateur unique et simple est une tâche difficile et délicate, d'autant que ces critères sont en partie mutuellement exclusifs* ».

Valeurs-limites

Les valeurs-limites sont le plus souvent établies sur la base des résultats des travaux de recherches portant sur la gêne psychologique et sur les perturbations du sommeil. Elles résultent cependant des compromis qu'effectuent les autorités gouvernementales entre les objectifs de santé publique et le coût des mesures à prendre pour réduire les expositions. Leur existence légale ne signifie pas qu'elles sont respectées.

IV) ROLE DES DIFFERENTS ACTEURS PUBLICS

De l'Etat et ses services décentralisés aux différentes catégories de collectivités locales, tous les échelons d'autorités publiques jouent un rôle en matière de lutte contre le bruit et de prévention des nuisances sonores.

L'Etat intervient essentiellement par l'arsenal réglementaire visant à contrôler les émissions sonores et limiter les nuisances qu'elles constituent pour différentes catégories de population (population générale, travailleurs exposés dans le milieu professionnel, enfants en milieu scolaire, …).

Les élus locaux peuvent jouer un rôle particulièrement déterminant, en particulier dans le cas des agglomérations de grande taille, en matière de prévention des nuisances sonores, par l'utilisation qu'ils font des outils de planification et d'aménagement urbains.

RECOMMANDATIONS

Ce rapport donne lieu à une série de recommandations axées sur l'amélioration des connaissances en matière d'impacts sanitaires du bruit et présentant des pistes de recherche pour la définition d'indicateurs sanitaires pertinents. D'autres recommandations en matière de politique de prévention des impacts sanitaires du bruit sont présentées par type de destinataires. Les pouvoirs publics sont concernés par l'organisation d'un dispositif de surveillance et par leur action sur la réglementation, en particulier à travers l'imposition et le respect de valeurs-limites pour les émissions sonores et les expositions au bruit des populations, y compris les populations sensibles. Leur rôle est également déterminant sur le plan des choix d'équipements générateurs de bruit. Cette question, qui relève en grande partie d'arbitrages politiques, n'est pas traitée dans ce rapport.

Les élus locaux exercent également une influence déterminante en matière de protection contre les nuisances sonores. Ils peuvent agir en effet en amont des émissions sonores à travers les différents outils de planification et d'aménagements urbains (plan de déplacements urbains, plan local d'urbanisme, délivrance des permis de construire). Etant également responsables de la qualité des études d'impact des projets dont leur collectivité assure la maîtrise d'ouvrage, ils peuvent s'assurer de la qualité des études acoustiques dans les études d'impact.

De nombreux professionnels sont concernés par la question des nuisances sonores. Ces recommandations ne s'intéressent qu'à certains domaines : bâtiment, équipements, véhicules automobiles. Le traitement des sources de bruit est en effet une question aux multiples facettes qui pourraient être abordés dans tous les secteurs. Mais ceci déborde le cadre de ce rapport.

Enfin des recommandations essentielles sont présentées en matière d'information et de sensibilisation de chaque citoyen. Les effets sanitaires de l'exposition au bruit méritent d'être mieux connus de tous afin que chacun, en étant conscient des risques, puisse se protéger quand cela est de son ressort. Une telle sensibilisation pourrait entraîner un changement de comportements qui, d'une part mettent en danger la santé des personnes qui s'exposent, d'autre part sont sources de gêne pour les riverains.

INTRODUCTION : LE PARADOXE DE L'OPINION A L'EGARD DU BRUIT

Le bruit figure parmi les nuisances majeures ressenties par les Français dans leur vie quotidienne et leur environnement de proximité. C'est ce que confirme une étude de l'Insee parue en octobre 2002 et réalisée à partir de l'enquête permanente sur les conditions de vie des ménages (EPCV) (IFEN, 2002b, 2002a). Dans les agglomérations de plus de 50 000 habitants le bruit est placé devant l'insécurité et la pollution quand il s'agit de hiérarchiser les problèmes les plus préoccupants de leur quartier ou de leur commune.

Pourtant, le bruit ne semble pas considéré, à travers les enquêtes, comme un problème d'environnement saillant (Eurobaromètre, Credoc, IRSN). Ainsi, selon le baromètre de l'IRSN sur *l'opinion sur les risques et la sécurité*, si les Français sont en 2002 25% à penser que l'effet de serre est le problème d'environnement le plus préoccupant, ils ne sont qu'à peine 2% à penser la même chose à propos des nuisances sonores, loin derrière la pollution de l'air (18,5%), la destruction des forêts (14%) ou la diminution de la couche d'ozone (11,5%).

L'opinion à l'égard du bruit est donc paradoxale : les individus attribuent une valeur importante et croissante au droit à la tranquillité sonore dans leur cadre de vie mais le bruit n'occupe qu'une place mineure en tant que problème d'environnement. Il n'éveille pas, il est vrai, les mêmes inquiétudes que les autres préoccupations environnementales : il ne conduit pas à des événements « catastrophe » non maîtrisables et ne compromet pas les éléments fondamentaux de la vie comme l'air et l'eau. La vision du monde que dessinent et proposent les médias renforce cette hiérarchie. D'une part, étant directement ressenti par les victimes, le bruit ne suscite pas la même demande d'information que les autres pollutions et, d'autre part, comme la nuisance sonore n'est pas traduisible en image, le bruit est rarement sujet de reportage au journal télévisé. L'enquête, *la place de l'environnement dans les médias* réalisée par l'association des Journalistes écrivains pour la Nature et l'Ecologie (JNE) sur la période 1996-1997 est sur ce point symptomatique : le bruit ne figure pas parmi les onze thèmes environnementaux retenus car son importance statistique dans les médias est insuffisante pour donner prise à l'analyse (Vadrot C.-M. et Dejouet M., 1998).

Une forte sensibilité à la gêne sonore

L'enquête réalisée en septembre 2001 par l'Observatoire Interrégional de Politique pour l'IFEN permet de connaître l'opinion des Français au sujet de la gêne liée au bruit. Les Français sont 51% à

se déclarer gênés dans leur vie quotidienne par le bruit. En 2001, cette gêne est, comme en 2000 (la question du bruit avait été posée avec une formulation légèrement différente), très liée au cadre de vie selon le degré d'urbanisation de la zone de résidence. Ainsi, 36% des personnes vivant dans les communes de moins de 2 000 habitants se disent gênées par le bruit, alors qu'elles sont 58% dans les communes de 100 000 habitants et plus et 69% dans l'agglomération parisienne. Ces résultats[5] rejoignent ceux obtenus par l'INSEE pour qui le bruit est la nuisance ressentie à domicile la plus citée (54%) par les ménages vivant dans les grandes agglomérations (INSEE, 2002).

Parmi les Français qui se disent gênés par le bruit (51%), 66% évoquent en premier lieu la circulation automobile et 45% les deux roues. Viennent ensuite les nuisances du voisinage (21%) et le bruit des avions (17%). De manière assez logique, le bruit de la circulation automobile est plus fortement ressenti comme une gêne dans les villes qu'en milieu rural : 72% des habitants de l'agglomération parisienne le citent, contre 57% dans les communes rurales (moins de 2 000 habitants).

Rien d'étonnant donc à ce que les régions où l'on se dit le plus souvent gêné soient aussi celles qui sont fortement urbanisées : Ile-de-France (66%), Alsace (62%), PACA (58%) et Nord - Pas-de-Calais (53%). Symétriquement, les régions faiblement ou moyennement urbanisées sont aussi celles où l'on se dit moins gêné que la moyenne nationale (51%) : Corse (32%), Limousin, Basse-Normandie, Poitou-Charentes (39%) et Bretagne (40%).

[5] Le problème du bruit est abordé au travers de quatre questions. Elles portent sur la fréquence de la gêne occasionnée par quatre types de bruit (transports, voisinage, commerces, passants, autres bruits). Si au moins un de ces bruits est souvent une gêne, alors le bruit au sens large est considéré comme souvent une gêne.

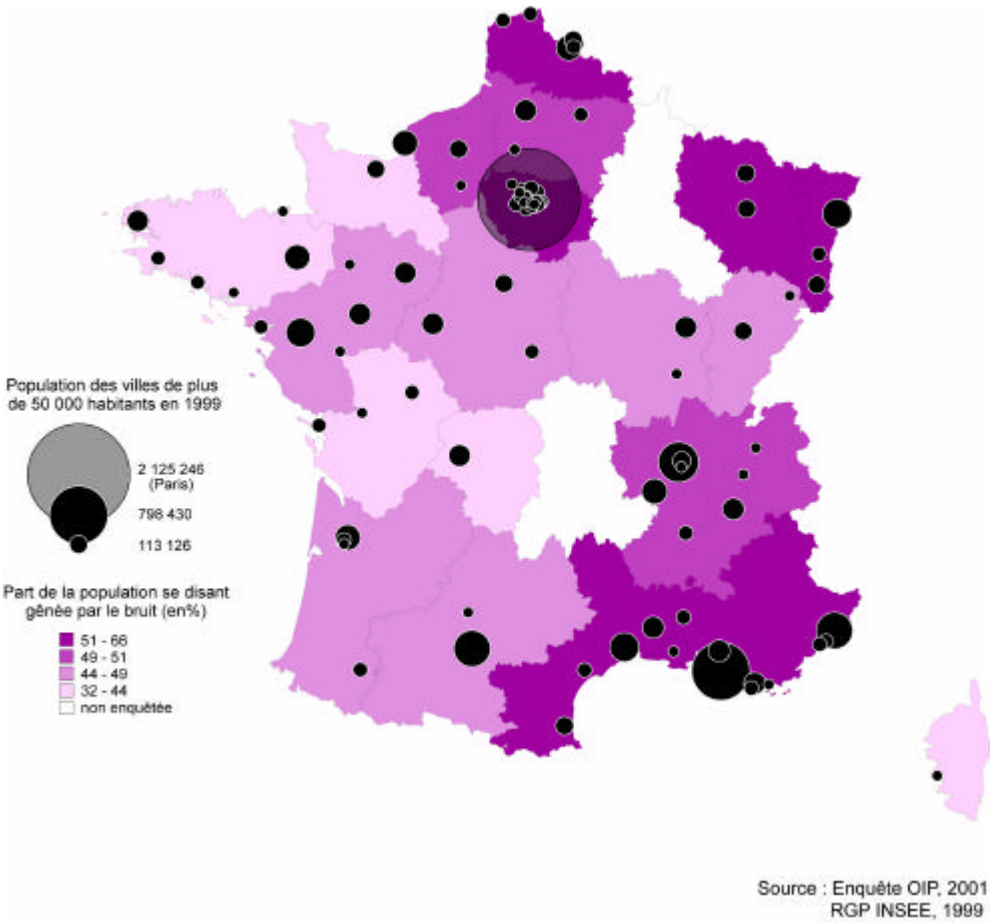


Figure 1 : inégalité face au bruit et diversité des représentations sociales

Part de la population se disant gênée par le bruit et la répartition des villes de plus de 50 000 habitants

La sensibilité au bruit s'accroît avec la taille des agglomérations et l'enquête EPCV 2002 de l'Insee montre par ailleurs que plus l'agglomération est peuplée, plus la part des ménages confrontés à des conditions de vie dégradées (bruit, pollution, fréquence des actes de vandalisme, inconfort du logement) est importante. L'exposition au bruit participe fortement à l'inégalité sociale des conditions de vie entre les villes et plus encore entre les quartiers. Alors que 28 % des ménages qui vivent dans une agglomération de plus de 50 000 habitants sont souvent gênés par le bruit, 41 % de ceux qui vivent dans des logements inconfortables déclarent que le bruit les dérange souvent (INSEE (Rizk Cyril), 2003, Rizk C., 2003).

Les ménages pauvres habitent plus fréquemment les quartiers et les logements exposés au bruit : ce sont dans les zones urbaines sensibles (ZUS) que l'on souffre le plus du bruit et les ménages pauvres des ZUS représentent 20 % des ménages pauvres[6] alors que seulement 8 % des autres ménages y vivent. Ainsi comme le souligne l'INSEE, « *être pauvre n'augmente pas la probabilité*

[6] Il s'agit ici des *ménages à bas niveau de vie* dont le revenu par unité de consommation appartient au premier décile.

de se déclarer souvent gêné par le bruit mais celle d'habiter un quartier plus bruyant que les autres ».

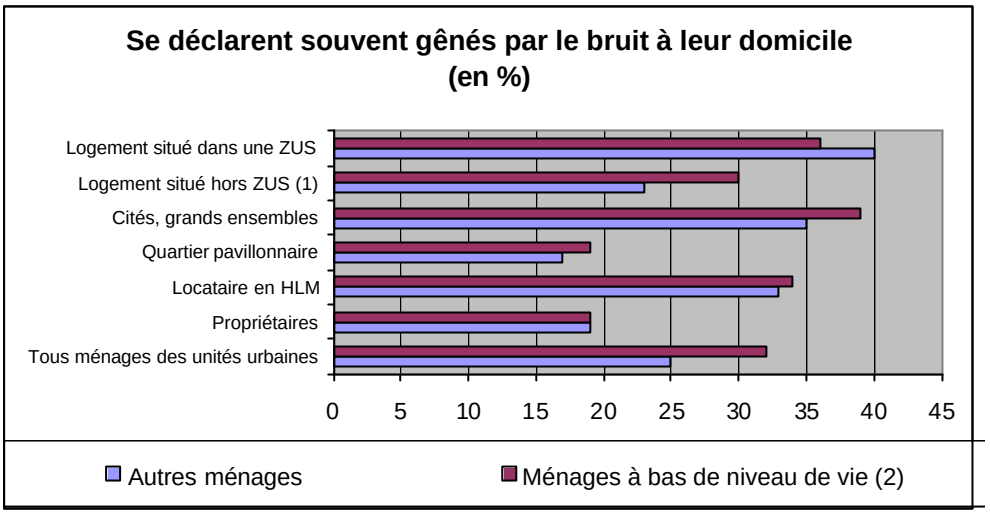


Figure 2 : Personnes gênées par le bruit en fonction du type d'habitat et du revenu

Source : Enquête permanente sur les conditions de vie et partie variable "vie de quartier", avril-juin 2001, Insee
Champ : Ménages dont la résidence principale est dans une unité urbaine, hors ménages dont la personne de référence est étudiant.
Lecture : 36 % des ménages à bas niveau de vie des ZUS se déclarent souvent gênés par le bruit à leur domicile.

L'exposition au bruit diminue semble t-il au cours du cycle de vie : avec l'âge les ménages ont davantage les moyens et le désir de s'installer dans les quartiers les moins exposés. Les plus de soixante ans habitent proportionnellement davantage dans les communes rurales, et quand ils vivent en ville, ils sont moins nombreux à déclarer une gêne liée au bruit.

La représentation sociale du bruit est inévitablement déterminée par les autres paramètres des conditions de vie. Les ménages qui vivent par exemple dans les grands ensembles ou les cités de l'agglomération parisienne déclarent être plus souvent incommodés par le bruit du voisinage que celui des transports. La proximité des voisins dans ces habitats collectifs n'explique pas tout : la déclaration de gêne ne peut pas être complètement déconnectée ici de l'exposition aux actes de vandalisme. Ailleurs, elle peut être éclairée par d'autres nuisances subies dans la vie quotidienne.

Quelles attentes pour lutter contre le bruit ?

L'enquête Credoc (condition de vie et aspiration des français, début 2002) confirme la place du bruit en queue de liste dans la hiérarchie des préoccupations environnementales quand elles sont déclinées en termes d'actions de prévention de la pollution ou de protection de l'environnement.

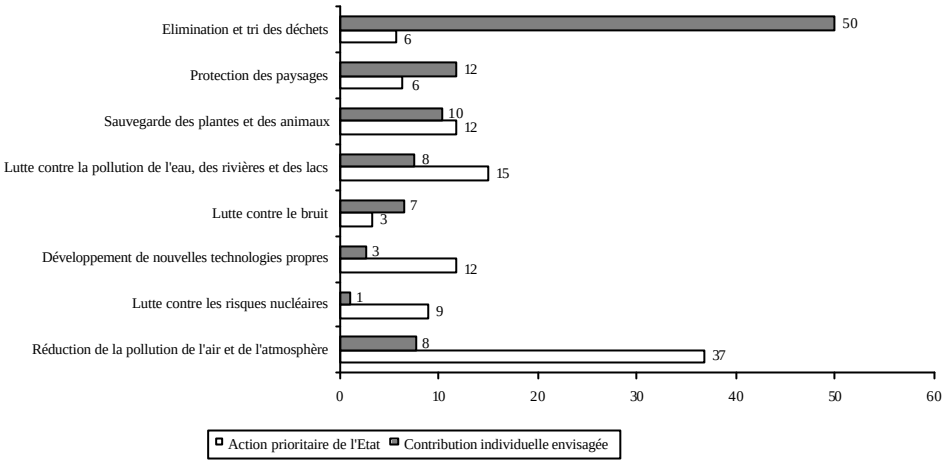


Figure 3 : Une comparaison des rôles entre l'État et les particuliers

Source : CREDOC - IFEN, Enquête sur les « Conditions de vie et les Aspirations des Français », début 2002.

Lorsqu'on propose aux Français une liste de huit actions pour protéger l'environnement, ils sont seulement 7 % à choisir la lutte contre le bruit comme l'action à laquelle ils croient pouvoir individuellement le plus contribuer et 3 % à penser qu'il s'agit d'un domaine prioritaire pour l'action de l'État. La lutte contre le bruit a d'ailleurs reculé dans cette hiérarchie des actions à engager : en 1998, 7% des Français classaient le bruit parmi les actions prioritaires de l'État.

Alors que l'on sait par ailleurs que la sensibilité à la gêne sonore a augmenté ces dernières années, cette tendance peut s'expliquer de différentes manières. D'une part la représentation sociale du bruit ne se situe pas nécessairement au cœur des problèmes d'environnement. Cela se comprend plus facilement pour les bruits du voisinage que pour les bruits du transport.

L'individu qui décide, pour ne pas gêner, de «ne pas faire trop de bruit » ne traduit pas nécessairement son changement de comportement en termes d'effort en faveur de l'environnement. Celui qui subit le bruit des infrastructures de transport est manifestement confronté à un problème d'environnement qui appelle une intervention des pouvoirs publics. Compte tenu du poids des transports prépondérant dans les déclarations de gêne, le recul des attentes vis-à-vis de l'État est donc surprenant. On peut ici proposer trois interprétations. La première tient dans le caractère neutre et immuable de la source qui place les victimes dans l'impossibilité d'attribuer les responsabilités claires (à l'exception des deux roues motorisés) et dans une sorte de résignation qui exclut le recours aux autorités publiques ; la seconde tient dans le degré de connaissances à propos des outils de lutte contre le bruit (les plans locaux de déplacement sont plus souvent débattus que les aides financières à l'isolation ou les normes technologiques sur les véhicules) ; la troisième, sans doute plus décisive, est liée à la dimension locale de la gêne qui déplace spontanément les attentes des citoyens en direction des régions, des départements et surtout des communes. 77 % des

répondants à l'enquête CREDOC 2002 estiment que les collectivités locales sont les mieux placées pour résoudre les problèmes de nuisances sonores.

Le tableau suivant présente les réponses fournies à la question suivante : « *Voici un certain nombre de problèmes qui se posent dans le domaine de l'environnement. Pour chacun d'entre eux, dites-moi à qui vous faites le plus confiance pour les résoudre ? (%)* »

	Le bruit	La qualité de l'eau	La gestion des déchets	La qualité de l'air
A la commune.....	61	28	20	14
Au département.....	9	18	19	11
A la région.....	7	21	15	16
Ensemble « commune + département + région »	**77**	**67**	**54**	**41**
A l'État	11	16	25	28
A l'Europe.....	1	5	11	13
Ensemble « État + Europe ».....	**12**	**21**	**36**	**41**
Aux associations et regroupements de citoyens.....	10	11	10	18
Nsp.....	*1*	*1*	*1*	*2*
Total	**100**	**100**	**100**	**100**

Tableau 1 : Résultats d'enquêtes : les responsabilités des différents niveaux de collectivités dans la gestion des problèmes environnementaux.

Source : CREDOC - IFEN, Enquête sur les *« Conditions de vie et les Aspirations des Français »*, début 2002.

Plus encore que la qualité de l'eau et de l'air ou la gestion des déchets, le bruit est en effet perçu d'abord comme une question locale de qualité de vie avant d'être une question de société et d'environnement. Ce sont donc les collectivités locales qui sont naturellement plébiscitées pour lutter contre le bruit.

I) LES SOURCES DE BRUIT ET VIBRATIONS, LA PROPAGATION DU BRUIT

Cette partie présente pour les différents milieux de vie (habitat, lieux publics fermés, milieu professionnel, environnement au sens large) l'état actuel des connaissances en matière d'exposition des populations au bruit, la réglementation relative aux émissions et à l'exposition au bruit, ainsi que les moyens de contrôle mis en œuvre. Un dernier chapitre, traitant de la propagation des bruits dans l'environnement, présente les effets des conditions météorologiques et topographiques, les aspects normatifs et les connaissances actuelles en matière de moyens de protection contre le bruit (écrans acoustiques, isolation des bâtiments).

I-1) LE BRUIT DANS L'HABITAT ET LES LIEUX DE RESIDENCE

I-1-1) Sources de bruit dans l'habitat

I-1-1-1) Bruits intérieurs

Les bruits intérieurs comprennent les bruits aériens, dont les bruits dus à l'électroménager, les bruits d'impact, les bruits d'équipements (cage d'ascenseurs, ventilation, chasse d'eau,…), ainsi que les bruits solidiens (transmis par les solides et non par voie aérienne).

On distingue les bruits provenant de sources excitant directement l'air, et les bruits provenant de sources excitant directement les solides qui constituent le bâtiment lui-même.

Les principales sources de bruits intérieures aux bâtiments sont les suivantes :

(1) Les personnes,

(2) Les appareils radio, télévision, chaînes de reproduction électro-acoustiques,

(3) Les instruments de musique,

(4) Les équipements du bâtiment.

Certaines de ces sources réalisent à la fois une excitation aérienne et solidienne de leur environnement.

(1) Les personnes

En parlant, chantant, criant, les adultes et les enfants émettent des sons complexes dont l'intensité et la sonorité changent sans cesse. La pression acoustique moyenne (moyenne sur plusieurs minutes) d'une personne de sexe masculin parlant à voix normale présente la répartition spectrale indiquée sur la figure 1, ce qui, pondéré par le filtre A des sonomètres[7], correspond à un niveau de puissance acoustique global de 71 dB(A)[8]. En forçant la voix, le niveau moyen est majoré d'environ 6 dB, et en criant, de 12 dB.

[7] Il s'agit de la filtration correspondant au maximum de sensibilité de l'oreille humaine.

[8] Le niveau instantané de la puissance émise fluctue autour de la valeur moyenne précédente, les crêtes étant plus fortes de 12 dB et les minima plus faibles de 18 dB.

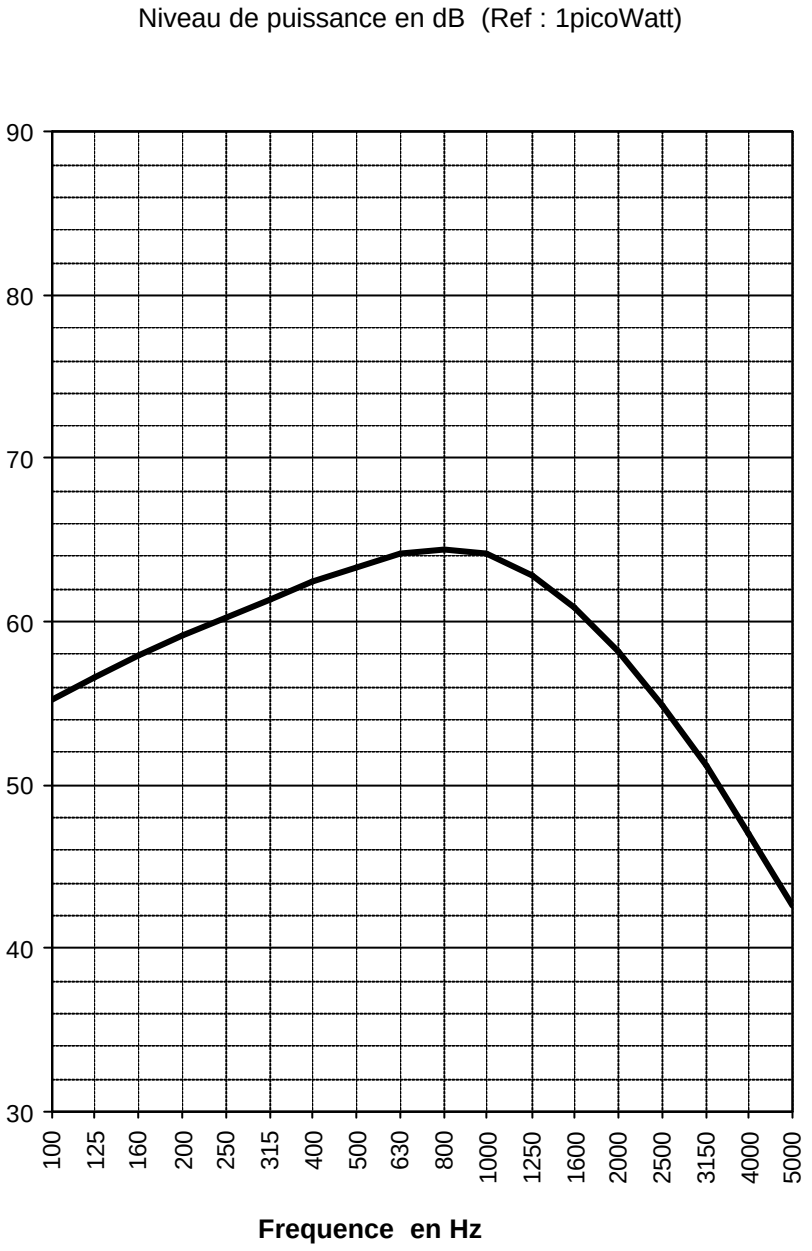


Figure 4 : Niveau de la puissance acoustique moyenne (en dB) émise par un homme parlant à voix normale

Dans un local d'aire d'absorption équivalente à 10 m², le niveau moyen de la pression acoustique est, à toutes les fréquences, de 67 dB(A) au cours d'une conversation à voix normale. En fait, on ne parle à voix normale que si le niveau du bruit ambiant est suffisamment faible pour permettre l'intelligibilité de la conversation. C'est en général le cas d'un local d'habitation lorsque les fenêtres sont fermées. Si le niveau du bruit ambiant est élevé, il est indispensable de forcer la voix pour se faire comprendre[9]. Ce peut être le cas d'une conversation dans un local, fenêtre ouverte, en présence du bruit dû à la circulation.

[9] On a pu constater qu'au cours d'un cocktail le niveau sonore moyen est relativement faible (55 à 60 dB) tant que le nombre d'invités ne dépasse pas 100 personnes tandis qu'il est nettement plus élevé au-delà de 100 personnes (80 dB pour 200 personnes). En dehors de la zone de transition (100 personnes) à partir de laquelle les divers groupes de

Les enfants, lorsqu'ils crient, peuvent émettre des sons de niveaux élevés : le niveau de pression dans un local lorsqu'un bébé crie peut facilement être de 100 dB.

En marchant, en traînant des chaises ou des meubles, en laissant tomber des billes sur le sol, les occupants produisent des impacts qui donnent lieu à une émission de bruit dans les locaux adjacents. Les impacts sont d'autant plus forts que les semelles ou autres objets sont rigides et que la face supérieure du plancher est elle aussi rigide. La parade consiste à mettre en œuvre en face supérieure du plancher un revêtement de sol souple ou un sol dur mais flottant.

Une personne marchant avec des chaussures à semelles rigides sur un plancher en béton de 16 cm d'épaisseur sans revêtement de sol peut produire un bruit de plus de 50 dB(A) dans le local en dessous.

(2) Les appareils radio, télévisions, chaînes de reproduction électro-acoustiques

Outre les bruits de parole, la radiotélévision peut émettre toutes sortes de bruits plus ou moins agréables (coups de feu, hurlements, musique, etc.). Le niveau de bruit moyen ainsi que les fluctuations du niveau instantané dépendent donc largement du programme écouté.

(3) Les instruments de musique

Les instruments de musique peuvent également être la cause de troubles de voisinage importants. Les instruments courants (à cordes ou à vent) peuvent engendrer des sons de niveau 90 à 100 dB dans les gammes de fréquences qui leur sont propres (50 à 1500 Hz suivant les instruments). Pour un piano, on relève approximativement 74 dB(A) au cours d'un pianissimo et 86 dB(A) au cours d'un fortissimo (valeurs moyennes).

(4) Les équipements du bâtiment

Les équipements du bâtiment sont ceux qui sont livrés avec le bâtiment et assurent les servitudes habituelles (équipements sanitaires, installations de chauffage, équipements de ventilation, ascenseurs). Les appareils ménagers, acquis par les occupants, ne font pas partie de cette classification et ne sont pas concernés par les réglementations du bâtiment.

---

personnes doivent forcer la voix pour ne pas être submergés par les autres groupes, le niveau de pression acoustique moyen est sensiblement proportionnel au logarithme du nombre de personnes présentes.

** Les équipements sanitaires*

La principale source de bruit est le robinet – de puisage, de chasse, de douche ou de baignoire. Le robinet en lui-même rayonne peu de bruit, mais les perturbations hydrauliques qu'il provoque se propagent dans les conduites d'eau, en sens inverse de l'écoulement, puis se transmettent aux cloisons ou murs sur lesquels elles sont fixées. Si la fixation est rigide, ce mur rayonne un bruit dans les pièces situées de part et d'autre.

Trois facteurs sont prépondérants pour limiter le bruit émis :
- le robinet doit être bien conçu acoustiquement (porter le label NF classe 1 par exemple) ;
- la pression d'alimentation de l'eau doit être limitée (3 bars est une bonne valeur) ;
- la vitesse de circulation de l'eau dans les conduits doit être limitée pour éviter les coups de bélier (2 m/s est une bonne valeur).

Le bruit émis est d'autant plus important que la cloison sur laquelle la conduite est fixée est légère et rayonnante. La baignoire peut être source de bruit importante, surtout si elle est équipée d'un système à brassage.
La chasse d'eau est une source de bruit très souvent rencontrée et peu appréciée par la signification qu'elle véhicule. Le bruit est surtout perçu dans les appartements voisins à travers la gaine technique qui comporte la chute d'eau, lorsque celle-ci est peu performante ou que la gaine est peu isolante.

** Les installations de chauffage*

Les chaudières individuelles au gaz ou au fioul peuvent émettre un bruit important qui constitue une gêne à la fois pour l'occupant, dans la mesure où l'installation est dans une cuisine, un placard ou une pièce technique peu isolée, mais également pour les voisins immédiats.
La caractéristique acoustique de ces produits est le niveau de puissance acoustique exprimé en dB(A). A titre d'exemple, une très bonne chaudière individuelle au gaz a un niveau de puissance acoustique inférieur à 40 dB(A). Le circulateur de la chaudière peut parfois conduire à des bruits d'origine solidienne, lorsque celle-ci est fixée sur une paroi légère. Le bruit des chaufferies collectives est souvent perçu lorsqu'elles sont situées en sous-sol, à travers le plancher, et plus généralement, lorsqu'elles sont situées dans un local technique séparé, par les bruits issus de la cheminée ou des ouvertures destinées à l'aération.

Une installation de chauffage à circulation d'eau chaude bien réglée ne doit en principe pas émettre de bruits audibles. Le chauffage électrique ne fait pas de bruit, si ce n'est quelques bruits dus à la dilatation que l'on sait maintenant éviter.

** Les équipements de ventilation*

Ce sont essentiellement la ventilation mécanique contrôlée (VMC) dans l'habitat et les installations de climatisation dans l'hospitalier et le tertiaire. Les principales sources de bruit sont le bruit du ventilateur et le bruit d'écoulement dans les singularités des circuits et les bouches de soufflage ou d'extraction. Chacun des éléments du circuit peut donner lieu à une caractérisation par une mesure en laboratoire.

On sait réaliser des installations silencieuses, et même très silencieuses lorsque l'on climatise une salle d'opéra par exemple, mais cela nécessite une attention particulière, une limitation des vitesses et pressions dans les circuits, et le choix judicieux du matériel. Lorsque la performance ne peut être atteinte, on peut recourir à l'emploi d'un silencieux, inséré dans le circuit.

** Les ascenseurs*

La plupart des bruits produits par les ascenseurs sont transmis par voie solide à l'intérieur des locaux habités. Ils ont pour origine le moteur électrique, les frottements sur les guides, le roulement des câbles sur les poulies et le glissement des portes. Les ascenseurs modernes ne comportent plus de local technique en toiture ou en sous sol, le moteur étant généralement fixé sur la cabine. On sait réaliser des installations dans la construction neuve qui sont pratiquement inaudibles à l'intérieur des locaux habités adjacents. En revanche, il est plus délicat d'améliorer la situation d'installations existantes sans changer totalement le matériel, l'autre solution étant de traiter le bâtiment lui-même.

(5) Les appareils électroménagers

Les appareils électrodomestiques sont sources de bruit. Ce bruit est plutôt associé aux notions de confort et de qualité des produits mises en avant par les industriels. En fait, le niveau sonore n'a pas encore réussi à s'affranchir des contingences du marketing. Pour preuve, les lave-vaisselle, contrairement à de nombreux autres types d'appareils, affichent volontiers leur intensité sonore, leur côté silencieux étant considéré comme un argument commercial.

Le marché français est réputé assez sensible à ce paramètre et la grande distribution, pour certaines familles d'appareils seulement, utilise des affichages informatifs sur le bruit. De gros progrès ont été obtenus lorsque l'industrie a souhaité mettre sur le marché des appareils plus silencieux et

communiquer sur ce sujet, utilisant notamment les techniques de la psychoacoustique et de la métrologie sensorielle. Cependant ces bruits quotidiens ne doivent pas être analysés uniquement en termes de confort. Ils touchent à la qualité de vie et aux relations de voisinage, ce qui justifie qu'il existe une réglementation en matière de déclaration pour garantir une information fiable.

L'Europe s'est dotée sur ce sujet d'une Directive (86/594/CEE) qui impose le recours aux normes de la série EN 60704-X pour informer l'acheteur sur le niveau de bruit. L'indice utilisé est le niveau de puissance acoustique maximal garanti, incluant les incertitudes de mesure et les dispersions de production. La France a transposé la directive de façon correcte mais d'autres Etats ont été moins stricts sur la référence aux normes.

Plus récemment, les déclarations de niveaux sonores ont été associées par la réglementation européenne aux économies d'énergie. La directive 92/75/CE et ses directives d'application (lave-linge, sèche-linge, réfrigérateurs, lave-vaisselle, …) introduisent un nouveau type d'étiquetage informatif de la consommation d'énergie en y associant les niveaux de bruit. Ainsi le niveau sonore n'a réellement commencé à figurer dans les magasins que lorsque sont apparues les « étiquettes énergie » imposées par l'Europe. Celles-ci comportent un emplacement réservé à la puissance acoustique (propriété rendant compte de l'énergie acoustique intrinsèque déployée par l'appareil, indépendamment du local dans lequel il est placé). Les normes de caractérisation acoustique sont très précisément codifiées et spécifiques à chaque type de produit. Mais cette mention du niveau sonore sur les appareils reste facultative en France, tandis que d'autres pays ont rendu cette information obligatoire, à l'exemple de la Pologne, candidate à l'accession à l'UE, qui a d'ores et déjà transposé la directive.

Cependant, aucun contrôle systématique des mesures n'est effectué par un organisme indépendant. En fait, le décret n°94-566 du 7 juillet 1994, relatif à l'indication de la consommation en énergie et des nuisances sonores des appareils à usage domestique n'oblige les fabricants à documenter leurs valeurs que pour la consommation en énergie. La communication de la part des marques ne reflète donc pas toujours les résultats des mesures effectuées par les laboratoires internes.
Le critère de la seule puissance acoustique est trop réducteur pour représenter à lui seul toute la gêne sonore. Notamment, il est reconnu que, à intensité sonore égale, certaines fréquences sont moins bien tolérées que d'autres. Sans doute aussi, le fait pour certains appareils, d'être parmi les seuls à afficher une valeur numérique est-il risqué commercialement, faute de comparaison possible avec les autres modèles. Une autre difficulté tient au fait que les propriétés acoustiques sont liées à

la performance de l'appareil. Dans son analyse de l'offre en présence, le consommateur devrait ainsi comparer les couples performance/décibels.

Dans l'avenir, le marquage informatif sur les économies pourrait se transformer en "ECOLABEL" européen. Celui-ci est attribué à des produits qui ne détériorent pas gravement l'environnement durant leur cycle de vie.

Il existe en France une marque NF-Environnement relative aux aspirateurs. Elle intègre une limitation du bruit émis (LWA < 80 dB(A)) mais n'a aucun succès. On constate sur ce sujet un problème récurrent de véracité des annonces de niveau sonore[10]. Une action du même type a été conduite au niveau européen sur l'ensemble de l'étiquetage "économie d'énergie" avec une convention, réputée inefficace, dans laquelle sont évoqués un "code de bonne conduite" et des contrôles par des laboratoires indépendants. Tous les niveaux déclarés, qui devraient être des niveaux garantis (prise en compte des incertitudes de mesure et des dispersions de fabrication), sont en pratique très souvent des niveaux "typiques mesurés"[11].

Les actions potentielles des pouvoirs publics en matière de réduction des bruits des appareils électroménagers sont les suivantes :

- rendre obligatoire la déclaration de niveau sonore sur les étiquettes d'économie d'énergie ;
- mettre en place un contrôle des niveaux de bruit dans le cadre du marché.

Confort acoustique

Si le bruit est d'abord synonyme de nuisance, et fait l'objet de nombreuses réglementations, il peut paradoxalement être aussi associé au confort d'utilisation du produit. La recherche d'une signature sonore, répondant aux attentes de l'utilisateur d'un produit, devient même peu à peu un des éléments clés dans la démarche marketing des fabricants de produits de grande consommation.

[10] Il y a quelques années, les aspirateurs à environ 1000 F étaient tous déclarés à 71 dBA. Pourtant les niveaux réels pouvaient être connus par le public dans les tests comparatifs publiés par les instituts de consommation. En pratique, la concurrence était faussée et le GIFAM, organisation professionnelle française, a fait revenir ces déclarations à des niveaux plus proches de la réalité.

[11] Type de problème constaté : un lave-vaisselle est déclaré à 49 dBA sur l'étiquetage alors que, d'après la notice, ce niveau correspond à un essai où l'appareil est intégré/encastré dans un élément de cuisine… Ce qui fausse l'annonce de 2 à 3 dB par rapport à un produit concurrent dont l'annonce est plus honnête.

L'évaluation du bruit : de l'objectif à l'affectif

Aux notions physiques de spectre de fréquences (graves ou aigues dans le langage courant, hauteur ou ton pour un musicien) et de fluctuations dans le temps (périodicité) sont associées consciemment ou inconsciemment des appréciations. A titre d'exemple, et à intensités voisines :

- un bruit aigu inquiétera contrairement à un bruit grave jugé rassurant ;
- une fréquence pure (ronronnement ou sifflement), gênera toujours, même à un faible niveau ;
- une périodicité lente deviendra vite lancinante comme la chute d'une goutte d'eau.

Deux autres facteurs déterminants sont l'*émergence* du bruit perturbateur par rapport au bruit ambiant, et le fait que le consommateur *subisse ou recherche* ce bruit[12]. Enfin le même produit pourra successivement apporter gêne et plaisir[13].

Le confort acoustique et la compétitivité des produits

Le précurseur de l'intégration du confort acoustique à l'image du produit a été le secteur automobile. Les constructeurs ont commencé il y a une dizaine d'années par abaisser le niveau sonore dans l'habitacle afin de faciliter la conversation entre les passagers ainsi que l'écoute de l'autoradio, puis ils ont cherché à rendre plus discrets, voire à supprimer des bruits jugés gênants comme le bourdonnement du moteur au ralenti, ou les bruits liés aux pneumatiques et aux sifflements aérodynamiques.

Le matériel électrodomestique a aussi beaucoup progressé dans ce domaine. Le bruit d'un lave-vaisselle est devenu acceptable dans un séjour ouvert sur la cuisine. Même sur un convecteur électrique, par nature très silencieux car sans pièce en mouvement, on cherche aujourd'hui à éviter les claquements de dilatation ou les ronronnements désagréables la nuit. Cette recherche de qualité et de confort acoustique s'affine de plus en plus[14].

---

[12] Un spectateur de circuit automobile se plongera avec délices dans le bruit ambiant et une consommatrice associera l'efficacité de son aspirateur à son intensité sonore. Le bruit de cet aspirateur, entendu par le conjoint ou un voisin essayant de se concentrer sur une lecture ou cherchant le sommeil, sera jugé intolérable.

[13] Un utilisateur de four à micro-ondes sera agacé par le bruit de fond de son appareil, mais rassuré lorsque celui-ci matérialisera la fin de cuisson par un bruit.

[14] L'industrie alimentaire va jusqu'à étudier le craquement d'un biscuit, l'industrie cosmétique, le bruit de l'ouverture d'un flacon de parfum. La *biensonnance* du produit, c'est à dire son adéquation aux attentes de l'utilisateur, a dépassé aujourd'hui la notion de simple argument de vente. Elle est même recherchée et utilisée par les industriels pour déclencher inconsciemment ou consciemment l'acte d'achat, en particulier sur les lieux de vente. L'exemple type est celui du bruit d'une portière de grosse voiture que certains constructeurs simulent sur une petite voiture pour séduire son acheteur. Dans le secteur électroménager l'acte d'achat du consommateur au moment de choisir un lave-linge ou un lave-vaisselle pourra être dicté par le bruit de la porte d'un modèle, par rapport à un autre.

La méthodologie d'appréciation du confort acoustique

Pour étudier la perception auditive d'un produit ou d'un environnement sonore, les industriels ont le choix entre deux approches de métrologie sensorielle :

- les tests dits « hédoniques » avec des panélistes non expérimentés, naïfs, candides, représentatifs de la cible marketing du produit, installés dans une salle d'écoute ou, mieux, dans l'environnement d'utilisation réelle du produit, auxquels il est demandé d'indiquer leurs préférences ;
- les tests avec un jury qualifié qui se rapproche d'un véritable instrument de mesure, pour sa résolution et sa répétitivité, c'est à dire tant pour sa capacité à apprécier finement les bruits (résolution) qu'à retrouver les mêmes résultats au cours d'exercices successifs (répétitivité).

Ces deux approches sont complémentaires. On peut ensuite, en effectuant des mesures acoustiques du produit corrélées à ces appréciations, définir les modifications à apporter au produit pour en gommer les défauts et satisfaire l'oreille de l'utilisateur.

I-1-1-2) Bruits d'origine extérieure

Lutte contre les bruits de voisinage

Une proposition de modification du décret n° 95-408 du 18 avril 1995 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage est en cours d'instruction. Cette révision était demandée par le rapport Ritter de 2002 du fait des difficultés d'application de la réglementation existante. Le Conseil national du bruit (CNB) a donné un avis favorable au projet de modification, indiquant qu'il répond globalement à ses préoccupations : il abaisse la valeur limite de bruit ambiant de 30 à 27 dB (le rapport Ritter demandait 25 dB) ; le terme correctif maximal de l'émergence tolérable pour les bruits d'une durée cumulée inférieure à une minute passe de 9 à 6 dB ; une mesure d'émergence spectrale par bande d'octave est prévue dans le cas où l'émergence globale, exprimée en dB(A), est inférieure à la valeur admise ; les amendes prévues pour les infractions liées au bruit des activités et des chantiers passent de la 3e à la 5e classe. Le CNB souhaite qu'une campagne d'information accompagne la parution du décret.

De février à mai 2003 ont été sondés les lecteurs de la revue du CIDB pour tenter d'estimer la qualité de l'isolation des logements aux bruits intérieurs : pour 64 % des votants (724 votes), l'isolation était jugée mauvaise. Ce résultat semble bien refléter l'écart qui s'est creusé, depuis la mise en application des exigences pour les nouvelles constructions, entre les logements neufs (postérieurs au 1er janvier 1996) et les logements anciens.

Mais ce seul sondage à la représentativité limitée doit être relativisé. En effet, en mars 2003, la revue Destination Santé publiait les résultats d'une enquête révélant une tendance à l'amélioration de l'insonorisation des logements :selon le sondage publié, à l'heure actuelle, 55 % des ménages jugent bonne l'insonorisation de leur logement, contre 49 % en 1996.

Dans bien des cas, la gêne due aux bruits ressentie par les Français à leur domicile s'explique en fait par la médiocre qualité de l'isolation acoustique de leur logement. Cependant, des solutions existent pour améliorer le confort sonore des habitations. Notamment, le ministère de l'Equipement, des transports et du logement et l'Agence nationale de l'amélioration de l'habitat (ANAH[15]) ont initié, depuis 1999, une démarche de subvention pour l'amélioration des logements privés. La liste des travaux pouvant être subventionnés au titre de l'amélioration acoustique des logements est la suivante :

- isolation acoustique des sols, plafonds et parois opaques ;
- isolation acoustique des matériels bruyants ;
- isolation des parois vitrées ;
- installation de climatisation ou rafraîchissement permettant d'améliorer le confort acoustique des immeubles très exposés à la chaleur et au bruit.

I-1-2) Aspects réglementaires et contrôle pour les logements

L'article L.112-16 du Code de la construction et de l'habitation reconnaît un droit d'antériorité mais seulement pour «*les activités industrielles, artisanales, commerciales et agricoles* » et si les activités bruyantes en cause « *s'exercent en conformité avec les dispositions législatives en vigueur et qu'elles se sont poursuivies dans les mêmes conditions* ». Aucun droit d'antériorité n'est reconnu pour les activités de loisirs ou culturelles, ni pour les bruits de voisinage d'origine domestique.

Le droit d'antériorité pour le voisinage des infrastructures de transport est fixé par le décret 95-21 du 9 janvier 1995 et l'arrêté du 30 juin 1996 ; il est précisé dans la circulaire du 12 décembre 1997. Il appartient *au constructeur* d'une route de prendre toute disposition pour protéger les bâtiments qui existaient avant la construction ou l'aménagement de la voie. En revanche, c'est au *propriétaire* de l'habitation qu'il revient de s'isoler s'il construit à proximité d'une voie bruyante.

[15] Site web de l'ANAH : www.anah.fr. En 2002, l'ANAH a distribué 456 millions d'euros de subventions. 111 200 dossiers de demandes de subvention ont été agréés, correspondant à 178 400 logements améliorés. Propriétaires bailleurs ou occupants peuvent bénéficier de ces aides.

I-1-3) Isolation et traitement acoustique des bâtiments

L'isolation acoustique des bâtiments consiste à choisir et mettre en œuvre des matériaux de telle sorte que les bruits et les chocs produits dans un local se transmettent le moins possible dans les locaux voisins. On distingue traditionnellement l'isolation aux bruits *aériens* (voix, télévision, musique amplifiée…), et l'isolation aux bruits *d'impacts* produits par la marche, le choc d'objets au sol ou sur les murs, les sauts des enfants. Les bruits de voix ou de pas que l'on perçoit de son voisin résultent d'un comportement (normal ou anormal) et d'une qualité (bonne ou mauvaise) de la construction. Le règlement de la construction fixe un niveau minimum à la qualité des bâtiments selon leur usage. En revanche, il y a peu de règles précises qui fixent les limites admissibles pour le comportement des occupants d'un logement au regard de l'acoustique. Les limites se révèlent à l'occasion de plaintes lorsqu'elles sont exprimées, ou d'enquêtes sociologiques qui font apparaître les populations qui déclarent souffrir du bruit.
Nous présentons dans cette partie les grands principes de l'isolation acoustique.

I-1-3-1) Isolation aux bruits aériens

Un premier principe en matière d'isolation est celui de la « loi de masse » : plus un mur est lourd, plus il isole. Mais si l'on double l'épaisseur d'un mur plein, le gain d'isolation acoustique n'est que d'environ 6 dB. Par ailleurs, les fréquences basses se transmettent plus facilement que les hautes. Pour un mur d'épaisseur donnée, on gagne 6 dB chaque fois que la fréquence double. C'est pourquoi les fréquences basses sont plus problématiques en termes d'isolation acoustique, d'autant que les techniques récentes de la *hifi* et du *Home Cinéma* en sont particulièrement riches. La technique consistant à « mettre de la masse », encore largement utilisée, présente donc des limites.
Le second principe est celui de la double paroi. Si au lieu de doubler l'épaisseur d'une paroi, on construit deux parois à une distance suffisante l'une de l'autre, et que l'on place entre elles un matériau absorbant comme de la laine minérale, au lieu d'augmenter l'isolement de 6dB, on le double (ou presque)[16].

[16] Si la première paroi est lourde, et la seconde légère, on parle de doublage acoustique. Un exemple typique est le doublage d'une paroi de maçonnerie lourde avec un complexe comportant une plaque de plâtre et un isolant acoustique souple, laine minérale ou plastique alvéolaire. L'isolant doit être suffisamment épais (6 à 10 cm), et suffisamment souple pour éviter un court-circuit vibratoire entre les deux parois. Dans ces conditions, l'isolement du mur support peut augmenter de plus de 10 dB. Cette technique est souvent utilisée pour améliorer la performance de bâtiments présentant une acoustique insuffisante. Dans certains cas en revanche, l'isolement du mur doublé peut être plus faible que celui du mur seul (petite épaisseur d'isolant, isolant rigide).
Si les deux parois sont légères, on parle de double paroi acoustique. Elles sont généralement constituées d'une structure métallique porteuse, parfois de deux structures indépendantes, sur lesquelles on vient visser une ou deux, voire trois plaques de plâtre de chaque côté. Ce sont ces constructions très performantes qui sont utilisées entre salles de répétition des conservatoires de musique et entre les salles des cinémas multiplexes.

Pour que le double vitrage, qui a d'abord une vocation thermique, permette une isolation acoustique du bruit extérieur, il convient d'ajouter quelques contraintes supplémentaires. Par exemple, le vitrage 4-16-4 (4 mm de verre, 16 mm d'air, 4mm d'air), est moins bon acoustiquement qu'une glace de 8 mm. En revanche, un vitrage comportant une épaisseur de verre totale de 14 mm ou plus et des verres d'épaisseur différente possède une performance intéressante.

La qualité acoustique d'un bâtiment ne dépend pas uniquement des structures lourdes qui séparent les locaux, mais de presque tous les éléments constitutifs, gros œuvre et second œuvre.
Pour ce qui concerne l'isolement vis-à-vis des bruits de l'extérieur, l'analyse est relativement simple, sauf à rechercher un isolement très élevé. Les faiblesses d'une façade restent toujours les ouvertures, les parties vitrées, les entrées d'air volontaires ou parasites, et les coffres de volets roulants. En villa, il convient d'examiner le rôle joué par la toiture dans le cas de combles aménagés, et celui des cheminées. Lorsque l'on recherche un isolement donné, il importe que chacun de ces composants soit examiné au regard de son aptitude à isoler à un niveau convenable.

Concernant les bruits aériens intérieurs, le problème est beaucoup plus complexe puisque la plupart des structures lourdes et légères constituant les parois des locaux à isoler contribuent à l'isolement global (isolement standardisé pondéré). La paroi séparative intervient naturellement, mais également les parois latérales qui transmettent et rayonnent les vibrations. Entre deux locaux constitués uniquement de voiles de béton de 16 cm, l'énergie acoustique totale qui passe d'un local à l'autre est trois fois plus importante que l'énergie qui passe uniquement par la paroi séparative. Ceci est encore plus marqué lorsque le système constructif est composé de grands planchers en béton et que les séparatifs sont réalisés en éléments légers très isolants (plaques de plâtre sur ossature par exemple). Dans ce cas, tout le « bruit » passe d'un local à un autre local voisin situé sur le même étage par les planchers hauts et bas. C'est également la raison pour laquelle un doublage thermique de façade peut avoir une influence sur l'isolement entre deux locaux superposés. Ceci a d'ailleurs constitué un des éléments clés pour calibrer la nouvelle réglementation concernant l'habitation en 1995. Le passage d'un isolement réglementaire de 51 dB(A) à 54 dB(A) peut être obtenu en augmentant les épaisseurs de gros-œuvre de 18 à 20 cm ou en utilisant des isolants thermiques de façade performants en acoustique.
Il est possible de modéliser tous ces éléments et d'estimer avec une précision raisonnable l'isolation entre deux locaux constitués de produits traditionnels ou de produits industriels ayant fait l'objet de tests en laboratoire. Une norme européenne reprise en norme française est parue récemment sur ce sujet (NF EN 12354/1). Ces modèles complexes ont donné lieu à l'édition de logiciels qui offrent une approche plus pratique et opérationnelle.

I-1-3-2) Isolement aux bruits d'impact

L'isolation aux impacts peut, dans certains cas, se ramener à ce principe de double paroi, en particulier pour la technique de la chape flottante (double paroi rapportée sur un plancher porteur et qui en est séparée par un matériau souple dont l'épaisseur peut varier de quelques mm à quelques cm). Un choc sur la partie supérieure n'est transmis que faiblement au plancher support. Pour être efficace, la chape flottante ne doit présenter aucun autre contact avec le bâtiment que le matériau souple. Un passage de porte ou une plinthe mal réalisés peut compromettre totalement la performance.

De même que la chape flottante, on trouve le carrelage sur sous-couche résiliente et le parquet flottant, procédant du même principe, mais de moindre efficacité du fait de la plus faible masse de la couche supérieure.

Un autre principe pouvant être utilisé pour isoler des bruits d'impact est celui des revêtements de sol souples dont la fonction est de transformer le choc dur en un choc mou, inaudible. Plus le revêtement est épais et mou, plus il a de l'efficacité. La moquette, particulièrement efficace, utilisée dans l'habitation ou l'hôtellerie, présente cependant des risques d'allergies, aux acariens notamment, ainsi que quelques inconvénients d'entretien. C'est pourquoi ont été développés les revêtements de sol plastiques sur sous-couche résiliente. Le compromis délicat consiste à trouver un produit suffisamment souple pour l'acoustique et suffisamment dur pour résister au poinçonnement du mobilier[17].

De même que pour l'isolement aux bruits aériens, l'isolement aux bruits d'impact entre deux locaux (appelé niveau de bruit de choc standardisé pondéré) dépend de l'ensemble des constituants des locaux, du fait des transmissions latérales, mais dans une moindre mesure que les bruits aériens. La prévision se fait en appliquant la norme NF EN 12354/2, ou en utilisant les logiciels déjà mentionnés.

I-1-3-3) Traitement acoustique des locaux

Le traitement acoustique des locaux vise non plus de s'isoler des bruits produits par le voisin, mais à faire en sorte que l'acoustique du lieu où l'on se trouve soit « moins sonore, moins réverbérante, plus agréable ». Cela passe par la mise en place de matériaux ou d'objets absorbants pour

[17] Un revêtement de sol commence à offrir une qualité acoustique correcte dès lors que son *efficacité aux bruits d'impacts* est supérieur ou égale à 13 dB. Il permet de satisfaire à la réglementation des logements neufs sur un plancher de 18 cm de béton plein dès lors que son efficacité est supérieure ou égale à 17 dB, un parquet flottant ou un carrelage sur sous-couche offrent des performances comparables, une chape flottante peut atteindre une efficacité de 23 dB.

conditionner cette qualité recherchée dans les halls d'habitation, les cantines scolaires, les préaux, les bureaux, en particulier ceux qui sont paysagés, les lieux publics de toutes sortes.
On distingue les applications où un confort minimal et une bonne intelligibilité de la diffusion sonore sont recherchés, de celles plus complexes et prestigieuses concernant les salles de concert et autres auditoriums.

Pour les cas plus courants existe une gamme de produits appelés absorbants acoustiques. Ce sont souvent des matériaux perméables à l'air comme les laines minérales ou végétales, les mousses plastiques alvéolaires à cellules ouvertes. Ces matériaux sont les plus utilisés, la plupart du temps avec un parement en tôle, bois brique ou plaque de plâtre perforé, ou un tissu naturel ou synthétique, afin de protéger du vandalisme, ou produire un effet architectural amélioré. Certaines applications demandent une étanchéité à la poussière (hôpitaux) ou une bonne tenue à l'humidité (piscines).

Dans ces différents cas, soit les matériaux sont enveloppés dans un film de plastique très mince et étanche, soit on fait appel à des matériaux se présentant sous forme de membranes recouvrant des cavités d'air de différentes tailles et réagissant comme autant de petits résonateurs. Ces produits peuvent être mis en œuvre au plafond, sur les murs, au sol (les moquettes par exemple), ou placés à l'intérieur du volume (baffles acoustiques ou écrans).
Le résultat acoustique le plus courant se traduit par la durée de réverbération du local, figurant dans la plupart des réglementations, ou plus rarement par des indices traduisant la qualité de l'intelligibilité de la parole (*RASTI*, *STI*, *Articulation Index*).

Le passage de la propriété acoustique des produits mis en œuvre dans un local et la durée de réverbération se fait à l'aide de la formule simplifiée (formule dite de « SABINE »), ou par application de la norme NF EN 12354/6. Pour prévoir les autres indices, il est nécessaire de faire appel à des logiciels beaucoup plus sophistiqués basés sur le principe des lancers de rayons.

I-2) LES NIVEAUX SONORES DANS LES LIEUX PUBLICS FERMES

Ce chapitre traite des expositions dans les lieux publics fermés, dits établissements recevant du public. La connaissance des niveaux d'exposition au bruit à l'intérieur des lieux publics fermés est très incomplète. A titre informatif nous indiquons ici les résultats obtenus à l'occasion de

campagnes de mesures réalisées à Paris entre 1996 et 2001 (Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris et Pôle de compétence bruit, 2002).

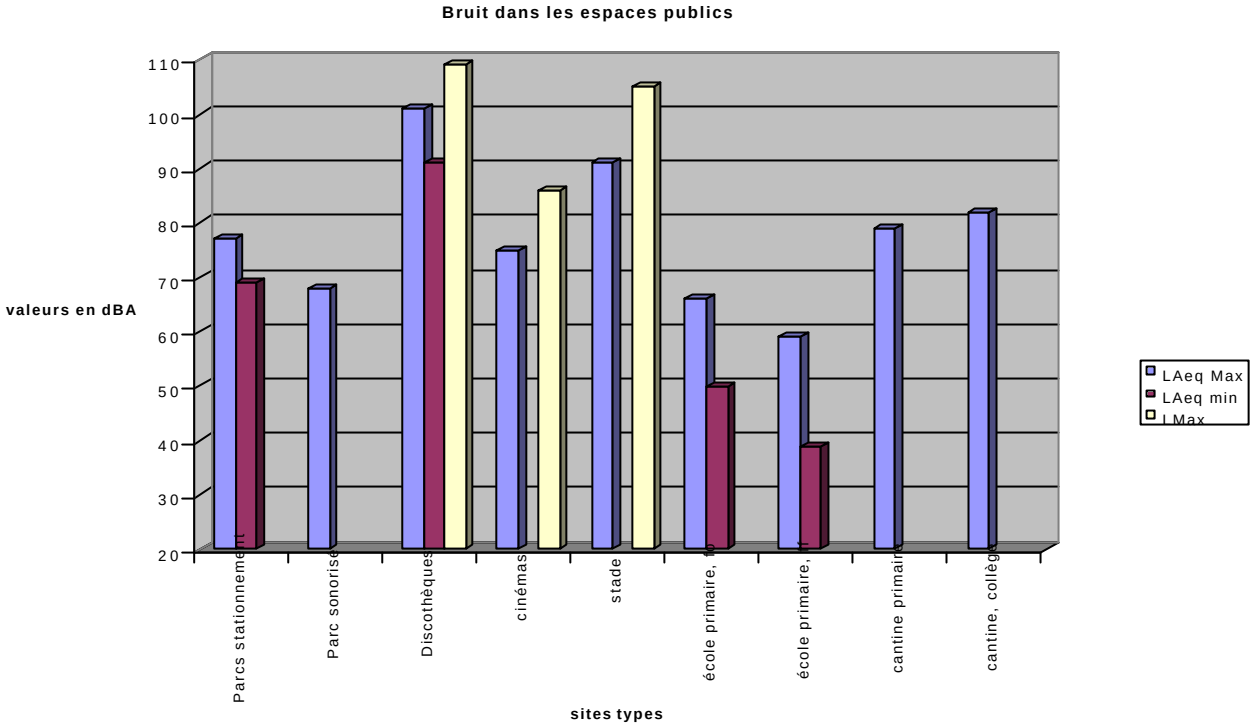


Figure 5 : Exemples de niveaux de bruit perçus dans des espaces publics

La figure 5 indique une grande diversité de niveaux sonores dans les lieux accessibles au public, avec des niveaux de crêtes très élevés, notamment dans les discothèques et les stades. Les niveaux de LAeq max dans les cantines scolaires sont parfois supérieurs à 80 dB.

I-2-1) Exposition sonore intentionnelle

L'évolution des loisirs, notamment en matière musicale, se traduit par une élévation ininterrompue depuis plus de vingt ans des niveaux de bruit pendant les loisirs. Parmi les lieux fermés de loisirs bruyants où se rendent les personnes dans l'objectif d'y être soumises à des émissions sonores figurent les discothèques et les salles de concert, les karaokés, mais aussi les cinémas (avec différents types de sonorisation : mono, dolby, THX, etc.), ou encore les patinoires dans lesquelles la sonorisation est fréquente.

I-2-1-1) Variabilité des niveaux sonores

Concernant la musique à haut niveau sonore, Loth a réalisé pour le ministère de la santé une étude bibliographique portant sur 160 publications parues entre 1966 et 1993 (Loth D., Teyssou M. et al., 1994). Les niveaux d'écoute montrent d'importantes variations selon le type de musique et le lieu.

Cette grande variabilité peut s'expliquer en partie par les différents choix de pondération ou par les techniques de mesure qui, bien souvent, ne sont pas précisées. Cependant, des caractéristiques de niveau sonore apparaissent par catégorie de musique.

Dans le cas des orchestres symphoniques (musique classique), les valeurs mesurées vont, selon les auteurs, de moins de 70 dB à 110 dB. A l'intérieur de l'orchestre ou sur le podium, des pics de 125 dB(A) ont été mesurés ; le niveau maximum pour un orchestre symphonique a été observé avec l'orchestre de Chicago, la mesure atteignant 129 dB(A).

Dans les discothèques, les niveaux sonores sont souvent très élevés : des valeurs atteignant 100, 110 dB et plus sont fréquemment notées, avec des maxima de 115, voire 120 dB(A). La musique rock est responsable des niveaux les plus élevés, non seulement par les valeurs maxima enregistrées (138 dB(A) : niveau crête devant la scène ; 139,5 dB(A) à proximité des haut-parleurs), mais plus encore peut-être par les niveaux moyens qui ont été mesurés à 118, 120 et 122 dB dans trois groupes de rock différents. Toutefois, les valeurs se situent aux environs de 105 dB(A) en moyenne. Dans le cas de la musique pop, les valeurs données sont un peu inférieures, bien qu'encore très élevées, atteignant parfois 118 dB(A) à 120 dB.

Migot et Rumeau ont effectué des mesures sonométriques lors de cinq concerts en plein air : ceux de B. Springsteen, M. Jackson et Metallica à l'hippodrome de Vincennes, M. Jackson au Parc des Princes et Madonna au Parc de Sceaux (Migot M. et Rumeau M., 1993). Les niveaux calculés de LAeq sur la durée du concert (à l'aide d'une loi d'atténuation géométrique) varient entre 111 et 118 dB(A) à 10 m des enceintes, entre 97 et 104 dB(A) à 50 m des enceintes ; les niveaux mesurés à 200 m des enceintes varient entre 85 et 92 dB(A).

Migot et Rumeau ont en outre réalisé des mesures dans les cinémas et les patinoires (Migot M. et al., 1993). Pour les cinémas, les niveaux moyens, mesurés sur la durée du film en milieu de salle, varient entre 66 et 85 dB(A). Les niveaux maximaux rencontrés, représentés par l'indice fractile L10, varient entre 68 et 89 dB(A) et les écarts (L10 – L90), écart qui constitue un indicateur de la dynamique rencontrée lors des projections, varient entre 3 et 35 dB(A). Le genre des films (dramatique, policier, comédie, etc.) apparaît sans importance quant aux niveaux sonores diffusés ; en revanche, pour les petites salles (moins de 266 places), le niveau sonore moyen augmente avec les dimensions de la salle ; le niveau sonore le plus faible est rencontré dans les salles équipées de sonorisation « mono ». Dans le cas des patinoires, les niveaux sonores moyens, mesurés sur une durée d'une heure, varient entre 84 et 89 dB(A).

I-2-1-2) Structure de la musique

Outre les niveaux sonores, la structure de la musique doit être considérée : la musique classique est faite d'alternance de phases intenses, voire très intenses, mais de durée brève, entrecoupées de périodes de calme ou d'intensité moyenne. L'oreille peut ainsi se reposer et « récupérer » avant d'être à nouveau stimulée. Dans la musique rock, en revanche, le niveau sonore est d'emblée important ; l'oreille ne peut donc pas récupérer et la fatigue augmente très régulièrement avec la durée d'écoute.

I-2-1-3) Des risques variables selon les types de sources

Finalement, l'orchestre symphonique est généralement considéré comme assez peu dangereux pour le public. Les instrumentalistes quant à eux sont particulièrement exposés, mais le risque varie de façon importante selon l'instrument joué : nul chez les pianistes (chez qui on observe même une audition meilleure), le risque est particulièrement net pour les groupes de cuivre, les vents, les cordes et surtout les percussions. Les ingénieurs du son font partie d'un groupe à risque, tout particulièrement ceux qui s'intéressent à la musique rock.

Pour la plupart des auteurs, la fréquentation des discothèques est dangereuse pour le personnel et les auditeurs. Il faut aussi préciser qu'il existe une grande variation de la sensibilité au bruit selon les individus. Enfin, la prédominance en basses fréquences est assez souvent citée dès lors que l'on se préoccupe de protection de l'habitat vis-à-vis de la musique.

I-2-2) Bruits subis sans intention

Cette partie traite des bruits subis dans des lieux où les personnes se rendent sans intention d'y subir des émissions sonores : centres commerciaux et magasins, gares ferroviaires.

I-2-2-1) Bruits dans les magasins et centres commerciaux

Dans les centres commerciaux, l'exposition provient essentiellement de l'animation musicale. Les niveaux moyens, mesurés sur une durée de 3h30 par Migot et Rumeau dans les allées centrales de trois établissements de la région parisienne sont de 71 dB(A) (Migot M. et al., 1993). Dans cet exemple, le niveau sonore ne comporte pas de variations soudaines trop importantes : la dynamique, appréciée par l'écart (L10 – L90), est très faible (4 dB(A)).

Pour ce qui concerne le personnel des établissements de commerce, la recommandation R200, parue dans les Cahiers de Notes Documentaires de l'INRS le 18 juin 1981 et intitulée « Le bruit dans les magasins de commerce » recommande aux chefs d'entreprise dont tout ou partie du personnel relève du régime général de la Sécurité sociale et travaille même à titre secondaire ou occasionnel dans des magasins de commerce, en complément des textes réglementaires en vigueur :

1. D'équiper l'intérieur des magasins de commerce de tous dispositifs adéquats réduisant au maximum le niveau sonore des bruits ambiants, le maximum de niveau sonore étant estimé à 75 décibels A.

2. De veiller à ce que les haut-parleurs équipant ces magasins (annonces publicitaires, musique d'ambiance) soient suffisamment nombreux et, en outre, répartis dans l'espace de telle manière qu'aucun membre du personnel ne se trouve placé (poste de travail fixe) trop près de l'appareil émetteur le plus voisin.

3. De veiller à ce que l'intervalle de temps entre deux annonces publicitaires soit d'une durée au moins égale à la durée de la dernière annonce[18].

4. De veiller à ce que le niveau sonore ne comporte jamais de variations soudaines trop importantes.
   Un niveau. Sonore de 65 décibels pour une musique d'ambiance paraît être compatible avec le confort du personnel, qui peut être amélioré par des alternances des périodes de diffusion de la musique d'ambiance au niveau normal avec des périodes de diffusion à des niveaux nettement inférieurs (diminution de moitié de l'intensité de cette musique d'ambiance).

5. De prendre des mesures appropriées pour les démonstrations ou ventes spéciales ainsi que pour les divers travaux particulièrement sonores, après consultation du comité d'hygiène et de sécurité ou, à défaut, des délégués du personnel.
   Ces postes bruyants seront en particulier conçus et disposés pour apporter le moins de gêne possible au personnel à poste fixe. Si le niveau sonore atteint ou dépasse 85 décibels A, le personnel à poste fixe sera protégé de façon individuelle par l'aménagement d'un box insonorisé.

Cette recommandation, si elle vise les personnels *travaillant* dans les magasins de commerce, s'applique également au public qui fréquente ces lieux. Les niveaux sonores auxquels sont exposés les clients dans les magasins et centres commerciaux participent aux multiexpositions subies au cours de la journée, dont l'accumulation peut entraîner des effets sanitaires.

De manière générale, elle ne semble pas respectée actuellement dans de nombreux magasins et centres commerciaux. Elle mériterait d'être actualisée, les matériels de diffusion musicale et les techniques de vente ayant grandement évolué depuis la date de son élaboration, ainsi que d'être portée à la connaissance des personnes concernées.

I-2-2-2) Bruits dans les gares ferroviaires

Dans les gares ferroviaires, pour des questions de sécurité des clients et des agents de la SNCF, ainsi que pour l'information des voyageurs, des messages sont émis : préannonces, annonces d'arrivée, annonces de départ, dont la durée moyenne est de 30 secondes. Ces annonces sont soit

[18] Un intervalle de temps entre deux annonces publicitaires, au moins égal à la durée de la première annonce, peut provoquer dans le cas de successions rapides d'annonces de courte durée, une véritable obsession chez le personnel. En conséquence. Il paraît nécessaire de fixer un temps minimum de 2 minutes et demie entre deux annonces.

numérisées ou enregistrées (dans ce cas, elles sont toujours précédées d'un sonal ou d'un carillon), soit manuelles, c'est-à-dire faites au micro par l'agent SNCF (précédées ou non d'un sonal). Le niveau sonore des annonces manuelles est peu contrôlable : il dépend essentiellement de l'annonceur, de sa position par rapport au micro. Le sonal joue un grand rôle dans la dynamique de l'annonce.

Il existe principalement deux types de haut-parleurs rencontrés dans les gares ferroviaires : des haut-parleurs à chambre de compression qui sont progressivement remplacés par des haut-parleurs dits projecteurs de son, à forte directivité et dont la restitution sonore est de meilleure qualité. Antoine, lors d'un stage entrant dans le cadre d'un diplôme d'IUT, a mesuré les niveaux sonores d'annonces diffusées sur les quais de 21 gares de la région SNCF de Chambéry : à 1 mètre du haut-parleur, les LAeq mesurés varient entre 63 et 88 dB(A) et les LAmax entre 68 et 96 dB(A) (Antoine F., 1998). Par ailleurs, dans certaines gares, il existe une position de nuit pour le créneau horaire 22h-6h : soit le sonal est supprimé, soit le niveau sonore de l'annonce et du sonal est atténué. En outre, Antoine constate qu'une annonce est inaudible lorsque son émergence est inférieure à 10 dB(A) et que le seuil inférieur d'intelligibilité de l'annonce est de 20 dB(A) pour l'écart (LAmax(annonce) – L95(bruit ambiant)). Alesandrini et al. recommandent de se fixer pour objectif que cet écart soit supérieur à 30 dB(A) (Alesandrini P., Deverrewaere E. et al., 1999).

Vis-à-vis du voisinage, il y a potentialité de gêne dans les deux cas suivants :

- le bruit ambiant, hors source ferroviaire, est inférieur à 60 dB(A) et le niveau équivalent (30 secondes) d'une annonce sur le quai de gare est supérieur à 60 dB(A) ;
- le bruit ambiant est supérieur à 60 dB(A) et le niveau équivalent (30 secondes) d'une annonce sur le quai de gare est supérieur de 10 dB(A) au bruit ambiant.

Dans le cas des lieux publics fermés dans lesquels l'exposition sonore est non intentionnelle, les niveaux acoustiques ne semblent pas donner lieu, *a priori*, à un danger pour l'audition ; la gêne occasionnée dans le voisinage est prépondérante.

I-2-3) Le bruit dans les locaux scolaires

Cette partie illustre les niveaux de bruit rencontrés dans les locaux scolaires, les effets du bruit à l'école et les différents moyens techniques de concevoir les projets neufs ou d'améliorer les locaux scolaires existants. Les impacts sur la santé et en matière d'apprentissage de l'exposition à des niveaux sonores élevés dans les salles de classe sont présentés dans le II-4-1.

I-2-3-1) L'exposition au bruit dans les locaux scolaires

Un consensus semble se dessiner sur le fait que les conditions de communication parlée dans les environnements d'enseignement devraient présenter un rapport signal/bruit de + 15 dB au minimum dans le cas d'étudiants normoentendants, et de + 25 dB dans tous les cas d'enfants malentendants. Dans une situation favorable, le niveau de voix masculine ou féminine s'adressant à 15 personnes dans un environnement calme (bruit de fond de 30 dB(A)) est compris entre 56 et 62 dB(A). Des mesures de bruit de fond dans 56 salles de classes ont été effectuées dans le cadre de 5 études scientifiques différentes aux États-unis. Les résultats ont montré que le niveau de bruit de fond moyen, très uniforme sur les différentes salles, avait une valeur de 45 dB, avec une variation standard de 8 dB, ce qui n'apparaît pas acceptable[19].

En Nouvelle Zélande (2001) les centres de petite enfance souffrent de niveaux de bruit alarmants, au point d'être considérés comme « toxiques ». Dans les classes « pour plus grands » les professeurs ne parviennent pas à discipliner les élèves, aussi les classes deviennent-elles de plus en plus bruyantes. Le bruit est partout dans l'environnement des locaux scolaires ; en Turquie (2000) une série de mesures effectuées à Istanbul montre des niveaux de bruit entre 53,8 et 76,6 dB(A) Leq 5 min, en façade (Avsar Y. et Gonullu T., 2000).

Bruit dans les cantines et restaurants scolaires

Les niveaux de bruit des cantines et restaurants scolaires sont une autre source de multiexposition : à Bruxelles, dans une cantine, le niveau de bruit à 10h le matin est de 60 dB(A) Leq et passe à 81,1dB(A) lors du service ; dans une seconde cantine, le niveau est de 80,6 dB(A) et de 76,6 dB(A) lors des 2 services. Dans ces locaux le TR est de 2,23 et 3,3 secondes, ce qui renforce l'impression de bruit dans ces réfectoires.

En France des études menées en 1980-86 ont affiché des niveaux de 85 dB(A) Leq, et parfois de 100 dB, soit l'équivalent d'une menuiserie industrielle ou d'une imprimerie. Les médecins scolaires ont noté des retards dans l'apprentissage de la lecture et des fautes d'inattention plus fréquentes chez les élèves qui déjeunent à l'école. À Créteil, à l'issue de travaux d'insonorisation, le niveau de bruit a diminué de 13 dB(A) Leq. Le comportement des enfants s'est radicalement transformé : des conversations suivies à chaque table, des repas plus longs pendant lesquels les enfants mangent leur fromage et leur dessert ! (Gratiot-Alphandery H. et Lehman A., 1986).

Ces chiffres très élevés et l'efficacité éprouvée de l'insonorisation ont conduit le Ministère de l'Environnement à monter à la fin de l'année 1992 l'opération « 1000 cantines ». Celle-ci a été

[19] En effet, le niveau acoustique d'une voix à 1m est de 62 dB ; à 10 m il est de 42 dB ; le bruit de fond moyen étant de 45 dB, le rapport signal bruit s'établit à -3. L'intelligibilité dans ce cas est inférieure à 50%.

reconduite à l'occasion du plan national d'actions contre le bruit, lancé le 6 octobre 2003 par la ministre en charge de l'environnement. L'opération a ainsi été étendue aux crèches, salles de repos d'écoles maternelles et aux locaux sportifs, et prévoit la réhabilitation sur 5 ans de 500 crèches, 500 salles de repos d'écoles maternelles, 500 cantines scolaires, 250 locaux de sports utilisés par les collèges et lycées, en particulier des gymnases et piscines. Cette action vise seulement les locaux construits antérieurement à la réglementation.

Bruit autour des écoles

Le bruit présent autour des écoles, les qualités acoustiques parfois médiocres des locaux, l'exposition à des niveaux très élevés à la cantine, sans parler du bruit généré par les enfants eux-mêmes sont des facteurs négatifs pour la communication orale, et donc pour les acquisitions verbales des élèves.

Que ce soit en Angleterre, au Portugal, en Suisse ou à Hong Kong, les enquêtes ont toutes fait ressortir que les professeurs doivent hausser la voix de manière sensible, avec pour contrepartie une fatigue vocale importante[20]. Cette fatigue apparaît pour des niveaux acoustiques extérieurs relativement modestes (60dB(A) en L10) (Sargent J. et al., 1980). En Angleterre et au Pays de Galles, une estimation de l'impact du bruit en milieu scolaire a montré que dans 18% des écoles secondaires, les élèves étaient exposés à des niveaux de bruit supérieurs à 65 dB(A). Les études menées aux Pays-Bas ont mis en évidence la perte d'intelligibilité du contenu de l'enseignement lorsque le niveau ambiant intérieur dû au trafic automobile atteint un niveau inférieur de 15 dB(A) à celui du discours. Les auteurs situent le niveau maximum extérieur à 57 dB(A) en Leq, ce qui correspond bien au niveau de 60 en L10 proposé par Sargent.

Le bruit de fond dans les salles de classe cumule les bruits générés à l'intérieur de la classe aux bruits provenant de l'extérieur et des salles de classe ou couloirs adjacents[21]. Un travail conduit par Franchini[22] indique que les niveaux intérieurs mesurés en Leq dB(A) ont un niveau médian allant de 40,8 à 46 dB(A), avec un niveau des 25% les plus bruyants allant de 48,8 à 50,8 ; les valeurs des niveaux 25% les plus faibles variant de 39,8 à 42,6 (Franchini A., Giacomin P. et al., 1995). Les niveaux extérieurs calculés en façade des locaux varient entre 59,4 et 64,6 dB(A) (moyenne des

[20] Le bruit est le facteur de mécontentement le plus couramment indiqué par les enseignants dans les évaluations qu'ils donnent de la qualité des salles de classe (- CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, Acoustique des salles de classe, de séminaires et des amphithéâtres & communication avec les malentendants, Université Paris-Sud - Orsay, 2003).

[21] Il a été montré que les bruits extérieurs aux salles de classe peuvent augmenter d'une valeur de 4 à 38 dB le niveau de bruit limite pour une reconnaissance optimale de la parole par des étudiants normoentendants. Les exemples les plus gênants pour ce type de bruit sont les passages d'avions et les voies routières (- Ibid..

[22] Ce travail a porté sur 177 établissements scolaires (écoles maternelles 42%, élémentaires 35% et collèges-lycées 23%) représentant 479 salles (salles de classe 64%, gymnases 8%, restaurants 21% et autres 7%).

groupes de locaux). L'étude présente aussi les valeurs des temps de réverbération (TR)[23] mesurés, pour une décroissance de 60 dB, dans les fréquences de 250 à 4000 Hz. Les valeurs dites optimales de 1,2 seconde pour les salles de cours[24] sont dépassées dans 83% des cas et la valeur de 2,2 s. pour les gymnases est dépassée dans tous les cas observés.

Ces résultats sont assez comparables aux premières observations de Josse en France, qui notait des valeurs du TR entre 1,2 et 3 sec à 1000 Hz, sur un échantillon de 12 classes (Josse R., 1962). En 1999, l'Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement a mis en œuvre un protocole de mesures acoustiques dans les écoles retrouvant des valeurs de TR identiques, soulignant involontairement que de véritables actions de réhabilitation des locaux scolaires restent à entreprendre (Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement, 1999). Le bruit ambiant pendant les cours se situe à 63 dB(A) Leq. Ce niveau acoustique mesuré en présence des élèves est dû en grande partie à l'activité des élèves eux-mêmes, comme l'affirment des travaux Anglo-saxons. Ainsi, une enquête concernant 2000 élèves du primaire à Londres (Shield B. et Dockrell J., 2002) montre que :

- la plus grande part du bruit extérieur vient du trafic routier urbain, mais le bruit des avions est fréquent ;
- les niveaux acoustiques externes et internes influencent les résultats de tests de performance ;
- les enfants sont sensibles au bruit extérieur, et gênés par des bruits spécifiques ;
- le niveau de bruit intérieur est dominé par le bruit produit par les élèves eux-mêmes ;
- un bruit de fond fort affecte les performances aux tâches académiques qui nécessitent l'usage du langage ;
- les enfants qui présentent des besoins éducatifs particuliers sont très vulnérables au bruit de fond ;
- les niveaux de bruit mesurés excèdent les recommandations de l'OMS.

I-2-3-2) Les aspects techniques et réglementaires du contrôle du bruit dans les écoles

En évitant de construire des établissements scolaires près des axes de circulation, pour des raisons de sécurité routière, on évite aussi l'exposition aux nuisances ; pollution et bruit. Cet aspect élémentaire de l'urbanisme fait diminuer, de manière importante, le coût des constructions en réduisant les contraintes d'isolation acoustique.

L'architecture joue ensuite un rôle de premier plan, par l'implantation des bâtiments, leur orientation et leur conception : la construction des salles de classe doit respecter, au plan réglementaire, des prescriptions maintenant bien connues des maîtres d'ouvrage et des architectes,

[23] Le TR est le temps nécessaire à une décroissance du niveau sonore, par exemple de 60 dB, par rapport au niveau initial d'un bruit que l'on arrête brutalement. C'est une fonction de la réflexion du bruit sur les parois du local.

[24] Les experts de l'ASHA (*American Speech and Hearing Association*) ont établi qu'une salle de classe acoustiquement satisfaisante devrait présenter un temps de réverbération n'excédant pas 0,4 s.

et qui concernent aussi les salles de langue et de musique, les ateliers, les gymnases et les piscines, les locaux de restauration, ainsi que les préaux et les couloirs ou autres lieux de circulation. Des solutions de type architectural ou acoustique permettent de doter les salles de classe d'une isolation performante et économique aux bruits provenant de l'extérieur comme des salles ou des couloirs adjacents.

Compte tenu des effets du bruit dans les locaux d'éducation, plusieurs pays européens ont publié des réglementations ou des recommandations qui visent à : (1) proposer des niveaux de bruit à ne pas dépasser dans les locaux scolaires, niveaux parfois variables selon le type de quartier et le bruit qui y règne ; (2) proposer des performances techniques relatives à l'affaiblissement acoustique des murs extérieurs ou de séparation, ainsi que des valeurs limites acoustiques relatives aux émissions internes du bruit : bruit des équipements (chauffage, ventilation) ou bruit intérieur (bruits de couloir, des autres classes) ainsi que les bruits de chocs.

Les recommandations internationales sur le bruit ambiant intérieur.

Toutes les recommandations européennes expriment un niveau de bruit à ne pas dépasser à l'intérieur des locaux. Ces valeurs limites sont modulées selon la nature et l'usage des locaux dont la variété est finalement assez grande. Le tableau 2 présente les chiffres pour quelques pays.

	Belgique	**France**	**Allemagne**	**Italie**	**Portugal**	**Grande Bretagne**	**Suède**	**Turquie**
Descripteur de bruit	**LeqA**	**LeqA**				**Leq 1h**	**leq**	**leq**
Année des textes	1977/87	1995	1989	1975		1997	1995	Resmi Gazette 1986
Type d'activité par salle								
Salle de classe	30-45 (1)	38	30	30	35	40	30	45
Bibliothèque		33				40	35	
Salle de musique	30-40					30		
Hall, couloirs, préaux				40		50		
Restaurant, gymnases	35-40	43		40	40-45		40	60
Ateliers								
Ets pour handicapés audition (2)					30			

Tableau 2 : Recommandations en termes de bruit ambiant intérieur pour divers pays

(1) Les niveaux intérieurs préconisés dépendent du niveau du bruit de l'environnement dans le quartier, classé en quatre catégories

(2) Les niveaux recommandés sont inférieurs de 10 dB pour les malentendants.

La Belgique a adopté des valeurs limites du bruit intérieur qui dépendent du niveau extérieur. On aurait pu penser que les exigences en matière d'éducation, et plus particulièrement du bruit ambiant dans les classes, étaient constantes et nécessitaient, de ce fait, une modulation des valeurs d'isolement acoustique vis-à-vis de l'extérieur. En Italie des textes nouveaux sont en préparation.

Les spécialistes de la communication parlée évoquent assez souvent la possibilité de caractériser le niveau acoustique ambiant intérieur aux locaux d'éducation par des indicateurs spécifiques, comme l'AI (*Articulation Index*)[25] ou le RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*)[26]. Ces indicateurs ne sont pas utilisés dans les normes et règlements actuels des pays européens.

Une comparaison des recommandations concernant le niveau de bruit ambiant maximal dans les salles de classe[27] montre que les valeurs françaises sont moins exigeantes que celles de plusieurs pays comme les États-unis, la Suède, la Grande-Bretagne, la Suisse et la Belgique, que ce soit en termes de niveau de bruit ambiant maximal ou de temps de réverbération.

Ainsi, aux États-unis, la recommandation de l'ASHA (*American Speech Language Hearing Association*) de 1990 propose la valeur de 30 dB comme niveau ambiant maximal ; la norme ANSI (*Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*) de 2002 indique 35 ou 40 dB(A) selon le volume de la salle[28] ; la recommandation suisse est de 35 dB(A) en L_{eqA} sur la durée d'un cours ; la recommandation britannique de juin 2003 est de 30 à 35 dB(A) en L_{eqA} sur 30 mn[29], contre 38 à 43 dB(A) en France[30] (arrêtés du 9 avril et du 25 avril 2003).

---

[25] L'index d'articulation (*AI*) donne une mesure de l'intelligibilité du discours vocal dans un environnement de bruit donné, exprimée en pourcentage des unités de la parole qui sont comprises par l'auditeur.

[26] L'indice RASTI résulte d'une méthode simplifiée de détermination du STI, sur deux octaves (500 Hz et 2 Khz) avec quatre ou cinq fréquences de modulation.
Le STI - index de transmission de la parole – est une grandeur physique qui représente la qualité de transmission de la parole sous l'angle de l'intelligibilité. Cet indice, développé au début des années 1970, est une mesure objective, fondée sur la contribution pondérée d'un certain nombre de bandes de fréquences contenues dans la gamme de fréquences des signaux vocaux, ces contributions étant déterminées par le rapport signal sur bruit réel. Ses valeurs varient de 0 (complètement inintelligible) à 1 (parfaitement intelligible). Le STI part du principe que la parole est constituée d'une fondamentale modulée par des signaux basses fréquences.

[27] Trois critères sont pris en compte : niveau de bruit ambiant, temps de réverbération et isolements normalisés par rapport aux autres locaux de l'établissement.

[28] La norme nord-américaine ANSI S12.60-2002 indique 35 dB pour les salles de volume < 566 m^3 et 40 dB pour les salles de volume > 566 m^3.

[29] Recommandations du Building Bulletin en LeqA sur 30 minutes de 35 dB(A) pour les salles de classe recevant moins de 50 personnes ; de 30 dB(A) pour les salles recevant plus de 50 personnes.

[30] Les arrêtés des 9 et 25 avril 2003 concernent les bruits dûs aux équipements techniques du bâtiment pour lesquels ils indiquent : 38 dB(A) dans le cas d'un bruit continu ; 43 dB(A) dans le cas d'un bruit intermittent.

En termes de temps de réverbération (TR), trois recommandations ou normes existent aux Etats-Unis : 0,4 s pour la recommandation ASHA ; 0,4 à 0,6 s pour la recommandation ASA ; TR =0,6 ou =0,7 selon la taille de la pièce pour la norme ANSI de 2002.

En Belgique la recommandation BIAP (Bureau International d'Audiophonologie) de février 2003, fondée sur les recommandations de l'OMS, est de 0,4 s. Par comparaison, en France l'arrêté du 25 avril 2003 indique des TR de 0,4-0,8 s. dans une salle de volume = 250 m^3 et de 0,6-1,2 s. dans une salle de volume >250 m^3 (cf. *infra*) (CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, 2003).

Isolement acoustique vis à vis de l'environnement extérieur et entre locaux

La réglementation allemande est la seule qui prenne en compte l'isolement, par rapport à l'espace extérieur, pour atteindre un niveau intérieur acceptable. C'est d'ailleurs la principale solution. Elle préconise d'adapter l'isolation en fonction du niveau sonore existant à l'extérieur du bâtiment, selon le tableau suivant :

Bruit mesuré en extérieur	**Isolation requise de la façade**
inférieur à 55 dB(A)	30 dB
50 à 60 dB(A)	30 dB
61 à 65 dB(A)	35 dB
66 à 70 dB(A)	40 dB
71 à 75 dB(A)	45 dB
76 à 80 dB(A)	50 dB
Plus de 80 dB(A)	Doit faire l'objet d'une étude spécifique

Tableau 3 : Niveau d'isolation requis pour les locaux scolaires en fonction du bruit extérieur en Allemagne

En France, la valeur d'isolation de façade est fixée, selon le niveau de bruit ambiant, pour les logements ordinaires et les bâtiments d'enseignement, de soins, de bureau ou recevant du public, pour limiter l'impact du bruit des aéroports.

L'isolement entre locaux est le paramètre le plus travaillé dans les normes et dans la pratique. Les principales valeurs d'indicateurs d'affaiblissement acoustique pour différents pays européens sont présentées dans le tableau suivant :

Pays	Belgique	France	Allemagne	Italie	Angleterre	Suède
Index acoustique	**R DN'**	**DB(A)**	**R' w**	**R,D**	**R' w**	**R' w**
Isolation entre une salle et une autre classe	1/3 octave 100 - 3150 Hz 25 - 49 (1)	44 42	DIN 4109-1989 47 (2)	40	BS 8233 38 28	SCBR94 1996 44 30
une classe avec une porte		28				
un escalier	15 - 39	44	52	42		44
un atelier		56	55		48	
une salle de sport	42 - 66	52	55		28	
un restaurant		40				
une salle de musique	42 - 66					60
une salle de soins médicaux		44				52

Tableau 4 : Valeurs d'affaiblissement acoustique entre locaux requises dans différents pays européens

(1) niveau selon la catégorie de bruit extérieur ; (2) isolation de la porte sur corridor

Les textes sont souvent détaillés quant aux différents niveaux requis, selon la destination des locaux.

Les tableaux 5 et 6 présentent les valeurs pour la France. L'isolement entre locaux est le paramètre pris en compte dans cette réglementation (arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement abrogeant l'arrêté du 9 janvier 1995[31]).

L'évolution de ce texte reflète deux impératifs intervenus depuis 1995 : d'une part, la nécessité d'exprimer les performances acoustiques à l'aide des nouveaux descripteurs en vigueur (norme NF-EN-ISO 717-1 et indicateur de classement S 31-032) ; d'autre part, l'obligation d'adapter certains niveaux de performance aux normes de sécurité.

[31] Les performances demandées par l'arrêté sont souvent les mêmes que celles de l'arrêté du 9 janvier 1995. Dans certains cas, les exigences sont légèrement inférieures à celles du texte précédent, notamment, l'isolement acoustique entre deux salles de cours avec une porte de communication a été diminué de 1 dB.

Local d'émission ? Local de réception ?	Locaux d'enseignement, d'activité pratique, administration	Local médical, infirmerie, atelier peu bruyant, cuisine, local fermé de rassemblement, salle de réunion, sanitaires	Cages d'escalier	Circulations horizontales, vestiaire fermé	Salle de musique, salle polyvalente, salle de sports	Salle de restauration	Ateliers bruyants
Local d'enseignement, d'activité pratique, administration, salle de musique, salle de réunion, salle des professeurs, atelier peu bruyant	43	50	53	30	53	53	55
Local médical, infirmerie	43	50	43	40	53	53	55
Salle polyvalente	40	50	43	30	50	50	50
Salle de restauration	40	50	43	30	50		55

Tableau 5 : Isolement requis en fonction de la destination des locaux d'enseignement, en France (1)

Local d'émission ? Local de réception ?	Salle de repos	Salle d'exercice ou local d'enseignement	Administration	Local médical, infirmerie	Salle de musique, salle polyvalente, salle de sports	Espace d'activité, salle d'évolution, salle de jeux, local de rassemblement fermé, salle d'accueil salle de restauration, cuisine, office	Circulation horizontale, vestiaire
Salle de repos	43	50	50	50	53	55	35
Local d'enseignement, salle d'exercice	50	43	43	50	53	53	30
Administration, salle des professeurs	43	43	43	50	50	53	30
Local médical, infirmerie	50	50	43	43	50	53	40

Tableau 6 : Isolement requis en fonction de la destination des locaux d'enseignement, en France (2)

Temps de réverbération, isolement aux bruits de chocs, bruits des équipements

· *Durée de réverbération (TR)*

Du fait de l'interférence de la durée ou temps de réverbération (TR) avec l'intelligibilité de la parole (cf. partie II-4-1), les réglementations sont assez précises à propos des TR. Les recommandations donnent des fourchettes de valeur et sont parfois détaillées par fréquences. En France, l'arrêté du 25 avril 2003 donne les valeurs du TR à respecter selon la nature des activités et le volume des salles :

Pièces avec équipement, sans occupants	TR en secondes, en bandes de fréquence : 500, 1000, 2000 Hz
Salle de repos des écoles maternelles, Local d'enseignement de musique, Local médical ou social	0,4 < Tr < 0,8 s
Salle de classe, d'étude ou d'activités pratiques, salle de musique, V > 250 m³	0,6 < Tr < 1,2 s
Salle polyvalente d'un volume >250 m³	0,6 < Tr < 1,2 s et étude particulière obligatoire *
Salle de musique, Salle de classe ou d'activité pratique > 250 m³	0,6< Tr < 1,2 s
Salle de restauration V> 250 m³	Tr = 1,2 s
Salles de sport	Défini dans l'arrêté relatif à la limitation du bruit dans les établissements de loisir et de sport, art. L111-11-1 du Code de la construction et de l'habitation

* Étude spécifique du traitement acoustique de la salle qui permet une intelligibilité correcte à tous les endroits

Tableau 7 : Standards français de Temps de Réverbération applicables aux locaux d'enseignement

· *Le bruit d'impact*

En matière d'isolation des parois au bruit des chocs, les règlements fixent une valeur limite du niveau de pression acoustique du bruit perçu dans le local lorsque les impacts se produisent dans les locaux extérieurs à la pièce de réception. On utilise pour cela une machine à chocs normalisée.

Les valeurs sont assez proches pour les réglementations françaises et italiennes (niveau = 67 dB(A) en France et 68 dB(A) en Italie) mais la réglementation est plus sévère en Allemagne (53 dB(A) au maximum). Seule la réglementation française a adopté la pondération A, représentative de la perception humaine. La réglementation belge est plus complexe, qui utilise le niveau normalisé LnAE. Elle prévoit un spectre d'absorption des bruits de chocs (mesurés par bande d'octaves centrées sur les fréquences 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz selon la catégorie de la paroi. La catégorie dépend à la fois de l'utilisation des pièces et du bruit extérieur au bâtiment.

· *Le bruit des équipements*

Les équipements qui apparaissent progressivement dans les locaux scolaires génèrent des bruits aériens et solidiens : la ventilation, le chauffage, la climatisation, un ascenseur sont autant de sources de bruit, dont le fonctionnement, continu ou discontinu, est gênant s'il est trop bruyant. L'introduction des ordinateurs ou autres appareils d'aide pédagogique constitue une autre source de bruit.

En Italie, le bruit généré par les éléments de chauffage - ventilation est défini par la norme UNI 8199 : les niveaux sont 30 dB(A) pour les salles de cours, 45 dB(A) pour un gymnase, en cas de fonctionnement continu. Le niveau limite est de 40 dB si le fonctionnement est discontinu.

En France, le fonctionnement continu des équipements ne doit pas émettre un bruit supérieur à 33 dB(A) dans les locaux où un niveau sonore faible est requis (salles de cours, bibliothèque, soins) en fonctionnement continu, 38 dB(A) pour les autres. En cas de fonctionnement discontinu, ces valeurs sont de 38 et 43 dB(A).

Au Portugal, la réglementation bientôt applicable prévoit un niveau sonore limite de Leq 35 dB(A) pour les salles de cours, les bibliothèques et cabinets médicaux, 40 dB(A) pour les salles de travaux et laboratoires, 45 dB(A) pour les lieux de circulation, les cantines, cuisines et piscines.

La réglementation belge indique que les émissions des équipements de l'école ne doivent pas créer des émergences de bruit de plus de 6 dB, sauf si le niveau sonore global n'exerce pas 33 dB(A).

I-2-4) État actuel et évolution de la réglementation, bilan de l'application des textes

I-2-4-1) Établissements recevant du public et diffusant de la musique amplifiée à titre habituel

Le décret n° 98-1143 et son arrêté d'application du 15 décembre 1998 concernent les prescriptions applicables aux établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée. Les salles dont l'activité est réservée à l'enseignement de la musique et de la danse sont expressément exclues de cette réglementation ; une circulaire interministérielle du 15 décembre 1998 indique que les salles affectées à la représentation d'œuvres audiovisuelles ou cinématographiques n'entrent pas dans le champ d'application du décret.

Par ailleurs, les locaux n'entrant pas dans le champ du décret n° 98-1143 sont susceptibles de tomber sous le coup des dispositions figurant aux articles R. 1336-6 du code de la santé publique concernant les bruits de voisinage.

Le décret n° 98-1143 a pour objectifs, d'une part de protéger l'audition du public, d'autre part, de protéger le voisinage de la gêne que les établissements visés par ce texte sont susceptibles de provoquer. Concernant la protection de l'audition, le niveau de pression acoustique ne doit pas dépasser 105 dB(A) (durée de chaque mesure comprise entre 10 et 15 minutes) et 120 dB en niveau de crête. Pour la protection du voisinage, lorsque ces établissements ou locaux sont soit contigus,

soit situés à l'intérieur de bâtiments comportant des locaux à usage d'habitation ou destinés à un usage impliquant la présence prolongée de personnes, l'arrêté fixe des valeurs minimales d'isolement à respecter entre le local d'émission et le local de réception ; en outre, les valeurs maximales d'émergence ne peuvent être supérieures à 3 dB dans les octaves normalisées de 125 Hz à 4 000 Hz.

L'exploitant doit par ailleurs établir une étude de l'impact des nuisances sonores comportant : (1) l'étude acoustique ayant permis d'estimer les niveaux de pression acoustique, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des locaux, et sur le fondement de laquelle ont été effectués, par l'exploitant, les travaux d'isolation acoustique nécessaires ; (2) la description des dispositions prises pour limiter le niveau sonore et les émergences aux valeurs fixées par le présent décret, notamment par des travaux d'isolation phonique et l'installation d'un limiteur de pression acoustique.

Cette étude doit être complétée, en cas de contiguïté avec un tiers, par un certificat d'isolement acoustique établi par un organisme agréé pour la mesure de bruit en milieu de travail (seul cas pour lequel un agrément est exigé). Les établissements existants doivent être conformes aux dispositions réglementaires depuis le 17 juillet 1999.

La mise en œuvre de cette réglementation sur le terrain est difficile, comme le montre l'étude réalisée par les DDASS et DRASS d'Ile-de-France dans les discothèques : lors de la campagne 2000-2001, seulement 9 établissements sur 18 contrôlés avaient réalisé leur étude de l'impact des nuisances sonores ; 7 d'entre eux (39%) ont présenté un dépassement de la valeur de 105 dB(A) alors qu'en 1998 (préalablement à l'entrée en vigueur du décret n° 98-1143), 10 établissements sur les 18 dépassaient 105 dB(A), ce qui signifie que la publication du décret n'a que très légèrement contribué à diminuer les niveaux sonores dans les discothèques (DDASS et DRASS d'Ile-de-France, 2002).
En outre, le niveau de crête de 120 dB, dont le dépassement n'est pas sanctionné dans le décret n° 98-1143, n'est pratiquement jamais respecté.

Malgré une information auprès des exploitants de discothèques par les DDASS, les syndicats de la profession et les médias, la réglementation est rarement appliquée spontanément. Elle est vécue comme une contrainte et non comme un moyen de protection de la santé du public et de préservation de la tranquillité du voisinage.

I-2-4-2) Locaux de santé et hôtels

La réglementation a également évolué en ce qui concerne les locaux de santé et les hôtels.

Pour les locaux de santé, l'arrêté du 25 avril 2003 fixe pour les établissements de santé, publics et privés, les exigences acoustiques applicables aux bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments existants. Le principe directeur de ce texte est la limitation des niveaux sonores dans les pièces fréquentées par les patients (chambres, locaux de soins, d'examens ou d'opérations). L'arrêté tient à la fois compte des contraintes d'implantation et de fonctionnement des locaux et équipements spécifiques aux établissements de santé, et laisse une certaine latitude aux concepteurs et architectes[32].

Les performances correspondant aux pratiques actuelles n'ont pas été augmentées, dans la mesure où les enquêtes effectuées ont surtout révélé que les principales plaintes des malades résultaient d'un problème de comportement (interpellations à voix forte, utilisation de chaussures à semelles dures, chocs de chariots sur les murs, bruit des chariots au roulement…).

Concernant les hôtels, l'arrêté du 25 avril 2003 fixe les valeurs limites de bruit et exigences techniques applicables aux hôtels classés ou non dans la catégorie « de tourisme », à l'exception des résidences classées « de tourisme » et autres hébergements touristiques assimilables à des logements. Il s'applique aux bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments existants. Les seuls locaux de réception considérés sont les chambres et les salles de bain. Il n'a pas été jugé opportun d'exiger pour les chambres d'hôtels des valeurs d'isolement aussi élevées que celles imposées aujourd'hui dans les logements. C'est pourquoi le texte s'en tient aux performances spécifiées par l'arrêté du 14 juin 1969, qui était le texte en vigueur lors de la parution de l'arrêté du 14 février 1986, lequel prévoit que l'isolation acoustique soit conforme aux règlements régissant la construction.

Par rapport au texte de 1969, l'arrêté du 25 avril 2003 prévoit une légère atténuation de l'isolement acoustique entre les circulations et les chambres, mais compensée par la nécessité de placer des matériaux absorbants dans les circulations.

La circulaire d'application, parue le même jour que les trois arrêtés qu'elle complète, précise les modalités de mesure et de vérification de la qualité acoustique des bâtiments (la norme NF S 31-057 est recommandée)[33]. Les arrêtés s'appliquent aux établissements neufs ainsi qu'aux parties nouvelles de bâtiments existants dont la demande de permis de construire ou la déclaration de travaux a été

[32] Les exigences relatives aux bruits d'impact sur le sol des circulations ne sauront être satisfaites que par la mise en œuvre de carrelage sur sous-couches souples ou de revêtement plastique sur sous-couche incorporée.

[33] La tolérance des résultats de mesure est fixée à 3 dB pour les bruits aériens et les bruits de choc ; à 3 dB(A) pour les bruits d'équipements.

déposée à compter du 28 novembre 2003. La circulaire rappelle que des critères complémentaires devraient être pris en compte dans l'organisation du projet afin de réduire le niveau acoustique – par exemple, contrôler la qualité acoustique des chariots dans les hôpitaux. Ensuite sont exposées les grandes lignes des prescriptions fixées par les arrêtés pour chaque type de bâtiment.

I-3) LE BRUIT AMBIANT

Ce chapitre traite des sources de bruit dans l'environnement : bruits émis par les différents moyens de transports essentiellement, mais aussi bruits d'origine industrielle, bruits émis par des activités diverses, festives et sportives (concerts, stands de tir, circuits, karting, terrains de jeux, etc.), bruits liés aux moyens de secours et de police, enfin bruits dus à des équipements et véhicules routiers non conformes.

I-3-1) Bruits émis par les différents moyens de transport

I-3-1-1) Bruits liés aux transports routiers

Le trafic routier ne cesse de s'accroître dans les espaces urbains en extension, maillés par des réseaux d'infrastructures en fort développement, et sur des plages horaires de plus en plus larges (réduction de la période nocturne de réduction du trafic). En conséquence, les niveaux sonores en façade exprimés en termes de Leq (énergie équivalente) n'ont pas diminué depuis trente ans, malgré une réduction assez limitée des *points noirs* en zone périurbaine[34].

Le nombre de zones « grises » a quant à lui augmenté, du fait de l'extension géographique et temporelle des trafics ; le maintien de zones calmes devient essentiel. Les nuisances sonores dues au trafic routier deviennent de plus en plus préoccupantes[35]. La prise en considération réelle du bruit routier étant un phénomène nouveau, les moyens de protection mis en œuvre et le contrôle de leurs performances sont relativement récents.

On distingue quatre grands types de sources de bruit émis par les véhicules routiers : (1) sources liées au groupe moto-propulseur ou bruit mécanique ; (2) sources liées au roulement et contact pneu-chaussée ou bruit de roulement ; (3) sources liées à l'écoulement de l'air et son interaction avec la structure du véhicule ou bruit aérodynamique ; (4) sources diverses : décharges pneumatiques, freins, portières, chargement, etc.

Le bruit émis par un véhicule routier, de très large spectre en fréquence (centré sur 500 Hz et 1000 Hz), présente également des composantes fines en basses fréquences (63 Hz et 125 Hz). Le niveau de puissance acoustique d'un véhicule varie de façon complexe en fonction des paramètres de

[34] Dans le domaine des transports terrestres, les niveaux sonores sont exprimés généralement en niveau énergétique équivalent, pondéré A, pour une durée d'observation donnée (par exemple, LAeq, 6h-22h). Dans les situations les plus sévères, appelées points noirs, les niveaux peuvent atteindre entre 70 et 78 dB(A).

[35] La perception du bruit des transports est traditionnellement analysée sur la base de courbes dose-effet et/ou dose-réponse, issues d'enquêtes d'insatisfaction auprès des riverains à l'aide d'enquêtes *in situ* et d'études en laboratoire.

construction (conception, fabrication, entretien) et des paramètres d'utilisation (régime moteur, charge moteur, vitesse et accélération).

Tandis que les motorisations actuellement les plus performantes sur le plan énergétique - les moteurs diesel à injection directe et à haute pression d'alimentation - sont particulièrement bruyantes, les véhicules au gaz naturel et les véhicules électriques sont moins bruyants.

Bruit en provenance de la liaison au sol pneumatique-chaussée

Si la lutte contre le bruit routier s'est longtemps résumée à implanter des dispositifs anti-bruits le long des routes, les efforts actuels portent davantage sur la réduction du bruit *à la source*. Au cours des dernières années, les constructeurs de véhicules sont parvenus à diminuer considérablement le bruit émis par le moteur, l'échappement et la transmission. En conséquence, le bruit émis par le contact entre le pneumatique et la chaussée est devenu prédominant, surtout pour des vitesses de circulation supérieures à 50 km/h pour les véhicules légers (VL) et 80 km/h pour les poids lourds (PL), mais même dans des conditions d'homologation à vitesse modérée. Des solutions pratiques existent pour diminuer ce bruit de roulement, par action sur les caractéristiques du pneumatique, sur celles du revêtement de chaussée ou par limitation de la vitesse des véhicules.

Les principaux mécanismes de génération du bruit de roulement, identifiés depuis plusieurs années, sont d'une part, la mise en vibration du pneumatique et d'autre part, les phénomènes de pompage d'air. Bien que tous les mécanismes ne soient pas indépendants entre eux, la séparation des différents processus aide à la compréhension des phénomènes physiques.

Le bruit de contact pneumatique/chaussée est principalement dû à la mise en vibration du pneumatique. Cette vibration est due au choc des pavés de gomme sur les indentations de la chaussée, et à la déformation entretenue du pneumatique en roulement sur la chaussée. Les mécanismes vibratoires sont à l'origine des émissions en basses fréquences (< 1 kHz). Ils sont très importants sur des surfaces très rugueuses (à forte mégatexture), telles que, par exemple, les bétons bitumineux 0/14 ou les enduits superficiels.

Le pompage d'air ou *air pumping* correspond aux compressions et dilatations successives de l'air emprisonné à l'intérieur des dessins du pneumatique et des cavités dues à la rugosité du revêtement. Cet effet est renforcé par la mise en résonance de l'air contenu dans les cavités du pneumatique. Ce mécanisme, à l'origine de bruits en moyennes et hautes fréquences (> 1 kHz), semble de grande importance puisque sa gamme d'émission couvre la gamme d'émission prépondérante du bruit de roulement. Il est maximum sur une surface lisse et minimum sur une surface de forte macrotexture, ou sur une surface poreuse, car dans ce cas, l'air est évacué à l'intérieur des pores de la structure.

Les phénomènes de *Slip and Stick* correspondent à des cycles successifs d'adhérence/rupture d'adhérence des patins de gomme sur la chaussée. Ces phénomènes, qui génèrent des hautes fréquences (crissements), demeurent assez peu étudiés à l'heure actuelle.

Tous ces mécanismes sont amplifiés par le phénomène d'*effet dièdre* : les surfaces limites constituées par la bande de roulement du pneumatique et la surface de la chaussée forment un dièdre à l'intérieur duquel l'onde sonore émise au voisinage du contact pneumatique - chaussée, subit des réflexions multiples. D'un point de vue acoustique, la surface du pneumatique est réfléchissante ; celle de la chaussée l'est aussi en général (revêtements fermés), sauf dans le cas des revêtements poreux.
On peut donc s'attendre dans ce dernier cas à une réduction de l'amplification par effet dièdre, ce qui est confirmé par les modèles (Hamet J.-F. et Klein P., 2001).

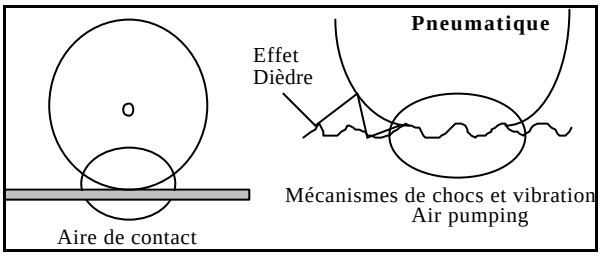


Figure 6 : Mécanismes principaux de génération de bruit de roulement d'un pneumatique sur la chaussée

Les paramètres d'influence

Le bruit généré lors du contact pneumatique/chaussée est influencé à la fois par les propriétés de la chaussée et par celles du pneumatique. L'influence de ces paramètres n'est pas à considérer isolément : tous interagissent simultanément, puisque le bruit de contact pneumatique/chaussée résulte d'une interaction (Anfosso-Lédée F., 2002).

Les paramètres du pneumatique

Les paramètres du pneumatique sont de trois ordres :
(1) paramètres liés aux caractéristiques du matériau,
(2) paramètres géométriques
(3) paramètres d'utilisation du pneumatique comme élément du véhicule.
- La raideur de la gomme : c'est la principale caractéristique de la gomme du pneumatique. Plus elle est élevée, plus le pneumatique est bruyant.

- La géométrie des pneumatiques : la largeur des pneumatiques semble être une caractéristique importante, et son augmentation progressive dans le parc de véhicules actuel, provoque une augmentation sensible du bruit de trafic (de l'ordre de 0,3 dB(A) par centimètre supplémentaire) (Phillips S.M. et Abbott P.G., 2001). Ensuite et surtout, il a été montré que la géométrie des sculptures (motifs, répartition, profondeur…) est également un paramètre déterminant du bruit (Sandberg U. et Ejsmont J., 2002). Un pneumatique à sculptures prononcées sera plus bruyant qu'un pneumatique plus lisse, les motifs aléatoires sont préférés aux motifs réguliers qui provoquent des fréquences marquées.

- La vitesse de rotation du pneumatique (c'est à dire celle du véhicule) est le principal paramètre fonctionnel : le bruit de roulement augmente avec le logarithme de la vitesse. La pression de gonflage et la charge du pneumatique conditionnent la rigidité structurelle du pneumatique, et influencent aussi, dans une moindre mesure, la génération de bruit.

Les paramètres de la chaussée

Les paramètres de la chaussée sont liés aux caractéristiques du matériau qui constitue la couche de roulement et à la géométrie de la structure.

- Le profil de texture ou rugosité du revêtement de chaussée est le principal paramètre explicatif du bruit de roulement. C'est lui qui est en partie responsable de la vibration de la bande de roulement du pneumatique, et qui détermine (en partie aussi) les volumes de cavités d'air responsables de l'air pumping. Dans les années 70, les travaux de Sandberg ont montré par des corrélations entre spectre de texture et spectre de bruit d'un grand nombre de mesures, qu'une faible mégatexture et une forte macrotexture contribuaient à diminuer le bruit de roulement (Sandberg U. et al., 2002). Il faut cependant distinguer le profil de texture réel et celui effectivement rencontré par la surface du pneumatique (profil enveloppé par le pneumatique), qui traduit mieux l'interaction entre le pneumatique et la chaussée (Hamet J.-F. et al., 2001).

- La porosité de la couche de roulement, lorsqu'elle existe comme par exemple dans les revêtements drainants, est également un paramètre déterminant du bruit. Son action est double. Tout d'abord, elle permet de réduire l'émission de bruit par diminution du phénomène d'« air pumping » : l'air n'est plus soumis aux fortes compressions et dilatations puisqu'il s'évacue par les pores du matériau. De plus, la porosité agit sur la propagation car elle est responsable de l'absorption acoustique en moyennes et hautes fréquences : localement, l'effet dièdre est réduit, et plus loin, l'onde sonore qui parvient à l'observateur en bordure de voie s'est atténuée au cours de sa propagation.

- Une possible influence de la raideur de la chaussée (impédance mécanique) sur le bruit est parfois citée, comme intervenant d'ordre secondaire. Peu de travaux existent sur le sujet ; l'influence du paramètre n'a jamais été ni confirmée, ni démentie.

Les enjeux de l'action sur les revêtements de chaussée

S'il est couramment admis que l'amélioration des pneumatiques pour réduire le bruit est limitée par des contraintes de sécurité et de durabilité, il apparaît en revanche que l'action sur les revêtements de chaussée peut apporter un gain significatif. Des recherches ont été conduites sur la modélisation

des phénomènes et les méthodes de mesure des propriétés, et des produits nouveaux ont été mis au point pour réduire ce bruit. Ces recherches ont permis de hiérarchiser le bruit de roulement des revêtements par grande famille, et de mettre au point des revêtements de chaussée optimisés (Brosseaud Y. et Anfosso Lédée F., 2002).

La figure 7 présente la moyenne des niveaux de bruit de roulement sur des revêtements peu bruyants, en comparaison avec les deux techniques les plus utilisées depuis plus de 20 ans en France : en chaussée neuve l'enrobé épais (6 à 8 cm) assez dense de calibre maximal 10 mm BBSG 0/10 (bruit « moyen » de 77,8 dB(A)) et l'Enduit Superficiel ES 10/14 employé en entretien économique de couche de roulement sur les routes à trafic moyen ou faible (bruit « élevé » de 82 dB(A)).

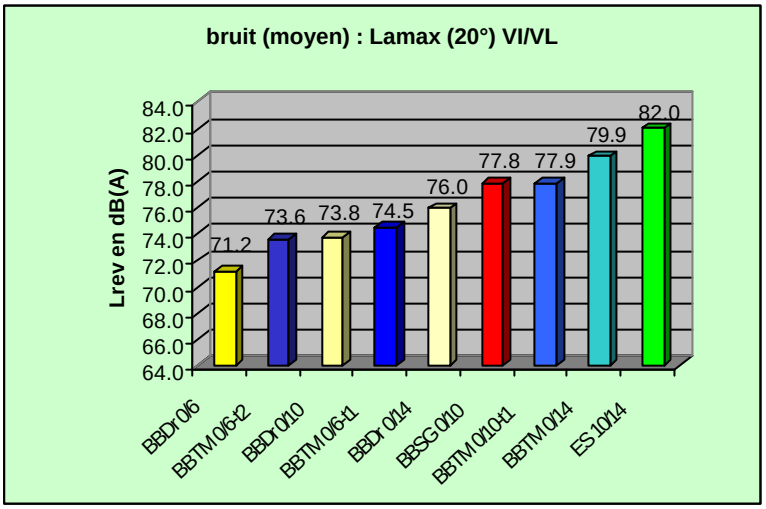


Figure 7 : Moyenne des mesures de bruit des revêtements peu bruyants et comparaison avec des chaussées classiques

Comparaison avec les techniques courantes : Béton Bitumineux Semi Grenu 0/10 (enrobé épais, construction neuve), et Enduit Superficiel 10/14 (entretien de chaussées à trafic moyen ou faible) ; influence de la dimension du calibre : 6 et 10 mm pour Béton Bitumineux Drainant et 6, 10 et 14 mm pour Béton Bitumineux Très Mince ; influence de la composition BBTM de classe 1 ou 2.

Source : Base de données nationale « acoustiques » du LRPC Strasbourg.

Les revêtements peu bruyants sont caractérisés par une fine granularité (6 mm), par une courbe granulométrique nettement discontinue, par une épaisseur mince (4 cm ou moins) où le mode de compactage aux cylindres lisses conduit à une mise à plat des granulats. Les revêtements les plus performants (pour des mesures au jeune âge : généralement entre 1 et 2 ans de service) sont de type drainant ou à porosité forte (cas des BBTM de classe 2 au sens de la norme).

Pour une même famille, l'influence du calibre du granulat (D) de l'enrobé est bien marquée : plus le D est petit, plus le bruit généré est faible. De même, plus le revêtement est poreux (différence entre

le classe 1 et 2 des BBTM), meilleure est l'absorption et plus le bruit est réduit. Le niveau de bruit n'est donc pas seulement en relation avec les niveaux de macrotexture des revêtements. Des textures fermées peuvent généralement créer d'importants bruits de roulement et ce d'autant plus que leur macrotexture est élevée, alors que des textures « en négatif » comme les BBTM de composition poreuse vont agir par réduction du bruit émis et absorption lors de sa propagation par les vides superficiels.

L'élaboration de revêtements peu bruyants nécessite la mise au point de méthodes fiables et pertinentes d'évaluation des performances acoustiques, sur site réel, et en continu pour ne pas perturber le trafic (Photo 1).

DR

Photo 1 : Dispositif de mesure du bruit de contact pneu-chaussée en continu
(Dispositif en cours de développement)

Perspectives de réduction des bruits émis par les véhicules industriels

Pour ce qui concerne spécifiquement les véhicules industriels (camions), diverses actions d'insonorisation peuvent être conduites qui permettent d'obtenir des gains pouvant atteindre 20 dB(A), par exemple par encapsulage du moteur (réduction de 3 à 4 dB(A)), installation de silencieux d'échappement (- 10 dB(A)), etc.

Aspects réglementaires et contrôles en matière de bruits liés au transport routier

· *Législation nationale*

La prise en compte du bruit dû aux transports est récente puisque les premiers textes réglementaires français sont apparus en 1978. La loi n°92-1444 du 31 décembre 1992 (Art. 12, 13) et ses décrets d'application de 1995 et suivants ont permis de fonder les exigences actuelles.

L'article 12 impose la prise en compte du bruit dans tout projet neuf d'infrastructure routière et lors de la transformation significative d'une voie existante.

L'article 13 institue le classement des infrastructures de transports terrestres en fonction de leurs caractéristiques acoustiques et de leur trafic.
Les valeurs limites d'exposition des populations habitant à proximité des infrastructures sont passés de 70 dB(A) pour un indicateur unique Leq $_{8h/20h}$ à deux indicateurs Leq, différenciés, jour et nuit pour des limites respectivement de 60 dB(A) et 55 dB(A) ; ces limites pouvant être renforcées, dans le cas de bâtiments sensibles, à 57 et 52 dB(A). Exprimés en échelle logarithmique, ces gains sont très importants (10 fois moins d'énergie pour 10 dB(A)).

À cela s'ajoutent la prise en compte des variations des conditions de propagation dues aux conditions météorologiques, obligatoire pour des distances supérieures à 250 m ; l'extension des exigences réglementaires à la totalité du réseau et non plus du seul réseau national ; l'obligation de résultat et donc de contrôle de la part du maître d'ouvrage public.
Cette exigence fait l'objet d'un contrôle de réception *in situ*, à l'issue du chantier, selon une procédure normalisée (NFS-31-085)[36].

La loi n°92-1444 traite également des « rattrapages » de points noirs, initiés en 1982, mais dont le traitement n'a jamais été effectué de façon satisfaisante[37]. Les études d'impact ont également été reformulées et insistent sur la notion d'observatoire sonore permettant le contrôle de la situation acoustique à cinq et dix ans. Il s'agit là d'une notion nouvelle et importante, rendant contractuelle la durabilité de l'ambiance acoustique pour les riverains.

· *Législation européenne*

L'Europe joue un rôle précurseur en matière de prise en compte du bruit routier : (1) institution en 1970 de la première réglementation sur le bruit intrinsèque des véhicules (groupe moto-propulseur, échappements,…) limitant les niveaux sonores émis par les VL et PL au passage en phase d'accélération ; (2) renforcement des exigences (cf. tableau 8) ; (3) publication en 2001 de la directive "pneumatique", première étape d'une réglementation qui ne peut que devenir de plus en

[36] Une nouvelle version de la norme française NF S 31-085, d'octobre 1991, intitulée « Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier », a été publiée par l'AFNOR, avec prise d'effet au 5 novembre 2002. Ce document applique les spécifications générales de caractérisation des bruits de l'environnement (décrites dans la norme NF S 31-110) au cas particulier du bruit émis par la circulation routière. Il décrit les conditions de saisie des données acoustiques, météorologiques et de trafic permettant d'apprécier le bruit auquel sont exposés les riverains d'une infrastructure routière. Il constitue une méthode de référence dans le cadre de la réglementation relative à la protection contre le bruit aux abords des infrastructures routières. La nouvelle norme NF S 31-085 diffère de la version d'octobre 1991 par la prise en compte des conditions météorologiques conformément à l'état de l'art, et par la présence de tests de validation des mesures plus approfondis.
[37] Le rapport présidé par Claude Lamure en 1998 présente l'importance des rattrapages qui restent à effectuer pour la route et le fer.

plus exigeante[38]. Le tableau suivant résume l'évolution des niveaux réglementaires pour les différentes catégories de véhicules routiers.

	1970 CEE 70/157	1982 CEE 72/212 CEE 81/354 CEE 78/1015	1990 CEE 84/224 CEE 87/56	1996 CEE 92/97 CEE 97/24
Voiture particulière	82	80	77	74
Véhicule industriel	91	88	84	80
Motocycle		86	82	80

Tableau 8 : Evolution des niveaux réglementaires d'émissions sonores pour les différentes catégories de véhicules routiers en dB (A)

Enfin, une évolution récente en matière de lutte contre les bruits routiers s'exprime dans la directive 2002/49/CE de juin 2002 qui conduit à adopter des plans d'action afin de prévenir et de réduire le bruit dans l'environnement, particulièrement ceux émis par les véhicules automobiles, lorsque les niveaux sonores peuvent entraîner des effets nuisibles pour la santé.

Conclusion sur les bruits des transports routiers

Les constructeurs automobiles estiment que sur les véhicules actuels, satisfaisant aux normes de bruit européennes, les nouveaux efforts de réduction du bruit mécanique seront «*extrêmement difficiles dans les contraintes actuelles techniques et économiques*» (Favre B., «Le bruit des véhicules industriels », avril 2004). Selon ces mêmes constructeurs, « *les émissions sonores en bruit mécanique sont dues pour l'essentiel à des véhicules anciens et/ou mal entretenus et mal utilisés* ». Toutes les sources de bruit interviennent désormais de manière presque équivalente dans le bilan acoustique, et toutes doivent être traitées pour diminuer les niveaux.

Les bruits liés aux comportements indélicats ou aux sources aléatoires (portières, chargement, mauvais entretien ou bricolage des véhicules) constituent par ailleurs un aspect non négligeable du bruit nuisible des véhicules (cf. I-3-4-2 sur les échappements non conformes).

I-3-1-2) Bruits liés aux transports aériens

Cette partie présente pour chaque grande catégorie d'aéronefs les différentes sources de bruit et les perspectives de réduction du bruit.

[38] Ce troisième volet du système "bruit routier" (véhicule, pneumatique, chaussée) relatif à la réglementation des caractéristiques acoustiques des chaussées (bruit de roulement) semble rencontrer, à ce jour, quelques difficultés, notamment des problèmes de procédure de mesurage.

Description des différentes sources de bruit et des niveaux sonores observés

Les bruits d'origine aéronautique sont principalement émis par trois types d'aéronefs - les avions commerciaux, les avions de tourisme ou avions légers et les hélicoptères- tenus d'être certifiés du point de vue acoustique. L'exigence de certification demandée par les autorités nationales, européennes ou internationales est définie par l'annexe 16 à la convention relative à l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI), volume I, bruit des aéronefs. Elle se présente sous la forme de niveaux maximaux de bruit, exprimés dans plusieurs unités, suivant le type d'aéronef. Les niveaux maximaux dépendent du nombre de moteurs et de la masse maximale au décollage ou à l'atterrissage certifiée. On voit, dès lors, que le bruit maximum autorisé pour un aéronef dépend non seulement de son type, mais aussi de sa motorisation et de sa masse.

Ce schéma de certification acoustique, adopté depuis les origines de la certification acoustique au début des années 1970, a été accompagné au cours du temps d'un certain nombre de mesures, visant à augmenter la sévérité des normes destinées aux aéronefs futurs, ainsi qu'à limiter, puis interdire, l'utilisation de ceux correspondant aux standards précédents.

Cependant, ce schéma de certification n'est pas spécifiquement adapté aux besoins des gestionnaires d'aéroports, qui doivent évaluer et contrôler la gêne sonore subie par les riverains de leurs aéroports. Ce constat a d'ailleurs conduit un certain nombre d'aéroports dans le monde à définir des exigences opérationnelles spécifiques visant à faire face aux nuisances sonores engendrées par la croissance du trafic aérien.

1) Caractéristiques des émissions sonores des avions commerciaux

Pour les avions à réaction en vol, on distingue : le bruit des groupes motopropulseurs du bruit aérodynamique.

A la base du bruit émis par l'ensemble propulsif, on trouve plusieurs sources de bruit directement liées aux composants du moteur : soufflantes amont et aval, compresseur, turbine, chambre de combustion, ainsi que le bruit de jet[39]. L'introduction dans les années 1970 de moteurs à taux de dilution élevé fut à l'origine d'une diminution importante du niveau de bruit des avions commerciaux. Puis le bruit de jet a été, à nouveau, fortement réduit, dans les moteurs modernes à double flux, de grand diamètre et à basse vitesse d'éjection.

[39] Le bruit des parties tournantes est caractérisé par la présence de fréquences pures (bruit de raies) qui se superposent à un bruit large bande. Ce bruit de raies est plus marqué à l'avant du réacteur. Le bruit de jet est dû à la génération de fortes turbulences dans la zone où les gaz chauds à haute pression sont éjectés dans la tuyère du moteur et se mélangent à l'air ambiant. Ce bruit est un bruit large bande, sa directivité est maximale à l'arrière et il est fonction de D^2V^8 (D étant le diamètre de la tuyère et V la vitesse d'écoulement du jet).

Le bruit aérodynamique, quant à lui, est dû aux turbulences créées autour de l'avion[40]. Compte tenu des progrès réalisés sur les moteurs, cette source de bruit devient aussi importante que le bruit moteur pour les phases d'atterrissage. Par ailleurs, le bruit produit par les aéronefs lors de leur stationnement (essais moteurs) ou de leur roulage au sol peut être une source de nuisances sonores pour les riverains des aérodromes.

Perspectives de réduction du bruit

· Réduction du bruit à la source

La réduction du bruit à la source est une nécessité pour le développement du transport aérien. L'intégration des nouvelles technologies disponibles dans la conception des moteurs et des avions a permis, en trente ans, de réduire en moyenne d'un peu plus de 20 décibels le bruit des avions à réaction. De nouveaux progrès résulteront des efforts entrepris dans deux domaines : la diminution du bruit moteur et la réduction du bruit aérodynamique. Initialement source considérable de nuisances sonores sur les moteurs de génération précédente, le bruit de jet a notablement diminué sur les moteurs subsoniques.

Les recherches de réduction du bruit moteur reposent aujourd'hui principalement sur trois voies :
- la réduction du bruit de la soufflante, objectif prioritaire des recherches ;
- la conception d'éléments moteurs plus silencieux tels que l'optimisation du nombre et de l'espacement des aubes fixes et mobiles ;
- l'emploi de structures absorbantes. Les recherches dans ce domaine ont d'ores et déjà trouvé des applications et se poursuivent.

Malheureusement, la recherche dans le domaine de la diminution du *bruit moteur* se limite principalement aux moteurs équipant les avions de plus de 100 places. Un investissement sur l'ensemble de la gamme des moteurs devrait être apporté. De plus, avec les technologies actuelles, un équilibre semble atteint entre le niveau de réduction du bruit et la viabilité économique des solutions mises en œuvre. Un nouveau saut technologique s'avère donc nécessaire.

Le *bruit aérodynamique* est particulièrement notable lors des phases d'approche, où les moteurs sont réduits, et où les volets hypersustentateurs et le train d'atterrissage – principales sources de bruit aérodynamique – sont sortis. Ce problème devra recevoir une attention particulière dans les

[40] Le bruit des volets et celui du train d'atterrissage sont des exemples de bruit aérodynamique.

années futures, dans la mesure où il apparaît désormais qu'en approche, le bruit aérodynamique est du même ordre de grandeur que le bruit moteur. Les recherches visant à identifier les sources de bruit et à modéliser les mécanismes de génération et de propagation pour les atténuer doivent être encouragées.

· Restrictions opérationnelles

L'atténuation des nuisances sonores passe également par la définition et le respect des règles d'exploitation aéroportuaire concernant l'utilisation de l'aérodrome lui-même et la circulation aérienne à proximité de la plateforme. Ces règles et techniques de circulation aérienne, notamment dans les phases d'arrivée et de départ, sont adoptées au niveau international. Cependant les conditions météorologiques, les performances de l'avion et sa masse, la précision relative des instruments et les latitudes possibles dans le pilotage peuvent nuire au respect rigoureux des trajectoires.

Parmi ces règles d'exploitation, on distingue :

- la fermeture de l'aérodrome ou de certaines pistes pendant certaines périodes ;
- l'interdiction de certains types de trafic ;
- les restrictions portant sur : les essais moteurs ; l'utilisation des A.P.U. (*Auxiliary Power Unit*) ; l'utilisation des inverseurs de poussée ;
- l'obligation de suivi de certaines procédures de vol.

Ces règles, en particulier les obligations et restrictions en matière de procédures de vol, font l'objet d'une publication dans les manuels d'information aéronautique[41]. La surveillance constante des trajectoires permet, d'abord et fort heureusement d'assurer la sécurité, mais aussi de maintenir à un haut niveau la capacité des plateformes. Si l'impératif de sécurité ne peut être remis en cause, la préoccupation de capacité, c'est à dire d'augmentation du nombre de mouvements, doit maintenant s'apprécier au regard des contraintes environnementales.

Pour limiter les nuisances sonores et éviter la dispersion des trajectoires, des règles opérationnelles particulières ont déjà été instituées sur certaines plateformes : dans les phases d'arrivée ou de départ, des restrictions d'utilisations de certaines trajectoires ou des obligations de suivi de trajectoire sont mises en œuvre et contrôlées. Associée aux réseaux de mesure de bruit, la

[41] Pour les principaux aéroports, l'ACNUSA recommande que les procédures particulières élaborées en vue de limiter les nuisances sonores fassent l'objet d'arrêtés ministériels permettant le relevé des infractions et leur sanction éventuelle.

surveillance des trajectoires devient alors un outil garantissant que ces procédures sont respectées et que les infractions non justifiées sont sanctionnées.

2) Caractéristiques des émissions sonores des avions légers

Les principales sources de bruit sur les avions légers[42] sont : le bruit produit par l'hélice ; le bruit du moteur et de l'échappement ; le bruit dû à la cellule. Compte tenu des dimensions modestes de ce type d'aéronefs, les deux principales sources de bruit sont, d'une part, le bruit produit par l'hélice, d'autre part, le bruit dû au moteur et à l'échappement[43].

Bruit de l'hélice

Le bruit de l'hélice est fonction des paramètres liés à l'hélice en mouvement : diamètre, nombre de pales, vitesse de rotation, vitesse d'avancement de l'avion et de la température de l'air dans lequel l'avion évolue[44]. Des études théoriques sur le mécanisme de la génération du bruit d'hélice établissent l'influence de paramètres tels que la répartition en corde et en envergure des forces aérodynamiques, l'épaisseur et la forme de l'extrémité de pale. Pour réduire le bruit d'hélice, il faut donc réduire sa vitesse périphérique par : la réduction du diamètre d'hélice : une diminution de 5 centimètres du diamètre correspond à un gain d'environ 1,5 dB ; la réduction de la vitesse de rotation de l'hélice par réduction du régime de fonctionnement du moteur.

Il est très difficile de modéliser le bruit d'hélice, et les réductions de niveau sonore sont souvent obtenues de façon empirique à partir d'essais en vol[45]. Quelques réalisations montrent un gain de bruit prometteur, mais les coûts d'achat et d'entretien sont élevés. Cette possibilité ne se généralise donc pas sur le marché des avions légers.

Bruit du moteur

Sur les avions légers équipés de moteurs à pistons, le bruit de moteur est essentiellement dominé par le bruit d'échappement riche en fréquences pures liées à son régime de fonctionnement et au nombre de cylindres. Le bruit de moteur devient prépondérant lorsque le régime du moteur s'établit autour de 2500 tours/minutes. Cela correspond aux phases « voyage » et principalement « tour de piste » très fréquentes lors de l'apprentissage des pilotes. La réduction du bruit passe alors par

[42] Il s'agit d'avions propulsés par des hélices dont le pas peut être fixe ou variable et dotés, le plus souvent, de moteurs à pistons.

[43] La répartition sonore énergétique liée à chaque source est fonction du régime de fonctionnement du moteur et de la vitesse de rotation de l'hélice.

[44] Lors de la phase de décollage, le régime moteur est maximal et l'hélice a une vitesse de rotation élevée, le plus souvent de l'ordre de 2700 tours/minutes à 2800 tours/minutes. La source de bruit prépondérante est alors le bruit d'hélice, directement lié aux vitesses hélicoïdale et de bout de pale.

[45] La voie de recherche dans ce domaine consiste principalement à tenter d'obtenir des performances équivalentes tout en diminuant la vitesse périphérique de l'hélice. Il faut alors compenser la perte de puissance par l'adjonction de pales supplémentaires. On passe alors à l'utilisation d'hélices bipales à des hélices tripales, voire quadripales.

l'adjonction d'échappements, calculés pour atténuer la fréquence fondamentale correspondant au régime moteur. Pour obtenir un résultat notable il convient donc de disposer d'échappements spécifiques à chaque type d'appareil. Le gain obtenu peut être de 2 à 3 décibels, mais les problèmes de longévité des systèmes ne sont pas entièrement résolus.

3) Caractéristiques des émissions sonores des hélicoptères

Le bruit des hélicoptères, complexe, provient essentiellement de trois sources distinctes : le rotor principal, le rotor de queue et le ou les moteur(s).

Les rotors produisent des bruits, dus à la rotation, générés par les forces fluctuantes qui s'exercent sur les pales. De plus, le rotor principal génère un bruit large bande, dû à ses paramètres propres. L'importance relative de ces deux types de bruits dépend du type d'hélicoptère[46].
Lorsque l'hélicoptère est en descente, il produit un bruit de claquement de pale dû au passage d'une pale du rotor principal dans la perturbation provoquée par la pale précédente. En vol stationnaire, ou en vol à faible vitesse, le bruit produit par le rotor de queue domine.

Le bruit produit par le(s) moteur(s) a une composante principale liée à la tuyère, qui est importante lors des décollages. Les bruits de compresseur et de transmission ne sont généralement pas prépondérants.

De nombreux facteurs, notamment économiques, laissent penser que le marché de l'hélicoptère, en France, demeurera relativement étroit dans les prochaines années. Cela ne favorise pas la recherche nécessaire à la fabrication d'appareils plus silencieux. De plus, le trafic d'hélicoptères est aujourd'hui constitué pour moitié par des missions des services de l'État, tels que défense, gendarmerie, police, douane, sécurité civile ou d'évacuation sanitaire et desserte des hôpitaux, dont les contraintes, en termes d'environnement sonore, sont moins restrictives que celles imposées aux activités commerciales.

La protection des riverains d'héliports passe essentiellement par l'obligation faite aux hélicoptères d'évoluer sur des itinéraires définis et publiés. Pour des raisons de sécurité et de navigation, ces itinéraires doivent s'appuyer sur des repères au sol aisément identifiables par les pilotes.

[46] Le bruit rotationnel est plus fort que le bruit large bande pour les hélicoptères à rotor principal à deux pales par rapport aux rotors multipales.

4) Conclusion

Le transport aérien doit aujourd'hui faire face à des demandes contradictoires. D'une part, la demande de transport s'accroît ; le secteur aérien est en fort développement et le trafic va certainement reprendre sa croissance. D'autre part, la demande environnementale s'affirme ; la croissance du trafic aérien s'accompagne de nuisances sonores qui ont été, pendant longtemps, insuffisamment prises en compte par les politiques publiques, malgré les protestations réitérées et justifiées des riverains d'aéroports.

Les innovations technologiques en matière aéronautiques ont permis, ces vingt dernières années, de réaliser des progrès considérables en termes de diminution de bruit émis par les aéronefs. Mais les derniers décibels gagnés l'ont été à un prix élevé. Les recherches actuelles permettent des gains de quelques dixièmes de décibels.

Les innovations technologiques ne permettront pas, à court terme, de régler tous les problèmes de nuisances sonores aériennes. Une réglementation stricte des survols, associée à des restrictions opérationnelles, doit accompagner les efforts de recherche en cours.

Bruit à proximité des aéroports, aspects réglementaires et contrôles

Soumis aux demandes pressantes des riverains, les pouvoirs publics ont abordé le problème sous plusieurs angles.

- *Les mesures de prévention : les Plans d'Exposition au Bruit (PEB)*

Le souci de maîtriser l'urbanisation autour des aéroports date de la fin des années 1960. La prévention a été renforcée par la Loi de 1985 relative à l'urbanisme au voisinage des aéroports, qui modifie les prescriptions particulières du Code de l'urbanisme (art L111-1). Elle précise notamment que les documents d'urbanisme tels que les Plans d'occupation des sols (POS) doivent être compatibles avec les règles instituées dans les différentes zones de bruit définies dans les PEB. Le projet de PEB est établi au niveau local, après concertation avec tous les partenaires intéressés et enquête publique. Pour les principaux aéroports, ils sont soumis à l'avis de l'Autorité de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires (ACNUSA), mise en place par la loi du 12 juillet 1999. La méthode d'élaboration d'un PEB permet de produire un document graphique qui est l'instrument de mise en œuvre de la Loi. Le PEB est établi pour une échéance donnée telle que l'on puisse raisonnablement prévoir le développement du trafic aérien et des infrastructures[47]. Au delà du

[47] Un indicateur d'exposition au bruit des avions, l'Indice Psophique (IP) a été utilisé jusqu'en 2002 : la formule IP prend en compte le niveau moyen des crêtes des bruit d'avions et leur nombre. La législation utilisait les courbes

simple diagnostic de nuisances sonores, la procédure d'approbation permet des échanges entre les différents partenaires, populations exposées et exploitant de l'aéroport.

L'exploitation de l'aéroport peut être modifiée afin de réduire les nuisances, par la prise en compte de 3 zones :

- une zone A de bruit très fort, inconstructible ;
- une zone B, de bruit fort à très fort, où de rares constructions sont autorisées ;
- une zone C de bruit sensible à fort, où l'habitat peut-être très légèrement densifié[48].

Le ministre en charge de l'équipement et des transports a présenté lors du conseil des ministres du 10 avril 2002 un projet de loi modifiant certaines modalités d'établissement des PEB afin de renforcer leur efficacité en encadrant strictement les conditions de délimitation de ces zones. Il vise, pour les futures plates-formes, à élargir les territoires où les restrictions à l'urbanisation sont les plus fortes. Il doit permettre de faciliter l'application par anticipation de ces plans sur décision de l'autorité administrative.

En outre, une proposition de loi visant à plafonner le niveau de bruit des avions décollant et atterrissant la nuit sur les aéroports français a été adoptée par l'Assemblée nationale en première lecture le 26 avril 2001. Son principal objectif est de restreindre l'exposition des populations voisines des aéroports au bruit des aéronefs.

• *Les mesures de compensation : l'indemnisation des riverains et les Plans de Gêne Sonore (PGS)*

Des aides issues de ressources parafiscales sont apportées depuis 1973 aux habitants de zones bruyantes pour tenir compte de la gêne due au bruit[49]. Les régimes ont été variés, pour aboutir en 1992 à une Taxe d'atténuation des nuisances sonores, dont la collecte permet d'insonoriser les logements les plus bruyants.

Les PGS comportent 3 zones, définies par les mêmes valeurs d'indicateur que le PEB ; mais contrairement aux PEB, les courbes des PGS ne correspondent pas au futur trafic à 15-20 ans mais au trafic le plus récent. Les personnes demeurant à l'intérieur du PGS au moment de l'établissement du PEB - et qui ne sont pas venues s'installer après - peuvent demander une aide à l'insonorisation de leur logement. Jusqu'à fin 2003, l'ADEME instruisait le dossier technique établi par un

---

« isopsophiques » - lignes passant par tous les points d'égal niveau de bruit exprimé en IP- pour définir l'urbanisation des zones comprises entre ces tracés. Le trafic de nuit étant considéré comme plus gênant que le trafic de jour, le nombre de mouvements de nuit est pondéré par un facteur 10 dans le calcul de l'IP. La formulation de l'IP est IP = PNL + 10 log (N+10p) – 32, où PNL est le niveau moyen des crêtes de bruit, N le nombre de vols de jour et p le nombre de vols de nuit.

[48] L'isolement acoustique des bâtiments existants ou autorisés doit être renforcé, et atteindre au moins 35dB (estimation à partir d'un bruit rose, dans les fréquences 125 à 4000 Hz).

[49] Les associations de riverains sont depuis 1994 associées aux travaux de la Commission consultative d'aide aux riverains.

opérateur agréé et remboursait les frais d'expertise et de travaux engagés, selon un barème fixé à l'avance, qui laissait cependant une petite partie des dépenses à la charge de l'habitant (le dispositif remboursait entre 80 et 100% du coût des travaux des logements éligibles). Les crédits affectés à cette opération étaient indépendants du montant de la taxe payée par les compagnies aériennes et incluse dans la Taxe générale sur les activités polluantes (TGAP- volet bruit). Les associations de riverains se plaignaient de la lenteur de ce processus assimilé à une attitude dilatoire.
Le nombre de logements éligible est passé de 68 000 en 2001 à près de 140 000 du fait de l'extension des PGS. Le dispositif d'aide à l'insonorisation des logements riverains a été redéfini dans le cadre du Plan national d'Actions contre le bruit lancé le 6 octobre 2003.

Depuis le 1er janvier 2004, les gestionnaires d'aéroports (chambres de commerce et d'industrie, ADP pour l'Ile-de-France) récupèrent le produit de la taxe prélevée sur les compagnies aériennes (volet bruit de la TGAP). Cette taxe, modulée en fonction du type d'avion et de l'heure de décollage, doit passer de 17 Millions € en 2003 à 55 Millions € par an à partir de 2004. Elle devra désormais être directement et intégralement affectée à l'isolation phonique des logements situés dans les PGS. Le circuit administratif de traitement des dossiers doit être simplifié et répondre plus rapidement aux demandes des riverains. La hausse des crédits devrait permettre d'aider 8800 logements par an contre 3000 précédemment (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2003).
A compter du 1er janvier 2005, cette taxe sera remplacée par une taxe spécifique aux nuisances sonores aéroportuaires, dénommée Taxe sur les nuisances sonores aériennes (TNSA).

- *Les unités acoustiques*

Le schéma de principe d'établissement des PEB et PGS nécessite la fixation des éléments d'acoustique physique que sont l'unité acoustique, le descripteur d'un événement bruyant et un indicateur pour prendre en compte tous les évènements de bruit.
Des études psychophysiques ont montré que les pondérations A, B et C ne rendent pas très bien compte de la gêne due au bruit des avions, en raison des fréquences particulières produites par ces derniers (Kryter K., 1959). Une échelle de niveau de perception, désignée par PNdB (*Perceived Noise Decibel*) a donc été déterminée par des travaux en laboratoire[50]. Cette unité, qui a été adoptée par les instances internationales de l'aviation, est utilisée pour la certification bruit des avions. Mais la validation du PNdB s'appuie sur des travaux *en laboratoire*, avec des bruits enregistrés à une *distance réduite des avions* et restitués par des chaînes haute fidélité. Les personnes interrogées

[50] La pondération PNdB donne aux fréquences moyennes et hautes de 1000 à 10 000 Hz plus d'importance que dans les courbes A B et C (cf. annexe 2).

attribuent des niveaux de sonie et des notes de gêne. Or, le bruit perçu par un riverain, lorsqu'il est situé à un kilomètre ou plus de la trajectoire de l'avion, subit des modifications spectrales qui rendent ce bruit plus grave.

Le décibel A est une autre unité de pondération des décibels utilisable, employée dans de nombreuses autres situations, ce qui permet pour les riverains d'aéroport de mesurer toutes les sources de bruit auxquelles ils sont soumis. Son installation systématique sur tous les appareils de mesure permet une lecture directe des niveaux de bruit. Cependant la composition spectrale d'un bruit d'avion reçu à longue distance sera chargée en fréquences graves pour donner à ce bruit un aspect sourd, qui n'a pas fait l'objet de travaux psychophysiques d'évaluation : au plan scientifique PNdB et dB(A) sont donc des unités équivalentes.

• *La description d'un bruit d'avion unique*

Le niveau sonore d'un seul passage d'avion sera perçu au sol pendant quelques secondes ou plusieurs minutes, suivant sa vitesse et son altitude au dessus du point de réception, et selon le niveau de bruit ambiant.

• *Le cumul des bruits quotidiens ou annuels.*

Contrairement au bruit routier, pour lequel les véhicules sont nombreux et les pointes de bruit courtes, les passages des avions constituent des bruits d'une certaine durée, espacés dans le temps ; la durée entre deux survols peut diminuer jusqu'à 1 minute en cas de pistes parallèles.

Au bout d'une certaine durée, on aura relevé un nombre important d'évènements sonores, caractérisés chacun par une valeur unique, décrite avec les paramètres décrits ci-dessus.

La gêne cumulée produite pendant la durée d'observation dépend des niveaux de crête, du nombre de survols, et aussi de l'heure de la journée, un bruit étant plus gênant à 23 h qu'à 11 h.

Il faudrait faire intervenir bien d'autres grandeurs, comme le bruit de fond ambiant, les autres sources de bruit, l'isolation des fenêtres du logement, et la sensibilité personnelle de chacun pour mieux cerner la gêne.

• *La directive européenne et sa transposition en droit français*

La directive relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement de juin 2002 a fait l'objet d'une préparation longue, depuis le premier rapport Lambert-Vallet (Lambert J. et Vallet M., 1994a). Un groupe de travail (*WG 1*) chargé de la réflexion sur les indicateurs de bruit a proposé l'indicateur Lden 24h. Un indicateur spécifique pour la nuit (Leq de nuit) a été retenu, pour éviter

un transfert du trafic du jour vers la nuit, en cas de période diurne peu chargée. L'article 5 du texte précise les indicateurs acoustiques retenus : Lden et Ln.

Les décrets d'application concernant le bruit autour des aéroports sont les seuls à avoir été publiés en application de la directive ; pour les autres sources de bruit, les textes d'application sont en préparation. Le changement important de l'unité acoustique – le dB(A) remplace le PNdB- et des indicateurs - Lden et Ln remplacent l'IP- engendre l'obligation de refondre tous les plans de bruit, PEB et PGS en France. Le décret n° 2002-626 du 26 avril 2002 fixe les conditions d'établissement des PEB et des PGS des aérodromes et modifie le code de l'urbanisme. La zone A de bruit fort est comprise à l'intérieur de la courbe d'indicateur Lden 70. La zone B de bruit fort est comprise entre les courbes Lden 70 et la courbe choisie entre 65 et 62. La zone C de bruit modéré est comprise entre les courbes B et la courbe choisie entre 57 et 55. La zone D est située entre la courbe de la zone C et la courbe Lden 50. On note une certaine flexibilité dans le « zonage » pour tenir compte de l'ancienneté de l'aéroport.
Dans les futurs aéroports on choisira les courbes les plus contraignantes, celles qui exposent à moins de bruit. En zone C la construction de logements nouveaux sera plus difficile qu'auparavant.

Les PGS modifiés comportent 3 zones délimitées par des courbes d'égal niveau de bruit exprimé par l'indicateur Lden. La zone I est à l'intérieur de la courbe Lden = 70 ; la zone II est comprise entre la courbe 70 et la courbe Lden 65. Toutefois lorsque la courbe extérieure de la zone B d'un PEB est fixée à une limite inférieure à 65, c'est cette limite qui est prise en compte ; la zone III est comprise entre la courbe extérieure de la zone II et la courbe de Lden 55. Ces zones sont établies à partir du trafic aérien estimé de l'année suivant l'approbation du PGS.

Les efforts d'exploitation des aéroports à moindre bruit

· *L'utilisation d'un indice de crête sur le terrain*

La certification des véhicules et des avions s'appuie sur le Lmax. Par une décision des autorités Européennes de l'aviation, suivant les propositions de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), les avions du chapitre 2, les plus bruyants, sont désormais interdits[51]. Cette décision

51 L'OACI détermine les performances acoustiques de chaque type d'avion, en fonction de trois niveaux de bruit : à l'approche (atterrissage), au décollage à pleine puissance et au survol. En outre, chaque avion doit respecter les limites fixées par l'annexe 16 de la Convention de l'aviation civile internationale. Il existe actuellement trois générations d'avions : 1. Les avions « non certifiés », qui ne satisfont pas aux limitations de l'annexe 16, chapitre 2 2. Les avions « chapitre 2 » qui satisfont les limitations de l'annexe 16, chapitre 2 mais qui ne satisfont pas le chapitre 3 3. Les avions « chapitre 3 » qui satisfont les limitations de l'annexe 16, chapitre 3, à savoir que la somme cumulée de bruit de l'avion doit être inférieure à H-300 EPNdB (*Effective Perceptible Noise Decibel of the Total Noise*). Parmi ceux-ci figurent également des avions « re-certifiés ». Ce sont des appareils au départ « chapitre 2 » qui ont subi des modifications de motorisation (ajout d'un hushkit) qui leur ont permis de satisfaire aux normes du chapitre 3.

intervenue en avril 2002 a été précédée, en 1999, d'une décision propre à la France d'interdire ces avions très bruyants, pendant la nuit, sur les principaux aéroports français. La restriction des avions « hushkittés »[52], dont les valeurs de crête sont proches de la limite du chapitre 3, mais qui ne sont que des appareils de chapitres 2 dont le moteur a subi des modifications afin de respecter la limite de bruit, est un autre problème.

La Commission européenne, par sa décision n°925 de 1999, ne permet plus l'inscription de nouveaux avions hushkittés depuis cette date. En France, l'arrêté du 2 Août 2001 porte restriction d'usage de ces avions relevant du chapitre 3 : les avions les plus bruyants (avions à turboréacteurs du chapitre 3 dont le Lmax se situe dans la marge de 5 EPNdB juste en dessous des limites admissibles) et les avions bruyants (entre 5 et 8 EPNdB) exploités depuis plus de 5 ans, sont interdits entre 23h30 et 6h15, à quelques nuances près. Les compagnies prennent leur part dans ces efforts : Air France, qui poursuit le renouvellement de sa flotte, a réalisé le retrait des avions ch2 un an avant avril 2002, et les modèles B737-200 ont été remplacés par des moyens courrier Airbus beaucoup moins bruyants.
Le retrait des avions ch3 les plus bruyants (cf. arrêté du 2 août 2002) a été effectué par Air France et les compagnies opérant sous son pavillon. Cette démarche est adoptée par d'autres compagnies (Delta Airlines)

Les aéroports eux aussi, en réponse à la forte demande des riverains, mettent en œuvre des actions visant à diminuer le bruit : l'idée de limiter les avions bruyants la nuit (*quotas counts QC*) est venue de Grande-Bretagne, au début des années 90[53]. De nombreux aéroports ont adopté une limitation des niveaux Lmax des avions, selon le type d'opération et selon l'heure : à Londres pour le décollage un Lmax de 94 est autorisé de 7h à 23h, mais de 87 pendant la nuit. Manchester a suivi, et cette restriction fait partie des plans d'actions contre le bruit en Suède, en Belgique (à Liège on considère le bruit à l'intérieur des chambres), aux Pays-Bas.

· *La diminution des niveaux de bruit sur le terrain*

Le renouvellement des flottes d'avions ou de restriction d'usage de certains appareils nécessite une évaluation globale, pour savoir d'une part précisément si les niveaux globaux (en Lden) et les

---

L'OACI travaille à la définition d'un nouveau chapitre 4 de l'annexe 16 (le chapitre 3 date de 1977). Précisons que les appareils militaires n'entrent pas en ligne de compte pour cette classification.

[52] Un avion « hushkitté » est un avion sur lequel le fabricant de réacteurs a ajouté une tuyère à la sortie des moteurs pour les rendre moins bruyants. Il s'agit donc d'un avion équipé d'un atténuateur de bruit afin d'améliorer le niveau de certification acoustique.

[53] C'est une classification des avions en plusieurs catégories, selon les niveaux acoustiques de certification, qui suppose qu'un avion de QC 4 équivaut à deux avions de QC 2, ce qui permet de remplacer un avion bruyant par deux avions moins bruyants ; adoptée aussi à Madrid et en Suisse, cette méthode n'a pas été évaluée quant au bénéfice sur la gêne.

niveaux de crête (Lmax) diminuent dans le temps, d'autre part si la gêne ressentie diminue elle aussi, en particulier dans sa composante de sommeil perturbé.

Les mesures acoustiques réalisées par l'INRETS autour de l'aéroport Saint-Exupéry de Lyon en 1998-1999 ont fourni des données de base, servant de références à une série temporelle de mesures du bruit, pour des valeurs de Leq et pour des Lmax moyens. Une exploitation spécifique des résultats de mesures acoustiques fournies par le réseau permanent de contrôle du bruit autour de l'aéroport (système CONSTAS : COntrôle des Nuisances Sonores et des Trajectoires de l'Aéroport de Lyon Saint-Exupéry, installé à l'automne 2000) permet une comparaison avec les données de mars 2003. Cette comparaison en des points géographiques identiques permet de constater une diminution sensible des niveaux de bruit (tableau ci-dessous).

	1998		**2002**		**Evolution**	
	Leq 24h	**Lmax Décollage**	**Leq 24h**	**Lmax Décollage**	**Leq 24h**	**Lmax Décollage**
Pusignan	60	69,7 (7,5)	56,1	65,7	**-3,9**	**-4**
Jons	61	67,4 (7,5)	57,9	65,7	**-3,1**	**-1,7**
Grenay	58,6	66,4 (6,7)	56,4	65,7	**-2,2**	**-0,7**
Janneyrias	58,7	65,1 (5,2)	53,2	64,9	**-5,5**	**-0,2**

Ces chiffres demandent à être confirmés par les mesures effectuées dans d'autres aéroports français, notamment Orly et Roissy. Les gains aux points de mesures sous les trajectoires sont encore modestes au décollage, plus consistants à l'atterrissage (ils ne sont pas présentés ici car certains résultats sont manquants)

État des lieux de la situation française

Dans une communication en Conseil des ministres le 17 décembre 2003, le ministre de l'Équipement a présenté les résultats des mesures mises en œuvre pour réduire les nuisances sonores en Île-de-France. Ces mesures auraient abouti au retrait progressif des avions les plus bruyants et à la diminution de plus de 15% du nombre de vols de nuit, notamment par la réduction du trafic de La Poste, la suppression de la quasi-totalité des vols d'Air France et la non réaffectation des créneaux ainsi libérés. Le principe de la création d'une nouvelle piste de l'aéroport Roissy Charles de Gaulle n'a pas été retenu. De nouveaux sites de mesure au sol ont été installés.

Par ailleurs, la loi n°2004-172 du 23 février 2004 crée les « communautés aéroportuaires » regroupant des élus et des acteurs économiques des plateformes. Ces communautés aéroportuaires sont des établissements public à caractère administratif chargés de « *soutenir des actions*

territoriales et des projets permettant de favoriser la correction des atteintes aéroportuaires à l'environnement et à la qualité de vie urbaine et rurale, l'accès des riverains aux emplois et aux équipements collectifs et l'information relative aux impacts de l'aéroport sur ton territoire et aux actions menées pour en corriger les effets » (J.O. n°46 du 24 février 2004 p.3664).

Cependant, l'ACNUSA, dans un rapport sur le bilan de la réorganisation de la circulation aérienne en Île-de-France, indique que globalement le nombre d'habitants survolés en dessous de 3 000 mètres a diminué mais que la situation s'est dégradée localement notamment pour les survols à basse altitude[54].
Effective depuis le 21 mars 2002, la réorganisation aérienne dans le bassin parisien devait en principe soulager environ un million des 3,5 millions de personnes survolées en dessous de 3000 mètres autour de Roissy et Orly.

Pour l'ensemble du Bassin parisien, le nombre de personnes survolées a diminué.
- Face à l'ouest, la configuration la plus fréquente, les avions à destination et en provenance de Roissy et d'Orly survolent actuellement près de deux millions d'habitants et 650 communes.
- Face à l'est, plus de 2,4 millions d'habitants et 864 communes sont survolés.

Mais l'effet positif est moins marqué pour les survols à basse altitude (les vols en dessous de 1000 mètres d'altitude sont les plus difficilement supportables) notamment en configuration face à l'est : les nouveaux couloirs se traduisent par une diminution de 7% seulement du nombre de personnes survolées en dessous de 1 000 mètres (38 500 personnes de moins) et même par une augmentation de 4% des Franciliens survolés entre 1000 et 2000 mètres (41 500 personnes).
Par rapport au projet initial de la DGAC (Eurocontrol), l'impact actuel global est :
- plutôt positif face à l'ouest, avec une diminution de population de 11% ;
- plutôt négatif face à l'est, avec une augmentation de 9% des survols ;
- quelles que soient les configurations au vent à basse altitude, 261 000 personnes supplémentaires sont survolées à moins de 1 000 mètres au dessus de Roissy et 44 900 de plus au-dessus d'Orly.

Dans son rapport publié le 31 janvier 2003, sur la base des premiers chiffres fournis par l'administration de l'aviation civile, l'ACNUSA estime que 450 000 personnes et 180 000

[54] Cette étude, parue en 2003 et intitulée « Estimation des populations survolées par les aéronefs à destination et en provenance des plateformes de Paris-CDG et Paris-Orly », a été menée par l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région Ile-de-France pour le compte de l'ACNUSA. Elle avait pour objectif principal d'estimer les populations survolées dans le Bassin parisien après la réorganisation aérienne et de les comparer aux situations de référence que sont les cartographies des zones de survol avant réorganisation et celles résultant du projet initial de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC).

logements sont concernés par les nouveaux plans de gêne sonore (PGS) élaborés à partir de l'indicateur Lden. Des chiffres à comparer aux 12 000 logements que le dispositif d'aide à l'insonorisation a permis d'indemniser entre 1995 et 2001, pour plus de 76 M € (ACNUSA, rapport d'activité 2002). L'insonorisation de tous les locaux éligibles situés dans un PGS est estimée par l'ACNUSA à 1,1 milliard €. Le rapport appelle également à une refonte du fonctionnement de l'aide. Il propose de planifier les opérations d'insonorisation par quartier ou ensemble de bâtiments, et non individuellement ; de confier la maîtrise de certaines opérations à des sociétés d'économie mixte ; d'étendre la possibilité de rachat, limitée aux logements situés en zone I du PGS, aux zones II et III sous réserve d'une convention avec une collectivité ayant un projet urbain.

L'ACNUSA est en désaccord avec la notion de Volume de protection environnementale (VPE) proposée par la DGAC (volume devant contenir les vols en procédure d'arrivée et de départ) au motif qu'ils ne reprennent que les règles minimales de circulation aérienne sans amélioration de l'existant. L'Autorité rappelle notamment que pour être efficaces, les VPE doivent être définis jusqu'à une altitude de 3000 mètres.

Le rapport constate en revanche une avancée réelle du côté de l'information fournie par les aéroports sur les trajectoires des appareils, sauf pour les plateformes de Roissy et Orly, ainsi qu'une diminution sensible du nombre d'avions en infraction, et ce particulièrement pour la zone d'intervention de Aéroports de Paris (ADP), qui représente à lui seul 90% des dossiers. Pour l'ACNUSA, c'est le fait de la diminution du trafic qui a touché l'ensemble des aéroports français, mais aussi du meilleur respect en région parisienne des procédures de décollage dites « de moindre bruit ». Les nombreuses interventions de guidage de la part des contrôleurs en raison de la récente réorganisation de l'espace aérien en Île-de-France, pourraient elles aussi expliquer cette amélioration.

Néanmoins, pour l'ACNUSA, les autorisations de descente en zone de régulation radar ont souvent pour conséquence des phases de vol en palier, à basse altitude et sur une distance de 50 à 60 km, créant par là même de fortes nuisances. Pour la zone de régulation radar, le rapport recommande l'imposition d'une pente maximale de descente, ainsi que des altitudes minimales de passage, tout en continuant d'encourager les procédures « d'approche en descente continue » (ACNUSA, rapport d'activité 2002).

Activités aériennes militaires

Suite à la réorganisation des armées, l'activité aérienne militaire subit une diminution constante et durable depuis plusieurs années. A titre d'exemple, en 1998, 29 bases avaient une activité stable ou en diminution, alors que seules 9 d'entre elles avaient un nombre de mouvements en croissance. Parallèlement, les nuisances sonores générées par l'activité aéronautique sont source de plaintes de plus en plus fréquentes de la part des riverains d'aérodromes d'État. Il est toutefois difficile d'en recenser précisément le nombre.

Les travaux du groupe de travail dit « BURGER/MOYEN » mis en place par les ministres en charge de la défense et de l'environnement ont abouti à la signature (février 2001) d'un protocole d'accord destiné à formaliser les mesures recommandées dans le groupe de travail, et en particulier la création d'une commission mixte Défense/Environnement, à l'échelon national.

Caractéristiques du bruit des aéronefs militaires

Les différents types d'avions

On peut distinguer trois catégories d'appareils militaires à réaction :

- les avions de transport (ex. le KC 135, qui est un B 707 aménagé à usage militaire) ;
- les avions légers d'entraînement ou d'appui rapproché (ex. l'Alphajet) ;
- les avions de combat (ex. le Mirage 2000, le Rafale).

Les avions de transport sont souvent des versions militaires d'appareils exploités dans le transport civil. Les deux principales possibilités de réduction de bruit (dispositifs atténuateurs de bruit ou re-motorisation) peuvent donc leur être appliquées.

La figure 8 compare les empreintes sonores d'un Mirage 2000, d'un avion commercial biréacteur de 150 places du chapitre 3[55] (ex. A 320), d'un KC 135 quadriréacteurs remotorisé avec des réacteurs CFM 56, d'un KC 135 ancienne génération, d'un Alphajet et d'un Rafale.

L'empreinte sonore standard 90 EPNdB[56] est la zone au sol subissant un niveau de bruit d'au moins 90 EPNdB lors du décollage d'un avion. L'empreinte sonore ne porte que sur un seul événement, c'est l'enveloppe du bruit de l'avion au cours de l'ensemble du déplacement considéré.

[55] Les « chapitre 2 » et « chapitre 3 » renvoient à la classification acoustique internationale des aéronefs (annexe 16 de l'OACI).

La figure fait notamment apparaître l'importance de l'empreinte du Mirage 2000 et sa forme caractéristique d'un niveau de bruit élevé à la source (ici lors d'un décollage avec post-combustion). Il montre également la réduction importante de l'empreinte sonore au décollage du KC 135 après re-motorisation avec un moteur double flux à taux de dilution élevé, témoin des efforts accomplis dans ce domaine.

La spécificité "militaire" en matière de bruit à la source concerne principalement les avions de combat. Les cahiers des charges sur lesquels ont travaillé les constructeurs de jets de combat n'avaient pas, à l'époque de la conception des avions, d'exigence en matière de technologies à moindre bruit. L'empreinte de l'avion de transport KC135/J57 est comparable à celle d'un avion du chapitre 2, comme, par exemple, le Boeing 707.

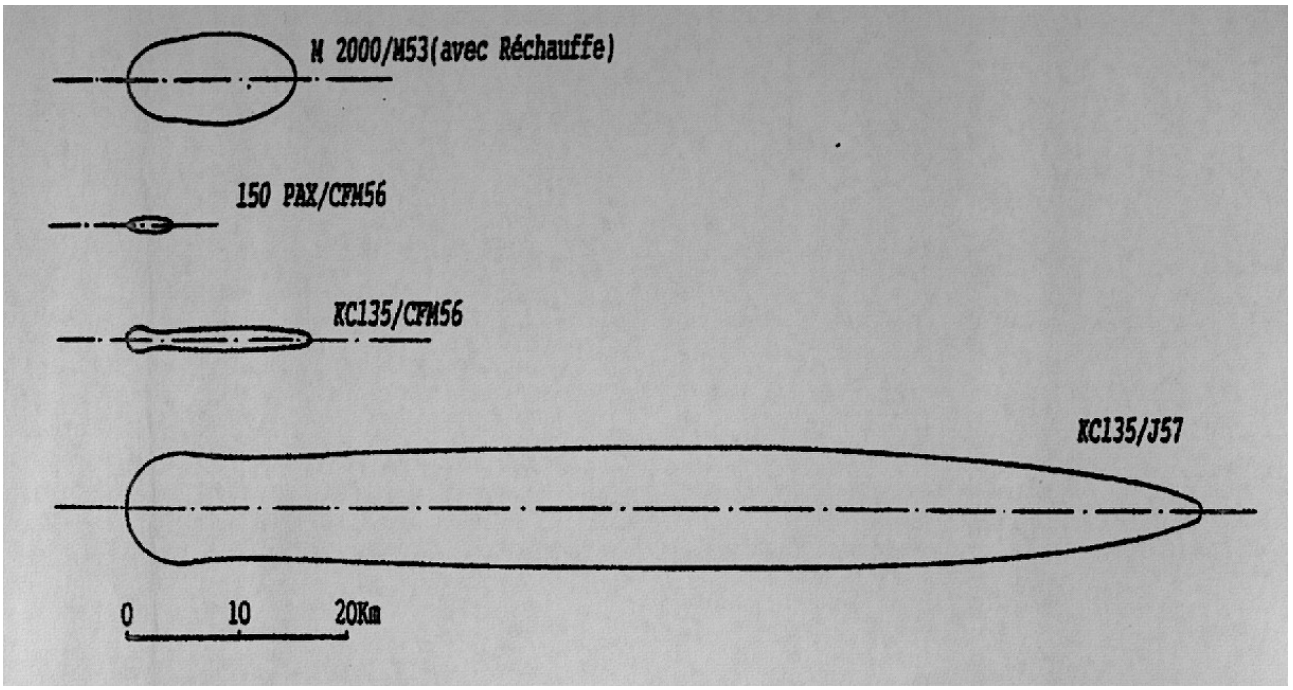


Figure 8 : Comparaison de l'exposition au bruit pour différents types d'avions - Empreinte sonore 90 EPNdB - décollage sans réduction

Source : SNECMA

Caractéristiques des moteurs

Il est possible de caractériser le bruit des moteurs des avions militaires, d'une part selon leurs composantes, d'autre part selon leurs régimes, correspondant aux différentes phases de vol.

Les avions de combat sont équipés de réacteurs simple flux, à vitesse d'éjection des gaz très élevée pour conserver suffisamment de poussée à grande vitesse. Le bruit de jet des réacteurs simple flux

[56] EPNdB : *effective perceived noise decibel*. Ce descripteur de bruit est l'unité de certification acoustique des avions. Il s'agit d'un décibel corrigé pour tenir compte des fréquences particulières aux émissions sonores des avions.

domine les autres composantes de bruit du moteur. Cette caractéristique des avions militaires entraîne trois conséquences défavorables quand ils sont comparés aux avions civils modernes : le niveau de bruit à la source est plus élevé ; l'émission sonore est moins bien répartie : elle est due essentiellement au jet ; la directivité de l'émission est davantage orientée vers le sol.

La contribution la plus forte est celle du bruit de jet, lors du décollage avec post-combustion. Le bruit de jet domine nettement au cours de la phase de décollage, alors que les contributions des différentes composantes du bruit du réacteur sont voisines lorsque la poussée est faible (en phase d'approche). En phase d'approche, il convient également d'ajouter au bruit provenant du réacteur le bruit aérodynamique créé par le frottement de l'appareil dans l'air.

Les procédures

Les procédures utilisées par les pilotes des aéronefs militaires peuvent être classées en 3 grandes catégories : décollage, approche et procédures spécifiques.

Le décollage est effectué soit en post-combustion (le niveau de bruit émis est alors maximal), soit, quand les conditions de sécurité et les délais d'intervention le permettent, à plein régime. La pente de montée est importante (plus de 20%). La montée s'effectue à très grande vitesse. Par contre, selon les missions, elle peut être interrompue à un palier relativement bas (300 mètres par exemple), ce qui provoque un effet négatif en termes de gêne sonore. L'étendue du territoire touché par un niveau de bruit important dépend de l'ensemble de ces facteurs.

L'approche est effectuée soit de façon classique, aux instruments (en suivant une pente de l'ordre de 3°, avec un régime moteur adapté, ce qui se traduit par un bruit de jet faible), soit en « break », avec un palier à 150 mètres environ au-dessus de la piste suivi d'un tour de piste précédant l'atterrissage. Dans ce dernier cas, l'effet en termes de gêne sonore est très négatif.
Le niveau de bruit émis lors de la phase d'approche est très inférieur à celui émis lors du décollage. Cependant les avions évoluent à des altitudes faibles, pendant une longue descente, et les territoires touchés par le bruit sont importants. La gêne ressentie par les riverains situés sous les trajectoires d'approche est très sensible aux variations du régime moteur. C'est le cas notamment lors des appontages simulés sur piste.

La description du bruit des aéronefs militaires doit également tenir compte de procédures spécifiques, qui peuvent se révéler gênantes pour les riverains. Sont notamment prises en compte dans les simulations d'étude de gêne sonore :

- les simulations d'attaque terrain (descente rapide et survol à basse altitude de la base) ;
- l'entraînement à l'appontage (descente classique, remise de gaz sur la piste, atterrissage en break).

Niveaux d'exposition observés

Les plaintes concernent essentiellement une demi-douzaine de bases[57]. Très peu de données sont accessibles concernant les niveaux d'exposition aux bruits des avions à réaction militaires qui dépendent du type d'évolution suivi par les avions (voltige, survols à basses altitudes…).

Les mesures sur sites montrent que les avions de combat se distinguent notamment par le temps d'exposition[58] relativement court par rapport à celui des avions civils. Dans les intervalles de temps encadrant le moment de niveau de bruit maximum, le rapport niveau de bruit moyen / niveau de bruit maximum est également supérieur dans le cas des avions civils.

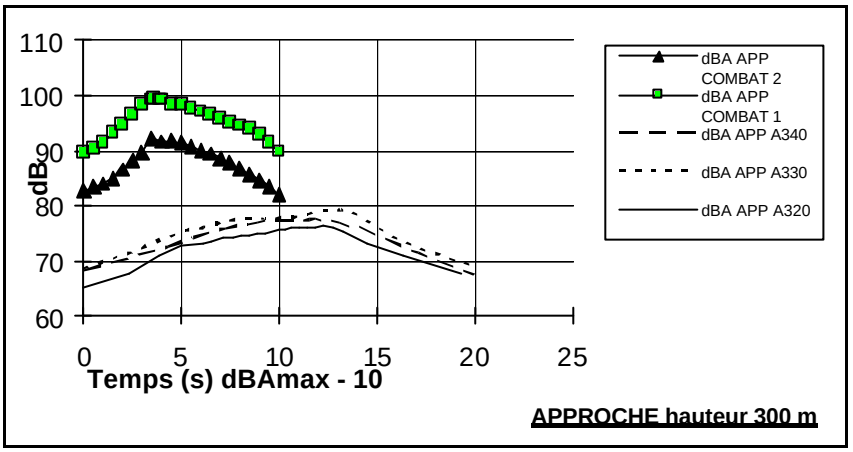


Figure 9 : Durée d'émergence des bruits d'avions civils et militaires - Source STNA

Prévention des nuisances, maîtrise de l'urbanisme

A l'instar du domaine civil, les plans d'exposition au bruit (Articles L 147-1 à 8 du code de l'urbanisme) autour des bases militaires sont destinés à permettre un développement maîtrisé de l'urbanisation sans exposer de nouvelles populations au bruit. Documents d'urbanisme, les PEB hiérarchisent les conditions d'utilisation des sols exposés aux nuisances dues au bruit des avions en fonction des zones (A, B, C voire D) qui le composent.

[57] Les bases de BAN Landivisiau 26 000 mouvements (mvts) en 1998 dont 2400 la nuit, 7 500 simulations d'appontage (ASSP), les ASSP de nuit étaient répartis sur une trentaine de nuits ; BA 102 Dijon 35 000 mvts en 1998 contre 38 000 en 1992 ; BA 705 Tours 34 000 mvts en 1998 contre 50 000 en 1990 ; BAN Hyères le Palyvestre 28 000 mvts en 1997 contre 44 000 en 1992 ; BA 115 Orange Cartitat 33 000 mvts en 1998 contre 41 000 en 1987.

[58] On qualifie de temps d'exposition la durée pendant laquelle le niveau de bruit est compris entre niveau maximum - 10 dB et niveau maximum.

La réduction des nuisances sonores

La réduction des nuisances sonores repose sur la recherche d'aménagements aux activités des bases aériennes susceptibles de réduire ces nuisances tout en étant compatibles avec les missions des forces armées[59]. Ces aménagements sont le fruit de la recherche du meilleur compromis entre le niveau sonore et la durée pendant laquelle le bruit est perçu, tout en ne portant pas atteinte à la sécurité des vols. Il s'agit de limiter et maîtriser l'activité aérienne de nuit aux missions nécessaires au maintien de la capacité opérationnelle des équipages.

Des améliorations dans les procédures de pilotage à moindre bruit sont recherchées avec le concours des pilotes et des contrôleurs afin d'assurer un maximum de garantie au plan de la sécurité des vols (augmentation des pentes ou relèvement de l'altitude des paliers durant la phase de décollage ou d'approche, limitation de la vitesse en tour de piste, sélection de zones de survols les moins densément peuplées, limitation du recours à la post-combustion…)

Au sol, la construction de merlons, le déplacement des zones d'essais moteurs et le renforcement de leurs systèmes d'insonorisation ainsi que l'optimisation des simulateurs de vol pour l'entraînement des pilotes sont recherchés.

Dès 1996, l'armée de l'air a demandé au constructeur d'étudier des solutions techniques visant à diminuer le niveau sonore des Tucano (monomoteur d'entraînement à hélice et à turbopropulseur). Des solutions de diminution du bruit sont étudiées comme l'essai d'une hélice quadripale, non concluant ; la conception et le développement d'une hélice spécifique

I-3-1-3) Bruits et vibrations liés aux transports sur voies ferrées

Étonnamment, la connaissance des expositions des riverains aux bruits ferroviaires est très faible.

Métropolitain

Pour ce qui concerne le métro, l'usure des rails et des roues, notamment sur les voies en courbe, entraîne une augmentation des vibrations générées par le roulement. En volume fermé (souterrain), le bruit de roulement se réverbère sur les parois des tunnels souterrains et la transmission du bruit est favorisée à l'intérieur des véhicules.

Par ailleurs, le métro circulant sur fer engendre plus de bruit de roulement (contact roue/rail) qu'un métro circulant sur pneumatique.

Dans le cas francilien, sur un linéaire total de 350 km de lignes, le réseau exploité par la RATP comporte près de 170 km de sections en tunnel, sources de nuisances vibratoires et de bruits

[59] Des projets de chartes de qualité de l'environnement sonore sont élaborés par les commandants de 26 des 41 bases aériennes citées dans le rapport « BURGER/MOYEN » : 16 concernent l'armée de l'air, 5 la marine nationale et 5 l'armée de terre. Deux chartes ont d'ores et déjà été signées (bases de Reims-Champagne et Orange-Caritat). Y sont abordés la définition des moyens ou procédures à mettre en œuvre pour parvenir à une réduction sensible du bruit.

solidiens transmis par le sol et le bâti. De plus, le métro de Paris est particulièrement sinueux : un tiers du réseau est en courbe et 50% des courbes ont un rayon inférieur à 150 mètres. Cette situation, qui entraîne des nuisances sonores, rend complexes les solutions à mettre en œuvre ; la difficulté de conception des trains pour assurer leur inscription dans ces courbes est renforcée.
Le service Acoustique et Vibration de la RATP agit sur la conception des infrastructures, la définition du matériel roulant et la maintenance. Les moyens mis en œuvre au sein de la RATP pour lutter contre les nuisances sonores sont présentés en annexe de ce rapport (Annexe 2).

Trains interurbains

Les principales sources de bruit des trains sont les bruits de roulement, prépondérants jusqu'à une vitesse de 320 km/h environ, et les bruits d'origine aérodynamique. Nous présentons en annexe de ce rapport les connaissances actuelles sur ces différents types de bruit (données SNCF), ainsi que les moyens à court et moyen terme de les réduire (Annexe 3).

Bruits solidiens et vibrations

- Les phénomènes vibratoires

Principalement les trains, mais aussi les véhicules lourds sur pneus dans certaines conditions (chaussée en mauvais état) génèrent des vibrations dans l'infrastructure considérée (route ou voie ferrée) ; les vibrations sont principalement causées par les irrégularités d'état de surface dans le contact roue-rail des transports ferroviaires mais peuvent aussi provenir de discontinuités (appareil de voie sur une ligne ferroviaire, des nids de poule dans une chaussée, etc.). Ces vibrations se transmettent au sol et se propagent dans le sol avec des longueurs d'onde et une atténuation en fonction de la distance qui dépendent du sol considéré et de la fréquence d'excitation. Plusieurs types d'ondes sont générés dans le sol, qui excitent ensuite les fondations (structure enterrées) des bâtiments situés à proximité et se transmettent à l'ensemble de la structure de ces bâtiments produisant alors soit des vibrations soit, par rayonnement, un bruit qualifié de solidien. Plusieurs types d'ondes sont générés dans les structures des bâtiments et interagissent, mais seules les ondes de flexion rayonnent du bruit.

- Les effets des vibrations

Plusieurs effets des vibrations concernent soit l'occupant, soit des équipements sensibles dans le bâtiment, soit le bâtiment lui-même.

- Perception des vibrations (1 Hz à 80 Hz) : l'individu ressent tactilement les vibrations.
- Perception du bruit solidien (25 Hz à 250 Hz) : l'individu entend le bruit rayonné par les vibrations des structures du local où il se trouve.

- Effet sur des équipements sensibles (2 Hz à 500 Hz) : les vibrations peuvent perturber le fonctionnement de l'équipement ; les niveaux vibratoires provenant de sources internes au bâtiment (marche des individus, porte qui claque, équipement de climatisation…) sont souvent supérieurs aux niveaux générés par les transports terrestres.
- Effet sur les bâtiments (1 Hz à 500 Hz) : des niveaux vibratoires très élevés peuvent provoquer des dommages au bâtiment lui-même (second œuvre d'abord, parfois même gros œuvre) ; ces forts niveaux peuvent être atteints en phase de chantier d'une infrastructure, mais ne sont pratiquement jamais atteints en phase d'exploitation.

Ce sont donc généralement les effets de perception des vibrations et du bruit solidien par le riverain qui déterminent les protections à mettre en œuvre pour le confort des occupants.

- Les protections

Des protections peuvent être préconisées soit au niveau des voies ferrées, soit au niveau des bâtiments. Plusieurs systèmes existent au niveau des voies ferrées (traverses sur chaussons, tapis sous ballast…) et au niveau des bâtiments (séparation du bâtiment de ses fondations au moyen soit de ressorts, soit de plots élastomères) ; le fabricant de la protection ne dispose pas toujours ni du modèle permettant d'estimer correctement la performance de son système dans les conditions réelles d'utilisation, ni de toutes les caractéristiques des éléments nécessaires à ce modèle.

- Les besoins en termes de connaissances

Dans une étude d'impact vibratoire, les futurs niveaux vibratoires et sonores (bruit solidien) doivent être estimés et comparés à des limites à ne pas dépasser pour le confort des occupants ; en cas de dépassement, des protections adaptées doivent être mises en œuvre.
Il n'existe actuellement pas de réglementation en France (ni même de recommandation) qui fixe ces limites. Il n'y a pas non plus de normes françaises ou européennes spécifiques aux vibrations et bruit solidien des transports terrestres, et qui définissent la manière de mesurer les vibrations (que ce soit au sol en façade de bâtiment ou dans les habitations) ; la manière de mesurer le bruit dans les locaux (les normes courantes ne sont pas applicables aux basses fréquences du bruit solidien) ; les indices appropriés.

Les méthodes de prévision permettant d'estimer les niveaux vibratoires et sonores doivent prendre en compte les phénomènes de génération des vibrations, de propagation dans le sol vers les bâtiments, d'interaction vibratoire entre le sol et les fondations de bâtiment, de propagation des

vibrations des structures enterrées aux structures habitées (généralement au-dessus du sol), et enfin du rayonnement en bruit solidien.

Les méthodes de prévision purement empiriques sont forcément très limitées. Les données qui servent de base à ces méthodes doivent être mesurées correctement, ce qui nécessite, d'une part, une connaissance suffisante des phénomènes physiques mis en jeu et, d'autre part, de disposer d'un modèle.
Des modèles physiques de génération de vibrations ferroviaires existent à différents niveaux de complexité, prenant en compte le sol, le système de pose de voie, le contact roue/rail, le comportement dynamique du train lui-même, la vitesse de déplacement... ; il n'est pas sûr que les modèles les plus complexes soient opérationnels, et surtout que toutes les données d'entrée nécessaires soient disponibles.

La propagation des vibrations dans le sol est la partie probablement la mieux connue : des modèles physiques de sols multicouches existent, ainsi que des méthodes sophistiquées de caractérisation des sols qui permettent souvent de caler des modèles de sol simplifiés équivalents à un sol réel plus complexe.
Les phénomènes d'interaction vibratoire sol/structure et de propagation des vibrations dans les structures sont probablement les plus difficiles à modéliser et à caractériser. Une des difficultés rencontrées est la présence de plusieurs types d'ondes mises en jeu à la fois dans les sols et les structures excitées et la présence de plusieurs éléments de bâtiment participant à la propagation (parois, poteaux, dalles situés entre les structures enterrées mises en vibration par le sol et les locaux habités au-dessus du sol). Aussi, peu de modèles opérationnels existent, les plus avancés étant sans doute les modèles très simplifiés en deux dimensions.

Réglementation
Les textes d'application de la loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 concernant, d'une part la limitation du bruit des infrastructures nouvelles et des modifications significatives des infrastructures existantes et, d'autre part, le classement sonore des infrastructures de transports terrestres, constituent aujourd'hui le cadre de référence pour la prévention des nuisances sonores subies par les riverains des voies ferroviaires. La circulaire interministérielle du 28 février 2002 relative à la politique de prévention et de réduction du bruit ferroviaire précise les modalités à

suivre pour éviter les nuisances sonores causées par les voies ferroviaires. Cette circulaire rappelle le rôle des DRE et DIREN pour l'élaboration des projets ferroviaires[60].
L'article 15 de la loi n° 92-1444 prévoit le recensement des zones les plus bruyantes, les " points noirs bruit ". L'arrêté du 30 mai 1996 définit les modalités de classement acoustique des infrastructures ferroviaires, établi par les Préfectures, et prévoit leur inscription dans les documents d'urbanisme, les maîtres d'ouvrage des bâtiments d'habitation neufs construits dans les secteurs affectés étant tenus de procéder aux isolations adéquates.

Dans le domaine des nuisances vibratoires, il n'existe à ce jour aucune norme ou réglementation en France ou en Europe.

Pour les infrastructures nouvelles ou ayant subi des modifications significatives, l'arrêté du 8 novembre 1999 issu de la loi bruit fixe la limitation du bruit ferroviaire entre 60dB(A) et 65dB(A) selon l'usage et la nature des locaux.

Par ailleurs, il n'existe pas de *valeur-limite* pour le niveau d'émission de bruit des matériels roulants ferroviaires, mais seulement des *normes de mesurage* du bruit émis, dont la mise en œuvre est lourde et complexe, car elle suppose une connaissance fine des rugosités des rails et des roues. Les modes ferroviaires urbains feront l'objet dans les prochaines années de spécifications européennes d'interopérabilité incluant un niveau de bruit maximum émis par les matériels roulants.

I-3-1-4) Réglementation relative aux nuisances sonores des véhicules nautiques à moteur

Niveaux sonores des bateaux péniches et canots à moteur
D'une façon générale, l'échappement libre des moteurs est interdit sur les voies fluviales, en particulier dans la traversée des agglomérations, et leur niveau sonore ne doit pas dépasser le seuil au-delà duquel serait provoquée une gêne ou un danger pour les riverains (réglementation sur les bruits de voisinage).

Un décret en date du 17 avril 1934 prévoit que l'échappement du moteur des bateaux et canots « *doit être rendu silencieux par un dispositif approprié* ». Plus précisément, l'arrêté du 20 mai 1966 précise que « *le bruit produit par le moteur ne doit pas, mesuré à 25 mètres, dépasser 75 dB(A)* ».

[60] Les DRE et DIREN doivent en particulier guider l'élaboration du dossier d'impact acoustique produit par le maître d'ouvrage. Avec les DDE elles interviennent également dans la politique de résorption des points noirs.

Ce même arrêté impose à chaque constructeur un certain nombre de vérifications avant la mise en service ; une notice doit prévoir les dispositions adoptées pour l'installation des silencieux.
Sur le plan européen, la directive 82/714/CEE du 4 octobre 1982 réglemente le bruit des bateaux de navigation intérieure dont le port en lourd est de 15 tonnes et plus. Elle impose la même règle que celle déjà en vigueur en France.

Signaux des bateaux de navigation intérieure

Les signaux sonores sont réglementés par l'arrêté du 16 avril 1975. Cette réglementation régit les bateaux de navigation intérieure, les canots à moteur et les navires de mer empruntant les voies de navigation intérieures. Elle met en place des prescriptions techniques pour les avertisseurs sonores et fixe une limite du niveau sonore de ces derniers.

Isolation phonique des navires de mer

La loi 83-581 du 5 juillet 1983 impose que l'emplacement et la disposition des locaux affectés à l'équipage et aux passagers permettent d'assurer une protection contre le bruit[61].
Les engins de plage motorisés sont visés par la loi du 5 juillet 1983 depuis la modification introduite à l'article 1er en 1990. L'arrêté du 23 novembre 1987 modifié par l'arrêté du 5 juillet 1989 (J.O., 25 juillet) prévoit, pour leur approbation, des prescriptions techniques parmi lesquelles figure une limite du niveau sonore, 80 dB(A) à une distance de 7,5 mètres.

Signaux sonores émis à l'approche des côtes françaises

Les signaux sonores émis à l'approche des côtes françaises ont fait l'objet de la Convention de Londres du 20 octobre 1972, publiée en France par le décret modifié numéro77-733 du 6 juillet 1977.. En application de l'arrêté du 7 juin 1979, tous les moyens de signalisation acoustique des navires doivent être d'un type approuvé. Un arrêté du ministre des Transports du 7 août 1978 subordonne au respect des normes inscrites dans cette convention l'approbation des appareils de signalisation des navires de mer.

Bruits divers émis par les navires dans les ports

La réglementation de la circulation dans les ports, des opérations diverses de chargement, d'entrée et sortie dans les cales sèches, etc., est fixée par chaque direction de port autonome.

[61] Un arrêté d'application du décret 84-810, du 23 novembre 1987 complété par l'arrêté du 5 juillet 1989 précise les dispositions auxquelles doivent satisfaire les navires et leurs équipements.

Les nouvelles exigences acoustiques des bateaux de plaisance

La directive 2003/44/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 juin 2003 modifie la directive 94/25/CE concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives aux bateaux de plaisance. La réforme introduit de nouvelles exigences pour les bateaux de plaisance et les véhicules nautiques à moteur en matière d'émissions sonores.

Les bateaux de plaisance munis d'un moteur in-bord ou mixte sans échappement intégré, les véhicules nautiques à moteur, les moteurs hors-bord et les moteurs mixtes avec échappement intégré doivent être conformes aux exigences essentielles suivantes en matière d'émissions sonores.

1. Ils doivent être conçus, construits et montés de telle sorte que les émissions sonores mesurées conformément aux essais définis dans la norme harmonisée ne dépassent pas des valeurs limites fixées en fonction de la puissance du moteur, avec une tolérance de 3dB pour les moteurs multiples.

2. Outre le recours aux essais de mesure de niveau sonore, les bateaux de plaisance munis d'un moteur in-bord ou mixte, sans échappement intégré, sont réputés conformes à ces exigences sonores si leur nombre de Froude est = 1,1 et leur rapport puissance/déplacement est = 40 et si le moteur et le système d'échappement ont été montés conformément aux spécifications du fabricant du moteur.

3. On calcule le nombre de Froude en divisant la vitesse maximale du bateau V (m/s) par la racine carrée de la longueur de la ligne de flottaison lwl (m) multipliée par une constante gravitationnelle donnée ($g = 9{,}8\ m/s^2$) :

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{(g.Lwl)}}.$$

On calcule le rapport puissance/déplacement en divisant la puissance du moteur P (kW) par le déplacement du bateau.

$$D\,(t) = \frac{P}{D}$$

4. Au lieu des essais de mesure de niveau sonore, les bateaux de plaisance munis d'un moteur in-bord ou mixte sans échappement intégré sont réputés conformes à ces exigences sonores si leurs paramètres de base sont identiques à ceux d'un bateau de référence certifié ou se rapprochent de ces paramètres dans la limite des tolérances spécifiées dans la norme harmonisée.

5. On entend par « bateau de référence certifié » un ensemble spécifique constitué d'une coque et d'un moteur in-bord ou d'un moteur mixte sans échappement intégré dont la conformité aux

exigences en matière d'émissions sonores, lorsque mesurées conformément au point 1.1 de la directive, a été établie, et dont l'ensemble des paramètres conceptuels de base et des mesures du niveau sonore ont été inclus ultérieurement dans la liste publiée des bateaux de référence certifiés.

6. Pour les moteurs fixes, le manuel du propriétaire exigé à l'annexe I de la directive doit inclure les informations nécessaires au maintien du bateau et du système d'émission dans un état qui, dans la mesure du possible, assurera la conformité avec les valeurs spécifiées de limite sonore lors d'une utilisation normale.
Pour les moteurs hors-bord, le manuel du propriétaire exigé à l'annexe I, partie B, point 4, doit fournir les instructions nécessaires au maintien du moteur hors-bord dans un état qui, dans la mesure du possible, assurera la conformité avec les valeurs spécifiées de limite sonore lors d'une utilisation normale.

I-3-1-5) Conclusion

Sur un plan curatif, la lutte contre le bruit des transports terrestres n'apparaît pas suffisante à ce jour, du fait de la faiblesse des moyens mis en œuvre, pour améliorer notablement la situation et réduire l'exposition des riverains. En matière de résorption des points noirs et d'isolation des logements il faut attendre d'observer les moyens qui seront effectivement déployés suite à l'annonce faite le 6 octobre 2003 d'augmenter considérablement les montants alloués à l'aide à l'insonorisation des habitations[62].

De telles opérations, nécessaires, voient en outre leurs effets partiellement annulés par la hausse constante des trafics. La prévention apparaît donc comme une solution moins coûteuse.

[62] Rappelons que 50 000 logements considérés comme « points noirs » des réseaux routier et ferroviaire doivent être traités en 5 ans et près de 50 millions € peuvent être engagés chaque année sur le budget des ministères en charge de l'équipement, de l'environnement et de la ville en complément des financements provenant des CL. En matière de bruit aérien, 8800 logements doivent être traités par an, contre 3 000 précédemment ; la taxe affectée à ces travaux d'insonorisation doit augmenter de 17 à 55 millions € par an.

I-3-2) Bruits dans les moyens de transports

Les évaluations de l'exposition sonore individuelle à l'intérieur des véhicules sont rares. Nous citons ici quelques études ayant pour objectif d'évaluer l'exposition sonore de volontaires utilisant dans différents modes de transport durant 24 heures.

Une première étude conduite à Paris en 2002 cherchait à évaluer l'exposition sonore de 65 parisiens « représentatifs » au cours d'une journée « classique ». Cette enquête montre que les déplacements constituent l'activité la plus bruyante après les loisirs et que le bruit y est perçu comme la première source de gêne, avant les odeurs et la promiscuité. Elle indique que le niveau sonore d'exposition le plus élevé concerne le métro avec des niveaux mesurés de 72 à 82 dB(A)) (Larnaudie M., 2002).

Par ordre croissant de niveau sonore moyen d'exposition, l'étude donne la mesure suivante :
LAeq de 67 à 87 dB(A), par mode : Bus < RER < voiture / marche / vélo < métro

Mais les niveaux sont assez variés et les comparaisons entre modes difficiles. La variabilité est en effet importante selon l'heure, l'ouverture ou non de la vitre en automobile (majoration d'environ 5 dB(A) lors de l'ouverture de la vitre conducteur), le type d'axes empruntés, le niveau sonore de l'auto- radio (niveau augmenté de 2,5 à 3 dB(A) lors de l'écoute de la radio), des discussions, etc.

Une étude similaire issue des services de qualité de l'ambiance de la Ville de Madrid (Direccion de la Calidad Ambiental, 2001), concernant 20 personnes réalisant 5 fois l'expérience, indique en moyenne les niveaux observés suivants :

	Bus	Voiture particulière	À pied	Métro
LAeq	72	74	78	79,5

Dans les deux études, à l'intérieur des véhicules, le niveau de bruit en bus est incontestablement inférieur au niveau en voiture (ce qui n'est pas le cas à l'extérieur des véhicules) et le niveau à l'intérieur du métro est supérieur à celui des autres modes de transport.

Une seconde étude a été menée en région parisienne en 2002-2003 pour le Service technique de l'écologie urbaine, service rattaché à la Direction de la protection de l'environnement de la ville de Paris en 2003. Ce travail visait à évaluer l'exposition au bruit de quelques Franciliens au cours des

déplacements[63]. L'étude prenait en compte les principaux modes de déplacement représentatifs de Paris et de la proche banlieue : les véhicules particuliers (VP), les transports en commun (TC), les trajets pédestres, à bicyclette et en deux-roues à moteur.

La méthodologie de l'étude a consisté à faire porter des dosimètres individuels placés près de l'oreille à des volontaires au cours de leurs déplacements domicile-travail (20 déplacements répétés de 8 à 10 fois, soit 195 mesures au total dont 20 rejetées). Étaient particulièrement pris en compte les transports en commun et la voiture particulière.

Concernant le bruit à l'intérieur de l'habitacle d'une voiture individuelle, l'étude relève des facteurs influençant fortement le niveau d'exposition (Occhipinti P., 2003).

Les facteurs de diminution	Les facteurs d'accroissement	Les facteurs de variabilité
- Circulation sur axe dense de circulation (vitesse faible) ; - qualité de l'insonorisation (véhicule très récent) - fermeture de la fenêtre conducteur ; - absence de son dû à l'autoradio (diminution du bruit de fond).	- circulation sur voie rapide (vitesse élevée) ; - écoute de l'autoradio.	- variation de la densité du trafic; - vitesse de circulation.

Tableau 9 : Facteurs influençant la mesure du bruit à l'intérieur de l'automobile en région parisienne

Concernant les déplacements en deux-roues motorisés, l'étude indique que les principaux facteurs influençant l'exposition sont la puissance du véhicule et les grandes vitesses de circulation ; auxquels il faut ajouter une forte hausse des niveaux pour les porteurs de casques dits « légers » laissant un espace entre la tête et le casque. Enfin le bruit émergent est plus élevé pour le cyclomotoriste (+ 5dB(A) par rapport à une moto de moyenne cylindrée).

Pour les cyclistes, le principal facteur est l'horaire de déplacement.

Dans les transports en commun (bus, métro, RER) l'ouverture des fenêtres est un facteur important de hausse de l'exposition ; les niveaux sont maximaux dans le métro (+ 6 dB(A) par rapport au RER).

[63] Le panel de sujets ayant participé à l'expérimentation était très restreint et ne peut être considéré comme représentatif de l'ensemble de la population francilienne.

Les résultats sont les suivants :

Étapes du parcours	Durée moyenne en minutes [min ;max]	LAeq brut DB(A)
Parc	[4 ;6]	64 ± 2
Rues	[6 ;16]	72 ± 3
RER	[13 ;38]	72 ± 6
Métro	[3 ;18]	78 ± 3
Correspondance	[3 ;19]	75 ± 3
Bus	5	75 ± 4

Tableau 10 : Relevés de mesures d'exposition au bruit de voyageurs selon divers modes de transport, en région parisienne

Le trajet en courbe du métro et le roulement en souterrain expliqueraient la différence de niveau sonore moyen avec le RER dont le tracé est quasi-rectiligne et le roulement majoritairement extérieur.

En conclusion, l'étude fait plusieurs constats :

- les trajets en deux-roues motorisés conduisent aux niveaux de bruit estimés les plus forts parmi l'ensemble des modes de transports; les niveaux sont très fluctuants ;
- le piéton marchant en ville est le moins exposé au bruit ;
- les déplacements à vélo soumettent à des niveaux de bruit plus intenses que les transports en commun et la voiture, mais moins que les deux-roues motorisés ;
- à l'intérieur d'un véhicule haut de gamme le bruit perçu est peu fluctuant dans le temps ;
- l'automobile et les transports en commun semblent comparables.

Le bruit perçu au cours des déplacements présente donc des niveaux importants mais la durée d'exposition ne semble pas de nature à provoquer des effets auditifs. En transports en commun, le niveau sonore présente néanmoins un obstacle au suivi d'une conversation sans effort et il provoque une fatigue nerveuse.

I-3-3) Bruits d'origine industrielle

I-3-3-1) Bruits liés aux équipements industriels dans l'environnement général

En matière de bruits liés aux équipements industriels dans l'environnement général, une grande diversité de sources est à considérer. Un continuum de sources fixes peut être décrit, des grands sites industriels jusqu'aux bruits des activités artisanales ou commerciales. Certaines sources, jugées polluantes et pas seulement par le bruit, relèvent d'une réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement. D'autres sources, qui sont commerciales mais de nature

festive ou sportive (concerts en plein air, stands de tir, circuit, karting, terrains de jeux,…), peuvent être qualifiées de volontaires et sont traitées dans le chapitre I-3-4.

Des sources d'un autres type ne sont pas à proprement parler industrielles et se caractérisent par leur caractère temporaire ou mobile. Il s'agit de l'utilisation d'équipements et d'engins bruyants sur les chantiers de construction, publics ou privés, ainsi que pour l'entretien des jardins, des espaces verts, de la voirie et pour la collecte des déchets.

Caractéristiques particulières des sources de bruits

Il est difficile de dégager des caractéristiques générales des sources de bruits industrielles du fait de leur diversité et du fait que la physique des phénomènes acoustiques ne dépend pas de la finalité des sources.

Cependant, des facteurs aggravants peuvent être relevés :

- certaines sources, permanentes (jour et nuit), émergent beaucoup la nuit, lorsque les autres activités diminuent, et touchent à la qualité du sommeil ;
- le bruit d'origine industrielle trouve souvent son origine dans l'utilisation de nombreuses machines et équipements, autant de sources qui s'ajoutent et induisent des bruits complexes ;
- certaines sources, de niveau acoustique très élevé, même si elles sont temporaires, sont très perturbatrices (chantiers de quelques mois par exemple) ;
- une partie du bruit est liée à des modes opératoires (chutes d'objet, ouvertures de portes, décharges brutales d'air comprimé, …) ou est produite à des horaires perturbateurs (tôt le matin, par exemple) ;
- certains facteurs, reconnus comme aggravants de la gêne, sont plus souvent présents en cas de sources industrielles, comme l'impulsivité du bruit, le changement de niveau important à une échelle de temps courte, inférieure ou de l'ordre de la seconde[64] ;
- a une échelle de temps plus importante, des bruits d'origine industrielle se caractérisent par des caractères intermittents, discontinus ou imprévus qui ajoutent à la gêne ;
- les bruits à tonalité marquée sont aussi très répandus. Les machines sont très souvent des machines tournantes (moteurs, ventilateurs, …) susceptible de générer de l'énergie à des fréquences particulières liées à la vitesse de rotation. On parle alors de tonalité mais le langage courant est plus précis : ronronnements ou sifflements, par exemple. Cette prédominance de certaines fréquences constitue un autre facteur aggravant ;

[64] L'exemple des marteaux piqueurs est souvent cité mais d'autres dispositifs encore plus puissants existent sur les chantiers : brise roche hydraulique et batteurs de palplanches, en particulier.

- il existe aussi des facteurs psychologiques spécifiques. Le sentiment que l'industriel peut payer, peut agir, cela peut encourager la plainte, contrairement à d'autres sources de bruit dans l'environnement qui sont mieux acceptées car ressenties comme inéluctables (bruit des transports) ou dont la personne gênée pourrait être la source (pollueur pollué). Ces facteurs psychologiques sont difficiles à analyser et sont souvent liés à plusieurs nuisances concomitantes ;
- les activités industrielles sont aussi liées à des déplacements de véhicules, sources de bruit, à l'intérieur du site (chariots élévateurs) ou à l'extérieur (livraisons, mouvements de personnels). Ceci n'est cependant pas spécifique aux bruits industriels ;
- enfin, de nombreux bruits industriels sont émis par des machines très puissantes, souvent à l'origine de vibrations.

Moyens de diminution des niveaux d'exposition

Il y a autant de pistes de progrès qu'il y a de diversité de sources. On peut cependant citer les plus importantes.

- Le traitement à la source. Il peut s'agir d'un changement de machine, de sa motorisation, d'une meilleure maintenance ou d'un simple changement de vitesse mais aussi d'une intervention plus drastique, du type changement de technologie (par exemple utilisation de pinces découpantes à la place d'un brise roche pour démolir des ouvrages en béton ; traitement efficace mais coûteux).
- En restant près de la source, un aménagement des processus de fabrication, de manutention, de méthode de travail ou des comportements permet des gains.
- Une optimisation du montage des machines, découplages (plots élastiques, *silent blocs*), liaison à des structures lourdes et rigides (et non à des cloisons légères dont les vibrations sont sources d'émission). Ajouter des amortissements est aussi favorable.
- En s'éloignant de la source, il est possible d'avoir des actions sur la propagation. La première est le capotage de la source. Il est ensuite possible de corriger les propriétés acoustiques du local en lui ajoutant de l'absorption et en créant des obstacles. Si la propagation est solidienne, il faut là aussi, rajouter des découplages, des discontinuités et de l'amortissement.
- En s'éloignant plus, une action consiste à renforcer l'isolement des parois, murs et toitures, du local contenant la source, si ce local existe. La conception même du bâtiment, de sa structure, peut s'avérer déterminante.
- Le traitement des fuites est également possible, souvent sous la forme de silencieux sur les bouches d'aérations et autres cheminées.

Enfin, et d'autant plus si la source de bruit n'est pas dans un local, un mur antibruit constitue une dernière ligne de défense pour protéger l'environnement. Cette action a cependant un rapport prix sur efficacité peu convainquant.

Le traitement du logement de riverains, amélioration de l'isolement vis à vis de l'extérieur, est la toute dernière action possible mais, à de nombreux égards, elle n'est pas satisfaisante.

Aspects spécifiques aux matériels utilisés à l'extérieur.

Les matériels utilisés à l'extérieur, engins de chantier, équipements de voirie et matériels d'entretien des espaces verts, sont couverts par une réglementation (cf. I-3-3-1) Aspect réglementaire général au bruit industriel). Pour les rendre moins bruyants, les solutions techniques existent, issues des pistes évoquées ci-dessus ou d'autres domaines connexes comme celui de l'insonorisation des véhicules[65]. Certains moteurs d'engins ne sont pas capotés alors qu'un tel dispositif réduit le bruit d'au moins 10 dB(A).

De fait, l'évolution est maintenant faible voire nulle pour des marteaux piqueurs ou des tondeuses à gazon, pour citer des matériels emblématiques. Les niveaux émis sont les mêmes depuis une vingtaine d'année. Certains freins viennent, outre l'aspect économique qui est général, de caractéristiques un peu plus spécifiques :

- la motorisation est également soumise à la contrainte réglementaire d'émettre de moins en moins de polluants, les deux contraintes n'étant pas techniquement compatibles d'après les motoristes ;
- l'insonorisation par capotage constituant aussi une barrière thermique, le refroidissement du moteur, impose des fuites acoustiques ainsi qu'un ventilateur, lui-même source de bruit ;
- le caractère mobile des matériels peut ne pas supporter les surpoids d'un capotage sans perdre en fonctionnalité et en ergonomie.

La réglementation est actuellement le principal moteur dans ce contexte concurrentiel pour la plupart des matériels de chantier. Il est rare de rencontrer un vendeur qui valorise autre chose que la simple conformité de ses produits dans le domaine du bruit[66]. Les matériels de voirie, à l'inverse, bénéficient du fait qu'ils sont souvent achetés, de manière directe ou non, par une collectivité locale soucieuse du bien-être de ses administrés. Pour ce secteur, la concurrence est un moteur de l'insonorisation.

[65] La meilleure preuve de l'existence de ces solutions réside dans la collecte et la comparaison des niveaux sonores de matériels voisins. Si pour certains matériels les niveaux sont très resserrés, pour d'autre la dynamique est d'une dizaine de dB(A) (petits groupes électrogènes par exemple).

[66] Il existe cependant une exception avec certains engins de terrassement qui, s'ils ont une marge de 5 dB(A) avec les limites réglementaires, sont récompensés en Allemagne par une marque de qualité (l'ange bleu) et peuvent être utilisés sur certains chantiers ou à certains horaires plus sensibles. D'autres pays, leurs accordent des avantages fiscaux, comme un amortissement plus rapide.

Aspect réglementaire général spécifique au bruit industriel.

La puissance publique peut imposer une diminution des niveaux d'exposition aux bruits industriels par un durcissement de la réglementation. Le rapport de Philippe Ritter fait des propositions sur le bruit de voisinage (Ritter P., 2002) dont certaines s'appliquent au bruit industriel.

PROPOSITION 11 : publier au plus vite les décrets portant nomenclature des installations bruyantes et fixant les modalités d'applications en matière de prescriptions générales et d'autorisation.L'article 6 de la loi bruit de 1992 introduit la notion de prescriptions spéciales, voire d'autorisation préalable, pour des activités susceptibles de présenter des dangers ou de causer des troubles dans le champ des activités industrielles, commerciales et sportives. A cet effet devait être établie par décret en Conseil d'État et après avis du Conseil national du bruit une nomenclature des activités bruyantes. Des prescriptions devaient ensuite être fixées. Par exemple, une procédure de déclaration ou d'autorisation par un décret spécifique aux chantiers devait être mise en place. Seuls les établissements diffusant à titre habituel de la musique amplifiée ont, à ce jour, fait l'objet de dispositions particulières. Il apparaît qu'à ce jour cette proposition a été abandonnée.

PROPOSITION 1 : abaisser la valeur limite de bruit ambiant du décret du 18 avril 1995 de 30 à 25 dB(A).

La réglementation fixe à 30 dB(A) le niveau de bruit ambiant mesuré, comportant le bruit particulier, en dessous duquel une nuisance sonore ne peut être établie. Dans les zones très calmes et particulièrement la nuit, il arrive que le bruit ambiant soit inférieur à ce niveau. Il est dans ces conditions possible d'observer de faibles émergences gênantes sans dépasser le niveau de 30 dB(A).

PROPOSITION 2 : diminuer à 6 dB(A) le terme correctif de l'émergence tolérable prévue par décret du 18 avril 1995 pour les bruits d'une durée cumulée inférieure à 10 minutes.

Lorsque l'occurrence d'un bruit perturbateur est faible, par exemple trois ou quatre fois par nuit, ce bruit perturbateur est négligeable dans le calcul du Leq moyen et dans l'émergence réglementée. Le décret de 1995 impose qu'un terme correctif soit appliqué au niveau d'émergence tolérable. Cette correction est inversement proportionnelle à la durée d'émission du bruit perturbateur, elle correspond à établir une moyenne énergétique sur 8 heures. Il peut arriver que des bruits intenses mais très peu fréquents soient considérés comme non nuisants. En période nocturne ils sont cependant susceptibles de provoquer le réveil et être donc très gênants.

La proposition Ritter n'est pas très contraignante. D'autres propositions plus drastiques peuvent être imaginées. L'évaluation du bruit résiduel est difficile car ce bruit est naturellement très fluctuant.

Une petite modification des règles techniques (Norme NF S 31-010) pourrait avoir de grandes conséquences sur l'émergence calculée. Ceci dépasse le cadre du bruit industriel.

PROPOSITION 3 : considérer, en tant que de besoin, les émergences par bande d'octave pour l'évaluation de la gêne dans le cadre du décret du 18 avril 1995

L'utilisation du dB(A) pour l'application de la réglementation est globalement satisfaisante. Cependant, notamment en cas de faible bruit ambiant de nuit, l'émergence calculée en pondération A peut être inférieure au niveau réglementaire tolérable alors que des bruits sont audibles, en fréquences basses en particulier. L'évaluation de la gêne devrait être faite en considérant les émergences par bande d'octave.

Cette réglementation est en cours de révision. Le projet de décret prévoit notamment de répondre aux propositions 1, 2 et 3.

Aspects réglementaires et contrôles

· Bruit des activités économiques non classées

Le texte réglementaire de référence est la loi bruit n°92-1444 du 31 décembre 1992 et ses décrets d'application (codifiée dans le code de l'environnement aux articles L. 571-1 et suivants) et l'article L. 1311-1 du code de la santé publique. Les décrets d'application sont les décrets n° 95-408 (codifiés aux articles R. 1336-6 à R. 1336-10 du code la santé publique) et n° 95-409 du 18 avril 1995. En vertu de l'article L. 1311-2 du code de la santé publique, le décret n° 95-408 peut être complété par des arrêtés préfectoraux ou municipaux ayant pour objet d'édicter des dispositions particulières en vue d'assurer la protection de la santé publique dans le département ou la commune. Même si l'environnement est soumis à plus de nuisances, il est difficile de ne pas laisser se développer de telles activités économiques, créatrices d'emplois, de richesses et d'impôts.

Une partie de la loi Bruit de 1992 vise les activités artisanales, commerciales ou industrielles non classées tels que les ateliers, les garages, les stations de lavages de véhicules, les commerces, les supermarchés. Un cas particulier concerne les chantiers. La loi ne fait pas de différence avec les activités de loisirs, les activités sportives et les lieux diffusant de la musique. Elle conditionne l'infraction à au moins une condition : le dépassement de l'émergence ; éventuellement au non respect de condition de l'exercice de l'activité fixée par une autorité compétente ou par un décret spécifique.

Les règles techniques de mesure du bruit sont les mêmes que celles de l'évaluation du bruit de voisinage pour l'évaluation de l'émergence[67]. L'infraction est constatée lorsque l'émergence du bruit perçu par autrui est supérieure aux valeurs limites admissibles suivantes[68] :

Durée cumulée d'apparition du bruit particulier : T	Emergence limite de jour en dB(A) 7h – 22h	Emergence limite de nuit en dB(A) 22h – 7h
30 secondes < T ≤ 1 minute	**14**	**12**
1 minute < T ≤ 2 minutes	**13**	**11**
2 minutes < T ≤ 5 minutes	**12**	**10**
5 minutes < T ≤ 10 minutes	**11**	**9**
10 minutes < T ≤ 20 minutes	**10**	**8**
20 minutes < T ≤ 45 minutes	**9**	**7**
45 minutes < T ≤ 2 heures	**8**	**6**
2 heures < T ≤ 4 heures	**7**	**5**
4 heures < T ≤ 8 heures	**6**	**4**
T > 8 heures	**5**	**3**

Tableau 11 : valeurs-limites de jour et de nuit pour l'évaluation de l'émergence d'un bruit industriel

De plus, l'infraction n'est pas constituée lorsque le niveau de bruit ambiant mesuré, comportant le bruit particulier, est inférieur à 30 dB(A).

Cas particulier des chantiers :

Il peut y avoir infraction, sans même mesurer les niveaux sonores, si l'un des comportements suivants peut être relevé :

- utilisation de matériels non homologués, ne respectant pas la réglementation sur les engins bruyants utilisés à l'extérieur ;
- non respect des règles d'utilisation prévues pour ces matériels et équipement (par exemple ouverture des capots, modification des régimes moteurs, des silencieux, …) ;
- fait de ne pas prendre de précautions appropriées pour limiter le bruit ;
- comportement anormalement bruyant (critère subjectif).

[67] L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et celui du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements. Ces niveaux s'évaluent en utilisant les règles techniques de la norme NF S 31-010 (1996).

[68] Pour caractériser l'infraction, ne sont concernés par la double condition (dépassement des émergences et non respect des conditions d'exercice fixées par les autorités compétentes) indiquée à l'article R. 1336-6 du code de la santé publique, que les établissements recevant du public et diffusant de la musique amplifiée soumis au décret du 15 décembre 1998, suite à la publication de ce décret.

Les travaux sur la voie publique étant dangereux, ils doivent faire l'objet d'une autorisation par le maire qui peut aussi fixer des contraintes horaires s'il s'agit de travaux de nuit ou à proximité de zones sensibles comme les écoles ou les hôpitaux.

· Bruit des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Il s'agit des installations jugées polluantes et, à ce titre, soumises à un régime spécial qui prend en compte les nuisances sonores. Pour ces installations, non concernées par la loi Bruit de 1992, les procédures relèvent de la compétence des préfets. Le maire peut toutefois infléchir les prescriptions ou fixer des horaires[69].

Une refonte de l'ensemble des règles d'émission sonores des installations classées est en cours. L'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les ICPE, fixant de nouvelles dispositions et une nouvelle méthode de mesurage, en représente la première partie et la plus importante. Des prescriptions similaires seront progressivement adoptées pour toutes les autres catégories d'installations qui ne sont pas visées par cet arrêté, et notamment les activités soumises à déclaration.

· Rappel des dispositions de l'arrêté du 20 août 1985

L'arrêté du 20 août 1985 ne concerne plus aujourd'hui que les installations soumises à déclaration et les installations soumises à autorisation existantes au 1er juillet 1997 : l'applicabilité de l'arrêté est indirecte, à travers les arrêtés préfectoraux individuels.

L'arrêté du 20 août 1985 présente une approche flexible du problème de la nuisance sonore, en mettant en avant son caractère subjectif, variable suivant les personnes ou les situations. Les règles fixées laissent une part d'appréciation possible aux services de l'inspection des installations classées afin que les circonstances particulières à chaque situation puissent être prises en compte.

Aux termes de l'arrêté, il y a « présomption de nuisance » dès que l'une des conditions suivantes n'est pas respectée :

- l'émergence par rapport au niveau sonore initial est supérieure à 3 dB(A) ;

[69] Les prescriptions en matière de limitation des bruits émis par les ICPE, en application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976, reprise au livre V titre 1er du Code de l'environnement, étaient fixées par l'arrêté du 20 août 1985 qui s'appliquait à toutes les installations sans distinction, qu'elles soient soumises à autorisation ou à déclaration. Depuis quelques années, des textes spécifiques à certaines catégories d'activités, et surtout l'arrêté du 1er mars 1993, ont fixé des règles différentes et améliorées en fonction de l'expérience acquise avec l'application de l'arrêté du 20 août 1985.

- le niveau de bruit admissible pour la zone considérée est dépassé.

Si l'installation est située dans un immeuble habité ou occupé par des tiers, les niveaux admissibles de bruit à retenir à l'intérieur des locaux voisins habités ou occupés par des tiers ne doivent pas dépasser les valeurs ci-après :

Type de locaux	Jour	Période intermédiaire	Nuit
Locaux d'habitation, de soins, de repos, d'enseignement	35 dB(A)	30 dB(A)	30 dB(A)
Locaux à activité de type tertiaire	45 dB(A)	45 dB(A)	45 dB(A)
Locaux industriels non bruyants	55 dB(A)	55 dB(A)	55 dB(A)

Dans le cas d'une installation située à l'extérieur d'un immeuble habité ou occupé par des tiers, les niveaux limites de bruit sont déterminés en fonction de la nature de l'urbanisation, à partir d'une valeur de base égale à 45 dB(A), à laquelle on ajoute des corrections pour tenir compte du type de zone (Cz)[70] et de la période horaire (CT)[71].
Pour tenir compte des caractéristiques fréquentielles ou temporelles, qui peuvent aggraver le caractère gênant du bruit, la valeur mesurée doit être pondérée dans certains cas[72]. Les valeurs importantes des corrections, qui induisent toujours une émergence supérieure à 3 dB(A), montrent clairement que cette dernière valeur n'était qu'indicative et ne devait en aucun cas être considérée comme une limite impérative.

Les nouvelles règles internationales, la directive européenne 2002/49/CE et la norme ISO 1996, imposeront à l'avenir des concepts voisins pour le bruit dans l'environnement en général : niveaux de zone (cartographie), période intermédiaire (niveau Lden), corrections pour les sources tonales ou impulsives, alors que nous étions en train de les abandonner en France pour le bruit industriel !

---

[70] On distingue : Zone d'hôpitaux. Zone de repos. Aires de protection d'espaces naturels. Résidentielle rurale ou suburbaine, avec faible circulation de trafic terrestre, fluvial ou aérien. Résidentielle urbaine. Résidentielle urbaine ou suburbaine, avec quelques ateliers ou centres d'affaires ou avec des voies de trafic terrestre, fluvial ou aérien assez importantes ou dans les communes rurales, bourg, villages et hameaux agglomérés. Zone à prédominance d'activités commerciales, industrielles ainsi que les zones agricoles situées en zone rurale non habitée ou comportant des écarts ruraux. Zone à prédominance industrielle (industrie lourde).
[71] Période de jour (pour les jours ouvrables) ; 7 h à 20 h
Périodes intermédiaires :
- pour les jours ouvrables : 6 h à 7 h et 20 h à 22 h
- pour les dimanches et les jours fériés : 6 h à 22 h
Période de nuit (pour tous les jours) : 22 h à 6 h
[72] Si le bruit émis par l'installation est à caractère impulsionnel, la pondération varie de + 3 dB(A) à + 10 dB(A), suivant le degré d'impulsionnalité du bruit. Dans le cas de sons purs, tonalité marquée, elle est égale à 5 dB(A).

· Dispositions applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

L'arrêté du 23 janvier 1997 peut être considéré comme le successeur de l'arrêté du 20 août 1995, bien qu'il ne l'abroge pas et qu'il en restreigne l'utilisation. Son champ d'application est différent et il ne concerne que les installations nouvelles ou modifiées, soumises à autorisation. Ses dispositions sont donc également applicables aux installations existantes qui ont fait l'objet d'une modification autorisée après le 1er juillet 1997.

Les installations soumises à déclaration ne sont pas concernées par cet arrêté, mais il est prévu de les soumettre à des dispositions similaires, dans le cadre de la refonte de la nomenclature des installations classées, aujourd'hui quasiment terminée, qui impose la réécriture de l'ensemble des arrêtés de prescriptions générales applicables à chaque catégorie d'activités soumises à déclaration. Chacun de ces arrêtés contiendra des prescriptions identiques à celles de l'arrêté du 23 janvier 1997, qui, à terme, s'appliquera ainsi indirectement à toutes les installations soumises à déclaration.

L'arrêté du 23 janvier 1997 concerne toutes les installations nouvelles soumises à autorisation dont l'arrêté d'autorisation intervient après le 1er juillet 1997, à l'exclusion de quelques cas particuliers, déjà réglementés par des arrêtés spécifiques[73].

· Les prescriptions de l'arrêté du 23 janvier 1997

L'arrêté du 23 janvier 1997 reprend les principes généraux qui avaient guidé l'élaboration des dispositions de l'article 47 de l'arrêté du 1er mars 1993, notamment en ce qui concerne la prééminence accordée à l'émergence et le mode de détermination des niveaux applicables en limites d'établissement. Il introduit de nouveaux concepts comme les zones à émergence réglementée. Celles-ci combinent les approches "émergence" et "limites d'émission sonore" qui existaient dans l'arrêté du 20 août 1985, en privilégiant le premier critère qui est le seul représentatif de la gêne. Les émissions sonores de l'établissement ne doivent pas générer une émergence supérieure à des valeurs définies en fonction de la période diurne ou nocturne, et aussi selon le niveau de bruit ambiant. Pour garantir cette émergence, l'arrêté préfectoral d'autorisation doit fixer les niveaux de bruit à respecter en limites de l'exploitation, qui sont déterminés par l'inspection des installations

[73] Il s'agit des élevages de veaux de boucherie et/ou de bovins, des élevages de vaches laitières et/ou mixtes et des porcheries de plus de 450 porcs visés par les arrêtés du 29 février 1992, ainsi que des élevages de volailles et/ou de gibiers à plumes visés par l'arrêté du 13 juin 1994 ; de l'industrie du verre visée par l'arrêté du 14 mai 1993 (cependant, par arrêté du 15 novembre 1999 modifiant l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les ICPE et l'arrêté du 14 mai 1993 relatif à l'industrie du verre, l'exclusion de l'industrie de verre a été supprimée à compter du 1er juillet 2000) ; de l'industrie papetière visée par l'arrêté du 6 janvier 1994 ; des exploitations de carrières et des installations de premier traitement des matériaux de carrières visées par l'arrêté du 22 septembre 1994.

classées, en fonction de l'implantation par rapport à l'établissement, des zones où l'émergence est réglementée.

Les valeurs admissibles d'émergence sont les suivantes :

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée (incluant le bruit de l'établissement)	Émergence admissible pour la période allant de 7 h à 22 h, sauf dimanches et jours fériés	Émergence admissible pour la période allant de 22 h à 7 h, ainsi que les dimanches et jours fériés
Supérieur à 35 dB(A) et inférieur ou égal à 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
Supérieur à 45 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

Les niveaux admissibles en limites de propriété sont plafonnés pour éviter la création de nouvelles zones trop bruyantes[74].

Auparavant, les zones géographiques où l'émergence était limitée n'étaient pas définies de manière précise, ce qui créait des difficultés. Ces zones sont désormais clairement définies[75]. De plus, elles sont figées à partir de l'état de l'urbanisation constaté à la date d'autorisation, afin d'éviter que la règle applicable n'évolue au gré de l'apparition de nouvelles constructions, comme c'était le cas avec l'arrêté du 20 août 1985. Elles doivent être précisées pour chaque installation par l'arrêté préfectoral d'autorisation, assurant ainsi une plus grande stabilité juridique à l'exploitant.

Pour les installations existantes modifiées, les zones à émergence réglementée sont définies à la date de l'arrêté autorisant la première modification intervenant après le 1er juillet 1997.

Pour assurer la transition avec les dispositions antérieures, une règle particulière dite « règle des 200 m » est prévue pour les installations existantes modifiées après le 1er juillet 1997. Elle a pour objet de permettre, dans certaines conditions, de ne pas appliquer les valeurs d'émergences admissibles sur la totalité des zones qui ressortent de la définition ci-dessus. Ces dispositions sont au moins aussi protectrices que celles fixées par l'autorisation initiale.

---

[74] Les niveaux admissibles en limites de propriété ne peuvent excéder 70 dB(A) pour la période de jour et 60 dB(A) pour la période de nuit, sauf si le bruit résiduel pour la période considérée est supérieur à cette limite. Ces chiffres constituent une reprise de ceux qui existaient dans l'arrêté du 20 août 1985.

[75] Elles se définissent ainsi :

- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers, existant à la date de l'arrêté d'autorisation de l'installation et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin, terrasse) ;
- les zones constructibles définies par des documents d'urbanisme opposables aux tiers et publiés à la date de l'arrêté d'autorisation ;
- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers qui ont été implantés après la date de l'arrêté d'autorisation dans les zones constructibles définies ci-dessus et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin, terrasse), à l'exclusion de celles des immeubles implantés dans les zones destinées à recevoir des activités artisanales ou industrielles.

Ces règles s'appliquent au bruit global émis par l'ensemble des activités exercées à l'intérieur du périmètre de l'établissement, y compris le bruit émis par les véhicules de transport, les matériels de manutention et les engins de chantier éventuellement utilisés dans l'exercice de l'activité classée.
Dans le cas d'un établissement faisant l'objet d'une modification autorisée, le bruit global est constitué des bruits générés par l'ensemble de l'établissement modifié (comprenant la partie existante).

L'arrêté fixe également une nouvelle méthode de mesure, basée sur la norme NF S 31-010 « Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement – Méthodes particulières de mesurage » (décembre 1996). Une annexe technique fixant les lignes directives en matière de mesurage sert d'interface avec la norme[76].

· Les objets et engins bruyants

Un décret du 23 janvier 1995, en application de la loi bruit de 1992, fixe des prescriptions pour limiter, prévenir et réprimer les nuisances sonores dues aux objets et engins bruyants. Il porte sur :
- les sources de bruit tels que les engins, matériels et machines utilisés ou susceptibles d'être utilisés dans les activités industrielles, artisanales, commerciales, de services et de loisirs. Les appareils de chauffage, de conditionnement de l'air ou les équipements de bureau sont aussi concernés ; mais les nécessaires arrêtés d'application par type de matériels n'ont pas été pris, sauf pour les matériels utilisés à l'extérieur soumis à la directive 2000/14/CE.
- les alarmes audibles sur la voie publique, réglementées et soumises à des homologations;
- les dispositifs d'insonorisation (cf. I-3-4-2).

· Cas des matériels utilisés à l'extérieur soumis à la directive 2000/14/CE :

[76] Les différents niveaux de bruit sont estimés, comme par le passé, par le niveau de pression acoustique équivalent pondéré LAeq, T.
La nouvelle méthode de mesure n'est pas fondamentalement différente de celle fixée par l'arrêté du 20 août 1985. Elle est surtout plus précise, notamment en ce qui concerne le problème de l'échantillonnage et de la représentativité des mesures. Mais la différence la plus notable est l'abandon des coefficients correcteurs à appliquer aux mesures dans le cas où le bruit de l'installation serait à tonalité marquée ou à caractère impulsionnel. Toutefois afin d'éviter des nuisances par des bruits à fréquence dominante, comme les sifflements, leur apparition est limitée à 30 % au plus de la durée de la période de fonctionnement de l'activité.

La directive 2000/14/CE est applicable dans toute l'Europe depuis le 3 janvier 2002. Elle est transcrite en droit français par un arrêté signé le 18 mars 2002 publié au Journal Officiel le 3 mai. Elle concerne une soixantaine de familles de matériels utilisés en extérieur[77].
La réglementation impose d'exprimer le bruit émis par une puissance acoustique (symbole LwA) qui qualifie intrinsèquement l'énergie acoustique émise, contrairement à la pression acoustique (symbole LpA) qui évalue le bruit perçu en une position donnée.

Suivant les matériels, cette directive impose :
- un étiquetage et une limitation du niveau sonore pour une première liste de matériels;
- un simple étiquetage du niveau de puissance acoustique pour une seconde liste.

Quatre annexes de la directive décrivent les procédures possibles pour la mise en conformité. Cette mise en conformité – ou « homologation » -, associée au marquage CE des produits, impose des obligations au fabricant ou à l'importateur[78].

Cette réglementation est évolutive. Après une première phase applicable depuis le 3 janvier 2002, une deuxième au 3 janvier 2006 imposera un abaissement général des limites. Elle pourra ensuite être modifiée tous les quatre ans. Elle vise donc à limiter les nuisances sonores, à étendre l'obligation d'insonorisation progressivement à de nouvelles catégories de matériels, à harmoniser le dispositif réglementaire européen et à promouvoir un véritable étiquetage lié au bruit.

· Contrôle du marché pour les engins bruyants.

Des dispositions existent pour vérifier la bonne application de la réglementation aussi bien dans la réglementation spécifique à la France que dans la réglementation européenne (directive 2000/14/CE : article 5 sur la surveillance du marché et article 9 sur la non-conformité des matériels). De fait ce contrôle du marché reste assez théorique sans prescription quantifiée. Il demande une volonté et des moyens qui font défauts. Toute machine correctement marquée et

[77] Ces 60 familles de matériels sont réparties en trois secteurs : (1) les engins de chantier, les plus nombreux (des plus gros engins de terrassement jusqu'au petit groupe électrogène utilisé par un particulier), la plupart de ces matériels était déjà réglementée précédemment ; (2) les matériels de voirie (bennes à ordure, bacs roulants,...) ; (3) les matériels de jardinage (tondeuses, broyeurs, souffleuses, motoculteurs...).
[78] Ces obligations consistent à : (1) soumettre le matériel à une procédure d'évaluation de la conformité; (2) déterminer le niveau de puissance acoustique garanti et apposer la plaque correspondante ; (3) s'il s'agit d'un matériel de la première liste, soumis à une limite du niveau sonore émis, se faire contrôler par un organisme agréé, notifié suivant la terminologie européenne ; (4) établir une déclaration de conformité et apposer le marquage CE comme pour toutes les directives associées à ce marquage de conformité aux règles de sécurité européennes.

accompagnée de sa déclaration de conformité est présumée conforme (article 7). Le marché libre en Europe (article 6) n'est pas, non plus, favorable, privant du contrôle de la douane.

De plus, la réglementation européenne porte sur la conformité des produits lorsqu'ils sont mis sur le marché, mis en vente à l'état neuf. La dégradation de l'insonorisation va de pair avec le vieillissement de la machine sous la responsabilité de son propriétaire, et non plus du fabricant. Même avec une maintenance correcte, toutes les machines sont de plus en plus bruyantes.

Le problème est complexe et on devrait voir un contrôle périodique de la pollution sonore des véhicules, un premier pas en ce sens est annoncé pour les poids lourds, avant de voir un tel contrôle se mettre en place pour les engins de chantier…

Les engins bruyants : illustrations

A titre d'illustration nous fournissons ici les données constructeurs et les niveaux sonores mesurés pour différents types de matériels à moteur thermique utilisés dans les parcs et jardins à Paris (Observatoire du bruit, Pôle de compétence bruit et al., 2002).

Matériel	Bruit mesuré (1) dB(A)	Données constructeur (2) dB(A)
JARDINAGE		
Motoculteurs		86
Débroussailleuse à dos	112	90
Tondeuse hélicoïdale autoportée	109	
Tondeuse hélicoïdale autotractée	101	92
Tondeuse hélicoïdale poussée		
Tondeuse rotative autoportée	106	100
Tondeuse rotative autotractée	115	85-102
Tondeuse rotative poussée	102	81-84
Tondeuse sur coussin d'air	96	89
Taille-haie	107	94
Pulvérisateur autoporté		80
Pulvérisateur à dos thermique	104	97
Atomiseur	114	
Tronçonneuse abattage		102
Tronçonneuse ébranchage		101
Tronçonneuse élagage	116	98
Broyeur de branches à essieu routier		88
GROS TRAVAUX		
Pelleteuse microchargeur	104	78-85
Élévateur		80
Dumpers ou Sambron	108	78-80
Motopompe		100
Groupe électrogène		100
Compresseur		<100
Dame vibrante		
Coupe bordure	95	71
Aérateur autotracté		75
NETTOYAGE		
Balayeuse autoportée	75	
Kärcher	100	
Aspirateur autotracté	78	88
Souffleuse poussée	114	88
Souffleuse à dos	110	94
TRANSPORT		
Porte outils	112	
Véhicules inf. à 30 CV	103	82,5
Véhicules de 30 à 45 CV		82
Véhicules sup. à 45 CV		79,5
Véhicules articulés	99	

(1) bruit maximal mesuré lors de diverses campagnes entre 1993 et 2000

(2) données constructeurs dans le marché 1999-2002

Tableau 12 : Données constructeurs et niveaux sonores mesurés pour différents types de matériels à moteur thermique utilisés dans les parcs et jardins à Paris

I-3-3-2) Le bruit en milieu de travail

Sources de bruit et niveaux

Le bruit en milieu de travail résulte des procédés de fabrication mis en œuvre et des machines et outils utilisés. Des niveaux sonores supérieurs à 85 dB(A) peuvent être provoqués par les activités suivantes (liste non limitative) :

- Les travaux sur métaux par percussion, abrasion ou projection ;
- Le câblage, le toronnage, le bobinage de fils d'acier ;
- L'utilisation de brise-béton et perforateurs pneumatiques ;
- La manutention mécanisée de récipients métalliques ;
- Les travaux de verrerie et l'embouteillage ;
- Le tissage sur métiers, les travaux sur peigneuses, machines à filer, retordeuses, moulineuses, bobineuses de fibres textiles ;
- La mise au point, les essais et l'utilisation des propulseurs, réacteurs, moteurs thermiques, groupes électrogènes, installations de compression ou de détente ;
- L'emploi ou la destruction de munitions ou d'explosifs ;
- L'utilisation de pistolets de scellement ;
- Le broyage, le concassage, le criblage, le sciage, l'usinage de pierres et de produits minéraux ;
- Les procédés industriels de séchage de matières organiques par ventilation ;
- L'emploi des machines à bois ;
- L'utilisation d'engins de chantier ;
- Le broyage, l'injection, l'usinage des matières plastiques et du caoutchouc ;
- Le travail sur les rotatives dans l'industrie graphique ;
- La fabrication et le conditionnement mécanisé du papier et du carton ;
- L'emploi de matériel vibrant pour l'élaboration de produits en béton et de produits réfractaires ;
- Les travaux de mesurage des niveaux sonores et d'essais ou de réparation des dispositifs d'émission sonore ;
- Les travaux de moulage sur machines à secousses et de décochage sur grilles vibrantes ;
- La fusion par arcs électriques ;
- Les travaux sur ou à proximité des aéronefs dont les moteurs sont en fonctionnement ;
- Les travaux de découpe, de soudage et d'usinage par ultrasons des matières plastiques ;
- L'abattage et l'éviscération des volailles, des porcs et des bovins ;
- Le plumage de volailles ;
- L'emboîtage de conserves alimentaires ;
- Le malaxage, la coupe, le sciage, le broyage, la compression des produits alimentaires ;
- Le moulage par presse à injection de pièces en alliages métalliques.
- Le travail dans certains lieux recevant du public et difficiles à traiter au plan acoustique, gymnases, piscines, patinoires ;
- Le travail dans des établissements de diffusion de musique amplifiée.

Quelques exemples de niveaux d'exposition

Les surdités professionnelles peuvent avoir deux causes :

- l'exposition prolongée à des bruits de trop fortes intensités ; le risque se rencontre principalement dans les industries métallurgiques (forge, chaudronnerie, tôlerie, laminage...), verrières, textiles, du bois et de l'aéronautique.

- les barotraumatismes auxquels peuvent être exposés le personnel aérien navigant, les sous-mariniers et travailleurs en caisson hyperbare. Cette seconde cause est très peu fréquente.

En général, sauf accident (explosion par exemple), la surdité s'installe par paliers successifs. Outre le niveau sonore et le temps d'exposition, plusieurs facteurs interviennent : l'âge du sujet, sa susceptibilité individuelle et l'existence ou non de pathologie antérieure (presbyacousie, par exemple, chez les plus de cinquante ans).

Un dépistage précoce est possible par détection d'un début de perte auditive (de l'ordre de - 30 dB(A)) dans les fréquences aiguës (4 000 Hz).

A titre d'exemples de niveaux d'exposition en milieu professionnel, on peut citer ici deux études réalisées récemment par l'Association interprofessionnelle de médecine du travail du Bas Rhin (AIMT 67).

• Évaluation de l'exposition au bruit en période scolaire chez un maître nageur en piscine couverte (Delaunay N., 1999)

Le niveau de bruit dans une piscine dépend du type de fréquentation et de l'âge du public (scolaires, adultes) ainsi que du type d'utilisation (ludique, entraînement sportif)[79]. Des mesures d'expositions ont été réalisées à l'aide d'un microphone accroché sur l'épaule à moins de 40 cm de l'oreille[80].

Les valeurs de Laeq,t et de Leq,8h varient, selon le type d'activité et la journée, de 84,8 dB à 88,3 dB en semaine lorsque le maître nageur encadre des écoles. Le niveau d'exposition du maître nageur est en revanche réduit à 76 dB le samedi et à 82,7 dB le dimanche, la fréquentation de la piscine étant alors moins importante, et la population différente puisque composée pour une bonne partie d'adultes. Des pics de crêtes supérieurs à 135 dB sont détectés lors de tous les enregistrements. Le niveau sonore global (Lex,d) du lundi au vendredi, lors de fréquentations par les établissements scolaires, s'élève à 90,4 dB, avec des pressions acoustiques de crêtes dépassant 135 dB.

Devant ce constat de dépassement des valeurs limites d'exposition sonore quotidienne et de dépassement de valeurs de crêtes, outre la mise en place de protection individuelle contre le bruit

[79] En période scolaire, l'activité du maître nageur est variable en fonction de la fréquentation et de l'heure, il peut s'agir d'une activité de surveillance du public, d'encadrement des scolaires ou d'une école de natation, voire encore de cours particuliers de natation. Hors période scolaire, le maître nageur a essentiellement un rôle de surveillance du public ou d'animation.

[80] La durée de la mesure d'exposition est celle de la durée du poste de travail. Les résultats des mesures sont exprimés en Laeq,t (moyenne de l'exposition journalière totale), puis ces résultats sont pondérés sur huit heures (on calcule l'exposition moyenne « comme si » le maître nageur avait travaillé exactement 8h ; c'est le Leq,8h). Ils sont enfin exprimés sous forme de Lex,d (valeur moyenne calculée sur une semaine de travail de 5 jours – lundi au vendredi- en période scolaire).

portée en permanence, il apparaît utile de réduire l'exposition au bruit non seulement du professionnel mais également du public, par traitement des locaux conduisant à diminuer la propagation et la réflexion du bruit.

Étude de l'exposition au bruit du poste de bétonneur dans une entreprise de fabrication de prédalles en béton vibré, à l'aide d'un exposimètre individuel (Ringeval J., 2000)

Le relevé du niveau sonore au niveau d'un poste de bétonneur été réalisé durant toute la durée du poste de travail dans une entreprise de fabrication de dalles en béton vibré[81].

Le niveau d'intensité sonore moyenné sur la journée (Lex,d) est de 93,9 dB, ce qui, compte tenu de l'incertitude liée à la classe de mesurage de l'appareil, conduit à un niveau d'intensité sonore maximum de 94,9 dB (A). Le niveau de pression acoustique de crête est de 139,6 dB, ce qui, compte tenu de l'incertitude de mesure, conduit à une valeur maximale de 140,6 dB.

Bien que le local ait été traité acoustiquement, il apparaît utile, étant donné le dépassement des valeurs-limites, d'envisager la mise en place de protections collectives par capotage (installation d'un capot), ainsi que de protections individuelles sous forme de bouchons d'oreilles, qui, bien que mis à la disposition du personnel, sont rarement utilisés. En l'absence de protections appropriées portées en permanence, un risque de surdité professionnelle est à craindre.

Évolution de l'exposition au bruit

L'enquête SUMER (Surveillance Médicale des Risques) conduite par les médecins du travail montre que plus de 27% des salariés, soit plus de 3 millions de personnes, sont considérés par les médecins comme exposés à des bruits excessifs, supérieurs à 85dB (A) (Heran-Le Roy O. et Sandret N., 1997) ; et 5,8 % des salariés – soit environ 700 000 personnes - sont exposés à un niveau sonore supérieur à 85 dB(A) pendant plus de 20 heures par semaine[82].

Le nombre de surdités professionnelles *reconnues* annuellement a décru pendant les années 1990, de 970 au début de la décennie à 620 à la fin. En 1997, 619 cas (statistiques CNAMTS, au 31/09/97) ont été déclarés au régime général de la Sécurité Sociale. En 2000 et 2001, respectivement 613 et 494 cas de surdité ont été reconnus au titre du tableau n°42 des maladies professionnelles.

[81] La fonction du poste est complexe, allant de la réception de la table ferraillée au déversement de béton par un chariot bétonneur puis évacuation de la table dans une étuve, dans un atelier de 15 mètres sur 6m traité acoustiquement. Les principales sources de bruits sont : le bruit occasionné par l'atelier de ferraillage, le chariot bétonneur lorsqu'ils se déplace, le béton lui-même lorsqu'il s'écoule, le lavage avec un nettoyeur haute pression et enfin le fonctionnement des vibrateurs. Le niveau d'exposition est sensiblement le même pour chaque cycle de fabrication dans son intégralité mais varie en fonction de la partie du cycle.

[82] L'enquête SUMER a été renouvelée en 2002-2003 mais les premiers résultats ne seront disponibles qu'à la mi-2004.

Selon une enquête du Ministère du Travail, sur 13,5 millions de salariés, 21,3% déclarent ne pas pouvoir entendre une personne qui leur parle ou ne pouvoir l'entendre que si elle élève la voix. Plus d'un salarié sur cinq se déclare donc gêné pour communiquer avec un collègue, situé à proximité, ce qui permet de penser qu'un salarié sur cinq serait exposé à des bruits trop intenses.
Enfin, le bulletin épidémiologique des Armées déclare chaque année environ 900 cas de traumatismes sonores aigus.
On estime à 18 % de leur classe d'âge les jeunes de 18-24 ans exposés à un travail bruyant (bruits excessifs, supérieurs à 85dB (A)), pendant plus de six mois). On constate chez ces jeunes 6 dB de pertes supplémentaires à 4 kHz par rapport aux jeunes non exposés à un travail bruyant et de même âge (Job A., Raynal M., Tricoire A. et al., 2000).

Rappelons que la sous-déclaration des maladies professionnelles est un phénomène connu et analysé. L'aperception sociale des surdités et l'attitude de déni de nombreux malentendants laissent soupçonner une forte sous déclaration des surdités professionnelles.

Concernant l'exposition au bruit des personnels dans les magasins et centres commerciaux, la recommandation, adoptée le 18 juin 1981 et qui vise à « protéger le confort du personnel » (cf. I-2-2-1), ne semble que très rarement appliquée.

Comment diminuer l'exposition au bruit en milieu de travail

a) Les solutions préventives collectives

- *Réduire le bruit à la source*

Empêcher la génération du bruit constitue la solution la plus efficace. Ceci suppose de réduire le bruit à la source, au stade de la conception des procédés, des machines et équipements.
Parmi les solutions envisageables on peut citer :
- Favoriser la progressivité des mouvements ;
- Supprimer les chocs ou les amortir ;
- Éviter les vibrations inutiles ;
- Découpler les machines de leur environnement ;
- Modifier les outillages et les techniques ;
- Éviter les variations brutales de pression.

- *Acheter silencieux*

La réglementation fait obligation aux fabricants de machines, de concevoir et de construire celles-ci pour que les risques résultant de l'émission de bruit soient réduits au niveau le plus bas possible,

compte tenu de la disponibilité de moyens de réduction du bruit. Elle leur fait également obligation de déclarer l'émission sonore au poste de travail.

Il appartient à l'utilisateur, lors de l'achat d'une machine, de choisir celle qui a la plus faible émission sonore et qui correspond à ses besoins.

Il peut également faire figurer une clause bruit dans le cahier des charges d'achat.

• *Agir sur la propagation des ondes sonores*

Pour limiter la propagation des ondes sonores, on a le choix entre deux solutions :

- Absorber les ondes sonores, c'est à dire rendre le local plus sourd et moins sonore en modifiant l'état des surfaces et des parois à l'aide de matériaux acoustiques ;
- Assurer l'isolation acoustique du local, c'est à dire empêcher par un obstacle (capotage, écran, cabine) les ondes de se transmettre vers les postes de travail.

• *Organiser le travail*

La séparation des machines bruyantes et des postes de travail est à rechercher dans la mesure où l'organisation du travail, la circulation des hommes et des produits le permettent.

La réduction du temps pendant lequel les salariés sont exposés au bruit est un moyen de diminuer la dose d'énergie sonore qu'ils reçoivent quotidiennement. Pour ce faire, des aménagements peuvent être instaurés dans l'entreprise, notamment par la rotation du personnel aux postes les plus exposés.

b) La protection individuelle

La protection individuelle est un palliatif à utiliser lorsque les moyens de protection collective décrits ci-dessus sont inapplicables ou ne permettent pas de réduire l'exposition au bruit à un niveau suffisamment faible. Il existe :

- Des protecteurs passifs (bouchons, serre-tête, serre-nuque, casques enveloppants), barrières matérielles à la propagation des ondes sonores ;
- Des protecteurs «non linéaires » ou à atténuation asservie, qui présentent une atténuation acoustique augmentant avec le niveau sonore ambiant ;
- Des protecteurs actifs dont l'appareillage électronique produit un « anti-bruit » qui leur permet de réduire activement le bruit perçu.

Réglementations et propositions

• *Textes applicables actuellement*

La réglementation française concernant l'exposition des salariés au bruit est issue de deux directives européennes : la directive 86/188/CEE du 12 mai 1986, concernant la protection des travailleurs

contre les risques dus à l'exposition au bruit ; la directive 89/392/CEE du 14 juin 1989, concernant les machines et spécifiant les exigences à respecter, notamment en matière de bruit émis. La réduction des risques auditifs dus au bruit s'impose donc non plus seulement aux employeurs, mais aussi aux constructeurs de machines ou d'équipements industriels et aux concepteurs des locaux de travail.

La directive 86/188/CEE du 12 mai 1986 a été transposée en droit français par le décret du 21 avril 1988 qui est entré en vigueur le 1er janvier 1989. De nouveaux articles ont été introduits dans le code du travail (articles R 232-8 à R 232-8-7) qui fixent des obligations aux employeurs afin de prévenir les risques dus à l'exposition au bruit.

La réglementation s'appuie essentiellement sur deux indicateurs de niveau de risque :

a) le $L_{EX,d}$: niveau d'exposition sonore quotidien ou niveau moyen de bruit, exprimés en dB(A), auxquels est exposé un travailleur durant sa journée de travail est défini ainsi :

$$L_{EX,d} = 10.\log \frac{1}{To} \int_0^{T_d} \left(\frac{p_A(t)}{p_o} \right)^2 .dt$$

T_d est la durée effective totale de la journée de travail, To est la durée de référence de la journée de travail : To = 28 800 s = 8h, $P_A(t)$ est la pression acoustique à l'instant t pondérée A, P_o est la pression acoustique de référence : $P_o = 2.10^{-5} = 20$ µPa.

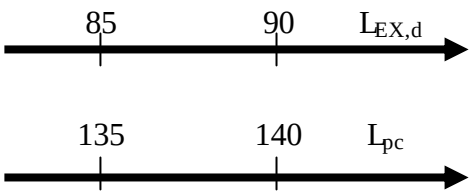
Pour une journée de travail de 8 h, le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, $L_{Aeq,8h}$ donne une bonne estimation du $L_{EX,d}$ à l'incertitude de mesurage près.

b) le L_{pc} ou niveau de *p*ression acoustique de *c*rête correspond à la valeur maximale du niveau de bruit, exprimé en dB, reçu au cours d'une journée de travail.

$$L_{pc} = 10.\log \left(\frac{P_C}{P_O} \right)^2$$

P_C est la valeur maximale de la pression acoustique instantanée, observée sur une durée à spécifier.

En cas de dépassement d'un des deux niveaux de risque, $L_{EX,d}$ ou L_{PC} les dispositions, précisées dans le tableau ci-dessous, sont applicables.

Actions requises selon les niveaux sonores	*Niveaux d'actions réglementaires* 
Ö Réduire le bruit au niveau le plus bas raisonnablement possible, compte tenu de l'état des techniques.	
Ö Maintenir l'exposition sonore à un niveau compatible avec la santé des travailleurs.	
Ö Établir et mettre en œuvre un programme de mesures techniques et d'organisation du travail afin de réduire l'exposition sonore ; le présenter au CHSCT dans le programme annuel de prévention des risques professionnels.	
Ö Estimer l'exposition sonore des travailleurs et identifier tous les travailleurs exposés.	
Ö Prévoir le mesurage de l'exposition dans un document soumis pour avis au CHSCT.	
Ö Mesurer les niveaux d'exposition sonore.	
Ö Tenir les résultats du mesurage à disposition des travailleurs exposés, du médecin du travail, du CHSCT.	
Ö Informer et former les travailleurs sur les risques dus à l'exposition sonore et sur les moyens pris pour les prévenir.	
Ö Organiser la surveillance médicale incluant le contrôle audiométrique des travailleurs.	
Ö Fournir des protecteurs individuels aux travailleurs.	
Ö Prendre toutes dispositions pour que les protecteurs individuels soient utilisés.	
Ö Signaler les lieux de travail bruyants.	

• *Évolutions réglementaires prévisibles à court terme*

Le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne ont adopté, le 6 février 2003, une nouvelle directive 2003/10/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit) qui entrera en vigueur le 15 février 2006. Cette directive abaisse les seuils d'action de 5 décibels et fixe la valeur limite à 87 dB(A) au lieu de 90 dB(A), ce qui correspond à une réduction de moitié compte tenu de l'échelle logarithmique des décibels. Cette directive est en cours de transposition en droit français.

I-3-4) Bruits volontaires dans l'environnement

I-3-4-1) Bruits liés à des activités festives et sportives

Sont traités ici les bruits issus d'activités variées comme les concerts, y compris en plein air, les stands de tir, les circuits, le karting, les terrains de jeux, etc. De telles activités peuvent générer des nuisances sonores fortes, sources de gêne pour les riverains.

Pour les activités festives et sportives les textes réglementaires de référence et les conditions pour la constatation de l'infraction sont les mêmes que pour le bruit des activités économiques non classées (cf. I-3-3-1) Aspect réglementaire général au bruit industriel).).

En matière d'exposition, nous présentons ici à titre illustratif des données fournies par l'Observatoire du bruit de la Ville de Paris concernant quelques événements musicaux (Observatoire du bruit et al., 2002). Le tableau suivant indique l'exposition au bruit des riverains de différents lieux de concerts.

nom	Site	Position	Distance en mètres	L_{Aeq}
Metallica (599/93)	Hippodrome de Vincennes		1200 (de la scène)	65 à 68
M. Jackson (123 / 92)	Vincennes		1325 (de la scène)	69 à 72
R. Stones (1996)	Bois de Boulogne			
Festival Rock (15 juin 1997)	Parc des Princes	Boulogne Place de l'Europe	200 m	64 à 66
Festival Rock (15 juin 1997)	Parc des Princes	9 rue Reinach	480 m	56 à 59
M. Jackson (27 juin 1997)	Parc des Princes	Rue du Cdt Guilbaud	105 m	69
M. Jackson (27 juin 1997)	Parc des Princes	Place de l'Europe	180 m	58 à 66
M. Jackson (27 juin 1997)	Parc des Princes	Av du Gal Sarrail	250 m	62 à 74
Rolling Stones	Longchamp, point fixe intérieur (30.6.95)	Angle Gutemberg / Denfert-Rochereau	1200	91,5 71 à 99,5 (1s)
U2 (6.9.1997)	Parc des Princes	Rue du Cdt Guilbaud	105 m	60 à 71
U2 (6.9.1997)	Parc des Princes	Place de l'Europe	180 m	58 à 68
JMJC				
U2 (6.9.1997)	Parc des Princes	Av du Gal Sarrail	250 m	62 à 75

Tableau 13 : Quelques exemples de niveaux sonores lors de concerts de musique amplifiée à Paris

L'importance des niveaux sonores lors des concerts en plein air et les dangers qu'ils sont susceptibles de provoquer à la fois en termes de dégradation de l'audition et en termes de gêne sonore du voisinage a entraîné la mise en place d'un groupe de travail au sein du Conseil national du bruit chargé d'émettre des recommandations pour limiter les dangers.

En dehors des concerts en plein air, il existe plusieurs autres activités festives ou sportives susceptibles de dépasser les niveaux maximum d'émergence admissibles et de provoquer une gêne chez les riverains : c'est le cas des circuits automobiles et des centres de karting, mais aussi des activités entraînant une répétition de bruits impulsifs tels que les stands de tir (stands de ball-trap par exemple) et les tirs de feux d'artifice. A titre d'exemple, des émergences supérieures à 20 dB(A) ont été mesurées en 1995 à proximité du parc d'attraction de Disneyland Paris, du fait des feux d'artifice (rapport de la DDASS de Seine-et-Marne).

En outre, on voit aujourd'hui apparaître des activités, mettant en jeu des niveaux sonores très importants et dangereux pour l'audition des pratiquants et spectateurs. C'est le cas du *show SPL*, pratique venue des États-unis, dont l'objectif est d'atteindre un niveau sonore maximal dans une voiture ; des niveaux de 150 décibels sont régulièrement dépassés. Cette activité bénéficie aujourd'hui d'un véritable circuit de compétitions et d'un championnat de France (article de Libération du 8 novembre 2003, site internet : www.showspl.com).

I-3-4-2) Bruits liés aux équipements et véhicules routiers non conformes

Le bruit de certains équipements (tondeuses à gazons…) ou véhicules (camions, cyclomoteurs…) peut constituer une gêne réelle pour les habitants. Ainsi, les nuisances sonores générées par les deux-roues à moteur sont le premier motif de plainte que reçoivent les maires et, la nuit, un seul véhicule est susceptible de réveiller un grand nombre de personnes. Pour ce qui concerne les deux-roues motorisés, un moteur quatre-temps est en règle générale moins bruyant qu'un moteur deux-temps équivalent, du fait de la tonalité plus élevée du bruit de ce dernier. Les moteurs quatre-temps, dont certains sont équipés depuis peu de temps d'un pot catalytique, sont de plus en plus diffusés, pour les cylindrées supérieures à 100 cm^3.

Émissions sonores des deux-roues motorisés

Les valeurs limites de niveau sonore par catégorie de deux-roues motorisés, en dB(A), sont fixés par la directive européenne 97/24/CE. Cette information est reportée sur la carte grise des deux-roues motorisés (hors cyclomoteurs non immatriculés).

Véhicule	Limite
Cyclomoteur - vitesse maxi < 25 km/h	66
Cyclomoteur - vitesse maxi > 25 km/h	71
Motocycle - cylindrée entre 50 et 80 cm^3	75
Motocycle - cylindrée entre 80 et 175 cm^3	77
Motocycle - cylindrée > 175 cm3	80

Tableau 14 : Niveaux sonores maximaux autorisés par catégorie de deux-roues

En principe, aucun véhicule ne devrait dépasser ces niveaux sonores. Pourtant les états généraux de la qualité de vie à Paris indiquent par exemple que les nuisances générées par les bruits de circulation et les klaxons représentent 55% des plaintes liées au bruit formulées par les Parisiens (Observatoire du bruit et al., 2002). Parmi elles, 47% sont liées aux nuisances générées par les deux-roues motorisés.

En 1998, sur les 20 500 verbalisations au regard des nuisances sonores relevées par la Gendarmerie nationale, 11 000 concernaient les cyclomoteurs, 7 700 les automobiles et 1 500 les motos, soit 62% des plaintes liées aux deux-roues motorisés. Pour ces derniers, la moitié des verbalisations a été établie pour absence de dispositif d'échappement silencieux, tandis qu'environ un quart concernait l'émission de bruits susceptibles de causer une gêne.

Officiellement, la verbalisation est possible après une simple constatation à l'oreille des nuisances, sans recours à un sonomètre, mais cette possibilité n'est pas pratiquée par les forces de Police[83].

Une série de mesures réalisées en février 2004 à Paris (rue Nicolo, 1er étage d'un immeuble) destinée à quantifier les niveaux sonores engendrés par les deux-roues motorisés indique que ces derniers, dont le passage est fréquent de jour comme de nuit, émettent à un niveau sonore moyen de 67,3 dB, soit 4,4 dB de plus que le niveau moyen des voitures (service technique de l'écologie urbaine, Mairie de Paris, février 2004).

[83] D'après la Préfecture de Police, les contrôles sont effectués à l'arrêt avec un tachymètre (mesure de la vitesse du moteur) et un sonomètre Brüel & Kjaer (mesure de l'intensité sonore). La tolérance est de 5 dB au-dessus de la limite réglementaire.

L'écart entre deux-roues et voitures est encore plus important en termes d'intensité sonore maximale, avec un Lmax de 89 dB pour les deux-roues motorisés, de 84,4 dB pour les voitures, soit un écart de 4,6 dB. Les niveaux sonores sont relativement semblables d'une voiture à l'autre alors qu'ils sont très variables d'un deux-roues à l'autre.

Les résultats d'une campagne conduite par les services de la ville de Boulogne Billancourt en 2002[84] fournissent les résultats suivants (colloque « Le bruit ? Un casse-tête pour bien le gérer », 29 et 30 octobre 2003, Caen) :
- les lieux de contrôle ne sont pas toujours conformes (altération des résultats des mesures par le bruit ambiant …) ; les relevés d'infractions sont peu nombreux ;
- les policiers sont peu formés en matière de contrôle des volumes sonores émis par les véhicules ; l'utilisation des matériels de contrôle (sonomètre et tachymètre) est difficile ;
- les contrôles sont parfois rendus impossibles du fait que certains véhicules ne sont pas équipés de béquille ; pour d'autres les conducteurs n'ont pas en leur possession le certificat d'immatriculation ;
- au total 17% des véhicules ont été interceptés sur la commune, et parmi les cyclomoteurs contrôlés, un sur deux, étaient en infraction avec la réglementation sur le bruit.

Très peu d'opérations de ce type sont conduites en France ; les moyens dont dispose la police nationale semblent très réduits (50 sonomètres en police nationale, 50 en gendarmerie, 50 en police municipale ; 33 brigades de contrôle technique en France).

Une série de mesures des expositions sonores des conducteurs de deux-roues motorisés (motocycles et cyclomoteurs)[85] indique que les deux principaux facteurs d'accroissement du bruit perçu par les conducteurs de deux-roues motorisés sont la puissance du véhicule et les grandes vitesses de circulation (vitesse supérieure à 150 km/h). Une fluctuation importante du bruit est observée pour la

[84] Cette campagne, conduite entre le 30 septembre et le 10 octobre 2002, a consisté à effectuer quotidiennement des opérations de contrôle des émissions sonores de deux-roues sur des sites différents. Les véhicules étaient soit présentés de manière spontanée par les conducteurs informés par voie de presse ; soit interceptés par un agent de police. En tout 129 deux-roues - motos, cyclomoteurs et scooters – ont été contrôlés : 64 en juin et 65 en octobre. Trois conducteurs se sont présentés spontanément (Michel T., Police municipale de Boulogne Billancourt, Le bruit des deux-roues. Campagne de sensibilisation. L'exemple de la ville de Boulogne-Billancourt, Colloque Le bruit? Un casse-tête pour bien le gérer, Caen, 2003).

[85] Dans cette série de mesures 4 volontaires (3 motoristes et un cyclomotoriste) ont procédé à la mesure sonore en plaçant un microphone dans leur casque. 30 mesures ont été validées au total. Les motoristes circulaient de Paris à sa banlieue, et le cyclomotoriste dans Paris intra-muros. Rappelons que selon le code de la route, un cyclomoteur est un véhicule à deux ou trois roues équipé d'un moteur d'une cylindrée ne dépassant pas 50 cm^3 et ayant une vitesse maximale par construction ne dépassant pas 45 km/h. Le terme motocyclette désigne quant à lui tout véhicule à deux roues à moteur ne répondant pas à la définition du cyclomoteur.

moto avec des *dynamiques*[86] très élevées (jusqu'à 27 dB(A) de dynamique mesurée pour le porteur d'un casque *léger* à moto).

La question des émissions sonores des deux-roues motorisés est d'autant plus préoccupante que leur nombre croît fortement et que leur part dans le trafic routier total est en forte hausse. Ainsi, le nombre d'immatriculation de deux-roues motorisés en France a augmenté de manière importante sur les huit premiers mois de l'année 2003 par rapport à la même période en 2002, avec des disparités fortes entre grosses et petites cylindrées :

Catégorie	Évolution
Scooters < 125 cm^3	+ 26,2 %
Scooters > 125 cm^3	+ 23,5 %
Motocyclettes < 125 cm^3	+ 16 %
Grosses et moyennes cylindrées	- 7,4 %
Motocyclettes < 34 chevaux	+ 13 %

Tableau 15 : Évolution des ventes de deux-roues motorisés entre 2002 et 2003 en France

Les deux-roues motorisés de faible cylindrée, inférieure à 125 cm^3, plus maniables et plus petits, connaissent un gros succès alors que les motocyclettes de moyenne et grosse cylindrée nécessitant un permis moto voient leur vente diminuer. Les chiffres relatifs aux cyclomoteurs ne sont pas disponibles, ces derniers n'étant pas immatriculés (cf. *infra*) ; mais la tendance serait également à la hausse.

Réglementation et normes

Le décret n° 95-79 du 23 janvier 1995 fixe les prescriptions prévues par l'article L. 571-2 du code de l'environnement relatives aux objets bruyants et aux dispositifs d'insonorisation. Il précise pour les engins, matériels, machines et appareils utilisés dans les activités industrielles, artisanales, commerciales, agricoles, de services ou de loisirs, pour les matériels et engins de jardinage, de bricolage et appareils domestiques et pour les dispositifs sonores de protection des biens (alarmes) :

- les règles applicables à la fabrication, l'importation et la mise sur le marché ;
- les procédures d'homologation et de certification attestant leur conformité aux prescriptions relatives aux niveaux sonores admissibles ;
- les conditions de délivrance et de retrait par l'autorité administrative de l'agrément des organismes chargés de délivrer les homologations et certifications ;

[86] La dynamique d'un bruit est le rapport entre le niveau le plus élevé et le plus bas du bruit mesuré.

- les conditions dans lesquelles l'autorité administrative peut vérifier ou faire vérifier par ces organismes, aux frais du détenteur, la conformité des objets et dispositifs à la réglementation.

L'arrêté du 18 mars 2002 relatif aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments, pris en application de la directive 2000/14/CE du Parlement européen et du Conseil du 8 mai 2000 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments, indique notamment les niveaux sonores admissibles par ces équipements.

Concernant les véhicules à moteur, la réglementation en vigueur est dense, complexe et disparate ; de nombreuses infractions peuvent être sanctionnées sur le fondement de plusieurs textes. L'article R. 318-3 du code de la route est l'outil réglementaire presque exclusivement utilisé par les forces de l'ordre : « *Les véhicules à moteur ne doivent pas émettre de bruits susceptibles de causer une gêne aux usagers de la route ou aux riverains. Le moteur doit être muni d'un dispositif d'échappement silencieux en bon état de fonctionnement sans possibilité d'interruption par le conducteur. Toute opération tendant à supprimer ou à réduire l'efficacité du dispositif d'échappement silencieux est interdite* ».
Le code de la santé publique (article R. 1336-7) peut être appliqué dans certaines situations assez marginales (par exemple : réglage du moteur d'un deux-roues en-dehors de la voie publique) ; l'article R. 623-2 du code pénal, qui réprime les bruits ou tapages injurieux ou nocturnes troublant la tranquillité d'autrui, peut aussi servir de fondement à une contravention.

Jusqu'à présent, les deux-roues motorisés de cylindrée inférieure à 50 cm^3, c'est-à-dire les cyclomoteurs, n'étaient pas immatriculés. La loi du 16 novembre 2001 relative à la sécurité publique prévoit l'immatriculation progressive de ces véhicules. Le décret n° 2003-1186 du 11 décembre 2003 en précise les modalités. Les cyclomoteurs neufs achetés à partir du 1er juillet 2004 sont concernés par cette mesure. Les cyclomoteurs achetés avant cette date devront être immatriculés au plus tard le 30 juin 2009.

Concernant spécifiquement l'utilisation de dispositifs d'échappement dégradés ou non conformes à une utilisation sur la route, comme les pots de compétition, deux régimes d'homologation, issus l'un du code de la route, l'autre du code de l'environnement coexistent, ce qui rend leur application mal aisée. Par ailleurs, lorsqu'ils sont destinés à la compétition, les dispositifs d'échappement n'ont

pas l'obligation d'être homologués et il n'est pas interdit de fabriquer ni de vendre des dispositifs d'échappement non homologués (pots de compétition) :

- pour être mis en vente sur le territoire français, les équipements destinés à la compétition doivent bénéficier d'une dérogation délivrée par le ministre chargé de l'environnement ;
- à l'échelon du revendeur, la vente est réservée aux détenteurs d'une licence de compétition.

Échappements non conformes

Vu le volume relativement faible des demandes de dérogation, il est évident qu'une part importante des échappements non conformes est vendue sans faire l'objet de dérogation. Une enquête de la Direction Générale de la Consommation, de la Concurrence et des Fraudes de 2001 montre ainsi qu'une part significative des pots non homologués mis en vente par correspondance ou par Internet ne bénéficie pas de dérogation et sont donc vendus en toute illégalité.

Du fait du coût élevé de l'homologation, et souvent d'une qualité moindre, les pots non homologués coûtent bien moins chers que les pots homologués (différence de prix de 60 à 70%). Cette différence de coût à l'achat peut rendre perplexe dans l'optique d'une politique de lutte contre les nuisances sonores.

Le décret n° 2003-1228 du 16 décembre 2003 modifie le décret n° 95-79 du 23 janvier 1995 relatif à la procédure d'homologation des silencieux et dispositifs d'échappement des véhicules en précisant que « *les silencieux et les dispositifs d'échappement destinés aux véhicules réceptionnés au titre du code de la route sont soumis à homologation. La procédure applicable à ces produits est celle prévue par les articles R. 321-6 et suivants du code de la route* » (J.O. n°296 du 23 décembre 2003 page 21 992).

Selon l'OFDAM (Observatoire français de la distribution des accessoires motos), des fabricants auraient développé de nouveaux échappements homologués générant des « sonorités plus *présentes* » (!) combinant le système d'absorption des pots d'échappement de course non homologués et le système de réflexion des échappements homologués. Ceci est confirmé par les propos d'un responsable de la Fédération française des motards en colère (FFMC) qui indique que « *le bruit de leur véhicule apporte une sensation de sécurité à beaucoup de motards, même si ce sentiment n'est pas réellement prouvé. C'est pourquoi les constructeurs travaillent actuellement à la réalisation de pots d'échappement qui émettraient une sonorité permettant d'attirer l'attention sans dépasser les limites autorisées* ».

Il conviendrait d'évaluer la pertinence d'une telle évolution, le niveau sonore n'étant pas le seul élément à prendre en compte dans la gêne sonore. Il faut en effet y ajouter les caractéristiques spectrales du bruit émis, et il est probable que ces nouveaux échappements, tout en respectant les

niveaux sonores d'homologation, produisent des sons très dérangeants, proches de ceux émis par les pots non conformes.

L'efficacité de la réglementation en matière de répression du bruit d'échappement des deux-roues reste cependant sujette à caution[87].

I-3-4-3) Bruits liés aux moyens de secours et de police

Les dispositifs sonores spéciaux équipant les véhicules d'intervention urgente sont réglementés par les arrêtés du 3 juillet 1974 modifié, du 30 octobre 1987 modifié et du 3 novembre 1987. Les avertisseurs sonores spéciaux des véhicules concernés doivent être conformes à un type agréé ; l'homologation est accordée aux dispositifs qui satisfont aux conditions de cahiers des charges définis dans les arrêtés suscités.

Certains véhicules de police sont équipés de dispositifs sonores spéciaux à deux niveaux d'intensité, le niveau fort n'étant utilisé qu'en situation dangereuse (franchissement d'un feu rouge par exemple, ou circulation dans des conditions difficiles). On ne peut que louer une telle initiative qui mériterait d'être étendue aux autres dispositifs sonores spéciaux des différents véhicules d'intervention d'urgence et devrait bénéficier d'un encadrement, notamment réglementaire et incitatif.

I-4) PROPAGATION DES BRUITS DANS L'ENVIRONNEMENT ET MOYENS DE PROTECTION

La maîtrise du bruit ambiant, que produisent diverses sources dont les principales sont les transports et les industries, est une problématique majeure de notre société. Elle est d'ailleurs largement abordée tant dans le cadre législatif national (Loi du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit) qu'européen (Directive 2002/49 CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement). De plus, elle fait appel à une bonne connaissance des sources de bruit, ainsi que des phénomènes propagatifs dans l'atmosphère.

I-4-1) Effet des conditions météorologiques et topographiques sur la propagation du son.

[87] L'immatriculation des cyclomoteurs devrait permettre aux forces de l'ordre de noter le numéro d'un engin jugé bruyant et de lui envoyer une convocation pour contrôle technique. Jusqu'alors, le danger que représentait l'éventuelle poursuite du contrevenant dissuadait les forces de police de prendre en chasse les cyclomoteurs bruyants. Mais lorsque des contrevenants sont convoqués pour un contrôle du véhicule, ils présentent parfois à cette occasion un véhicule conforme et réinstallent par la suite un pot d'échappement non homologué. D'où l'intérêt d'un contrôle réalisé dès la constatation de l'infraction.

La propagation des ondes sonores en milieu extérieur est affectée par son environnement et principalement par la topographie du site, la nature des sols environnants, et à grande distance, les conditions météorologiques locales. L'atmosphère se comporte en effet comme un milieu réfractant les ondes sonores. Certains de ces phénomènes sont stables dans le temps et d'autres fluctuent à des échelles plus ou moins réduites. Lors de l'évaluation théorique ou expérimentale de l'exposition sonore d'un site il est donc nécessaire d'utiliser des méthodes adaptées prenant en compte l'ensemble de ces phénomènes[88].

Deux échelles temporelles sont communément considérées :
- échelle de court terme, la plus utilisée - elle permet tant par la mesure que par le calcul d'identifier des événements particuliers ; elle est notamment utilisée pour valider les modèles théoriques.
- échelle de long terme, celle à laquelle se réfèrent généralement les textes réglementaires auxquels sont associés des méthodes de calcul simplifiées dites d'« ingénierie ». La Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit (NMPB) éditée en 1996 (CSTB, CERTU et al., 1996) en est un exemple.

Dans le contexte actuel, la difficulté majeure reste le passage du court terme au long terme. Ceci est d'autant plus important que des mesures de contrôles peuvent être demandées. En effet, pour des raisons de temps et d'économie, ces mesures ne pourront être que de court terme. Sera-t-on capable dans ce cas, d'interpréter des résultats de calcul de long terme par rapport à des mesures de court terme ? Des recherches complémentaires seront encore nécessaires pour répondre au moins partiellement à ce problème.

I-4-1-1) La propagation du bruit en milieu extérieur

Les phénomènes de propagation des ondes sonores émises dans l'environnement sont complexes et font intervenir un grand nombre de paramètres, dont les principaux sont reliés, d'une part aux caractéristiques physiques du milieu à l'intérieur duquel se propagent les ondes acoustiques (l'air), d'autre part aux conditions aux frontières (sols naturels ou artificiels, obstacles, etc.).
C'est pourquoi une bonne connaissance du milieu de propagation impose de prendre en considération divers mécanismes dans la modélisation :
(1) la divergence géométrique ;
(2) l'absorption moléculaire dite atmosphérique ;

[88] Lors d'une évaluation expérimentale il est fortement recommandé de mesurer simultanément les conditions météorologiques (température, vitesse et direction du vent) et les niveaux sonores, et de choisir avec attention les points de mesure. Pour une évaluation théorique il est indispensable d'utiliser des outils logiciels permettant de prendre en compte l'ensemble des phénomènes mis en jeu. Dans ce dernier cas, la difficulté réside souvent dans l'obtention de la totalité des paramètres représentatifs du site étudié.

(3) la réflexion sur les surfaces limites, appelée communément « effet de sol » ;
(4) l'influence des profils verticaux de température et de vitesse du vent et
(5) l'influence de la turbulence atmosphérique, regroupés sous le vocable « effets météorologiques » ;
(6) les divers phénomènes de diffraction dus à la topographie ou/et aux obstacles.

Suivant les distances relatives entre la source sonore et le récepteur, divers phénomènes ont plus ou moins d'impact sur la propagation. Les effets atmosphériques ne sont réellement à considérer - pour des conditions météorologiques non extrêmes représentatives de notre territoire – qu'à partir d'une centaine de mètres. En deçà, seules la topographie et la nature des sols sont à prendre en compte.

(1) Divergence géométrique

La divergence géométrique est un concept fondamental qu'il convient de considérer en espace libre, en dehors de tout autre phénomène lié aux propriétés de l'atmosphère.

Dans le cas d'une source sonore omnidirectionnelle cohérente, la dispersion géométrique prévoit une atténuation sonore de 6 dB par doublement de distance ($20 \cdot lg_{10}(r_2/r_1)$ avec $r_2 = 2r_1$).

En revanche, dans le cas d'une source linéaire telle qu'un bruit routier ou un bruit ferroviaire, l'atténuation n'est que de 3 dB par doublement de distance ($10 \cdot lg_{10}(r_2/r_1)$ avec $r_2 = 2r_1$).

(2) Absorption atmosphérique

L'atténuation des ondes sonores est essentiellement due à la divergence géométrique et à l'effet de sol. Toutefois, à des grandes distances, divers processus liés aux caractéristiques du fluide influencent l'atténuation des ondes sonores. Dans l'air en particulier, la dissipation de l'énergie acoustique résulte essentiellement de trois processus : la viscosité, la conduction thermique et la relaxation moléculaire. Dépendant du degré d'hygrométrie et de la température, les atténuations, fonctions de la fréquence, varient et sont généralement exprimées en dB/m.

Les formulations ainsi que les tableaux de valeurs les plus utiles sont détaillés dans la norme internationale ISO 9613-1 (ISO, 1993a).

(3) Influence de la nature du sol ou « Effet de sol »

Quelles que soient la nature et la composition des sols entre la source et le récepteur, homogène ou discontinue, leur influence respective sur l'atténuation de l'onde sonore le long du champ de propagation est importante. Cette atténuation est fonction à la fois de la fréquence et de l'incidence de l'onde sonore. L'atténuation est d'autant plus importante que l'onde sonore est rasante et que la fréquence est élevée. Cette règle générale s'applique bien aux sols absorbants naturels. En revanche,

il n'en est pas de même pour certaines structures poreuses à squelette rigide comme par exemple les revêtements de chaussée poreux. Dans ce cas, des phénomènes particuliers dus en partie à l'onde de surface provoquent des amplifications du niveau sonore à certaines fréquences et sous certaines incidences, même si globalement, ces revêtements présentent une absorption sonore moyenne intéressante.

Dans le cas d'un sol et d'une atmosphère homogènes, le champ sonore est décomposé en trois termes (Figure 10) :

- une onde directe entre la source **S** et le récepteur **R**,
- une onde réfléchie sur le sol entre la source-image **S'** et le récepteur **R**,
- une onde de surface.

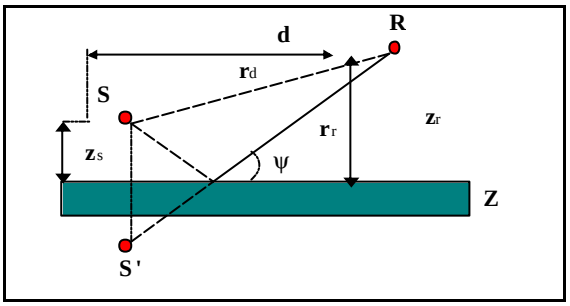


Figure 10 : Géométrie du problème

(4) Effets météorologiques

Comme en témoignent les schémas représentés sur la figure 11, à des distances importantes (supérieures à 100 mètres), l'influence des conditions météorologiques sur la propagation du son se traduit par une modification des trajectoires sonores elles-mêmes reliées à la variation des profils verticaux de vitesse du son. Ces profils sont estimés à partir des profils verticaux de température et de vent ainsi que de la direction du vent par rapport à la direction de propagation[89].

[89] Lorsque la variation du profil vertical de vitesse du son est nulle, la trajectoire des rayons sonores est rectiligne (conditions dites « homogènes ») ;
Lorsque la variation du profil vertical de vitesse du son est positive (gradient de température positif ou vent portant), la trajectoire des rayons sonores est incurvée vers le sol (conditions dites « favorables à la propagation ») ;
Lorsque la variation du profil vertical de vitesse du son est négative, (gradient de température négatif ou vent contraire), la trajectoire des rayons sonores est incurvée vers le ciel (conditions dites « défavorables à la propagation »). Dans ce dernier cas, il y a création d'une zone d'ombre acoustique.

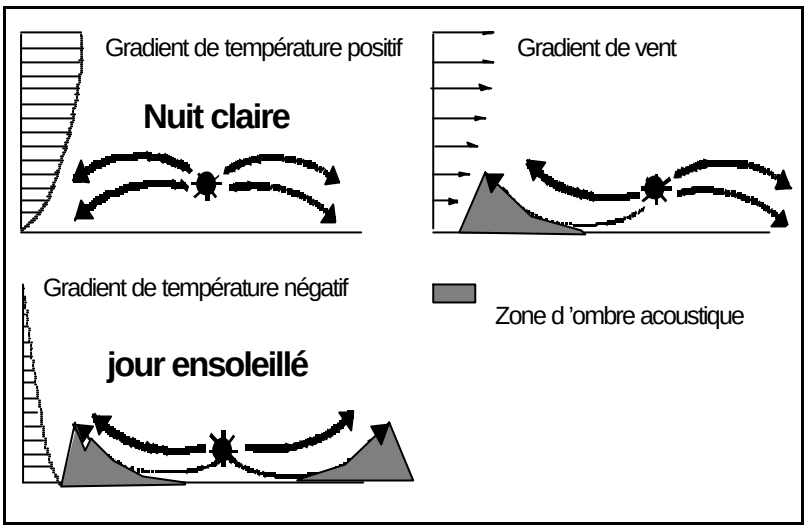


Figure 11 : Modification des trajectoires des rayons sonores en fonction du profil vertical de vitesse du son

En fonction des conditions atmosphériques (ensoleillement, couverture nuageuse, présence ou non de vent portant ou contraire) les variations de niveaux sonores, à grande distance de la source, peuvent être importantes. Plusieurs décibels (jusqu'à 20 pour des cas extrêmes) ont été mesurés à 900 m de distance sur un site plan et dégagé (Bérengier M., Zouboff V. et al., 1990).
Par rapport aux conditions homogènes, le niveau sonore peut être augmenté (jusqu'à + 5 dB) pour des conditions favorables à la propagation ou diminué (jusqu'à - 20 dB) pour des conditions défavorables à la propagation.

(5) Turbulence atmosphérique

Indépendamment des effets de leurs gradients verticaux, la température et la vitesse du vent fluctuent rapidement autour de leurs valeurs moyennes. Il en résulte des fluctuations aléatoires de phase et d'amplitude de l'onde sonore et ainsi, une déformation des fronts d'ondes. Ces effets sont appelés communément « Turbulence atmosphérique ». Le rôle principal de cette turbulence est, d'une part, la décorrélation des signaux acoustiques au cours de leur propagation et, d'autre part, la diffusion de l'énergie acoustique à l'intérieur des zones d'ombre atmosphérique ou topographique.

(6) Diffraction

Les phénomènes de diffraction s'observent lorsque l'onde sonore rencontre un obstacle. Communément, on parle de diffraction par l'arête d'un écran antibruit. Dans ce cas particulier de diffraction, les fronts d'onde sont déformés par la présence de l'arête et une partie de l'énergie sonore est « rabattue » derrière l'écran à l'intérieur de la zone d'ombre géométrique produite par l'obstacle.

Même si les sommets d'écran sont les objets diffractants majoritairement considérés, des phénomènes de diffraction peuvent se produire dès lors qu'il y a présence d'une rupture de milieu[90]. De nombreuses recherches sont menées sur l'optimisation de forme et de revêtements de protections complexes tels que les écrans à couronnements (Defrance J. et Jean P., 2003), les semi-couvertures, les couvertures ajourées de type damiers phoniques, etc.

(7) Effet des arbres

Une simple rangée d'arbres n'a pas d'influence significative sur la propagation du bruit aux fréquences caractéristiques du bruit de transport. Cependant, située juste derrière un écran anti-bruit avec la partie feuillue au-dessus de ce dernier, elle a pour effet de diminuer les phénomènes de redirection d'énergie acoustique dans la zone d'ombre due au phénomène de turbulence atmosphérique (5) dans le cas de conditions « favorables » à la propagation et ainsi, d'améliorer légèrement l'efficacité acoustique de la protection.

Dans le cas d'une forêt situé entre la source et le récepteur, l'effet principal est d'ordre climatique : la forêt tend à annuler, sous sa canopée, les effets de variation de température et de vitesse du vent, donc les variations de la vitesse du son. Dans le cas d'une nuit claire et pour une bande de forêt de 100 m de large, le gain obtenu par rapport au cas d'un site sans arbre peut atteindre, pour le bruit routier, 5 dB(A) (Defrance J., Barrière N. et al., 2002).

I-4-1-2) Comment modéliser et mesurer ces phénomènes ?

Ces phénomènes peuvent être mis en évidence soit à partir de modèles théoriques (1), soit à partir de campagnes expérimentales (2). Les deux approches sont complémentaires et indispensables à la compréhension et à l'interprétation des phénomènes.

(1) Du point de vue de la modélisation, diverses approches ont été mises en place au cours des vingt dernières années :

- des modélisations sophistiquées faisant appel à des techniques analytiques ou numériques qui permettent de simuler des situations relativement complexes s'approchant au mieux des réalités du terrain (Bérengier M., Gauvreau B. et al., 2003). Ces techniques permettent de faire des calculs sur des périodes de court terme.

[90] Citons à titre d'exemple : un bord de plate-forme routière ou ferroviaire, un bord latéral d'écran, le bord d'un tablier de pont, un bord de fenêtre au centre d'une façade, une rupture de pente, etc.

- des modélisations simplifiées dites « d'ingénierie » (CSTB et al., 1996) permettant d'approcher les phénomènes sur des périodes de long terme. Certains de ces modèles sont normalisés tant au niveau national (AFNOR, 2001) qu'international (ISO, 1993b). Sur ce point des travaux européens sont en cours afin de publier prochainement une méthode harmonisée (Commission européenne).

(2) D'un point de vue expérimental, divers outils sont à la disposition des utilisateurs : des normes de mesure (AFNOR, 1996) ainsi que des sites expérimentaux pilotes. Citons à titre d'exemple, le site du LCPC à Saint-Berthevin en Mayenne (LCPC).
Une approche alternative pour la prévision de la propagation du son en milieu extérieur est l'utilisation de maquettes[91].
Les effets météorologiques, quant à eux, peuvent être introduits de deux façons : soit en courbant la surface représentant le sol des maquettes (Premat E., Defrance J. et al., 2003) de façon à la rendre concave (cas de la variation positive du profil vertical de vitesse du son, cf. I-4-1-2-4) ou convexe (variation négative); soit en plaçant la maquette dans une soufflerie atmosphérique au sein de laquelle circule un flux d'air ayant des caractéristiques similaires au vent en milieu extérieur, avec une échelle de réduction identique à celle de la maquette étudiée (Barrière N. et Gabillet Y., 1999).

Conclusion et perspective

Au cours des années 1970-1980, la volonté de vouloir prévoir et mesurer, avec une bonne précision, l'impact environnemental de divers types de sources sonores comme les routes nationales à trafic élevé, les lignes ferroviaires TGV ou encore les implantations industrielles a initié de nombreux travaux dans le domaine de la propagation acoustique en milieu extérieur. L'objectif principal concernait l'évaluation des niveaux sonores à proximité de récepteurs (riverains) situés à courte, moyenne et grande distance de la source sonore.
Au cours de ces années, les progrès ont permis de complexifier les modèles ainsi que les techniques expérimentales afin d'essayer de se rapprocher toujours au plus près des situations réelles. Cela a notamment conduit à prendre en compte successivement les phénomènes de discontinuité de milieu de propagation et plus récemment l'évolution des conditions micrométéorologiques. Diverses méthodes ont été élaborées qui devraient, à terme, permettre de mieux comprendre, analyser et prévoir les évolutions des niveaux sonores en milieu ouvert.

[91] Par exemple, le centre des maquettes du CSTB de Grenoble, dédié au bruit de trafic routier en atmosphère homogène (pas d'effets météorologiques), utilise une échelle de réduction de 1/100 (les distances et hauteurs sont 100 fois plus petites et les fréquences 100 fois plus élevées). Pour assurer une bonne similitude de l'absorption atmosphérique (cf. I-4-1-2-2), l'air du laboratoire est asséché jusqu'à 3% d'humidité relative. Les sources, stationnaires, sont des buses à jet d'air.

I-4-2) Les écrans acoustiques

Parmi tous les moyens de réduction du bruit routier, l'écran acoustique reste l'un des plus utilisés par les concepteurs routiers en raison de son efficacité pérenne (entre 8 et 12 dB(A) pour un écran correctement dimensionné et positionné), de son adaptation en général assez aisée et durable, et des faibles contraintes qu'il impose sur le comportement des usagers ou des riverains. Le terme « écran » regroupe aussi bien les classiques « murs antibruit » que les buttes de terre, les écrans végétalisés ou de formes complexes, tous d'un intérêt architectural, économique ou écologique, et couvrant une partie non négligeable du marché.

I-4-2-1) Fonctionnement d'un écran

Le principe du fonctionnement d'un écran est celui d'un obstacle s'opposant à la propagation du bruit entre la source (le trafic routier) et les récepteurs (les habitations), créant ainsi une zone d'ombre acoustique. L'écran est dimensionné de manière à placer les zones exposées au bruit dans la zone d'ombre. Son efficacité intrinsèque dépend essentiellement de paramètres géométriques tels que la hauteur, la longueur ou la position relative à la route, mais il faut pour cela que la transmission sonore à travers le matériau ne soit pas trop importante. Il est également admis que l'emploi de matériaux absorbants pour ces écrans présente un intérêt dans certains cas : ils réduisent les renforcements sonores dus aux réflexions multiples entre deux écrans en vis à vis ou entre un écran et la caisse de véhicules volumineux (International Institute of Noise Control Engineering - Working Party on the Effectiveness of Noise Wall, 1998). Par ailleurs, depuis quelques années sont apparus sur le marché des dispositifs dits de couronnement d'écrans, qui consistent à coiffer un écran simple et droit d'un élément (par exemple une casquette ou un cylindre) en général absorbant sur toute sa longueur. Ces dispositifs sont supposés améliorer les performances acoustiques de l'écran (en diffraction) sans augmentation de la hauteur.

Le fonctionnement d'un écran dépend de plusieurs éléments :

- *Transmission* : pour une épaisseur donnée, l'énergie sonore transmise par un écran est fonction des caractéristiques physiques (masse volumique, élasticité, rigidité), des matériaux constitutifs ainsi que de la technique mise en œuvre (paroi simple, parois multiples). Dans un objectif d'isolement de 25 ou 30 dB(A), les épaisseurs minimum à mettre en œuvre sont variables selon le type de matériau (bois 40 mm, méthacrylate 15 mm, acier 1,5 mm, aluminium 2,5 mm).
- *Réflexion* : l'énergie sonore réfléchie par la paroi de l'écran doit être maîtrisée pour ne pas augmenter le niveau sonore d'exposition des habitants de la rive opposée. Deux solutions sont, à ce jour, possibles : revêtir la paroi d'un matériau absorbant ou incliner cette paroi.

L'enjeu de cette réflexion (absorption) varie entre 1 à 2 dB(A) (écran seul) et 8 à 9 dB(A) (écrans parallèles, déblais…).

- *Diffraction* : l'atténuation de l'énergie sonore est proportionnelle à la différence de marche imposée par l'écran, entre le chemin réel (diffracté) et le chemin direct (sans écran). Cette atténuation dépend donc des caractéristiques géométriques du dispositif (hauteur, longueur, épaisseur), mais aussi de la situation topographique « source/écran/récepteur ». La performance acoustique varie donc en fonction du positionnement relatif source/récepteur/écran.

Des travaux de recherche en cours portent sur l'influence de l'aspect visuel des écrans sur la perception qu'ont les riverains de l'efficacité du dispositif.

I-4-2-2) Efficacité d'un écran acoustique

L'efficacité globale d'un écran prend en compte les différents phénomènes cités précédemment et paramètres intrinsèques à l'ouvrage. De fait, pour un ouvrage de masse « minimum», l'efficacité globale (*Insertion Loss*) d'un tel dispositif est pilotée par la diffraction, elle-même liée aux dimensions finies de l'écran. Les méthodes utilisées pour déterminer les dimensions d'un écran acoustique *ad hoc* pour un site donné (infrastructure, terrain naturel, bâtiments à protéger) ont bénéficié des possibilités de la micro-informatique. Les méthodes automatiques permettent de comparer de nombreuses variantes d'écrans et donc d'optimiser les protections. Les produits et systèmes ont considérablement évolué.

Les modèles de prévision

Le coût des protections sonores étant en général assez élevé, l'existence de modèles de calcul suffisamment précis et réalistes est essentielle. Le calcul de l'efficacité acoustique des écrans a longtemps été abordé de manière empirique, par l'utilisation d'abaques établis pour des configurations très simples, qui dans le contexte actuel, manquent un peu de réalisme : écran plan, mince, parfaitement réfléchissant, reposant sur un sol plan également réfléchissant. On préfère aujourd'hui puiser parmi les nombreuses méthodes de calcul développées à partir des lois théoriques de l'acoustique géométrique. Ces méthodes permettent d'analyser avec une précision satisfaisante les performances d'un écran antibruit en tenant compte des diverses réflexions de l'onde sonore sur le sol ou le bâti avoisinant. Les propriétés d'absorption du sol ou de l'écran peuvent être prises en compte, et l'efficacité de l'ouvrage en fonction de la fréquence en est déduite.

Ces outils sont en général d'utilisation relativement facile, mais dans tous les cas, l'écran considéré est simple : droit, mince et homogène. Lorsque l'on veut intégrer les effets de forme complexe d'écrans ou de diversité des matériaux, il est nécessaire de faire appel à des techniques de calcul plus sophistiquées de type calcul aux éléments finis, exigeant des moyens de calculs numériques importants (Anfosso-Lédée F., Garai M. et al., 2000).

En s'opposant à la propagation du son, l'écran sera également affecté par les conditions météorologiques. La présence de gradients de vent et de température, modifiant considérablement la propagation du son (cf. *infra*), va influencer l'efficacité d'un écran. Le phénomène est particulièrement complexe puisque l'écran lui même va modifier localement le profil de vent. Ces effets commencent à être pris en compte dans des modèles numériques eux aussi très complexes.

Conditions de mise en œuvre

Une mauvaise mise en œuvre (mauvaise jonction des panneaux entre eux, mauvaise étanchéité au droit des poteaux…) ou des dégradations par vieillissement naturel ou vandalisme, peuvent donner lieu à des fuites qui dégradent fortement l'efficacité de l'écran. De même, les tags peuvent dégrader fortement les propriétés d'absorption acoustique des matériaux constituant l'écran en obstruant les pores. Enfin, les experts internationaux se penchent aujourd'hui sur les facteurs liés à la sécurité autour de ces ouvrages : tenue mécanique au vent, à la neige, résistance au feu.

Méthodes de mesures et normalisation

L'estimation de l'efficacité d'un écran pose encore de grandes difficultés car il est très difficile de comparer un niveau sonore avec et sans écran, toutes choses égales par ailleurs. Entre les deux situations, l'environnement pourra avoir évolué (nature des sols, topographie, constructions avoisinantes…), le trafic également, et surtout les conditions atmosphériques. L'influence des ces paramètres étant importante, la fiabilité d'une telle mesure s'en trouve fortement diminuée (elle peut atteindre 5 à 6 dB(A) pour une efficacité attendue de 10 dB(A)). Il est donc nécessaire que les chercheurs affinent ces méthodes.

Les groupes de normalisation français (Commission Nationale Écrans Antibruit du Bureau de Normalisation Sol et Routes - BNSR) et européens (le WG6 *« Équipements de la route - Dispositifs de réduction du bruit »* du CEN/TC226) étudient depuis plusieurs années la normalisation des

essais de caractérisation des propriétés acoustiques intrinsèques des écrans[92] (Anfosso-Lédée F. et Dangla P., 1996, Clairbois J.P., Beaumont J. et al., 1998). Mais l'efficacité d'un écran, telle que perçue par un riverain, ne dépend pas uniquement des qualités intrinsèques à cet écran. Cette « efficacité » ou encore « perte par insertion » de l'écran se traduit par un indicateur qui n'est autre que la différence en un point donné entre le niveau de pression sonore avant construction de l'écran et celui après implantation de l'écran. Cette grandeur n'est pas intrinsèque à l'ouvrage mais dépend du point où elle est évaluée, des propriétés du sol, de l'environnement proche, des conditions de propagation du son, notamment les conditions météorologiques locales.

Alors que la réglementation française actuelle, s'exprimant en termes de niveau sonore global en façade n'oblige pas à vérifier les performances de chaque dispositif antibruit séparément, de plus en plus de maîtres d'ouvrage ou de maîtres d'œuvre souhaitent contrôler l'efficacité des ouvrages antibruit réalisés ou leur conformité par rapport aux objectifs fixés dans le cahier des charges. Il est alors nécessaire qu'ils puissent disposer d'une méthode de mesure de l'efficacité. L'ISO propose une méthode normalisée d'estimation de cette efficacité (ISO/10847) mais qui est loin de donner satisfaction, étant peu applicable et très peu fiable. Le groupe d'experts du Comité européen de normalisation (CEN) a également prévu de travailler dans le futur sur ce point.

Le groupe du TC 226/WG6 a rédigé un ensemble de normes, homologuées ou en cours d'homologation, qui harmonisent la pratique de l'évaluation par la mesure des performances d'un écran acoustique. Ces textes portent sur les éléments suivants :

- Spécifications d'un écran : un écran acoustique est caractérisé par 16 items auxquels sont associées des méthodes de mesures ou de calcul ;
- Méthodes d'essais pour la détermination des performances acoustiques (absorption, transmission, diffraction) en laboratoire et *in situ* ;
- Méthodes d'essais et de calculs pour évaluer les performances non acoustiques (mécanique, stabilité, sécurité et environnement) ;
- Enfin, caractère innovant de cette démarche d'harmonisation (normalisation) européenne, l'obligation de prendre en compte la durabilité dans l'état des connaissances actuelles.

Cette norme européenne se met progressivement en place, se substituant aux normes françaises.

[92] Les méthodes proposées permettent de mesurer sur site le degré d'absorption acoustique des matériaux, l'absence de fuite en transmission à travers la structure, et depuis peu l'effet de modification de la diffraction apporté par les dispositifs de couronnement.

Les exigences réglementaires actuelles portent sur le niveau d'exposition en façade (L_{Aeq}, L_{DEN}) et sur les performances intrinsèques du produit écran (absorption, transmission, diffraction), ainsi que sur les performances extrinsèques (normes européennes) dans un avenir proche.

En conclusion, en l'état actuel, parmi les dispositifs de réduction du bruit des transports terrestres, l'écran acoustique reste un outil efficace (10 dB(A)) et pérenne. Le contrôle de son efficacité est normalisé et prend en compte les conditions de mise en œuvre (joints, défauts d'étanchéité, vieillissement, dégradations.

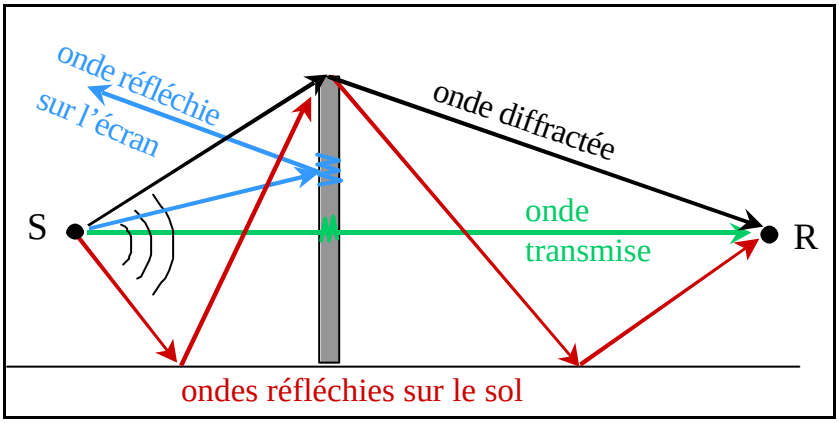


Figure 12 : Principe de fonctionnement d'un écran antibruit

Photo 2 : Exemple d'écran végétalisé sur l'A1

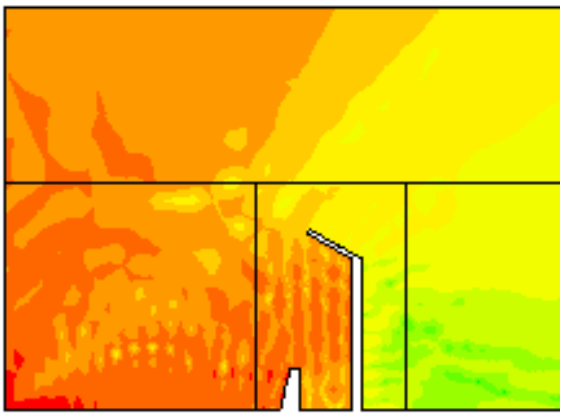


Figure 13 : Exemple de calcul par éléments finis de frontière de la diffraction par un écran coiffé d'une casquette en présence d'une glissière de sécurité

I-4-3) L'isolation de façade des bâtiments

L'isolation de façade des bâtiments est la solution "ultime", bien que la plus "efficace" en termes d'efficacité acoustique (35 à 45 dB(A)). Ce type de protection, impliquant la fermeture des fenêtres, nécessite une climatisation, pas toujours acceptée par les habitants. Dans tous les cas, l'efficacité de l'enveloppe du bâtiment exposé exige la mise en œuvre d'une entrée d'air, assez souvent le maillon faible, car ce système est soumis à l'antagonisme des contraintes aérauliques et acoustiques. Dans la situation de performances fortes (> 38 dB(A)), les systèmes actuels disponibles sont peu nombreux et récents car la contrainte thermique a été prioritairement traitée. Des progrès sont attendus en la matière, malgré les difficultés du marché.

Bien que les méthodes de calculs prévisionnels existent depuis de nombreuses années, la procédure de vérification (NFS 31-059) d'un isolement de façade n'est pas aisée et n'a pas fait l'objet de contrôles nombreux.

I-4-4) Les solutions mixtes

Les solutions à la source sont à privilégier avec l'association revêtement de chaussée peu bruyant et écran acoustique. Toutefois, l'efficacité globale de ce type de solution n'est pas linéaire, le gain alors apporté par le revêtement est légèrement réduit.

La solution associant écran et isolement acoustique de façade pour les étages supérieurs est fréquemment utilisée dans le cas de bâtiments de grande hauteur (4 étages), lorsque les limites de l'efficacité d'un écran dues au phénomène de diffraction sont atteintes. Dans ce cas, les abords immédiats du bâtiment sont protégés.

II) IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT

II-1) BRUIT ET AUDITION

Ce chapitre présente des rappels physiologiques sur le fonctionnement de l'oreille et traite des pathologies de l'oreille liées au bruit.

Au terme de son évolution, le système auditif humain a acquis des caractéristiques impressionnantes. Il est capable de détecter des déplacements de molécules d'air cent fois plus petits que le diamètre d'un atome d'hydrogène (soit 10^{-12}m) et des puissances acoustiques de l'ordre de 10^{-18} Watt, sa sélectivité en fréquence atteint 1/200 d'octave et sa précision à la localisation d'une source sonore dans le plan horizontal est de l'ordre du degré.

De telles performances s'accompagnent cependant d'une certaine fragilité : les ambiances sonores que l'on rencontre dans l'environnement professionnel et récréatif peuvent être extrêmement agressives et altérer temporairement (*fatigue auditive*) ou définitivement (*perte auditive*) la fonction auditive. L'oreille est la cible privilégiée des bruits et le lieu d'élection des traumatismes sonores. C'est dans l'oreille interne que se trouvent les structures sensorielles qui transforment les stimuli acoustiques en messages nerveux.

II-1-1) Rappels physiologiques sur le fonctionnement de l'oreille

Les sons que nous percevons sont généralement caractérisés par leur hauteur ou leur fréquence en Hertz (Hz) et leur intensité en décibel (dB).

La fréquence d'un son pur dépend du nombre de vibrations par seconde de l'onde sonore. Ces vibrations sont captées par le pavillon de l'oreille et se propagent à travers le conduit auditif jusqu'au tympan qui délimite l'oreille externe de l'oreille moyenne. Les fréquences dites de la gamme conversationnelle sont généralement comprises entre 250 et 4000 Hz. Il est admis que la plus petite fréquence perceptible par l'oreille humaine correspond environ à 16 Hz et la plus grande fréquence à environ 20 kHz.

La membrane tympanique se met à vibrer sous l'impact de l'onde sonore et transmet les vibrations (la pression acoustique) à la cochlée [oreille interne] par l'intermédiaire de la chaîne des osselets [oreille moyenne] qui les amplifie. Il existe un réflexe acoustique, appelé réflexe stapédien, qui a pour rôle de protéger la cochlée lors de sur-stimulations sonores (>80 dB), mais il n'est efficace que pour des fréquences inférieures à 2 kHz. Une défaillance de ce réflexe, soit à la suite d'une rupture du muscle stapédien - qui peut être causée par un traumatisme de l'oreille moyenne, qu'il s'agisse

d’un trauma crânien ou d’un traumatisme acoustique aigu de l’oreille -, soit d’un défaut de fonctionnement de ce système réflexe, entraînera une *hyperacousie* (augmentation du niveau de perception).

La cochlée est un tube osseux enroulé en spirale. Ce tube est rempli d'un liquide, la périlymphe. Le canal cochléaire est limité par la membrane basilaire sur laquelle repose l'organe sensoriel récepteur : l'organe de Corti. Il est rempli d'endolymphe. Sous l'effet de la stimulation sonore, les vibrations aériennes transmises par la chaîne ossiculaire de l’oreille moyenne sont transformées en vibrations liquidiennes qui se propagent dans la périlymphe puis dans l'endolymphe. Cette onde de pression est à l'origine de phénomènes mécaniques qui affectent les structures cochléaires et notamment la membrane basilaire : ce sont ces phénomènes qui déclenchent le processus de transduction au niveau des mécanorécepteurs de la cochlée que sont les cellules ciliées.

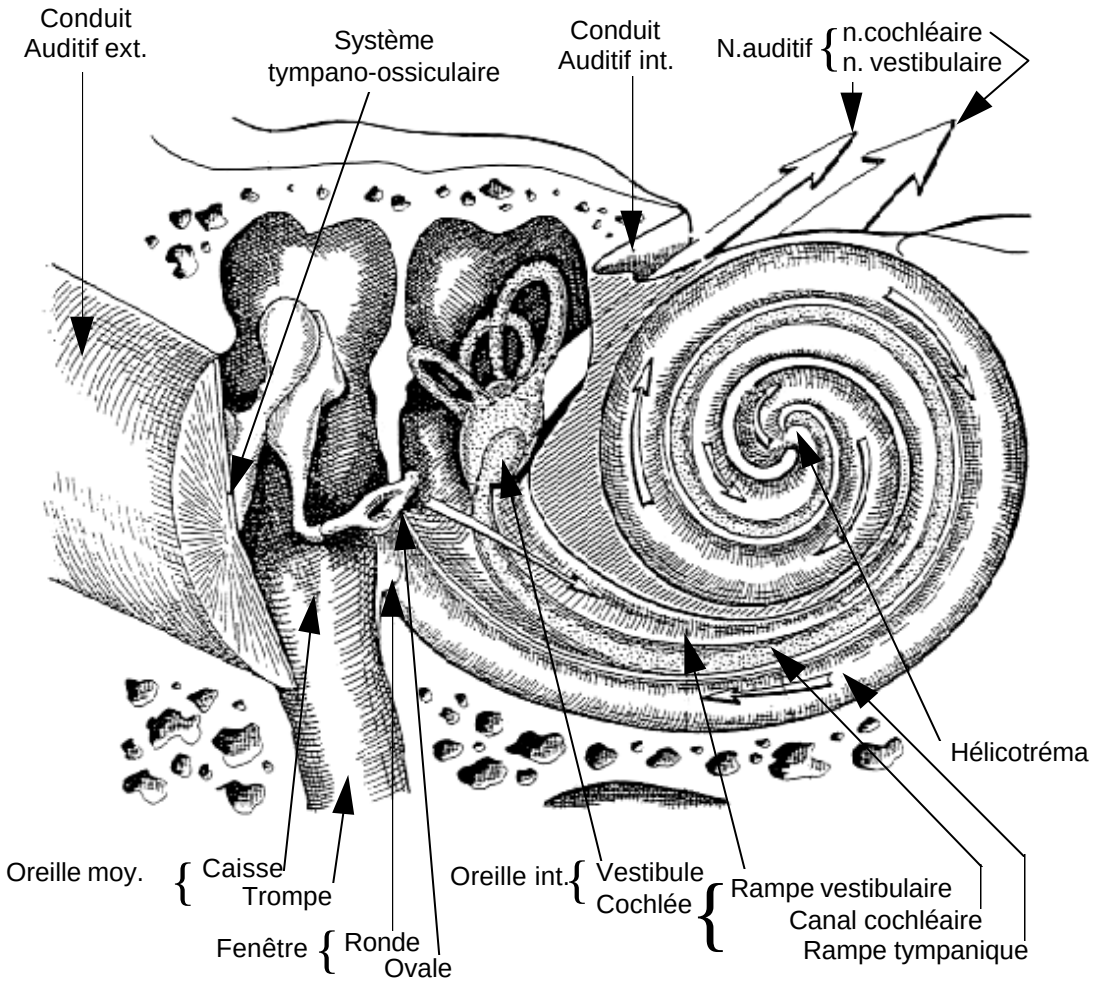


Figure 14 : Planche anatomique de l'oreille. L'organe de transmission (Legent F., 1984)

La déformation de la membrane basilaire suit la propagation de l'onde de pression. Ainsi plus la fréquence est élevée, plus la déformation est proche de la base à l’entrée de la cochlée.

L'organe de Corti possède deux types de cellules sensorielles : les cellules ciliées externes (CCE) et internes (CCI). On distingue environ 3500 cellules ciliées internes (CCI) et environ 12 000 cellules ciliées externes (CCE). Leur nombre est assez faible si l'on tient compte du fait qu'*elles ne se renouvellent pas chez l'homme.* L'organe de Corti est donc particulièrement fragile. Les CCE sont les premières atteintes lors des traumatismes sonores.

Au cours des dix dernières années, les neurobiologistes de l'audition ont pu préciser le rôle des CCE : un rôle mécanique d'amplification de l'intensité sonore et de filtrage de la fréquence. Une CCE répond sélectivement à une seule fréquence et fonctionne pour de faibles intensités (< 60 dB). Les CCE n'envoient pas directement de message auditif via le nerf auditif au système nerveux central, 4% des fibres néanmoins pourraient entrer dans un arc réflexe qui ajusterait la compliance (caractéristiques mécaniques) de l'organe de Corti. Le rôle de ce système afférent reste encore débattu.

Les CCE possèdent une activité contractile capable d'engendrer des mouvements liquidiens, qui, en utilisant en sens inverse la fonction de l'oreille moyenne, va permettre l'apparition d'une onde sonore enregistrable dans le conduit auditif. C'est ce que l'on appelle les otoémissions acoustiques. Les CCE sont responsables des propriétés non linéaires de la cochlée. On peut vérifier l'intégrité de l'activité de ces cellules par la conservation de ces propriétés. Le recueil de ces otoémissions est intéressant pour l'audiologie, car il peut aider à la détection d'un dysfonctionnement non détectable par l'audiométrie de routine.

Les CCI auraient un rôle sensoriel direct, leur excitation provoque la formation d'un influx nerveux (courants électriques) passant du nerf auditif au cortex temporal au niveau du centre auditif. Ce sont les mouvements de la membrane basilaire qui induisent des cisaillements des cils des CCI et par voie de conséquence, une série d'événements (électromécaniques et biochimiques) qui constitue la transduction mécano sensorielle, première étape de l'analyse du signal acoustique.

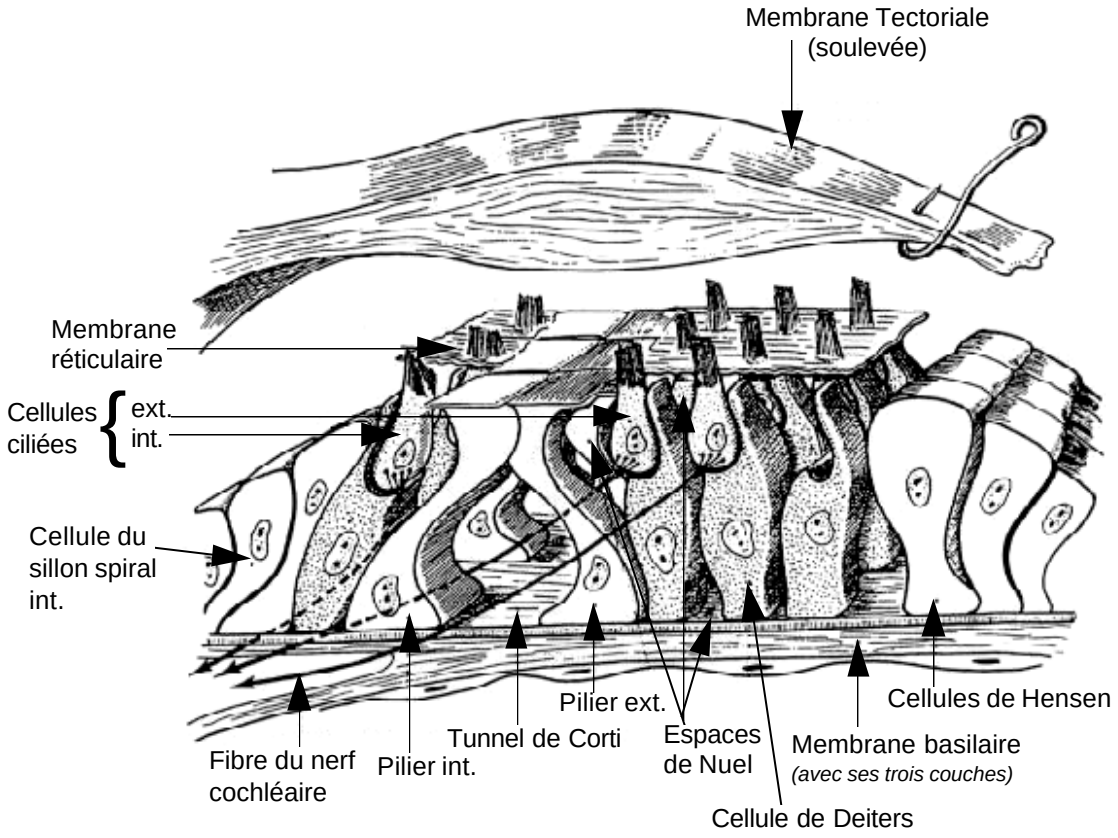


Figure 15 : L'organe de Corti (Legent F, 1984)

Une bonne acuité auditive nécessite que tous les éléments de la chaîne, du pavillon de l'oreille au cerveau, ne soient pas être altérés. Toute lésion de l'un d'eux se manifeste par une diminution de l'audition ou hypoacousie plus ou moins importante et pouvant aller jusqu'à la surdité.

II-1-2) Description des pathologies de l'oreille liées à l'exposition au bruit

II-1-2-1) Les effets du bruit sur l'audition

La nocivité du bruit est liée à certain nombre de paramètres.

- *La qualité du bruit* : les bruits de fréquence aiguë (fréquences élevées) sont, à intensité égale, plus nocifs que les bruits graves.
- *La pureté* : un son pur de forte intensité est plus traumatisant pour l'oreille interne qu'un bruit à large spectre. Mais il faut noter que les sons purs sont peu fréquents en milieu industriel ou dans l'environnement.
- *L'intensité du bruit : le risque de fatigue auditive et/ou de surdité croît avec l'augmentation de l'intensité. Il existe une limite au-dessous de laquelle aucune fatigue mécanique n'apparaît. Dans ces conditions, l'oreille peut supporter un nombre quasi infini de sollicitations. Par exemple, les expositions de longue durée à des niveaux sonores inférieurs à 70-80 dB*

n'induisent pas de lésions. En revanche un son très intense procure une sensation désagréable, voire même douloureuse ; 120 dB constitue le seuil de la douleur. Au delà de 120 dB les tympans peuvent subir des lésions importantes ainsi que les structures ciliaires de l'oreille interne. Des ruptures ciliaires apparaissent avec des bruits impulsionnels dépassant 130 dB crête.

- *L'émergence et rythme du bruit : un bruit impulsionnel ayant un caractère soudain et imprévisible est plus nocif qu'un bruit continu de même énergie.*
- *La durée d'exposition : pour une même ambiance sonore, plus la durée d'exposition est longue, plus les lésions auditives de l'oreille interne seront importantes. La succession des expositions professionnelle et extraprofessionnelle (discothèques, concerts, baladeurs…) augmente la durée d'exposition, donc le risque de lésions auditives.*
- *La vulnérabilité individuelle : l'âge, les antécédents d'étiologie infectieuse de la sphère ORL, les antécédents de traumatisme crânien, certains troubles métaboliques ou de la tension artérielle peuvent potentialiser l'effet délétère du bruit.*
- *L'association avec d'autres expositions à risque : l'exposition au bruit associée aux vibrations et à des agents chimiques ou médicamenteux ototoxiques peut augmenter le risque de traumatisme auditif.*

II-1-2-2) Aspects cliniques du traumatisme sonore

Avant de présenter les mécanismes possibles impliqués dans le traumatisme sonore, nous distinguerons deux états dans la physiopathologie de l'oreille liés au bruit : la fatigue auditive d'une part ; la perte auditive d'autre part. Les deux sont évaluées actuellement par une audiométrie tonale liminaire sur la gamme de fréquences audibles et les pertes sont exprimées en dB HL (*hearing level*) par rapport à une population d'audition normale standard (mesures selon normes AFNOR S 30-007 et ISO 389). Les résultats sont portés sur papier et constituent l'audiogramme.

En général, l'exposition au bruit se traduit par une encoche sur l'audiogramme autour de la fréquence 4 kHz, imputable aux spectres des bruits les plus courants et à l'amplification acoustique sélective autour de cette fréquence par l'oreille externe et moyenne (Campo, 1987). Pour des bruits dont le spectre en fréquence est plus étroit, les fréquences audiométriques affectées sont en général en rapport avec celles du son traumatisant, mais souvent elles ne coïncident pas exactement, notamment elles peuvent s'étendre vers les hautes fréquences. La description qui vient d'être faite correspond à ce qu'on appelle le *traumatisme sonore aigu*.

Il existe un traumatisme sonore plus insidieux, le *traumatisme sonore chronique* qui affecte progressivement l'oreille interne sans que le sujet n'ait réellement conscience de cette dégradation,

jusqu'au stade du réel handicap social. Ces traumatismes chroniques qui correspondent à une fatigue sensorielle répétée se trouvent habituellement associés au bruit continu. L'encoche audiométrique à 4 kHz s'évase et entraîne une élévation des seuils d'audition sur les fréquences élevées, mais aussi vers les basses fréquences affectant la région des 2 kHz.

Si l'encoche audiométrique à 4 kHz est généralement le signe clinique objectif confirmant le traumatisme sonore, la sensation de sifflements aigus dans les oreilles en dehors de tous stimuli externes est le signe clinique subjectif le plus fréquemment rapporté par les personnes lors d'un traumatisme sonore. Ce sont les acouphènes.

Ces acouphènes sont très invalidants sur le plan psychique et professionnel. Cependant, l'acouphène est un symptôme non spécifique de l'exposition au bruit, on le rencontre associé à d'autres pathologies (diabète, hypertension, insuffisance rénale, tumeurs diverses associées au système auditif, traitement chimiothérapique, prise de salicylate, maladie de Ménière, traumatisme cervical et mandibulaire, otospongiose, etc.).

- La fatigue auditive

La fatigue auditive correspond à un déficit temporaire d'audition qui se caractérise par une diminution de la sensibilité auditive pendant un temps limité après la fin de la stimulation acoustique. L'amplitude de ce déficit temporaire augmente en moyenne de 6dB chaque fois que celle de la stimulation double. A partir d'un certain niveau critique aux environs de 120 dB cette augmentation s'accélère fortement ; ceci est particulièrement vrai pour le bruit impulsionnel. Il existe aussi une relation de proportionnalité entre durée de récupération et durée d'exposition en bruit continu. Les basses fréquences sont beaucoup mieux tolérées en termes de fatigue auditive que les fréquences moyennes ou élevées : l'oreille est plus fragile aux fréquences pour lesquelles sa sensibilité est la meilleure. Pour l'oreille humaine la plus grande sensibilité de l'oreille se situe autour de la fréquence 4 kHz. C'est pourquoi l'énergie acoustique est transmise de façon optimale autour de 4 kHz ce qui explique l'encoche caractéristique à l'audiométrie dans les expositions au bruit, professionnelles ou de loisirs.

- La perte auditive

Les pertes auditives sont caractérisées par leur irréversibilité.

En général, différents niveaux de pertes auditives définitives peuvent être distingués : les surdités légères (pertes de faible amplitude comprises entre 20 et 40 dB HL), les surdités moyennes (pertes comprises entre 40 et 60 dB HL) et les surdité sévères (pertes supérieures à 60 dB HL). En clinique on a donc tendance à considérer qu'une audition est normale si la perte auditive n'excède pas 20dB HL sur chacune des fréquences audiométriques testées. Les fréquences testées en routine sont

les suivantes : 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8 kHz, mais les fréquences 3 et 6 kHz sont testées plus systématiquement ces dernières années.

II-1-2-3) Mécanismes des atteintes de l'oreille liées au bruit

Les mécanismes des atteintes de l'oreille liées au bruit sont encore discutés à l'heure actuelle et dépendent des paramètres précités. Une composante mécanique du traumatisme sonore sera souvent invoquée dans le cas de traumatisme aigu lors d'une exposition à un bruit impulsionnel (très fort et ponctuel), alors qu'une composante métabolique sera invoquée dans le traumatisme sonore chronique (moins fort et prolongé).

- La composante mécanique

Les atteintes mécaniques directes sont les mieux connues et constituent l'effet pathologique majeur des bruits, notamment impulsionnels, sur la transduction sensorielle. En réponse à de fortes pressions acoustiques, des mouvements de cisaillement et de tiraillement s'exercent sur les structures ciliaires cellulaires. Les déplacements de l'organe de Corti allant au-delà des limites d'élasticité tolérées peuvent provoquer des ruptures membranaires (Mulroy M., Henry W. et al., 1998) C'est l'arrachement, la cassure et la fusion des stéréocils de la touffe ciliaire, implantée au sommet des cellules cillées, qui est à l'origine de la perte auditive irréversible. Le traumatisme sonore aigu est souvent d'origine purement mécanique. Cependant, les bruits agissent également sur le métabolisme de la cochlée.

- La composante métabolique

L'altération résultante des dysfonctionnements métaboliques générés par le bruit s'installe de manière plus progressive, ce qui expliquerait l'évolution de la perte auditive plusieurs heures après la fin d'une exposition sonore. Les cellules atteintes peuvent présenter des altérations intra cellulaires : prolifération et vacuolisation du réticulum endoplasmique, gonflement des mitochondries et accumulation de lysosomes (Liberman M.C. et Dodds L.W., 1987). Les terminaisons nerveuses afférentes aux pieds des cellules ciliés paraissent œdèmatisées.

Ces gonflements pourraient être en rapport avec une surcharge cytotoxique en neurotransmetteur excitateur (glutamate) dans l'espace inter synaptique (Pujol R., Puel J.L. et al., 1993, Puel J.L., Gervais d'Aldin C.H. et al., 1996). Les auteurs ont conclu que la part de pertes auditives relevant de l'action neurotoxique du glutamate serait importante. La recherche pharmacologique sur les anti-glutamatergiques donne dés à présent des résultats prometteurs (Puel J.L., Ruel J. et al., 2002).

L'ischémie ou hypoxie (absence ou diminution de l'oxygénation) pourrait également participer à l'installation du traumatisme acoustique.

* Les acouphènes

Le traumatisme sonore génère presque toujours des acouphènes. Ils sont le résultat d'une activité aberrante produite par un ou plusieurs sites du système auditif et qui est interprétée, de façon erronée, comme un bruit par les centres supérieurs. La connaissance de leur physiopathologie est encore au stade de nombreuses hypothèses. Le Dr Jastreboff suggère que le phénomène provient d'une altération fonctionnelle discordante entre CCI et CCE (Jastreboff P.J., 1990). Une altération majoritaire des CCE serait responsable du déclenchement de l'acouphène. Les Dr Pujol et Puel (Puel J.L. et al., 2002) localiseraient l'origine du phénomène au niveau synaptique, induite par une activation excessive des récepteurs spécifiques (NMDA) du glutamate (Guitton M.J., Caston J. et al., 2003). Ces activités parasites se propageraient le long de la voie auditive, jusqu'au cortex où elles seraient perçues comme des sons.

II-1-2-4) Susceptibilités interindividuelles et facteurs de risque

L'importance de la variation interindividuelle de la susceptibilité de l'homme vis-à-vis du traumatisme acoustique est connue depuis des décennies ; elle est multifactorielle. Sans entrer dans les détails, on sait que cette susceptibilité peut être corrélée avec :

- *l'état de santé général physique et mentale* : l'état cardiovasculaire, le taux d'agrégation plaquettaire, le diabète, l'hypertension, les hypo-magnésies sévères et l'état neuropsychique (épuisement sensoriel). Par conséquent, l'âge est aussi un facteur de fragilité cochléaire notamment au-delà de 50 ans (Toppila E., Pyykko I. et al., 2001). Les effets du bruit en fonction de l'âge de sujets exposés ont été étudiés à l'aide de plusieurs modèles expérimentaux: le chinchilla (Mc Fadden S., Campo P. et al., 1998), la gerbille (Prasher D., Henderson D. et al., 2001) et le rat (Campo P., Pouyatos B. et al., 2003). Quel que soit le modèle expérimental considéré, il apparaît qu'un sujet âgé est plus vulnérable au bruit qu'un sujet jeune (Prince M.M., Gilbert S.J. et al., 2003, Rosenhall U., 2003).

- *l'état local de l'appareil auditif*. Certaines causes sont désormais reconnues comme aggravant les effets délétères du bruit :

- l'inefficacité du réflexe acoustique ;
- les malformations héréditaires ;
- les antécédents de traumatisme crânien ;
- les séquelles médicamenteuses (aminoglycosiques (Aran J.M., Hiel H. et al., 1991), quinine, chimiothérapie anti-tumorale (cisplatine (Mc Alpine D. et Johnstone B.M., 1990) ;
- les expositions à certains produits toxiques (solvants aromatiques, monoxyde de carbone (Campo P., Lataye R. et al., 2001b, Morata T. et Campo P., 2002) ;

- les antécédents d'affections de nature bactérienne ou virale (otites moyennes de l'enfance) (Job A., Raynal M. et al., 1999). Sur une population jeune, exposée au travail bruyant ou aux musiques intenses, les sujets ayant eu des otites dans l'enfance perdent en moyenne 11 dB de plus que les sujets exposés sans antécédent. Le risque d'acouphène et de traumatisme sonore aigu est aussi plus important.

II-1-2-5) Impacts de l'utilisation des équipements musicaux individuels

Plusieurs instances médicales, en particulier l'Académie nationale de médecine (Loth D., Avan P. et al., 1992a), ont fait part de leur inquiétude devant ce qui semble être une augmentation de l'incidence des pertes auditives constatées chez des sujets jeunes soumis à un dépistage, notamment au moment du service national (Buffe P., Cudennec Y. et al., 1986, Borchgrevink H.M., 1990). Or, au cours des années 1980 se sont développés les appareils portatifs permettant l'écoute d'enregistrements (baladeurs, autoradios…). Parmi les plus de 15 ans, 41 % fréquentent les discothèques et/ou utilisent un baladeur et cette proportion atteint 87% chez les 15-24 ans. Un utilisateur sur cinq reconnaît écouter son baladeur plus de 5 h par jour à une intensité sonore de 100 dB ou davantage (3^{e} table ronde du congrès de la Société française d'ORL et de chirurgie de la face et du cou, Paris, 2002). Aussi, l'usage inconsidéré d'équipements musicaux individuels constitue un facteur de risque pour l'audition.

Des enquêtes audiométriques ont montré qu'une fatigue auditive pouvait apparaître après l'utilisation d'équipements musicaux individuels :

- un niveau continu équivalent de 89 dB(A) (hard rock) et de 94 dB(A) (musique classique) émis au moyen d'un lecteur portable de disque laser associé à des écouteurs de qualité standard pendant une heure est à l'origine d'une fatigue auditive, statistiquement significative ($p<0,05$), de 5 dB à 4 kHz (Loth D., Avan P. et al., 1992b) ;
- un niveau continu équivalent de 89 dB(A) (hard rock) émis au moyen d'un baladeur à cassettes associé à des écouteurs de qualité standard pendant une heure est à l'origine d'une fatigue auditive, statistiquement significative ($p<0,05$), de 2 dB à 4 kHz (Loth D., Avan P. et al., 1995a) ;
- un niveau continu équivalent de 84 dB(A) émis à partir d'une chaîne stéréophonique pendant une heure est à l'origine d'une fatigue auditive, statistiquement significative ($p<0,0001$) de 6 dB (Loth D., Avan P. et al., 1995b).

Ces résultats mettent en évidence l'existence d'une fatigue auditive très modérée, après une heure d'écoute, pour les niveaux acoustiques choisis. Il faut souligner que la présence d'une fatigue auditive, par définition réversible, n'implique pas qu'une perte auditive irréversible apparaîtrait si

l'exposition se prolongeait. Il s'agit là d'un mécanisme physiologique normal, dont la survenue peut précéder de beaucoup le stade à partir duquel un risque de perte auditive définitive existe. Cependant, étant donnée l'apparition de fatigues auditives dans les conditions indiquées ci-dessus, il est raisonnable de mettre en garde contre un risque de déficit auditif définitif en cas d'exposition prolongée, répétée et à des niveaux intenses.

La Commission de la sécurité des consommateurs (CSC) a émis un avis relatif à l'utilisation abusive des baladeurs musicaux (Commission de sécurité des consommateurs, 1993). Cet avis rappelle dans une première partie les risques sanitaires liés à l'écoute d'un baladeur à des niveaux élevés de puissance sonore, avant de présenter les dangers que peut comporter, notamment pendant la conduite d'un véhicule à moteur ou d'un véhicule à deux roues, l'utilisation d'un baladeur musical. Cet avis se termine par une série de recommandations. Celles qui sont relatives aux impacts sanitaires du bruit ont été pour certaines suivies d'effets avec l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) et la législation qui lui a succédé.

Le CSHPF, dans un avis du 4 avril 1996 relatif aux baladeurs, a en effet estimé que : « *Parmi les appareils, seuls ceux qui sont limités à un niveau sonore de 85 dB(A) peuvent être considérés comme ne présentant qu'un risque auditif très faible. Par contre, au-delà d'un niveau sonore maximal de 105 dB(A), les risques sont élevés* ». La loi n° 96-452 du 28 mai 1996 portant diverses mesures d'ordre sanitaire, social et statutaire, limite la puissance sonore maximale de sortie des baladeurs à une pression acoustique de 100 dB S.P.L. (*Sound Pressure Level*). Par ailleurs, ces appareils doivent porter sur une étiquette lisible, non détachable, la mention : « *A pleine puissance, l'écoute prolongée du baladeur peut endommager l'oreille de l'utilisateur* » (article L. 5232-1 du code de la santé publique, textes d'application de la loi : décret n° 98-858 du 22 septembre 1998, arrêté du 24 juillet 1998).

Il faut néanmoins préciser que la législation peut facilement être détournée. La puissance sonore produite par un baladeur résulte en effet de la combinaison de deux éléments : le baladeur lui-même et les écouteurs. Or le niveau sonore des écouteurs peut être accru si les écouteurs fournis avec le baladeur à l'achat sont remplacés par d'autres ayant un rendement électro-acoustique plus élevé. Souvent ces écouteurs sont d'ailleurs de mauvaise qualité acoustique.

En outre, un de éléments de l'avis de la CSC n'a sans doute pas été appliqué : celui proposant que les médecins pédiatres et ORL réalisent une prévention régulière auprès des patients et du public en général.

II-1-3) Aspects épidémiologiques des atteintes de l'audition

II-1-3-1) Données épidémiologiques globales des troubles de l'audition.

Il est difficile de faire la part des pertes auditives strictement liées au bruit. Les études sur l'audition prennent en compte les pertes auditives globales toutes étiologies confondues (2000). Néanmoins, chez les jeunes de moins de 25 ans, l'exposition au bruit semble être la cause majeure des déficits auditifs (6 % de traumatisme sonore avéré, 39 % d'exposition régulière en discothèques et concerts ; 17 % d'utilisation de baladeurs plus d'une heure par jour) (Job A., Raynal M. et Rondet P., 2000). En Finlande, 51% des jeunes s'estiment exposés à des niveaux sonores très élevés (Jokitulppo J.S., Bjork E.A. et al., 1997).

En France, les données épidémiologiques globales montrent que :

- 5 millions de Français sont concernés par la malentendance, dont 2 millions chez les moins de 55 ans. 15 % de la population porte des aides auditives. Un Français sur deux ne fait jamais tester son audition.
- plus de 5 millions de personnes souffrent d'acouphènes. Ce sont en majorité les personnes de plus de 50 ans. 50 000 à 80 000 personnes consultent chaque année pour des problèmes d'acouphènes. Dans 56% des cas, les causes on pu être identifiées. La prévalence reste inchangée depuis 8 ans. Les divers traitements médicamenteux n'améliorent la situation que dans 26% des cas (Dauman R., 1999, Pujol R., 2003).

Une étude par auto questionnaire, conduite auprès de 603 sujets souffrant d'acouphènes chroniques, montre que pour le quart d'entre eux il y a un retentissement psychosocial important (prix Isambert CCA 2000 - Travail de Siméon Renaud - Service du Pr. Bernard Frachet).

II-1-3-2) Données épidémiologiques des troubles de l'audition liées au bruit.

En France, à l'heure actuelle, il n'existe que peu de données épidémiologiques sur les surdités de l'adulte exclusivement liées au bruit. On peut citer néanmoins quelques récentes études (Ho M.T. et Quinot E., 1994, Meyer-Bisch C., 1996, Heran-Le Roy O. et al., 1997, Prost G., Duclos J.-C. et al., 1999) ; (Job A., Delplace F. et al., 1993, Job A., Raynal M. et Rondet P., 2000). Il faut noter que chaque étude utilise un mode d'évaluation de la surdité différent, ce qui rend la comparaison des populations difficile.

Prévalence des acouphènes

En milieu extraprofessionnel, la prévalence des acouphènes (essentiellement liés au bruit) chez les jeunes de 18-24 ans est de 8 % (Job A., Raynal M., Tricoire A. et al., 2000). En 1996, parmi les officiers de l'Armée de Terre, âgés de 32 ± 4 ans, 29 % avaient des acouphènes quasi permanents, 44 % des acouphènes intermittents.

En milieu industriel, seules des études étrangères évaluent l'existence d'acouphènes chez les personnes exposées au bruit. Une étude polonaise estime la prévalence de l'acouphène à environ 70 % chez les ouvriers de forges ayant été exposés plus de 10 ans (Sulkowski W., Kowalska S. et al., 1999) ; une étude bulgare évalue la prévalence des acouphènes à 43 % chez les mineurs de 34-55 ans (Tzanneva L., Savov A. et al., 2000) ; une étude israélienne chez les militaires montre une prévalence croissante après 10 ans de service quel que soit l'âge (Attias J., Reshef I. et al., 2002).

Prévalence des pertes auditives : les expositions extraprofessionnelles

Les expositions sonores les plus délétères en termes de santé publique (% de sujets exposés) et de pertes de sensibilité auditive statistiquement significatives sont les concerts de groupes, les discothèques et les baladeurs. En 1979 chez les 18-30 ans, 7 % avait plus de 20 dB de perte à 1 kHz (Thiery L., Pietry-verdy M.F. et al., 1979).

En 1994, une étude menée chez 2000 lycéens âgés de 18 à 24 ans a montré que 11% d'entre eux souffraient d'une perte auditive moyenne comprise entre 15 et 40 dB (Prost G. et al., 1999).

En 1994, une autre étude française réalisée sur une population de 1364 jeunes âgés de 14 à 40 ans montre que le risque de perte auditive est plus élevé avec les concerts rock qu'avec les discothèques. Par ailleurs, cette étude montre une élévation des seuils auditifs chez les porteurs de baladeurs utilisant l'appareil plus d'une fois par jour (Meyer-Bisch C., 1996).

En 1997, le centre de recherche du service de santé des armées (CRSSA) a mené chez 1208 jeunes de 18-24 ans une étude qui montre que les pertes d'audition générées par les baladeurs et les concerts dans cette tranche d'âge sont essentiellement liées à l'existence d'une vulnérabilité du système auditif chez les sujets ayant eu des otites (47 %, un épisode ; 17 % épisodes répétés) et des traumatismes crâniens (7 %). Ces sujets perdent en moyenne 11 dB de plus que les sujets exposés sans ces facteurs de risque. Le risque d'acouphène et de traumatisme sonore aigu est aussi plus élevé (Job A. et al., 1999, Job A., Raynal M. et Rondet P., 2000). Une cartographie de l'état auditif de ces jeunes Français de 18-24 ans a pu être établie, montrant des seuils auditifs supérieurs à 15 dB :

- pour 9 % d'entre eux, sur les fréquences 0,5-2 kHz (2 % de surdités sévères) ;
- pour 15 % d'entre eux sur les fréquences 4-8 kHz (3 % de surdités sévères).

Cette étude montre aussi que les conditions de vie urbaine (vs campagne), élèvent les seuils auditifs.

Ces études ont été conduites avant que le dispositif législatif qui limite les intensités sonores des baladeurs soit mis en place.

Pour les expositions professionnelles, nous renvoyons au I-3-3-2.

II-1-3-3) Les besoins en matière de recherches épidémiologiques

Le problème d'un recueil homogène de données pour comparer les études entre elles se pose sérieusement. L'étalonnage différent des appareils, le calcul des seuils auditifs, le choix des populations et des expositions constituent autant de critères d'inclusion différents qui rendent l'exploitation des résultats difficiles.

- Un protocole unifié pour toute nouvelle enquête audiologique devrait être approuvé.
- La recherche des facteurs de risque dans des populations ciblées paraît toujours essentielle car elle contribue avant tout à la prévention, laquelle est de bon sens et moins coûteuse pour la société.
- Une diffusion d'informations concernant les facteurs de risque auprès des jeunes et des parents serait nécessaire pour que les risques auditifs soient pris en compte assez tôt.

II-2) EFFETS BIOLOGIQUES EXTRA-AUDITIFS DU BRUIT

Les effets du bruit ne se limitent pas à l'appareil auditif, ni aux voies nerveuses et aux aires cérébrales spécifiques à l'audition (effets spécifiques ou *effets auditifs*). Du fait de l'étroite interconnexion des différentes voies nerveuses entre elles, les messages nerveux d'origine acoustique atteignent de façon secondaire d'autres centres nerveux et provoquent ainsi des réactions plus ou moins spécifiques et plus ou moins marquées au niveau d'autres fonctions biologiques ou d'autres systèmes physiologiques. Ce sont ces réactions observées hors du champ du système de l'audition que l'on appelle les effets non spécifiques ou *effets extra-auditifs du bruit*. Les connaissances actuelles sur ces effets extra-auditifs sont présentées dans ce chapitre.

Les effets non spécifiques accompagnent généralement une agression de l'organisme, dont l'origine peut être multiple et variée. D'autres causes physiques que le bruit (la chaleur, par exemple) ou psychologiques (la peur, ou plus généralement, le stress) sont susceptibles de produire des effets équivalents et d'entraîner également des modifications cardio-vasculaires, hormonales, digestives ou psychiques. Le plus souvent, l'importance des effets observés dépend de l'intensité et de la fréquence des stimulations.

En réponse à une stimulation acoustique, l'organisme réagit comme il le ferait de façon non spécifique à toute autre agression, qu'elle soit physique ou psychique. Cette stimulation, si elle est répétée et intense, entraîne une répétition des réponses de l'organisme qui, à la longue, peut induire un état de fatigue voire un épuisement de celui-ci. Cette fatigue intense constitue le signe évident du « stress » subi par l'individu et, au delà de cet épuisement, l'organisme peut ne plus être capable de répondre de façon adaptée aux stimulations et aux agressions extérieures et voir ainsi ses systèmes de défense devenir inefficaces.

II-2-1) Les effets du bruit sur le sommeil

II-2-1-1) Les perturbations du sommeil

Les perturbations du sommeil sont souvent présentées comme étant la plainte majeure des personnes exposées au bruit en complément de la gêne exprimée. La sensibilité et la fragilité du sommeil méritent qu'on leur accorde une attention particulière. Le sommeil et la veille sont les deux états physiologiques fondamentaux qui rythment notre vie quotidienne. Le sommeil occupe en moyenne un tiers de notre vie et il nous est nécessaire pour récupérer de l'épuisement momentané, tant de nos capacités physiques que de nos capacités mentales.

Le sommeil n'est pas un état unique mais une succession d'états (on parle de stades de sommeil) qui s'organisent de façon quasiment identique et relativement ordonnée pour une classe d'âge déterminée. C'est ainsi que l'on distingue des stades de sommeil plus ou moins profonds (selon l'intensité de la stimulation qu'il faut produire pour réveiller le dormeur) ou encore des stades de sommeil qui sont associés ou non aux rêves. Le sommeil est nécessaire pour la survie de l'individu et une forte réduction de sa durée entraîne des troubles plus ou moins marqués, dont le principal est la réduction du niveau de vigilance de l'individu éveillé, avec toutes les conséquences possibles en termes de fatigue, de mauvaises performances et même de survenue d'accidents.

La qualité du sommeil peut être appréciée par des mesures objectives (mesures électrophysiologiques : électroencéphalographie, électro-oculographie et/ou mesures végétatives : fréquences cardiaque et respiratoire) ainsi que par des mesures subjectives (appréciation de la qualité du sommeil par des questionnaires appropriés). La structure physiologique du sommeil est quantifiée par divers paramètres tels que la latence d'endormissement, les éveils et les changements de stades, ainsi que les modifications des rythmes propres aux stades de sommeil.

Le temps total de sommeil peut être diminué par une plus longue durée d'endormissement, par des éveils nocturnes prolongés ou encore par un éveil prématuré non suivi d'un rendormissement. Il a ainsi été montré que des bruits intermittents ayant une intensité maximale de 45 dB(A) et au-delà (L_{Amax} mesuré à l'intérieur des locaux), peuvent augmenter la latence d'endormissement de quelques minutes à près de 20 minutes (Öhrström E., 1993). De même, au cours des heures matinales, les bruits ambiants peuvent plus facilement éveiller un dormeur et l'empêcher de retrouver le sommeil. Ce réveil prématuré peut, par conséquent, entraîner une forte réduction du temps de sommeil total.

Il est évident que l'exposition au bruit entraîne des éveils. Le seuil de bruit à partir duquel de tels éveils sont observés varie en fonction du stade de sommeil dans lequel se trouve plongé le dormeur. Ce seuil d'éveil est plus élevé lorsque le sommeil est profond et il diminue au fur et à mesure que le temps cumulé de sommeil augmente. Ce seuil dépend par ailleurs des caractéristiques physiques du bruit et également, très fortement, de la signification de celui-ci. Ainsi le nom du dormeur prononcé à voix basse a un pouvoir éveillant que n'a pas un bruit neutre et un bruit d'alarme réveille plus facilement le dormeur qu'un bruit n'ayant pas de signification particulière.

La perturbation d'une séquence normale de sommeil (sans qu'un éveil soit nécessairement provoqué) peut être observée pour un niveau sonore momentané de l'ordre de 50 dB(A) (Muzet A., Schieber J.P. et al., 1973). Dans une même population générale, des éveils nocturnes peuvent être provoqués pour des niveaux atteignant ou dépassant 55 dB(A).
Cela ne signifie toutefois pas que pour des niveaux sonores inférieurs (toujours mesurés à proximité immédiate du dormeur) il ne soit pas observé d'effets perturbateurs du bruit. Des réactions cardiovasculaires (accélérations cardiaques ou vasoconstrictions artériolaires) peuvent s'observer pour des niveaux nettement inférieurs, démontrant ainsi que l'organisme du dormeur a perçu la stimulation sonore, même si son comportement n'a pas changé de façon significative et qu'il n'en a aucune conscience immédiate ou lors du réveil matinal (Muzet A. et Ehrhart J., 1978, Carter N.L., 1998).

Sous l'effet du bruit, il peut survenir des changements immédiats dans la structure intime du sommeil et notamment des changement de stades de sommeil, qui se font toujours dans le sens d'un allègement de ce dernier. Ces modifications ne sont pas perceptibles par le dormeur et il faut utiliser des enregistrements polygraphiques pour pouvoir les mettre en évidence.
Ces changements de stades sont souvent accompagnés de mouvements corporels et ils se font au détriment des stades de sommeil les plus profonds et au bénéfice des stades de sommeil les plus légers. Bien qu'encore non déterminées de façon irréfutable, les fonctions du sommeil à ondes lentes et du sommeil paradoxal semblent être essentielles pour la croissance et le développement harmonieux de l'organisme ainsi que pour la récupération de la fatigue, que celle-ci soit physique ou mentale. Carter indique, par exemple, que la quantité de sommeil à ondes lentes peut être sensiblement réduite chez le jeune dormeur soumis à des bruits au cours de son sommeil (Carter N.L., 1996).
Il a également été montré (Naitoh P., Muzet A. et al., 1975, Thiessen G.J., 1988) que la rythmicité interne du sommeil paradoxal peut être notablement perturbée lors d'une exposition nocturne au bruit. Ainsi, l'instabilité du sommeil provoquée par le bruit entraîne une fragmentation de sa structure et, par là même, un amoindrissement de sa qualité ; caractéristiques que l'on peut retrouver, avec une intensité variable, dans des cas d'insomnie chronique.

Les éveils nocturnes et les modifications de la structure interne du sommeil ne sont pas les seuls effets liés à la présence des bruits. Si, pour la population générale, les éveils peuvent être obtenus pour des intensités maximales de 55 dB(A) et plus, la perturbation d'une séquence normale de sommeil peut apparaître pour des niveaux instantanés compris entre 45 et 55 dB(A). Notons que les

valeurs recommandées par l'OMS à l'intérieur de la chambre à coucher sont de $L_{aeq,8h}$ = 30 dB et de L_{Amax} = 45 dB (WHO Local Authorities Health and Environment, 2000).

Si le nombre de bruits nocturnes augmente, le nombre de modifications du processus hypnique ou d'éveil nocturnes augmente également, mais pas toujours de façon proportionnelle. Toutefois, lorsque le nombre de bruit est important ou que le niveau sonore de ceux-ci est élevé, le moindre éveil nocturne peut se prolonger en raison de la persistance de la perturbation et, dans ce cas, la fragmentation du sommeil peut être très marquée. Une telle perturbation du sommeil nocturne peut alors entraîner une fatigue notable au cours de la journée suivante, se traduisant par des épisodes d'hypovigilance ou des capacités de travail réduites.

Le sommeil est donc un état au cours duquel les stimulations du monde extérieur continuent à être perçues par les organes et systèmes sensoriels de l'organisme car l'homme endormi reste susceptible de réagir aux stimulations externes. La chaîne acoustique qui conduit le signal sonore de la déformation du tympan à l'aire auditive cérébrale en passant par l'oreille moyenne, l'oreille interne et le nerf auditif fonctionne parfaitement au cours du sommeil.
Même s'il n'y a pas de *perception consciente* par le dormeur, chaque son est traité par le système sensoriel et les signaux nerveux sont conduits vers la région du cerveau qui traite les informations auditives. A partir de là, des fibres nerveuses peuvent véhiculer des informations spécifiques vers d'autres régions cérébrales et entraîner des réponses partielles ou globales.

II-2-1-2) L'habituation au bruit

Un certain degré d'habituation aux conditions sonores nocturnes existe car il n'est pas rare de voir disparaître progressivement les plaintes subjectives de mauvaise qualité de sommeil après plusieurs jours ou semaines d'exposition au bruit. Cependant, l'habituation de l'organisme reste incomplète et les effets mesurés au cours du sommeil (notamment les effets cardio-vasculaires) montrent que les fonctions physiologiques du dormeur restent affectées par la répétition des perturbations sonores (Muzet A. et Ehrhart J., 1980). Cette non habituation physiologique au bruit est préoccupante car on ne peut négliger les effets possibles à long terme de la répétition, nuit après nuit, des perturbations sonores sur la santé des personnes exposées.

Ainsi, les accélérations cardiaques initiées de façon réflexe et observées en réponse à la plupart des bruits intenses se répètent journellement et sont toujours mesurables après des mois et des années d'exposition au bruit alors que les personnes exposées disent souvent ne plus être gênées par le bruit

(Vallet M., Gagneux J.M. et al., 1983). Il est indéniable que ces réactions répétées, que l'on peut qualifier d'inutiles pour le dormeur, sollicitent de façon permanente son système cardio-vasculaire.

En bordure d'une voie rapide où le trafic nocturne est de six véhicules par minute en moyenne par exemple, on compte près de 3 000 passages de véhicules pour une nuit de huit heures. En supposant que le quart seulement de ces bruits entraîne un effet mesurable, cela représente plusieurs centaines de réactions cardio-vasculaires dont on imagine aisément qu'elles entraînent un coût non négligeable pour un organisme sensé être au repos.

II-2-1-3) Les différences interindividuelles de la susceptibilité au bruit nocturne

Parmi les facteurs individuels les plus fréquemment évoqués, on trouve l'âge, le sexe ou le profil psychologique des personnes exposées.

En utilisant les stimulations sonores on constate l'existence d'une nette hypo-réactivité électroencéphalographique de l'enfant et les seuils d'éveil sont chez lui de 10 dB(A) plus élevés en moyenne que chez les adultes (Muzet A., Ehrhart J. et al., 1981). En d'autres termes, l'enfant réagit peu aux perturbations sonores une fois endormi et il se plaint rarement d'avoir mal dormi en raison du bruit ambiant. Cette sensibilité réduite au niveau électroencéphalographique et au niveau subjectif contraste toutefois avec une réactivité cardio-vasculaire qui est identique à celle que l'on peut observer chez l'adulte.

On peut donc en conclure que l'organisme de l'enfant endormi reste, lui aussi, sensible aux perturbations acoustiques se manifestant au cours de son sommeil, en dépit de l'absence de plainte exprimée. Après avoir pratiqué une réduction du bruit ambiant de l'ordre de 10 dB(A), Eberhardt observe une réduction du temps mis pour s'endormir ainsi qu'une augmentation légère du sommeil paradoxal chez des enfants habitués à dormir à proximité d'une rue à fort trafic nocturne.

Dans l'étude européenne récente appelée RANCH, il est suggéré que la perturbation du sommeil de l'enfant se réalise pour des niveaux d'exposition au bruit supérieurs à ceux qui perturbent le sommeil chez l'adulte. Toutefois, rien ne permet de dire à l'heure actuelle quel est l'effet à long terme sur la santé de l'enfant exposé aux bruits nocturnes, car dans ce domaine, beaucoup reste à faire.

Les personnes âgées se plaignent fréquemment de leur environnement sonore nocturne. Leurs éveils spontanés (sans cause initiale reconnue) sont également beaucoup plus nombreux que ceux observés chez l'adulte jeune, ce qui rend d'ailleurs les personnes âgées plus attentives aux phénomènes ambiants. En d'autres termes, elles attribuent souvent aux bruits qu'elles entendent alors en étant éveillées la cause première de leur éveil nocturne. Cette fragmentation naturelle de leur sommeil

accentue encore leur sensibilité aux bruits nocturnes, en les empêchant de retrouver rapidement le sommeil auquel elles aspirent.

Il est très difficile de trouver une différence entre hommes et femmes, dans les effets physiologiques imputables au bruit au cours du sommeil. En revanche, il est classique de souligner une différence entre les sexes en ce qui concerne la gêne exprimée (Muzet A. et al., 1973, Di Nisi J., Muzet A. et al., 1987). Dans une population jeune, les hommes se plaignent souvent d'un sommeil plus perturbé que les femmes, mais cette différence semble s'inverser au-delà de 30 ans. A partir de cet âge, la femme (bien souvent mère) semble être plus sensible que l'homme à un environnement bruyant. Cette différence de gêne exprimée a même tendance à s'accentuer avec l'âge.

Il est évident que l'attitude individuelle vis-à-vis du bruit et notamment la motivation à être réveillé par une stimulation attendue est à la base de différences interindividuelles très importantes. Toutefois, en prenant comme critère de sélection l'auto-estimation de sensibilité au bruit - évaluation individuelle purement subjective - on ne voit pas apparaître, au cours du sommeil, de différence entre les personnes qui se disent « très sensibles » et celles qui se disent « peu ou pas du tout sensibles » au bruit, en ce qui concerne la fréquence et l'amplitude des réponses cardio-vasculaires provoquées par les bruits (Di Nisi J. et al., 1987).
Ce résultat indique que la notion de « sensibilité au bruit » est une notion purement subjective qui n'est pas ici sous-tendue par une plus grande sensibilité physiologique au bruit.

II-2-1-4) Le cas particulier des travailleurs de nuit

En comparaison avec l'abondante littérature concernant les perturbations du sommeil nocturne par le bruit, très peu d'études se sont intéressées aux perturbations du sommeil diurne. La plupart d'entre elles concernent le cas spécifique du travailleur posté. De façon similaire à ce qui est observé au cours du sommeil nocturne, le sommeil diurne peut être profondément perturbé par le bruit ambiant. Cela peut aller du retard de l'endormissement et/ou des éveils provoqués nombreux, jusqu'à l'impossibilité de maintenir un état de sommeil prolongé. Ainsi, le bruit est considéré comme étant la première cause (80%) des interruptions de sommeil chez des femmes qui travaillent la nuit ou par postes (Lee K., 1992). Il est également considéré comme étant une cause majeure de réduction du temps de sommeil diurne.

Il a été jugé, sur la base d'une enquête sociale, que les travailleurs postés sont beaucoup plus sensibles au bruit que les autres catégories de travailleurs. Il est également communément admis que l'habitat familial habituel n'est pas apte à protéger de façon adéquate le dormeur des nuisances

sonores diurnes. Une seule étude, à notre connaissance, a abordé le problème de la comparaison de la réactivité cardio-vasculaire au bruit entre le sommeil diurne et le sommeil nocturne (Nicolas A., Bach V. et al., 1993). Dans cette étude, conduite au laboratoire, les effets du bruit ont été explorés chez des travailleurs postés effectuant normalement leurs rotations horaires et venant dormir au laboratoire à l'issue de celles-ci. Les analyses, portant sur les modifications électroencéphalographiques (EEG) induites par le bruit pour l'ensemble du sommeil, n'ont pas montré de différence entre le sommeil diurne et le sommeil nocturne.

Cependant, le pourcentage des bruits ayant entraîné des modifications EEG en sommeil paradoxal était plus élevé lors du sommeil diurne que lors du sommeil nocturne. De façon similaire, la réactivité cardio-vasculaire au bruit, tous stades de sommeil confondus, n'était aucunement influencée par la position temporelle du sommeil. En fait, une augmentation de la réactivité végétative lors du sommeil paradoxal était compensée par une diminution de cette même réactivité lors du sommeil à ondes lentes lors du sommeil de jour.
Pour cette étude, l'exposition au bruit était exactement la même dans la condition diurne et dans la condition nocturne afin de pouvoir comparer la réactivité du dormeur dans ces deux situations. De ce fait, les auteurs concluent qu'en situation réelle de vie, où le niveau de bruit est généralement beaucoup plus élevé le jour que la nuit, le coût physiologique de l'exposition au bruit est probablement beaucoup plus important lors du sommeil diurne que lors du sommeil nocturne.

En conséquence, les perturbations du sommeil diurne par le bruit sont très vraisemblablement au moins équivalentes, si ce n'est supérieures, à celles observées au cours du sommeil nocturne. Ceci tient au fait que la réactivité du dormeur semble être constante, quel que soit le placement temporel du sommeil, alors que le niveau et le nombre de bruits perçus sont beaucoup plus importants le jour que la nuit.
Ainsi, il apparaît important de considérer les travailleurs de nuit permanents et les travailleurs postés comme constituant une population spécifique « à risque » en regard de leur exposition au bruit (Carter N., Henderson R. et al., 2002). Leur protection contre ce type de nuisance, de même que contre tout autre facteur environnemental perturbateur, doit être assurée pendant leur sommeil. Le but recherché est qu'une meilleure protection du sommeil puisse conduire à une meilleure qualité de vie du travailleur.

II-2-1-5) Les effets chroniques de la perturbation du sommeil

Il est évident qu'une perturbation du sommeil entraîne une réduction de la durée de celui-ci. Il est cependant tout aussi clair que la durée totale de sommeil peut être modifiée dans certaines limites

sans entraîner pour autant des modifications importantes des capacités individuelles ou du comportement. La question la plus critique, pour les praticiens de la médecine, concerne les répercussions à long terme sur la santé d'une réduction quotidienne de la durée du sommeil, répétée jour après jour pendant des mois ou des années.

Selon certains auteurs, le coût le plus important de la privation de sommeil pour la santé, prise ici dans son sens le plus large, est la réduction de la qualité de vie. Pour ces auteurs, la privation de sommeil entraîne une fatigue chronique excessive et de la somnolence, une réduction de la motivation de travail et une diminution des performances conduisant souvent à un sentiment de frustration et à des conflits avec les autres travailleurs.

Pour des travailleurs qui ont besoin de maintenir un très haut niveau de vigilance, tels que les opérateurs de centrales nucléaires ou les contrôleurs du trafic aérien, l'anxiété liée à la privation chronique de sommeil peut être particulièrement marquée car ils savent que cette dernière affecte leurs possibilités de concentration sur la tâche et entraîne des diminutions momentanées de l'attention.

Cet état anxieux peut également se traduire par une augmentation des erreurs et peut générer des plaintes médicales associées à l'anxiété chronique.

Les « absences », les fausses réponses, le ralentissement intellectuel, les problèmes de mémorisation et la diminution rapide de l'état de vigilance sont des manifestations classiques des effets de la privation de sommeil évalués à l'aide de tests de courte durée.

De même, plus la somnolence consécutive à la privation de sommeil est grande et plus le fonctionnement cérébral est dépendant des influences environnementales et sensible à la monotonie ambiante. C'est ainsi que certaines pertes de vigilance et toutes les conséquences que celles-ci entraînent, peuvent être accentuées par l'existence d'une privation chronique de sommeil.

Il est donc nécessaire de s'interroger sur les répercussions exactes que peut entraîner la perturbation chronique du sommeil par le bruit, sur la qualité des activités diurnes et notamment sur les risques d'incidents voire d'accidents liés à l'activité professionnelle.

II-2-2) Les effets du bruit sur la sphère végétative

La sphère végétative comprend divers systèmes dont le fonctionnement n'est pas placé sous la dépendance de la volonté. C'est le cas du système cardio-vasculaire, du système respiratoire ou encore du système digestif. Ainsi, le bruit entraîne une réponse non spécifique au niveau du système cardio-vasculaire en accélérant la fréquence cardiaque et en provoquant une vasoconstriction

(diminution du calibre des petites artères). Ces modifications cardio-vasculaires sont propices à l'élévation de la pression artérielle et celle-ci peut être élevée de façon permanente chez des populations soumises de manière chronique à des niveaux de bruit élevés (Jonsson A. et Hansson L., 1977). Le bruit entraîne également une accélération du rythme respiratoire sous l'effet de la surprise. La stimulation acoustique provoque également des modifications au niveau du système digestif. Les plus fréquentes sont une diminution de la fonction salivaire et du transit intestinal. Les modifications de la sécrétion et de la composition du suc gastrique peuvent constituer le lit de troubles graves tels que l'ulcère gastrique ou l'ulcère du duodénum.

Si l'effet de l'exposition au bruit sur le système cardiovasculaire est fortement plausible[93], on ne sait pas si cette relation est une relation directe - l'exposition durable au bruit influençant la pression artérielle –, ou une relation indirecte, par le biais du stress généré par le bruit, lequel se traduit par une augmentation de la sécrétion des hormones vasopressives.

Un grand nombre de travaux montre que l'exposition à des niveaux élevés de bruit entraîne très souvent des désordres cardio-vasculaires de type *hypertension artérielle* et *troubles cardiaques ischémiques*. Les atteintes de la pression artérielle sont fréquemment combinées avec d'autres modifications du fonctionnement cardiaque telles que l'arythmie, l'accélération du rythme cardiaque de repos, une plus forte accélération cardiaque lors d'un exercice physique, ou encore une diminution de la circulation sanguine au niveau du myocarde.
Toutes ces modifications indiquent à l'évidence une souffrance du système cardio-vasculaire liée à une exposition prolongée à des bruits intenses, comme on peut la trouver dans certaines situations professionnelles.

Il est beaucoup plus difficile de lier de telles modifications du fonctionnement du système cardio-vasculaire avec l'exposition au bruit telle qu'on la trouve dans l'habitat. Néanmoins, des résultats récents indiquent que le risque de développer une hypertension artérielle est augmenté pour une exposition à des bruits de trafic routier ou aérien d'un niveau équivalent ou supérieur à 70 dB(A) sur la période 6 h - 22 h.

Il a été suggéré que les enfants pouvaient être plus sensibles au bruit que les adultes en raison de leur exposition au bruit lors de périodes critiques de leur développement et de leur moindre capacité

[93] Les diverses manifestations allant d'une légère augmentation de la pression artérielle à la pathologie cardio-vasculaire avérée sont consistantes avec la progression connue des pathologies dans ce domaine de santé et sont confortées par les résultats des études de laboratoire sur les réactions au stress et la dynamique vasculaire.

de se protéger ou de se soustraire à l'influence du bruit ambiant. Les effets connus de l'exposition des enfants au bruit sont les troubles de l'audition, des effets somatiques liés au stress et des perturbations de leur apprentissage scolaire (Bistrup M.L., 2003). Des atteintes du système cardiovasculaire et du système endocrinien ont également été évoquées. En fait, très peu d'études se sont intéressées aux effets du bruit sur le système cardio-vasculaire chez l'enfant. Dans la plupart de celles-ci, l'augmentation de la pression artérielle était relativement modérée (de l'ordre de 2 à 5 mm de mercure), alors qu'elle était plus marquée dans l'ancienne étude de Karsdorf and Klappach (Karsdorf G. et Klappach H., 1968).

II-2-3) Les effets du bruit sur le système endocrinien

L'exposition au bruit entraîne une modification de la sécrétion des hormones liées au stress que sont l'adrénaline et la noradrénaline. Les concentrations de ces hormones surrénaliennes sont augmentées de façon significative lors de l'exposition au bruit au cours du sommeil et ceci se traduit par une excrétion urinaire accrue de leurs produits de dégradation. L'élévation du taux nocturne de ces hormones peut entraîner des conséquences sur le système cardio-vasculaire tels que l'élévation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle ou encore des arythmies cardiaques, des agrégations plaquettaires ou encore une augmentation du métabolisme des graisses.
Plusieurs études rapportent également une élévation du taux nocturne de cortisol sous l'effet du bruit. Le cortisol est une hormone qui traduit le degré d'agression de l'organisme et qui joue un rôle essentiel dans les défenses immunitaires de ce dernier.

Dans une étude réalisée autour de l'aéroport de Munich, il a été montré que les adultes et les enfants exposés au bruit des avions présentent une élévation du taux des hormones du stress associée à une augmentation de leur pression artérielle.
Ces observations confirment l'impact non négligeable du bruit sur le système cardio-vasculaire dans son ensemble. Chez les enfants, cette augmentation des taux hormonaux est accompagnée par une détérioration des capacités cognitives de mémorisation et de réalisation de tâches complexes.

Plusieurs études se sont attachées à mesurer l'impact possible du bruit sur le système hormonal de l'enfant. Les modifications des taux de cortisol (urinaire et salivaire) de même que les taux des catécholamines (adrénaline et noradrénaline) ont été mesurées dans le cas du bruit de trafic routier ou du bruit ferroviaire (Evans G.W., Lercher P. et al., 2001) ou encore du bruit des avions (Evans G.W., Bullinger M. et al., 1998). Les résultats de ces études sont parfois contradictoires et les effets

observés sont généralement de faible amplitude. Ainsi, Hygge (Hygge S., Evans G.W. et al., 1996) note une augmentation des catécholamines chez les enfants exposés de façon nouvelle aux bruits des avions alors que Evans et al. (Evans G.W. et al., 2001) trouvent une augmentation du cortisol urinaire mais pas de différences dans les taux des catécholamines chez des enfants exposés à des niveaux élevés (Ldn, 60 dB(A)) de bruits routiers et ferroviaires par rapport à un groupe contrôle exposé à des niveaux beaucoup plus bas (Ldn, 50 dB(A)). De son côté et dans le cas d'une exposition nocturne au bruit routier, Ising observe une augmentation du cortisol dans la première partie de la nuit et non dans la seconde (Ising H., Lange-Asschenfeldt H. et al., 2003).

II-2-4) Les effets du bruit sur le système immunitaire

Comme nous venons de le voir, la stimulation acoustique entraîne des modifications au niveau endocrinien et l'une des conséquences majeures de ces effets est l'atteinte des défenses immunitaires de l'individu agressé. Tout organisme subissant une agression répétée peut avoir des capacités de défense qui se réduisent fortement, que ces dernières soient acquises ou qu'elles soient naturelles. Ainsi, une plus forte exposition au bruit peut se traduire par une réduction des défenses acquises et, par conséquent, par une plus grande fragilité de l'organisme aux diverses agressions subies.
Cette diminution des capacités immunitaires semble être liée aux modifications des taux des corticoïdes sous l'influence du stress et des conflits auxquels l'individu est soumis. Des données très récentes indiquent même que le stress prolongé pourrait entraîner une atrophie de l'hippocampe, structure nerveuse d'importance majeure, du fait de la sécrétion excessive de glucocorticoïdes (cortisol) qu'il provoque.

Le sang contient de nombreux éléments parmi lesquels on trouve des cellules sanguines (globules rouges, globules blancs, plaquettes), des sucres, des protéines, des graisses, des ions métalliques, ou encore des hormones. Le rôle du sang est de transporter ces différentes substances vers les différents organes et groupes de tissus du corps humain, mais également d'assurer un constance du milieu intérieur (température, pH, concentrations ioniques) et une défense générale de l'organisme contre les agressions extérieures. Sous l'effet du stress, la composition sanguine en ces divers éléments peut être modifiée. Ainsi, la concentration des hormones réagissant à l'agression (catécholamines) ou encore les taux de cortisol et de cholestérol sont augmentés sous l'effet du stress.

Certains résultats indiquent également que la concentration intracellulaire de magnésium peut être diminuée ou encore que des modifications de la viscosité sanguine et de la concentration en fibrinogène du sang pourraient constituer des facteurs aggravant le risque de troubles cardiaques ischémiques. Le rôle des globules blancs est très important dans la défense de l'organisme et leur atteinte peut causer de graves dommages dans le fonctionnement du système immunitaire.

II-2-5) Les effets du bruit sur la santé mentale

Le bruit est considéré comme étant la nuisance principale chez les personnes présentant un état anxio-dépressif. La présence de ce facteur joue un rôle déterminant dans l'évolution et le risque d'aggravation de cette maladie.
La sensibilité au bruit est très inégale dans la population, mais le sentiment de ne pouvoir « échapper » au bruit auquel on est sensible constitue une cause de souffrance accrue qui accentue la fréquence des plaintes subjectives d'atteinte à la santé.

Des études conduites en Angleterre indiquent que le pourcentage des personnes admises dans un service psychiatrique augmente en même temps que l'exposition au bruit de trafic (Tarnopolsky A., Watkins G. et al., 1980). Des résultats similaires ont été observés au Danemark, autour de l'aéroport de Copenhague, où les consultations et les hospitalisations en service psychiatrique sont nettement plus nombreuses dans les zones exposées au bruit que dans les zones témoins.
De plus, la consommation de tranquillisants montre une différence comparable entre les zones comparées, l'exposition au bruit entraînant une surconsommation de ces produits.

En France, la mise en place d'un « Observatoire d'Épidémiologie Psychiatrique » a permis de mettre en évidence la grande permanence des états anxio-dépressifs et le rôle particulier des nuisances dans leur déclenchement et leur entretien. Ainsi, il apparaît que 27 % des patients en consultation présentent de tels troubles, parmi lesquels 21 % ressentent fortement les nuisances. Le bruit est alors clairement identifié comme étant la « nuisance n° 1 », loin devant la contamination microbienne ou chimique et devant les nuisances olfactives, puisque 59 % des patients anxio-dépressifs évoquent le bruit comme facteur de nuisance.
Ces résultats sont particulièrement importants dans la mesure où ils ne se limitent pas à des observations faites dans les seules zones bruyantes (bordures de voie routière ou ferroviaire, aéroports,...), mais sont le reflet de l'exposition générale au bruit, entre autres nuisances.

Stansfeld et Haines (2000) pensent que le bruit n'est probablement pas associé à l'existence de troubles mentaux marqués chez l'enfant, mais il peut toutefois affecter son bien-être et contribuer à l'état de stress chez celui-ci (Stansfeld S., Haines M. et al., 2000). Dans une étude londonienne, aucune association n'a ainsi été trouvée entre l'exposition chronique de l'enfant à des bruits d'avions et l'existence d'une détresse psychique (Haines M. et Stansfeld S., 2000).
Dans une étude plus large, toutefois, les mêmes auteurs ont relevé des niveaux plus élevés de détresse psychique chez des enfants qui sont exposés au bruit de façon chronique (Haines M., Brentnall S.L. et al., 2003).

Une mise en garde est toutefois nécessaire : il reste toujours difficile dans ces études de dissocier les effets liés au statut socio-économique des populations exposées au bruit et ceci, même si des facteurs correctifs sont utilisés pour ajuster les réponses en tenant compte de ces particularités.

II-2-6) L'exposition au bruit et la consommation de médicaments

Bien qu'imprécises en raison de leur complexité, plusieurs études semblent indiquer qu'il existe une augmentation de la consommation de médicaments à proximité des grandes sources de bruit.

Au niveau européen, il a été noté que dans les zones où le bruit atteignait un LAeq de 55 ou 60 dB, 15% des résidents touchés prenaient des somnifères ou des sédatifs presque tous les jours ou plusieurs fois par semaine, alors que seuls 4% de la population totale (non affectée par le bruit) consomment de tels produits. Au-delà de 65 dB(A), l'utilisation de bouchons d'oreilles augmente de façon significative (Organisation Mondiale de la Santé - Bureau régional de l'Europe, 2000).

Une étude réalisée au Canada et une autre conduite autour de l'aéroport d'Amsterdam aux Pays-Bas (Knipschild P. et Oudshoorn N., 1977) montrent également une corrélation entre consommation de médicaments et exposition aux nuisances sonores. L'étude néerlandaise indique que les taux de consultation et de prescription médicale étaient de 9,5 % dans les zones exposées au bruit alors qu'ils n'étaient que de 5,7 % dans les zones plus calmes. De la même façon, la consommation des médicaments traitant l'hypertension artérielle et les troubles gastro-intestinaux, appréciée par le volume total des achats annuels, augmente autour de l'aéroport d'Amsterdam en fonction de son activité. Une telle variation n'a pas été observée pour une population témoin non exposée au bruit.

De tels résultats nous incitent à penser que l'exposition au bruit se traduit également en termes de « consommation médicale ». Il n'est pas certain que ce surcroît de consultation médicale et de surconsommation médicamenteuse soit en relation avec une augmentation comparable en termes de pathologies. Elle traduit peut-être, au moins en partie, une qualité de vie amoindrie et une recherche de soutien, notamment médical, en raison de l'inconfort créé par l'exposition permanente au bruit.

II-3) EFFETS SUBJECTIFS DU BRUIT

Si les physiciens peuvent décrire un son ou un bruit, les paramètres qu'ils utilisent semblent tout à fait insuffisants pour exprimer la très grande variabilité des réactions individuelles. En effet, le bruit a un caractère éminemment subjectif, car on qualifie généralement de bruits des sons qui apparaissent comme indésirables, inacceptables, ou qui provoquent une sensation désagréable. Les effets du bruit sont ainsi difficiles à saisir en raison de la diversité des situations : le bruit provient de sources très différentes et les effets sont plus ou moins marqués selon la prédisposition physiologique ou psychologique de la personne qui le subit. On peut les regrouper en quatre catégories : la gêne psychologique, les effets sur les attitudes et le comportement social, les effets sur les performances, l'interférence avec la communication.

II-3-1) La gêne due au bruit

II-3-1-1) Définition de la gêne

Selon la définition de l'OMS, la gêne est « *une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement (ex : le bruit) dont l'individu ou le groupe connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé* » (OMS, 1980). Il est ainsi possible d'évaluer l'inconfort provoqué par le bruit en comptabilisant les plaintes déposées auprès des services compétents (Alsina i Donadeu R. et Moch A., (en cours)), mais l'on ne dispose pas là d'un critère fiable car nombre de personnes incommodées n'utilisent pas cette procédure officielle. Celles qui le font sont généralement issues d'un milieu socioculturel assez élevé. Elles ne sont pas forcément plus gênées que les autres, mais connaissent simplement mieux leurs droits et s'attendent à être écoutées.

La gêne psychologique est la sensation perceptive *et* affective exprimée par les personnes soumises au bruit, alors que la bruyance n'est qu'une sensation perceptive. Elle témoigne souvent des interférences avec les activités au quotidien : conversation, écoute de la télévision ou la radio, repos, etc. Ses composantes psychosociologiques sont complexes. Dans les situations de terrain, elle représente une expression globale traduisant les effets ressentis par les personnes exposées ; c'est pourquoi elle sert de base à la détermination de limites d'exposition utilisés notamment dans l'action réglementaire.

Si le bruit des *transports* représente 55% de la gêne éprouvée par la population française au domicile, le bruit des trains n'en représente que 2% d'après une étude de 2003 (Lambert J., 2003). En Europe, la gêne de long terme de jour, et dans une moindre mesure les effets sur le sommeil la nuit ou la communication en soirée, constituent les effets les plus significatifs du bruit des

transports terrestres sur la santé, pour des expositions à des niveaux non critiques (c'est à dire hors points noirs bruit, tels que définis par la réglementation française) (Lambert J., 2003). C'est vraisemblablement une des raisons qui ont conduit à retenir essentiellement, dans la réglementation actuelle sur le bruit des transports, les indicateurs de gêne de long terme, liés à la notion de trafic qui lui est associée.

La prise en compte de la gêne instantanée ou des effets sur le sommeil constitue une exigence nouvelle dans le domaine du risque environnemental, qui vise à préserver la santé des populations riveraines soumise à l'exposition à des bruits le plus souvent associée à des occurrences de passage de convois élémentaires. Si la recherche dans ce domaine se développe, peu d'études faisant appel à des paramètres physiologiques ont été réalisées à ce jour dans le domaine des transports terrestres. On peut citer quelques études (Griefahn B., Deppe C. et al., 1999), (Moehler U., Liepert M. et al., 2000) (Schreckenberg D., Schuemer-Kohrs A. et al., 1999) appliquées aux domaines routier et ferroviaire, synthétisées dans (Moehler U. et al., 2000). Les auteurs y présentent à la fois des résultats d'études physiologiques portant sur le sommeil et d'enquêtes de terrain (comportant des mesures de l'exposition sonore et des questionnaires portant sur différentes variables perceptives). Si de bonnes corrélations entre les variables perceptives et les niveaux sonores mesurés sont obtenues, elles restent faibles entre les mouvements du corps et les variables acoustiques ou perceptives.

II-3-1-2) Evaluer la gêne et établir des relations « dose-réponse »

Un très grand nombre d'enquêtes sociales ou socio-acoustiques a été mené depuis près de 60 ans sur la gêne due au bruit. Fields en a recensé 521 sur la période 1943-2000 (Fields J.M., 2001). La gêne y est mesurée principalement à partir d'échelles. On s'est cependant aperçu que l'utilisation de différents types d'échelle ainsi que des formulations variées ont rendu difficile la comparaison des résultats d'enquête, surtout sur le plan international. Pour ces raisons, le *Team 6* (*Community response to noise*) de l'ICBEN (*International Commission of the Biological Effects of Noise*) a lancé en 1993 des travaux dont la finalité était de faire des recommandations concernant la conception des enquêtes sur la gêne due au bruit et plus particulièrement sur le choix des échelles de gêne ainsi que sur la formulation et la structure des questions à poser aux personnes enquêtées.

Ces travaux ont été repris dans ceux du Groupe de travail 49 de l'ISO (ISO/TC43/SC1) qui a proposé en 2000 un projet de recommandation relatif à l'évaluation de la gêne due au bruit adopté en 2003 (ISO, 2003).

Ces enquêtes ont montré pour la plupart qu'il est difficile de fixer le niveau précis où commence l'inconfort et ont souligné le caractère variable du lien existant entre les indicateurs de gêne et l'intensité physique du son. Des relations «dose-réponse» (European Commission, 2002) ont cependant pu être établies entre niveaux d'exposition au bruit (notamment de transport) et gêne individuelle (figure 16) (European Commission, 2002). On constate sur la figure que le rail bénéficie d'un « bonus » significatif par comparaison avec les transports routier et aérien.

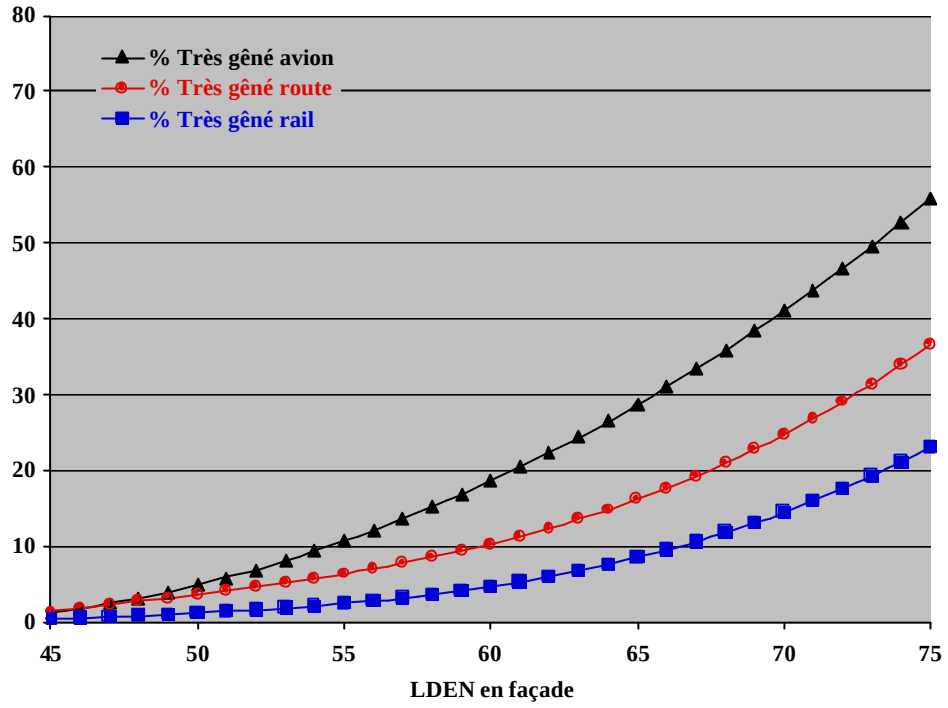


Figure 16 : Gêne due au bruit des différents moyens de transport

Cependant les corrélations entre niveaux d'exposition et gêne individuelle, bien que significatives, sont relativement faibles. Ainsi le bruit n'expliquerait au mieuxque 30 à 40 % de la gêne exprimée, bien d'autres facteurs non-acoustiques de modulation intervenant dans la réaction individuelle.

II-3-1-3) Les facteurs de modulation de la gêne

Les facteurs non-acoustiques qui viennent moduler la gêne sont nombreux et peuvent être regroupés en trois catégories : les facteurs de contexte, les facteurs individuels, relativement stables dans le temps mais qui varient suivant les individus, et les facteurs culturels ou sociaux (Moch A. et Maramotti I., 1995, Guski R., 1999, Miedema H.M.E. et Vos H., 1999).

Les facteurs individuels

Les facteurs individuels sont nombreux. On les classe généralement en deux catégories : les facteurs sociodémographiques (sexe, âge, niveau de formation, statut d'occupation du logement, dépendance professionnelle vis-à-vis de la source de bruit, usage de la source …), et les facteurs d'attitude

(sensibilité au bruit, peur de la source, capacité à surmonter, à faire face au bruit, confiance dans l'action des pouvoirs publics …).

- *Histoire personnelle*

Il faut tenir compte des parcours résidentiels des personnes et des expériences passées ou vécues dans l'enfance. Il est certain que si l'on vient d'un site rural, que l'on a habité une maison individuelle, l'adaptation à la ville, à un habitat collectif qui renvoie le plus souvent à une certaine promiscuité avec les autres rendent l'expérience plus difficile. Ceci peut expliquer en partie l'engouement des français pour la maison individuelle qui permet de prendre de la distance par rapport aux voisins. D'autant plus que le logement, le chez soi, est en général très investi affectivement et est vécu comme un refuge, un havre de paix où l'on veut se mettre à l'abri, se protéger des agressions que l'on subit à l'extérieur ; on lui demande ainsi protection et calme.

- *Satisfaction par rapport au cadre de vie*

Les attentes vis-à-vis du cadre de vie influencent beaucoup nos jugements sur l'environnement sonore ainsi que la satisfaction par rapport à d'autres dimensions de l'environnement comme le degré d'appréciation du logement, du quartier, la présence ou non d'autres nuisances. On constate ainsi dans la plupart des enquêtes que ceux qui apprécient leur quartier parce qu'il est bien desservi par les transports en commun, riche en espaces verts, proche de lieux de loisirs et des commerces, seront plus susceptibles de le trouver également animé, sympathique alors que d'autres plus insatisfaits de leur cadre de vie se plaindront de leur environnement sonore. Il s'opérerait une sorte de compensation entre les différents critères environnementaux.

On peut ainsi comprendre les perceptions parfois très négatives de certaines populations qui cumulent les handicaps (population captive, éloignée du centre, des commerces et des transports en commun...).

- *L'activité en cours*

Le vécu positif ou négatif des sons dépend de ce que nous sommes en train de faire, de ce que nous voulons entreprendre et de notre état personnel du moment. Ainsi ce ne sont pas les mêmes sons dont on se plaint selon que l'on est chez soi, à son travail, sur un lieu de loisirs. Au domicile, ce sont souvent les bruits de conversation ou la télévision des voisins qui gênent. On fait souvent moins attention au bruit sur son lieu de travail que dans son habitat où l'attente de calme est très forte. Et que dire de certaines activités de loisirs (discothèques, karaoké…) où animation et gaîté riment avec sonorités fortes voire très excessives tant recherchées par ceux qui y participent.

- *Représentation de la source*

On s'aperçoit que bien souvent la gêne due aux moyens de transport (ferroviaire, aérien, automobile) est fonction des attitudes que l'on a vis-à-vis de la source, de l'utilité de ce moyen de

transport dans l'économie de la région, de la peur des accidents, de la croyance à des effets nocifs pour la santé. Ainsi, une enquête menée en Suède pour le compte du gouvernement a permis de vérifier l'importance des représentations que se font les citoyens vis-à-vis de la source de bruit. On est en effet parvenu à diminuer fortement le nombre des plaintes des résidents proches de l'aéroport en leur communicant des informations relatives à l'histoire glorieuse de l'armée de l'air suédoise afin de les convaincre qu'elle revêtait une importance primordiale pour le pays.

Bien souvent aussi la gêne vis-à-vis du bruit est liée à la peur des accidents plus qu'au niveau sonore, comme en témoigne la prolifération des réclamations vis-à-vis du bruit dans le cas dramatique d'un accident d'avion (par exemple, le Concorde). De même, le fait que l'on soit soi-même utilisateur ou non de ce moyen de transport (cf. une autoroute) semble influencer la gêne. Le sentiment de gêne s'accroît également si l'on estime que les auteurs de la nuisance se préoccupent peu du sort des riverains.

Dans le même ordre d'idée on est généralement plus enclin à accepter les bruits provenant de la nature (eau, vent, chants des oiseaux…) que ceux émis par des sources artificielles (voitures, machines diverses…).

- *L'investissement affectif*

On ne vit pas de la même façon l'environnement sonore selon que l'on est propriétaire ou locataire de son logement. De même les enquêtes menées dans des ateliers parfois très bruyants ont montré que souvent les personnes qui y travaillent ne se plaignent pas du bruit ; celui-ci est accepté car il participe à l'investissement de l'homme avec sa machine, avec son lieu de travail, avec un métier qui représente son moyen de subsistance. Le bruit au travail renvoie à l'image du métier. Il est un élément de l'identité de chacun, de sa position sociale.

- *Conflits de générations*

Derrière les plaintes se cache aussi souvent un conflit de générations, chacun ayant de l'autre groupe une image très négative. Ainsi les personnes d'un certain âge ayant pris leur retraite réclament le plus souvent le droit au calme, au silence, qu'elles estiment avoir amplement mérité. Si pour certaines personnes âgées la rumeur de la ville, les bruits de l'immeuble au quotidien peuvent être vécus très positivement car ils renvoient au contact avec l'autre, à la présence humaine, à un sentiment moins fort d'isolement et de solitude, pour d'autres ce n'est pas le cas et elles rejettent le plus souvent les comportements bruyants des jeunes tels que l'écoute de la musique à de très forts niveaux, les rassemblements en bande souvent au pied des immeubles, les vrombissement des deux-roues au pot d'échappement parfois trafiqué.

Il est un fait que les loisirs des jeunes sont le plus souvent bruyants et cristallisent les plaintes des personne plus âgées et l'on constate que les représentations sociales des « jeunes voyous » et

des « vieux grincheux» sont bien campées et font partie des éléments fréquemment rencontrés dans les conflits de voisinage liés aux manifestations sonores.

Les facteurs contextuels

- *Bruits choisis / bruits subis*

De manière générale, les bruits que nous choisissons activement d'écouter même s'ils sont excessivement forts ne nous dérangent jamais mais ils peuvent incommoder les autres : ainsi l'écoute intensive d'une chaîne hi-fi, très appréciée par celui qui s'en sert, est invivable pour ceux dont les attentes, les goûts, ne correspondent pas aux niveaux sonores voire au style de musiques diffusées.

On s'aperçoit également que le fait de détenir un contrôle sur le bruit ou au contraire d'être totalement démuni influe sur le vécu plus ou moins négatif de celui-ci. Il est des situations de conflits de voisinage qui durent pendant des années et qui provoquent chez les gens un véritable sentiment d'angoisse, de désespoir, quand il se rendent compte qu'il ne peuvent rien faire pour tenter de mettre fin à la nuisance sonore.

Les enquêtes sur le terrain confirment le fait que si l'on se sent exclu des prises de décision, si l'on n'a pas l'occasion d'être en contact ou d'appartenir à des associations de plaignants, on supporte d'autant moins les nuisances de notre environnement, dont le bruit.

- *Bruit imprévisibles/réguliers*

Les bruits imprévisibles, inattendus, auxquels on ne peut échapper, perturbent plus que ceux qui sont répétitifs, réguliers. Ces observations de la vie de tous les jours ont été confirmées par des recherches en laboratoire. On a ainsi comparé la gêne exprimée ainsi que les résultats sur le travail d'un groupe de sujets exposés au bruit avec ceux d'un autre groupe également exposé mais à qui l'on avait signalé qu'ils pouvaient échapper au bruit en quittant la salle ou en appuyant sur un bouton. Même si cette option a rarement été prise,on s'est s'aperçu que les troubles ressentis par ceux qui pensaient pouvoir partir ou mettre fin au bruit étaient beaucoup moins importants que pour ceux qui estimaient qu'ils ne disposaient d'aucun choix possible (Glass D.C. et Singer J.E., 1972).

- *Bruits et mauvaises relations de voisinage*

Le bruit rappelle jusque dans l'intimité combien sont considérés comme étrangers les voisins qui vivent selon d'autres horaires ou d'autres mœurs. Ainsi la plainte vis à vis du bruit est souvent associée au rejet d'autrui. En effet, les trois quarts des plaintes exprimées dans l'habitat vont de pair avec de très mauvaises relations sociales de voisinage, on rejette chez autrui un mode de vie trop

différent du sien. Or beaucoup de personnes vivent aujourd'hui selon des horaires décalés, travail de nuit, trois huit, etc., qui peuvent entraîner des gênes : bruit d'écoulement d'eau en pleine nuit, montée des escaliers, claquements de portes, bruits de pas...

Les acousticiens venus sur place pour tenter de résoudre les problèmes techniques se trouvent le plus souvent démunis par rapport à ces bruits provenant essentiellement des comportements des habitants. Ils sont ainsi amenés à préconiser de résoudre d'abord les conflits de voisinage avant les problèmes acoustiques ; des démarches doivent être faites pour rapprocher les parties car les auteurs des bruits ne sont pas toujours conscients des nuisances qu'ils génèrent.

· *Les facteurs culturels*

On connaît l'importance des facteurs culturels dans la manière dont l'homme appréhende son environnement, les informations sensorielles qui lui parviennent et en particulier les informations sonores. On évoque ainsi des différences notables selon les cultures, liées au mode de vie, lui-même dépendant de facteurs tels que le climat et l'urbanisme du pays. Bien que ces différences culturelles aient tendance parfois à s'atténuer, elles peuvent expliquer des sensibilités différentes aux nuisances sonores et à la tolérance vis-à-vis des comportements et des activités bruyants.

Ainsi les rythmes de vie, les habitudes sonores des groupes ethniques qui cohabitent dans les grands ensembles collectifs peuvent nuire, par leur diversité, aux relations de bon voisinage et provoquer des réactions d'intolérance.

• *La sensibilité excessive au bruit*

A l'examen des plaintes exprimées, on remarque souvent des cas de sensibilités excessives au bruit, par exemple dans le cas de personnes dépressives ; de même certaines des plaintes vis-à-vis du bruit peuvent être liées à des problèmes divers, - soit dans la vie professionnelle : mauvaise ambiance de travail, perte d'emploi, mise à la retraite, chômage - soit dans la vie privée : mésentente familiale, isolement, solitude. Il semble donc que la plainte relative au bruit cristallise d'autres problèmes rencontrés.

II-3-2) Les effets du bruit sur les attitudes et les comportements

II-3-2-1) Bruit, agressivité et troubles du comportement

Que ce soit chez les enfants ou les adultes, au domicile ou au travail, on évoque régulièrement les méfaits du bruit sur les relations interpersonnelles : le bruit serait à l'origine d'une agressivité accrue, d'une augmentation du nombre de conflits... Il apparaît difficile de parler d'effets directs du

bruit sur les troubles du comportement et de l'équilibre mental ; les recherches menées dans ce domaine tendent à montrer que le bruit ne provoque pas une augmentation des cas pathologiques mais semble plutôt aggraver les problèmes psychologiques préexistants.

Des expériences en laboratoire ont clairement montré qu'une plus grande agressivité pouvait être manifestée par des personnes exposées au bruit, surtout chez celles qui ont été au préalable irritées et/ou contrariées.

Il conviendrait ainsi d'identifier des populations plus vulnérables au bruit, et donc susceptibles d'encourir des risques graves. Soulignons également l'influence de certains traits de caractère, anxieux ou pas, introverti ou non...

II-3-2-2) Bruit et diminution de la sensibilité et de l'intérêt à l'égard d'autrui

Les quelques travaux sur ce sujet, le plus souvent conduits en laboratoire, font état d'une moins grande sensibilité à l'égard d'autrui dans le bruit, d'une plus grande sévérité des jugements dans une ambiance sonore élevée : on recommanderait des salaires plus bas pour les nouveaux employés susceptibles d'être embauchés, on évaluerait les personnes plus négativement sur des échelles de sympathie/antipathie.

De nombreuses études de terrain et/ou en laboratoire font état d'un comportement d'aide à autrui diminué dans le bruit et/ou après exposition au bruit. C'est ainsi que l'on serait moins enclin à ramasser des objets divers qu'une personne laisse tomber, et moins susceptible de répondre à une demande d'aide pouvant aller de la simple demande d'information à une sollicitation plus importante.

Les mécanismes de ce phénomène ne sont pas clairement élucidés : on évoque un phénomène d'ordre perceptif selon lequel le bruit, qui favorise l'inattention, conduirait à une attention moins grande vis-à-vis de ce qui nous entoure, y compris l'environnement social. A l'appui de cette thèse on peut évoquer des recherches montrant que dans le bruit les gens ne remarquent même pas qu'une personne a un bras dans le plâtre.

Selon une autre hypothèse explicative le bruit aurait une incidence négative sur l'humeur. Placées dans une ambiance désagréable, les personnes n'éprouveraient absolument pas l'envie d'aider autrui mais tenteraient au contraire de fuir aussi rapidement que possible la situation.

II-3-3) Les effets du bruit sur les performances

II-3-3-1) Les tâches affectées par le bruit

De manière générale, le bruit semble affecter les tâches complexes, c'est-à-dire qui requièrent une attention régulière et soutenue par rapport à des détails, ou à des indicateurs variés : on peut évoquer les épreuves de vigilance, de coordination multisensorielle, de doubles tâches ou qui font appel à la mémorisation.

On cite le plus souvent parmi les tâches de vigilance celles relatives à la détection de signaux visuels, de type surveillance d'écran, assez similaires au travail des contrôleurs aériens. On sait que, dans ce type d'épreuve, le bruit serait à l'origine de moments d'inattention.

Dans les épreuves dites de double tâche, c'est-à-dire dans lesquelles le sujet est amené à traiter de concert deux types de signaux ou à effectuer deux tâches en même temps (par exemple le traitement de signaux visuels et auditifs ou la conduite d'une voiture associée à une détection de signal), on s'aperçoit généralement que la détérioration se porte sur la tâche secondaire alors que la tâche principale est peu affectée, surtout si elle rentre dans la catégorie des tâches simples.

Dans le cas de ce que l'on appelle l'apprentissage incident, c'est-à-dire dans lequel une personne doit effectuer un travail, mais est interrogée parallèlement sur un point qui ne lui avait pas été signalé au départ, on observe une détérioration de cette dernière épreuve.

Si l'on demande par exemple à des personnes d'effectuer une tâche de repérage visuel dans le bruit et qu'on les interroge parallèlement sur le contenu d'une affiche placée dans leur champ de vision, on constate que les personnes exposées, bien plus souvent que celles qui ne sont pas exposées au bruit, ne remarquent même pas l'affiche et sont tout à fait incapables d'en redonner des détails.

Ces résultats ont été confirmés par de nombreux chercheurs : ainsi lors d'une présentation visuelle de mots dans le bruit, les sujets ont reconnu aisément ces mots par la suite, mais étaient moins performants que ceux qui n'étaient pas exposés pour localiser la place où étaient situés ces mots sur l'écran. Il est bien possible que cette inattention pour les détails ait une incidence sur la diminution de la sensibilité à l'égard d'autrui, comme nous l'avons vu précédemment.

De même on a observé des post-effets de l'exposition au bruit, c'est-à-dire des effets qui s'opèrent sur diverses tâches de type résolution de problèmes ou sur l'aide à autrui à la suite d'une exposition.

II-3-3-2) Les tâches non affectées par le bruit

Les épreuves faciles, répétitives (de type recopiage de textes), ou de coordination motrice, dans lesquelles les personnes peuvent s'automatiser ne semblent généralement pas affectées par le bruit.

Une hypothèse quant aux mécanismes explicatifs sous jacents pourrait être que le bruit élèverait le

niveau d'éveil et d'attention des personnes exposées au bruit, ce qui pourrait expliquer qu'une tâche ennuyeuse, répétitive, puisse être améliorée dans une ambiance sonore ; en revanche si le travail requis nécessite le traitement d'informations nombreuses, c'est à dire s'il s'agit de tâches complexes, le bruit en augmentant le niveau d'attention aurait un effet négatif sur leur réalisation. On sait en effet que l'élévation du niveau de vigilance et de l'attention conduit à limiter le nombre d'informations que l'on est capable de traiter, en contraignant la personne à se focaliser sur les éléments les plus pertinents. On comprend ainsi les résultats déjà évoqués sur les doubles tâches ou sur les traitements multi sensoriels.

II-3-4) Bruit et intelligibilité de la parole

Le bruit a comme autre effet nocif celui de nuire à la qualité des communications orales (conversations, écoute de la télévision) car il est susceptible de provoquer un effet de masque, phénomène qui se produit lorsque deux sons d'intensité différente sont émis. A ce moment, le bruit le plus fort peut masquer partiellement ou totalement le second. L'effet de masque est d'autant plus grand que les fréquences sont voisines et les sons graves masquent mieux les sons aigus que l'inverse. Or les bruits extérieurs de trafic, correspondant à des sonorités graves, masquent largement la voix humaine et peuvent causer ainsi une gêne importante. Pour que l'on comprenne ce qui est dit, il faut que le bruit de fond provenant de l'intérieur d'un local (lié à une mauvaise qualité acoustique) ou de l'extérieur (dû à des sources diverses telles que les bruits de trafics) soit au moins inférieur de 10dB (A) à celui des conversations. Or le niveau des conversations normales est de l'ordre de 55 à 60 dB (A) et ce n'est pas en élevant la voix que l'on se fait mieux comprendre. Plus on crie, plus sont méconnaissables les syllabes que nous prononçons et plus sont importantes les altérations de la parole. Le contenu informatif du message ne passe plus. Pourtant point n'est besoin d'entendre toutes les syllabes d'un phrase pour en comprendre le sens. La personne adulte parvient aisément à reconstituer les éléments manquants. On a pu ainsi montrer qu'il était possible de comprendre un nombre considérable de phrases et leur signification sans identifier toutes les syllabes séparément.

L'intelligibilité dépend également des capacités individuelles et de la familiarité avec le langage écouté ; ainsi l'on perçoit beaucoup mieux un mot si on le connaît ; en revanche dans des situations d'apprentissage comme c'est le cas chez les enfants qui n'ont pas acquis de familiarité avec le langage employé et le contenu de ce qui est dit, l'intelligibilité est moins bonne. En effet elle augmente avec l'âge car la langue pour les jeunes est moins redondante que pour les adultes dans la mesure où leur vocabulaire est plus limité et qu'ils n'ont pas acquis une maîtrise grammaticale et

syntaxique pour « combler les vides » de ce qui n'est pas entendu et pour retrouver le sens d'une phrase dont certains sons sont masqués. Les tests de reconnaissance de la parole ont ainsi montré qu'elle croît avec l'âge et qu'elle progresse de 4 à 25 ans pour décliner légèrement après.
Ainsi les bruits de fond qui interfèrent peu ou pas du tout avec la communication orale chez l'adulte peuvent interférer significativement chez l'enfant. La figure suivante montre les limites de compréhension des conversations en fonction des bruits ambiants dans un salon ayant des conditions de réverbération standard.

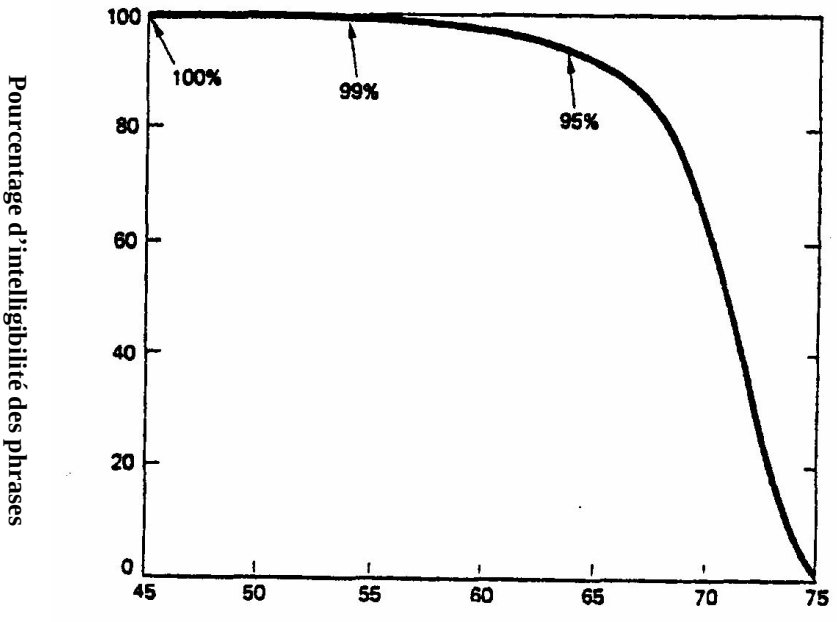


Figure 17 : Intelligibilité de la voix en fonction du niveau sonore ambiant régulier à l'intérieur d'une salle de séjour de type habituel

Source : Etats-Unis, Environmental Protection Agency, 1974.

La courbe montre qu'au-delà de 65 dB(A) de bruit de fond, la conversation entre deux personnes placées à 1 m l'une de l'autre n'est plus possible à voix normale. Pour obtenir 100 % de compréhension, le niveau sonore ambiant ne doit pas dépasser 45 dB (A).
Cependant, la manière dont la voix est entendue dépend aussi des qualités acoustiques de la salle et des matériaux utilisés. Il ne faut pas, en particulier, que le temps de réverbération soit trop important.

La norme AFNOR S 31.027, présentée dans le tableau ci-dessous, précise les distances d'intelligibilité entre deux personnes :

Niveau perturbateur de l'intelligibilité (dB)	Distance maximale d'intelligibilité pour la conversation normale (m)	Distance maximale d'intelligibilité pour la conversation à niveau de voix élevé (m)
35	4	15
40	2	10
45	1,5	6
50	1	4
55	0,5	2
60	0,25	1
65	0,20	0,75
70		0,50
80		0,25

Tableau 16 : Estimation des distances d'intelligibilité

Source : extrait NF S 31.047

Deux personnes placées dans une ambiance sonore de 80 dB(A) et conversant à voix élevée ne se comprennent de façon satisfaisante que situées à 25 cm l'une de l'autre.

II-3-5) Les valeurs guides de l'OMS

Des valeurs guides relatives aux effets spécifiques du bruit sur la santé et dans des environnements spécifiques ont été proposées par l'OMS en 2000 (OMS, 2000).

Environnement spécifique	**Effet critique sur la santé**	**L_{Aeq} [dB(A)]**	**Base de temps [heures]**	**L_{Amax}**
Zone résidentielle extérieure	Gêne sérieuse pendant la journée et la soirée	55	16	-
	Gêne modérée pendant la journée et la soirée	50	16	-
Intérieur des logements	Intelligibilité de la parole et gêne modérée pendant la journée et la soirée	35	16	-
Intérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, la nuit	30	8	45
A l'extérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte	45	8	60
Salles de classe et jardins d'enfants, à l'intérieur	Intelligibilité de la parole, perturbation de l'extraction de l'information, communication des messages	35	Pendant la classe	-

Environnement spécifique	Effet critique sur la santé	L_{Aeq} [dB(A)]	Base de temps [heures]	L_{Amax}
Salles de repos des jardins d'enfants, à l'intérieur	Perturbation du sommeil	30	Temps de repos	45
Cours de récréation, extérieur	Gêne (source extérieure)	55	Temps de récréation	-
Hôpitaux, salles/chambres, à l'intérieur	Perturbation du sommeil, la nuit	30	8	40
	perturbation du sommeil, pendant la journée et la soirée	30	16	-
Hôpitaux, salles de traitement, à l'intérieur	Interférence avec le repos et la convalescence	#1		
Zones industrielles, commerciales, marchandes, de circulation, extérieur et intérieur	Perte de l'audition	70	24	110
Cérémonies, festivals, divertissements	Perte de l'auditions (clients: <5 fois par an)	100	4	110
Discours, manifestations en extérieur et intérieur	Perte de l'audition	85	1	110
Musique et autres sons diffusés dans des écouteurs	Perte de l'audition	85 #4	1	110
Impulsions sonores générées par des jouets, des feux d'artifice et des armes à feu	Perte de l'audition (adultes)	-	-	140 #2
	Perte de l'audition (enfants)	-	-	120#2
Parcs naturels et zones protégées	Interruption de la tranquillité	#3		

1: Aussi bas que possible.
2: La pression acoustique maximale (pas LAF, maximum) mesurée à 100 millimètres de l'oreille.
3: Des zones extérieures silencieuses doivent être préservées et le rapport du bruit au bruit de fond naturel doit être gardé le plus bas possible
4: Sous des écouteurs, adaptés aux valeurs de plein-air

Tableau 17 : Valeurs guides de l'OMS relatives aux effets spécifiques du bruit sur la santé

II-3-6) Conclusion

Le bruit, et notamment le bruit des transports, est la nuisance environnementale dont se plaint le plus la population française. Parallèlement aux effets sur la santé, comme les perturbations du sommeil et les réactions de stress, le bruit est souvent ressenti comme une gêne car il empêche l'homme d'accomplir ses activités quotidiennes dans des conditions satisfaisantes et peut être vécu comme une véritable agression. Mais le bruit a également un impact sur le climat social : il serait à l'origine d'une agressivité accrue, d'une diminution de la sensibilité et de l'intérêt de l'individu à l'égard d'autrui, manifeste dans certains comportements.

Le bruit vient aussi renforcer certaines inégalités sociales dans la mesure où il touche en premier les personnes les plus défavorisées qui peuvent plus difficilement s'y soustraire.

II-4) POPULATIONS SENSIBLES, MULTI- ET CO-EXPOSITIONS

Cette partie traite en premier lieu des effets sanitaires du bruit sur les populations sensibles, à partir de l'exemple des enfants en milieu scolaire. Dans un second temps sont présentés les effets des multi-expositions – expositions simultanées à différentes sources de bruit et expositions successives dans des micro-environnements différents au cours d'une période de 24h -, et des co-expositions – expositions simultanées à différentes nuisances, dont le bruit.

II-4-1) Populations sensibles : le cas des enfants en milieu scolaire

La maîtrise du bruit dans l'environnement scolaire, de la maternelle à l'université, constitue un véritable enjeu de société, assez mal connu et peu pris en compte, alors que les conséquences du bruit sur le développement des enfants et la fatigue des enseignants sont sérieuses. Elles pourraient être largement réduites si le bruit était pris en compte dès l'implantation et la conception des établissements scolaires.

II-4-1-1) Environnement acoustique et apprentissage

La qualité acoustique des locaux d'enseignement est un élément important de l'apprentissage verbal, qui représente lui-même la base des acquisitions scolaires. Diverses publications scientifiques internationales démontrent que l'environnement acoustique de la salle de classe représente un facteur très important de la réussite scolaire (CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, 2003).

La concentration demande d'autant plus d'efforts dans les cas de messages complexes apportant des idées nouvelles, de vocabulaire inhabituel. L'objectif est une compréhension des concepts accompagnée d'une mémorisation. Les jeunes enfants en période d'apprentissage du vocabulaire et de la lecture ont un besoin particulier de bonnes conditions d'écoute[94]. Or les situations fréquentes de mauvaise acoustique des salles de classe entraînent des incompréhensions régulières du message de l'enseignant par les élèves. Dans le cas d'une distance au professeur supérieure à 6 m, les performances du système auditif et du cerveau sont compensées par des niveaux de fatigue très accentués qui interviennent à chaque fois que la compréhension est réduite.

[94] Citons l'exemple d'une salle de classe dont les conditions acoustiques sont classées « correctes à faibles » : dans ce cas les très bons élèves normoentendants reconnaissent uniquement 66% des mots dans le discours de l'enseignant (- CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, Acoustique des salles de classe, de séminaires et des amphithéâtres & communication avec les malentendants, Université Paris-Sud - Orsay, 2003).

La durée de réverbération (TR) interfère de manière importante avec le rapport signal sur bruit dans l'intelligibilité de la parole (Josse R., 1962). Un enfant à l'audition normale reconnaît 80%, 71% et 54% de mots monosyllabiques lorsque le rapport signal sur bruit est de 6 dB pour des TR de 0,0 - 0,4 - 1,2 secondes. Dans les mêmes conditions, un malentendant léger ne reconnaît que 60 %, 52 %, 27 % de ces mots.

Al'université, les étudiants sont particulièrement touchés, car ils fréquentent des salles de cours et des amphithéâtres de très grand volume, où il est extrêmement courant de rencontrer des conditions acoustiques défavorables. Paradoxalement, la très grande majorité d'entre eux n'a pas conscience des effets des critères acoustiques sur leurs difficultés scolaires (CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, 2003).

Par ailleurs, les enfants sont exposés à de multiples sources de bruit, dans l'école et hors de l'école, pendant les transports et les loisirs, devant la télévision, en écoutant la radio, en discothèque ou lors de l'écoute des baladeurs. Compte tenu des exigences d'intelligibilité de l'enseignement oral d'une part, et de la multitude de bruits auxquels les enfants sont exposés d'autre part, l'école doit fournir les meilleures conditions possibles pour le développement physique et intellectuel des jeunes. L'Agence américaine pour la protection de l'environnement estime même que le bruit à la maison peut être d'une importance telle que ce déterminant de l'environnement scolaire ne peut être compensé par le niveau socioculturel des parents, en ce qui concerne l'apprentissage du langage et de la lecture.

En Europe, on estime que le niveau de bruit supérieur à 65 dB en Leq 8-20 h nécessite qu'une action soit entreprise.
En France, les experts s'accordent pour estimer que 10% de la population, soit 6 millions de personnes, vivent dans un environnement bruyant ; parmi eux, 2 000 000, dont 450 000 enfants sont concernés par des niveaux de bruit très élevés, supérieurs à 70 dB (Lambert J. et al., 1994a). Pour ces enfants, non seulement le bien-être n'est pas assuré, mais le bruit leur fait courir des risques en termes de développement intellectuel et d'acquisition du langage et de la lecture.
Les enfants n'expriment pas de réaction de gêne au bruit comme le font les adultes ; la gêne n'apparaît que vers 16-18 ans, mais le bruit provoque néanmoins plusieurs effets objectifs :
- le masquage de la parole et la diminution de l'intelligibilité des enseignements ;
- la diminution de l'attention et la fatigue ;
- il en découle un retard d'apprentissage de la lecture ;

- des troubles du comportement peuvent apparaître : agitation ou désintérêt en cas d'absence de signal ;
- la fatigue vocale des professeurs, avec un glissement des fréquences vocales, pouvant conduire à des absences pour extinction de voix ou à un découragement.

II-4-1-2) Quelques résultats d'études

Crook et Langdon on noté les niveaux de crête qui obligent les enseignants à suspendre leur cours (Crook M.A. et Langdon J., 1974). Finitzo-Hieber a estimé que le score de reconnaissance des mots est de 95 % quand le rapport signal / bruit[95] est de 12 dB dans la classe et de 46 % quand il est de 0 dB. (Finitzo-Hieber I. et Tillman T., 1978).

En termes de niveaux absolus, une expérience conduite à Bordeaux (Billaud P., 1982) précise l'impact du bruit sur la reconnaissance des mots : sachant que le professeur prononce des phrases de 27 mots en moyenne, on constate d'abord que les élèves ne comprennent plus le sens général de la phrase à partir du moment ou 5 mots ne sont plus ou mal entendus. On observe aussi que les taux d'erreurs sont différents selon l'environnement sonore dans lequel le cours est donné :

- niveau sonore ne dépassant pas 55 dB(A) : taux d'erreurs 4,3 %
- niveau sonore de 60 dB(A) ou plus : taux d'erreur 15 %

L'étude des mécanismes de la perturbation a montré que dans le bruit, les enfants confondent certaines consonnes et que la distorsion des sons rend peu intelligibles certaines parties de mots, spécialement les fins de mots. L'absence de référence à un savoir ne permet pas aux jeunes élèves de reconstruire les bribes de phrases masquées par le bruit.

A l'occasion d'une série de trois études menées dans un établissement scolaire situé à une distance de 67 m d'une voie de métro aérienne, Bronzaft et Mc Carthy ont étudié les scores de lecture d'enfants des classes primaires dans des salles de classe faisant face à la voie et dans des salles donnant sur le côté opposé, éloigné de la voie.

Dans une première étude, les résultats ont montré que les enfants les plus jeunes, qui étaient exposés au côté bruyant, ont accumulé un retard de trois à quatre mois par rapport aux scores de lecture des enfants situés sur le côté le plus calme. Après qu'un effort consécutif à cette étude a eu pour résultat positif la réduction du niveau de bruit de la voie de 3 à 8 dB de part et d'autre de l'établissement, une deuxième série de tests a été conduite afin de déterminer si les différences de scores et les retards avaient diminué. Les résultats des élèves de chaque salle de classe sont devenus comparables (Bronzaft A.I. et Mc Carthy D.P., 1975), (Bronzaft A., 1982).

---

[95] Il s'agit du rapport entre l'intensité du bruit ambiant et celle du signal analysé.

Lukas et al. ont conduit une étude dans 14 établissements scolaires de Los Angeles, situés à différentes distances de voies autoroutières, qui montre que les différences de distances par rapport à l'autoroute ont pour conséquence des différences de niveau de bruit de fond allant jusqu'à 19 dB entre les salles de classe les plus bruyantes et les plus calmes. Les scores de lecture et de mathématiques des classes de niveau équivalent, et des données de comportement général dans les salles ont été évalués dans 74 salles de classe.

Les résultats de cette étude indiquent que pour un rang équivalent, les scores étaient fonction du niveau de bruit ambiant filtré par pondération de type C dans la classe (Lukas J.S., Dupree R.B. et al., 1981).

Dans une étude effectuée dans la zone d'Orly exposée au bruit des avions, Moch a analysé les résultats de tests passés en début et en fin d'année par deux groupes d'élèves de cours préparatoire (Moch A., 1987). Ses résultats confirment ceux des travaux précédents : les enfants qui fréquentent une école exposée au bruit ont des acquisitions de lecture en fin d'année moins bonnes que les enfants dont l'école est insonorisée. En outre, ils se montrent plus agités et plus instables que les autres durant les épreuves exigeant de l'attention.

Le comportement des enfants en classes bruyantes est altéré (Lehman G., 1981) et lorsque ces classes sont insonorisées, la participation des élèves est très améliorée.

Dumaurier a chiffré le retard d'acquisition de la lecture chez des enfants de 6 ans, qui s'établit à 3 mois, toutes conditions étant égales par ailleurs (bruit subi à la cantine, catégorie socioprofessionnelle des parents) (Dumaurier E., 1983).

Une recherche très détaillée sur la gêne spécifique subie par les enfants a été menée auprès des enfants riverains de l'ancien et du nouvel aéroport de Munich (Evans G., Hygge S. et al., 1995), afin d'examiner chez les premiers l'effet de la diminution du bruit, et d'évaluer chez les seconds les conséquences de l'apparition du bruit. Les investigations comportent des mesures biochimiques et physiologiques ainsi qu'un examen des capacités intellectuelles des jeunes. Les enfants nouvellement exposés au bruit présentent des niveaux élevés d'hormones liées au stress (adrénaline). Ils montrent une bonne adaptation perceptive au bruit mais également un déficit dans la lecture et dans les exercices de mémoire.

Ces difficultés augmentent lorsque les tâches deviennent plus complexes. On voit apparaître des manifestations d'agressivité, d'irritabilité, de fatigue, d'agitation psychomotrice, qui détériorent le climat des classes et peuvent être la source de conflits, de heurts et de bagarres.

Des chercheurs de l'Université de Londres ont mené une série d'études dans les écoles primaires autour de l'aéroport de Heathrow, à Londres, examinant les effets du bruit des avions sur

la santé des enfants et sur leurs performances (1998-2000). Ils comparent la performance scolaire et la santé des enfants dans des écoles exposées à des niveaux élevés de bruit d'avions (parfois un survol toutes les 90 secondes) et celles d'enfants peu exposés au bruit d'avion. Les enfants exposés présentent une capacité plus faible en lecture (certains affichent un retard de lecture de 6 mois) et une irritabilité plus forte que les enfants se trouvant dans une école moins bruyante.

Ces résultats britanniques, obtenus en tenant compte d'autres facteurs pouvant influencer la santé et la performance, tels que le niveau socio-économique des parents, leur niveau d'éducation, les facteurs d'exclusion sociale, la qualité de l'école, les autres facteurs de l'environnement) confirment ceux des autres travaux européens. A l'inverse, les différentes recherches n'apportent pas une confirmation nette que le bruit affecte l'attention des enfants.

II-4-1-3) Conclusion

L'examen rapide des effets du bruit sur les élèves, les étudiants et les enseignants, à tous niveaux, fait apparaître le bruit comme un facteur de nuisance, parfois de santé publique. Son coût économique est certain, même s'il est mal chiffré.

Les états européens et la France en particulier ont pris des mesures pour réglementer la construction des locaux scolaires nouveaux; cependant il existe encore sans doute beaucoup d'établissements où les conditions acoustiques sont très médiocres, qu'il convient d'améliorer, pour limiter l'impact du bruit dans le domaine de l'éducation.

II-4-2) Connaissance des multiexpositions au bruit

Dans la littérature scientifique internationale, la multiexposition au bruit est abordée sous un vocable assez large. On parle tantôt de sources combinées (*combined sources*), tantôt de sources mixtes (*mixed sources*), tantôt de sources simultanées (*simultaneous sources*), voire même de bruit multi-sources (*multi-sourced noises*), parfois d'interactions ou d'effets cumulatifs ou synergiques des différentes sources de bruit. Quoi qu'il en soit, il s'agit bien de situations dans lesquelles des personnes, dans des lieux d'habitation ou des espaces publics, sont exposées à plusieurs sources de bruit d'environnement, notamment de moyens de transport (routier, ferroviaire, aérien).

Ces sources de bruit ne sont pas assimilables au bruit de fond dans la mesure où elles sont parfaitement identifiables, tant du point de vue acoustique que perceptif et même visuel. La multiexposition au bruit diffère donc de la monoexposition qui, elle, renvoie à une seule source de bruit très présente dans le paysage sonore, même si cette source peut être « entourée » d'autres bruits moins identifiables car peu fréquents ou très largement masqués par la source dominante.

II-4-2-1) Multiexposition au bruit : état des lieux

On ne connaît pas précisément le nombre de Français exposés simultanément à plusieurs sources de bruit, en particulier à leur domicile. Les seules données disponibles actuellement proviennent de l'enquête INRETS de 1986 dans laquelle la part de la population française gênée (et donc exposée) à plusieurs sources de bruit des transports est estimée à 6 %, soit environ 3,5 millions de personnes (Maurin M., Lambert J. et al., 1988).

Cette situation s'est vraisemblablement aggravée depuis. Du fait du développement de nouvelles infrastructures autoroutières, ferroviaires à grande vitesse, et aéroportuaires, ainsi que de l'augmentation des trafics, un nombre croissant de riverains est exposé à plusieurs sources de bruit de transport de natures différentes.

Au-delà de l'exposition à plusieurs sources à la fois il est important aussi de se préoccuper du cumul des effets dû à l'exposition à plusieurs sources qui représente un enjeu de santé publique : gêne le jour, interférences avec la communication en soirée et perturbations du sommeil la nuit, par exemple. A une exposition à des bruits combinés est probablement associée une combinaison d'effets dont on ignore actuellement toutes les conséquences à long terme sur la santé.

II-4-2-2) Améliorations des techniques et procédures

Comparées aux situations de monoexposition, les situations de multiexposition au bruit soulèvent au moins deux questions spécifiques qui concernent tant la caractérisation de l'exposition aux différentes sources de bruit que la perception du bruit et la gêne ressentie (Champelovier P., Cremezi-Charlet C. et al., 2003).

Comment caractériser la multiexposition au bruit ?

La caractérisation des multiexpositions au bruit relève de la métrologie acoustique. En effet, sur le terrain, on rencontre des situations de multiexposition variées ; par exemple : une habitation comprenant une seule façade exposée à plusieurs sources de bruit, plus ou moins éloignées des voies, ou bien une habitation comprenant deux façades opposées et exposées, de façon plus ou moins contrastée, aux différentes sources de bruit. Comment, dans ces différents cas, évaluer de façon adéquate l'exposition des habitants qui, de plus, occupent des lieux différents suivant le moment de la journée ? Comment évaluer la contribution de chacune des sources au niveau global d'exposition, sachant que des phénomènes de masquage sont possibles compte tenu du caractère parfois simultané de l'apparition des différentes sources de bruit ?

Comment évaluer la réaction totale ?

Une autre question centrale posée par la multiexposition au bruit concerne la réaction totale des personnes exposées. Bien qu'habituellement un nombre non négligeable de personnes se trouvent dans cette situation et que ces bruits fassent partie du "paysage sonore", la compréhension des processus à l'origine des réactions individuelles dans ces environnements complexes reste encore très limitée et leur prédiction encore très imparfaite.

Évaluer la réaction totale, notamment en termes de gêne, soulève ainsi de multiples questions relatives :

- à la pertinence même du concept de gêne totale ainsi qu'aux processus ou stratégies individuels visant à agréger les effets des différentes sources de bruit perçues ;
- aux méthodologies d'évaluation de la gêne totale ;
- à la modélisation de la gêne totale, tant sont nombreux les modèles possibles ; la gêne pouvant être exprimée soit à partir de variables purement acoustiques (modèles psychophysiques), soit à partir de variables de perception (modèles perceptuels) ou bien une combinaison de ces variables.

A la lumière de travaux récents, il ne semble pas y avoir actuellement de consensus sur un modèle permettant d'évaluer la gêne totale due à la combinaison de plusieurs sources de bruit. Certains modèles proposés relèvent de la psychophysique et évaluent la gêne totale en fonction de variables acoustiques, d'autres modèles évaluent la gêne totale en fonction de variables de perception. Selon certains auteurs (Job S. et Hatfield J., 2000) (Nilsson M.E. et Berglund B., 2001), ces modèles ne s'appuient pas ou de façon insuffisante sur la connaissance des processus psychologiques (perceptuel et cognitif) participant à la formation de la gêne, mais sont plutôt des constructions mathématiques de la gêne totale.

Ils ne tiennent pas compte non plus des combinaisons temporelles (*time patterns*) des différentes sources de bruit (nombre d'événements sonores, degré de superposition parmi les bruits). De ce fait, ces modèles ne sont pas en accord avec les réactions subjectives mesurées dans des environnements sonores multi-sources.

II-4-2-3) Améliorations des réglementations portant sur les multiexpositions

Actuellement, sur le plan réglementaire, mais aussi dans les cartes de bruit, les sources de bruit ne sont prises en compte que de façon séparée (même si la notion de bruit ambiant préexistant a été introduite récemment dans la réglementation française), ce qui laisse pour l'instant sans réponse la question du niveau global (valeur limite) à ne pas dépasser tenant compte de la nature, mais aussi des interactions possibles entre les différentes sources de bruit.

II-4-3) Connaissance des coexpositions à différents types de nuisances

II-4-3-1) Bruit et agents ototoxiques

Récemment révisé par la commission spécialisée des maladies professionnelles du Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels, le Tableau n°42 des maladies professionnelles, qui régit les atteintes auditives provoquées par des bruits lésionnels, ne prend en compte que les effets dus au bruit et, qui plus est, au cours d'une période n'excédant pas une année après cessation de l'exposition à un risque acoustique professionnel identifié (2003). S'il est clair que le bruit demeure le facteur professionnel le plus agressif pour l'audition, certaines substances chimiques peuvent également provoquer des surdités en contaminant la cochlée (Rybak L., 1992, Crofton K., Lassiter T. et al., 1994, Campo P., Loquet G. et al., 1999, Morata T., Campo P. et al., 2001) ou en potentialisant les effets du bruit (Aran J.M. et Portman M., 1990), (Fechter L., 1995), (Morata T.C., Dunn D.E. et al., 1994) (Lataye R. et Campo P., 1997, Lataye R., Campo P. et al., 2000). Ces agents chimiques ototoxiques sont d'origine variable, soit professionnelle, comme les *solvants aromatiques* (Johnson A. et Nylen P., 1995, Calebrese G., Martini A. et al., 1996) ou *chlorés* (Fechter L., Liu Y. et al., 1998) soit extraprofessionnelle comme les *antibiotiques* (Govaerts P.J., Claes J. et al., 1990), les *diurétiques* (Rybak L., 1982, Aran J.M., Hiel H. et al., 1992, Aran J.M., 1995) les *anti-tumoraux* (Klis S., Hamers F. et al., 1999, Ekborn A., Lindberg A. et al., 2003, Sergi B., Ferrasiesi A. et al., 2003) *l'acide acétylsalicylique* (Campo P., 1991), pour ne citer que les principaux.

Nous évoquons dans cette partie, d'une part, les risques de surdité encourus par des personnes exposées à des agents ototoxiques autres que le bruit et, d'autre part, la potentialisation que ces agents peuvent parfois exercer sur les effets du bruit.

Les antibiotiques (aminoglycosides ou aminosides)

Les antibiotiques aminoglycosidiques (AA), encore appelés aminosides, sont des antibiotiques à large spectre, efficaces sur les bactéries aérobies de type Gram(-) en bloquant la synthèse des protéines essentiellement au niveau des ribosomes.

Depuis l'arrivée de la troisième génération de céphalosporines, l'utilisation des AA a diminué. Cependant, leur utilisation s'avère encore nécessaire lors d'une résistance de micro-organismes Gram(-). Les plus largement utilisés sont énumérés dans le tableau suivant.

ANTIBIOTIQUE	UTILISATION THERAPEUTIQUE
Amikacycine	infection nosocomiale
Gentamycine	pneumonie, méningite
Tobramycine	associé avec gentamycine
Kanamycine	tuberculose si résistance
Néomycine	infection de peau et muqueuse
Streptomycine	endocardite, tuberculose

D'une efficacité thérapeutique indéniable, les AA présentent des effets secondaires : ils sont néphrotoxiques et *ototoxiques* (Forge A. et Schacht J., 2000).

L'ototoxicité des AA se traduit par des pertes auditives localisées aux fréquences élevées (8-12 kHz) se propageant ensuite vers les basses fréquences lorsque le traitement se poursuit (Govaerts P.J. et al., 1990). C'est surtout l'épithélium neuro-sensoriel (Figure 18) qui est lésé, les cellules ciliées externes du premier rang étant touchées les premières, suivies par celles du second rang, puis par celles du troisième rang. Les cellules ciliées internes et de soutien ne sont touchées que lors d'intoxications sévères. Par la disparition progressive des cellules neuro-sensorielles de l'organe de Corti, l'ototoxicité induite par les AA se révèle irréversible.

Pour pénétrer dans la cochlée, les AA traversent la barrière hémato-labyrinthique au niveau de la strie vasculaire (Figure 19) et contaminent l'endolymphe et la périlymphe (Figure 20). Si l'élimination des AA, ou clairance, est rapide dans le plasma, quelques heures suffisent (~8h), elle est beaucoup plus longue dans les liquides de l'oreille interne (~15 jours) (Tran Ba Huy P., Meulemans A. et al., 1983). Enfin, les AA pénètrent les cellules ciliées de l'organe de Corti et s'accumulent sous le plateau cuticulaire (Hiel H., Schamel A. et al., 1992). En excès dans les lysosomes, ils deviennent alors cytotoxiques (Aran J.M. et al., 1992, Hashimo E., Shero M. et al., 1997).

Les AA sont donc des agents potentiellement ototoxiques. Bien entendu, les risques cochléo-vestibulaires (audition et équilibre) encourus pour les personnes sous traitement sont pris en toute connaissance de cause par le médecin ; il s'agit bien souvent du seul choix possible compte tenu des pathologies développées par les patients. Des études expérimentales ont montré qu'il existe en outre une synergie entre les effets ototoxiques des antibiotiques et ceux du bruit (Collins P., 1988, Aran J.M. et al., 1990). Il convient donc pour les personnes convalescentes d'éviter, autant que faire se peut, les ambiances bruyantes et, en particulier, les bruits industriels, car les AA peuvent persister dans les tissus jusqu'à 5 mois après la fin du traitement (Dulon D., Hiel H. et al., 1993).

Il convient d'avertir et d'informer le personnel des risques encourus ou de le protéger (protecteurs individuels contre le bruit, pauses, suivi audiométrique) des ambiances sonores limites par rapport à celles recommandées par la législation : $L_{EX,d}$=85dB(A). Dans de telles circonstances se pose la question de la pertinence des limites d'exposition lorsque les personnes sont en exposition multifactorielle.

Les diurétiques

Le furosémide, l'acide éthacrynique, le bumétanide sont trois des diurétiques les plus connus pour leurs effets ototoxiques. Pourtant, le furosémide demeure le diurétique le plus utilisé en clinique. Trois caractéristiques essentielles permettent de distinguer l'ototoxicité de ces diurétiques de celle des AA :

(1) la latence de l'accident cochléaire est brève : la surdité engendrée par le diurétique apparaît quelques minutes seulement après l'administration ou l'ingestion du produit ;

(2) la surdité induite par le diurétique n'est que temporaire, à la différence de celle induite par les AA : la surdité régresse en même temps que l'élimination des diurétiques et cesse à la disparition totale du médicament ;

(3) l'ototoxicité des diurétiques n'intéresse que la cochlée; le vestibule semble être préservé.

En conséquence, aucun trouble de l'équilibre ne doit survenir à la suite d'une prise de diurétique. Étant donné l'importance des équilibres liquidiens existant entre les rampes labyrinthiques membraneuses de la cochlée : rampes tympanique, vestibulaire et cochléaire, l'étude du mode d'action des diurétiques s'est vite orientée vers la structure cochléaire responsable du maintien des caractéristiques électrochimiques de la périlymphe et de l'endolymphe. La strie vasculaire semble être le tissu cochléaire touché principalement par les diurétiques de l'anse. Les cellules marginales de la strie vasculaire augmentent de volume tandis que celui des cellules intermédiaires diminue. Or les cellules marginales sont largement impliquées dans le transport actif et le maintien de la concentration élevée (150mMol/l) de potassium dans l'endolymphe remplissant la rampe cochléaire. Suite à la perturbation des équilibres ioniques entre les compartiments, des oedèmes intercellulaires apparaissent (Forge A., 1982). Le filtre plasma - endolymphe est modifié, les équilibres sang - liquides de l'oreille interne perturbés : une surdité temporaire s'installe alors.

Des études expérimentales et des cas cliniques ont montré en outre qu'il existe une synergie entre les effets ototoxiques des antibiotiques et ceux des diurétiques (Mulheran M. et Harpur E., 1998, Bates D., Beaumont S. et al., 2002). Par ailleurs, une récente étude a révélé la potentialisation, par

le furosémide, des effets ototoxiques de certains métaux lourds comme le cadmium (Whitworth C., Hudson T.E. et al., 1999).

La prescription de diurétiques devra donc s'accompagner d'une information des patients concernant les risques d'hypoacousie contemporains de la prise du médicament et des risques encourus par une prise combinée de diurétiques avec d'autres agents ototoxiques. Cette fois encore se pose la question de la pertinence des limites d'exposition lorsque les personnes sont en exposition multifactorielle.

Les salicylates

L'acide acétylsalicylique, plus communément appelée aspirine, est le médicament considéré comme l'agent pharmacologique le plus couramment consommé dans les sociétés industrielles modernes. Il n'est pas rare que certains individus en absorbent sur leur lieu de travail. Si les effets analgésiques, anti-inflammatoires ou anti-pyrétiques, sont les plus souvent recherchés, certaines personnes souffrant de maladies cardio-vasculaires ou d'arthrites rhumatoïdes peuvent également en consommer à des fins thérapeutiques.

Un niveau sérique de 10-15 mg pour 100 ml correspond à la dose généralement prise pour calmer une céphalée, un mal de dent, une fièvre ; il correspond également au traitement préventif des angines de poitrine. A de telles concentrations, des déficits auditifs partiels peuvent survenir (Bonding P., 1979). Les déficits auditifs engendrés par la consommation de salicylates ne sont que temporaires et donc réversibles. Certaines personnes ne s'aperçoivent même pas de l'hypoacousie dont elles souffrent temporairement.

Lorsque la concentration sérique d'acétylsalicylique atteint 19,6mg pour 100 ml, la majeure partie des sujets ayant une audition "normale" avant la prise de l'aspirine, se plaignent alors d'un sifflement de l'oreille ou acouphène. Cet effet secondaire est tellement reproductible que Mongan et collaborateurs (1973) ont même suggéré l'utilisation de ces acouphènes comme indicateur de concentration sérique des salicylates chez les personnes souffrant d'acouphènes chroniques (Mongan E., Kelly P. et al., 1973).

Comment agit l'aspirine au niveau de l'oreille interne pour engendrer des acouphènes ? En fait, l'aspirine pénètre dans les rampes labyrinthiques par la strie vasculaire (Fig.3), et modifie les équilibres ioniques si précieux pour le mécanisme de transduction neuro-sensorielle. Elle peut modifier également les déplacements de la membrane basilaire (Murugasu E. et Russel I., 1995) et

la perméabilité membranaire des cellules ciliées externes (Stypulkowski P., 1990). En perturbant les cellules qui sont le moteur de l'amplificateur cochléaire (Campo P., 1992), l'aspirine engendre une vibration de l'organe de Corti qui va se transmettre au tympan, engendrant ainsi des acouphènes couplés à une surdité temporaire.

Jusqu'à ce jour, la potentialisation des effets traumatisants du bruit par l'aspirine est encore controversée (Boettcher F., Bancroft B. et al., 1989, Carson S., Prazma J. et al., 1989, Fujimura K., Yoshida M. et al., 2001) et ne semble pas faire l'unanimité dans les milieuxscientifique et médical.

Les anti-tumoraux

Le cisplatine ou le carboplatine sont des anti-néoplasiques largement utilisés dans le traitement des cancers par chimiothérapie. Ils sont utilisés chez l'enfant comme chez l'adulte. Un des effets secondaires majeurs est leur ototoxicité. Le cisplatine, comme le carboplatine, peuvent modifier la composition électrochimique des liquides de l'oreille interne (Laurell G., Teixeira M. et al., 1995) et détruire des cellules ciliées (Hofstetter P., Ding D. et al., 1997). Quant aux effets conjugués du bruit et des anti-tumoraux, ils n'ont pas encore été évalués mais un risque accru de déficit auditif à l'exposition au bruit est très probable.

Les solvants aromatiques

Les solvants aromatiques comptent parmi les produits chimiques les plus utilisés dans l'industrie. Que ce soit le toluène, qui entre dans la composition des peintures, vernis, encres et agents dégraissants (Kirk-Othmer R., 1983) ou le styrène, plus limité au processus de fabrication des résines renforcées à la fibre de verre (Miller R., Newhook R. et al., 1994), sans oublier le xylène et l'éthylbenzène, tous ces solvants organiques sont très volatils et toxiques pour les individus qui les inhalent. Plus de 520.000 personnes travaillent dans des industries produisant et/ou utilisant des résines polyester, et au moins 30.000 professionnels sont directement exposés au styrène (Vincent R. et Subra I., 1995).

De nombreuses études épidémiologiques ont déjà souligné le caractère potentiellement ototoxique des solvants aromatiques (Jacobsen P., Hein H.O. et al., 1993, Calebrese G. et al., 1996, Morata T., Fiorini A. et al., 1997). Cependant, la difficulté majeure rencontrée dans ce type d'étude est de caractériser et d'évaluer la surdité induite par les solvants par rapport à celle induite par d'autres facteurs confondants, comme le bruit par exemple. Dans les deux cas elle se manifeste par une perte de sensibilité auditive au voisinage des 4-6 kHz, encore appelée scotome auditif. L'audiométrie tonale ne fournit pas de signature audiométrique permettant d'affirmer que la surdité diagnostiquée

est due à une intoxication par les solvants, et pas seulement à l'exposition au bruit. Ceci explique peut-être pourquoi, aujourd'hui, seul le bruit est considéré comme agent responsable de la surdité professionnelle et fait l'objet de surveillance, de prévention puis d'indemnisation.
En prévention, le nouveau défi à relever serait d'élaborer des outils capables d'identifier la nature du dommage cochléaire. L'idéal serait que ces outils fournissent aux acteurs de la prévention la possibilité de découvrir des indicateurs précoces de souffrances cochléaires, ou, dans une hypothèse moins heureuse, d'identifier des agents ototoxiques autres que le bruit. Une fois identifiés et reconnus, ces agents ototoxiques pourraient alors faire l'objet d'une véritable politique de prévention.

L'expérimentation animale a fourni des informations précieuses concernant le pouvoir ototoxique des solvants aromatiques (Crofton K. et al., 1994, Loquet G., Campo P. et al., 1999). En outre, elle a permis d'identifier les cellules ciliées externes (CCE) comme les tissus cochléaires les plus sensibles à l'agression des solvants (Johnson A., Juntunen L. et al., 1988, Campo P., Lataye R. et al., 1997). Elle a permis de distinguer les traumatismes cochléaires induits par les solvants de ceux provoqués par le bruit (Lataye R. et al., 1997, Lataye R. et al., 2000). Pour les caricaturer, le bruit endommage mécaniquement l'organe de Corti en maltraitant les stéréocils implantés au sommet des cellules ciliées externes et internes (Figure 21) (Robertson D. et Johnstone B., 1980, Liberman M.C. et Dodds L., 1987), tandis que les solvants empoisonnent les CCE par leur pôle basal en préservant les cellules ciliées internes (Campo P., Lataye R. et al., 2001a). Ces caractéristiques histopathologiques entre les effets des solvants et ceux du bruit offrent des pistes prometteuses pour améliorer la prévention.

Les CCE constituent le support anatomique de l'amplificateur cochléaire. Elles sont capables de se contracter ou de s'allonger. Leur structure anatomique particulière leur donne même le pouvoir d'émettre des sons (oto-émissions) en réponse à une stimulation auditive. Lorsque la physiologie générale de la cochlée est quelque peu perturbée, elles constituent en fait le générateur d'otoémissions. En provoquant les otoémissions et en les mesurant chez des sujets exposés aux solvants, il serait peut-être possible de mesurer la souffrance des CCE induite par l'intoxication aux solvants. Les produits de distorsion ($2f_1$-f_2), déjà utilisés en clinique, seraient sans doute un outil précieux dans la surveillance de l'audition des personnes exposées.

L'empoisonnement des CCE par des solvants laisse présumer une fatigabilité accrue et donc une diminution des performances dans le traitement des informations auditives par le nerf auditif. L'enregistrement des potentiels auditifs engendrés par des bouffées de stimulations acoustiques de

plus en plus rapprochées (rythme croissant de stimulation) pourrait également constituer un test de fatigabilité.

Les effets d'exposition combinée au bruit et aux solvants ne peuvent être passés sous silence. Cette fois encore, l'expérimentation animale a montré qu'il existe un risque réel de potentialisation des effets du bruit par les solvants, ou inversement (Barregard L. et Axelsson A., 1984, Lataye R. et al., 1997, Lataye R. et al., 2000). Cette potentialisation avait d'ailleurs été pressentie par des études à caractère épidémiologique (Barregard L. et al., 1984, Morata T., Dunn D. et al., 1993, Morata T.C. et al., 1994, Sliwinska-Kowalska M., Zamyslowska-Szmytke E. et al., 2001, Morata T.C., Johnson A.C. et al., 2002).

Le monoxyde de carbone et l'acide cyanhydrique

L'étude de la littérature concernant les effets nocifs du bruit a montré que, si dans de nombreuses industries, il y avait cohabitation du bruit avec des agents chimiques, seul le bruit était tenu pour responsable des pertes auditives. A plusieurs reprises dans ce rapport, les risques de potentialisation ou de synergie ont été évoqués lorsque le bruit cohabite avec d'autres agents ototoxiques ou gaz asphyxiants. Le monoxyde de carbone [CO] et l'acide cyanhydrique [HCN] comptent parmi les gaz les plus dangereux et il est apparu récemment que, si le CO ou l'HCN n'engendraient aucune perte auditive par eux-mêmes, ils pouvaient potentialiser les effets du bruit, même lorsque celui-ci est intermittent (Chen G. et Fechter L., 1999, Chen G., McWilliams M. et al., 1999, Roa D. et Fechter L., 2000). Par ailleurs, il a été montré chez l'animal qu'une exposition sonore non traumatisante pouvait le devenir lorsque du CO ou de l'HCN était présent simultanément au bruit (Young J., Upchurch M. et al., 1987, Chen G. et Fechter L., 1999, Fechter L., Chen G. et al., 2002).

Conclusions

Le bruit reste sans conteste la nuisance professionnelle et extraprofessionnelle la plus nocive pour l'audition des personnes. Si une réglementation visant à limiter les expositions au bruit existe, la question se pose de la pertinence des limites d'exposition au bruit ou celle des valeurs limites moyennes d'exposition pour des personnes exposées *à la fois* au bruit *et* à des agents ototoxiques qui fragilisent l'oreille interne (vestibule et cochlée) comme les AA, les diurétiques, l'aspirine, les anti-tumoraux, les solvants aromatiques et autres composés chimiques. En effet, les limites d'exposition au bruit ont été établies pour des sujets ne présentant pas de fragilité cochléaire particulière. Cependant, une oreille interne fragilisée par un ou plusieurs agents ototoxiques pourrait se révéler plus vulnérable à une agression sonore qu'une oreille exposée uniquement au bruit.

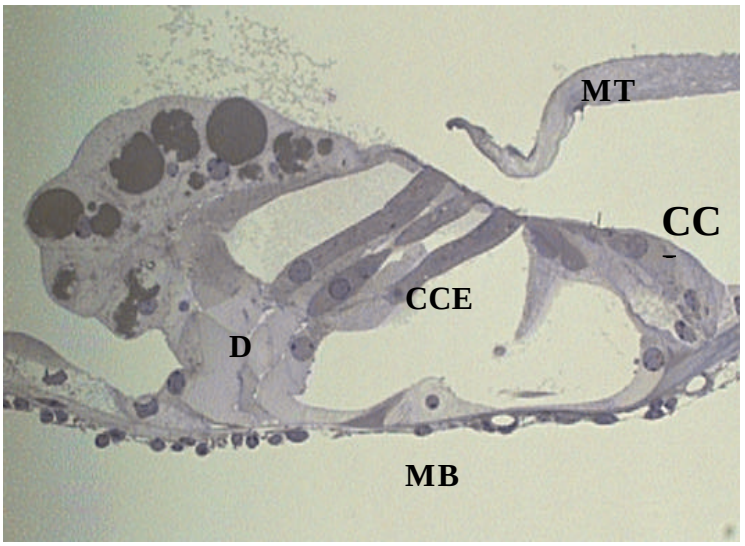


Figure 18 : Organe de Corti.

CCI : cellule ciliée interne; **CCE** : Cellule ciliée externe, **D**: Cellule de Deiters, **MT** : Membrane tectoriale, **MB** : Membrane basilaire

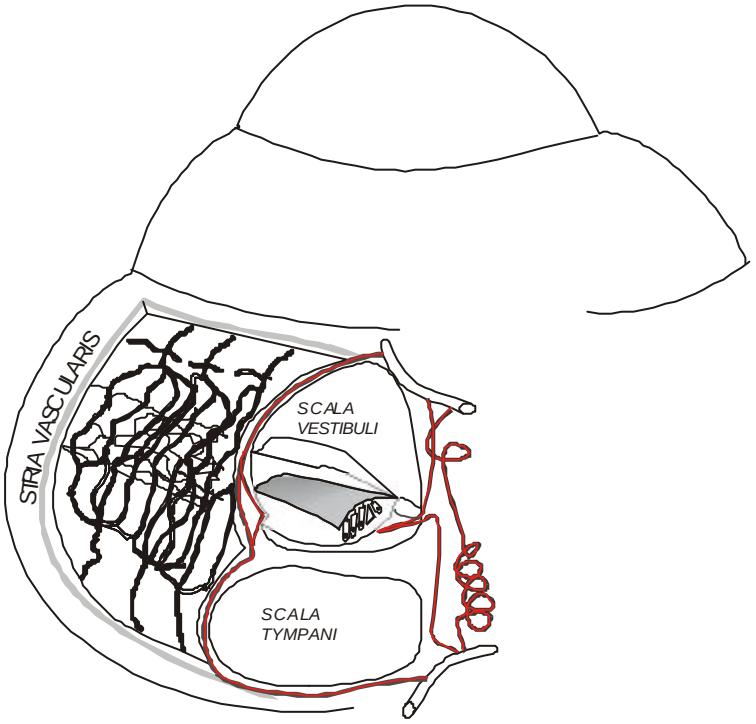


Figure 19 : Réseau de veines et d'artérioles constituant la strie vasculaire ou stria vascularis.

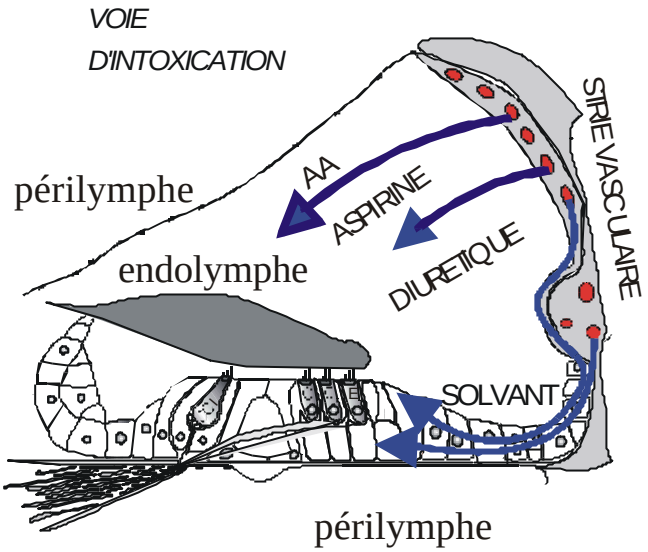


Figure 20 : Voies d'intoxication empruntées par différents agents ototoxiques.

AA : antibiotiques aminoglycosidiques; **CCE** : Cellule ciliées externes; **CCI** : Cellule Ciliée Interne.

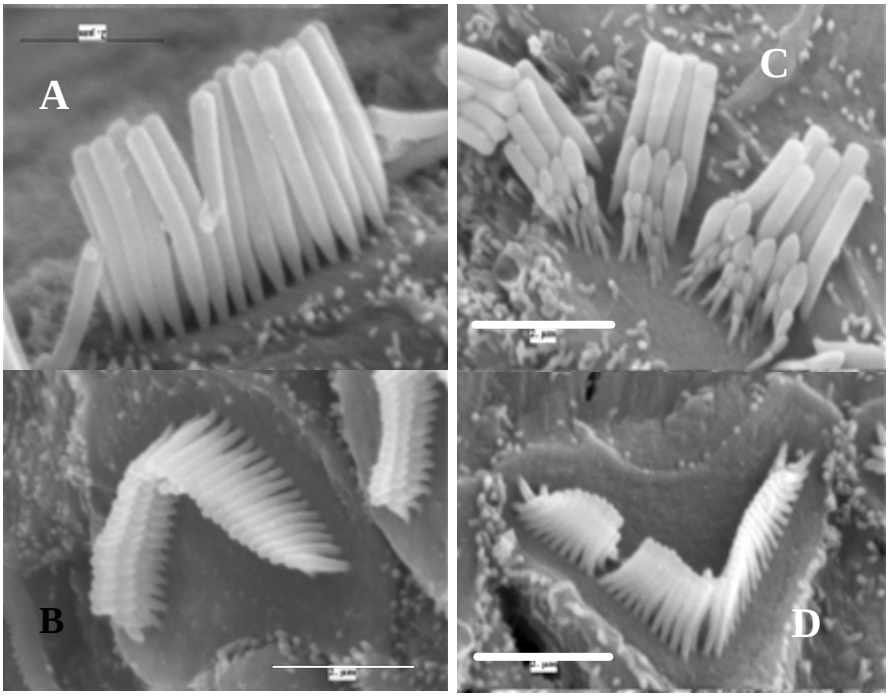


Figure 21 : Stéréocils vus au microscope électronique à balayage.

A: stéréocils en palissade coiffant des cellules ciliées internes de rats témoins ; C : stéréocils de cellules ciliées internes de rats exposés à un Lex,8h de 85dB pendant 4 semaines ; B : stéréocils en "V" appartenant à des cellules ciliées externes de rats témoins ; D : stéréocils de cellules ciliées externes de rats ayant été exposés à un Lex,8h de 85dB pendant 4 semaines. Echelle = 2µm

II-4-3-2) Interaction bruit - température ambiante dans notre vie quotidienne

Dans la vie de tous les jours, le confort global dépend de plusieurs paramètres environnementaux tels que le bruit, la température ambiante, l'humidité, la luminosité ou encore les odeurs. Le bruit et la température ambiante interagissent très souvent, comme dans le cas du conditionnement d'air ou de la ventilation forcée. En fait, le bruit généré par le conditionneur d'air limite très souvent le désir des occupants d'un local d'utiliser ce moyen pour obtenir une température confortable. La même interaction entre niveau de bruit et climat ambiant peut s'appliquer dans le cas de l'ouverture d'une fenêtre sur une rue bruyante afin d'apporter un peu de fraîcheur dans une pièce.

Dans la plupart des études, l'approche du confort a été réalisée en jouant sur un seul paramètre à la fois et non en manipulant simultanément les divers facteurs environnementaux. On est donc en droit de se demander quel est le degré d'applicabilité de telles démarches analytiques volontairement bornées. Dans une étude récente, Pellerin et Candas ont fait varier simultanément la température ambiante et le bruit ambiant, en associant l'augmentation de l'un des deux paramètres à la diminution de l'autre (Pellerin N. et Candas V., 2003a, 2003b). Ainsi, le début de l'exposition à laquelle étaient soumis les sujets d'expérience était réalisé soit à la thermoneutralité mais en ambiance bruyante (bruit rose de 85 dB(A)), soit en condition de silence relatif (35 dB(A)) mais à une température ambiante soit froide (14 ou 19°C), soit chaude (34 ou 29°C). Puis, les sujets avaient la possibilité de modifier l'un ou l'autre de ces paramètres ambiants en sachant qu'une diminution du bruit ambiant entraînerait une modification de la température ambiante en s'écartant de la thermoneutralité ou qu'un retour d'une température froide ou chaude vers la thermoneutralité serait associée à une augmentation du bruit ambiant.
Les modifications apportées étaient limitées en nombre (seulement six modifications au cours de la 1re heure) puis les sujets étaient exposés passivement pendant une heure aux conditions résultant du dernier réglage effectué.

Par cette manipulation simultanée des deux paramètres physiques, les auteurs ont pu tester les préférences des sujets face à une situation qui ne peut jamais être parfaitement confortable. Parmi les résultats obtenus, il apparaît que c'est le paramètre « inconfortable » du début de l'exposition qui est jugé globalement et sur l'ensemble de l'exposition, comme étant le plus désagréable. Ainsi, si la température ambiante est fortement écartée de la thermoneutralité au départ de l'expérience, c'est la contrainte thermique qui sera jugée comme étant globalement la plus forte, quelles que soient les modifications apportées ensuite par le sujet lui-même. Lorsque la condition est fortement bruyante au départ, c'est le bruit qui sera considéré comme étant le principal perturbateur ambiant.

Les compromis trouvés par les sujets montrent que la réduction du niveau sonore n'est pas aussi forte que celle à laquelle on pourrait s'attendre, en raison de leur choix de minimiser, autant que faire se peut, la charge thermique. Curieusement d'ailleurs, les sujets féminins ont choisi un environnement plus bruyant que leurs homologues masculins.

Enfin, d'une façon générale, cette étude montre bien qu'une évaluation de la gêne due au bruit peut conduire à des conclusions très différentes si le facteur bruit est jugé seul ou s'il est évalué alors qu'il est associé à d'autres paramètres environnementaux.

Dans une étude ultérieure, les mêmes auteurs ont évalué le « coût » de l'interaction température – bruit. Ils considèrent que la contrainte thermique diminue la gêne ou l'inconfort lié à l'exposition au bruit alors que les bruits de niveaux élevés augmentent l'inconfort thermique. Ils proposent alors que la sensation thermique provoquée par une déviation de 1°C par rapport à la température de thermoneutralité serait équivalente à la sensation acoustique correspondant à une exposition de + 2,6 dB(A) (lors d'expositions courtes) ou de + 2,9 dB(A) (en cas d'exposition continue).

Ainsi, cette prise en compte des interactions entre paramètres ambiants et leur dimension temporelle ne rejoint pas complètement l'hypothèse, avancée par certains auteurs, d'une intégration centrale d'un environnement construit à partir d'une combinaison complexe de poids affectés à ses différentes composantes (Horie G., Sakurai Y. et al., 1985, Yamazaki K., Nomoto S. et al., 1998). Elle s'en approche toutefois, tout en soulignant l'importance de la durée de l'exposition sur l'évaluation du confort global reflétant les diverses interactions.

II-5) DEFICIENCE AUDITIVE, HANDICAP SOCIAL ET EFFETS DU VIEILLISSEMENT

Cette partie traite de l'impact des handicaps auditifs sur l'intégration sociale et professionnelle des personnes devenues sourdes ou malentendantes. Selon l'INSEE (enquête HID, 1999), 4055 785 personnes déclaraient en 1999 une surdité comme handicap principal. Les causes de surdités sont principalement attribuées aux effets de l'âge (41 %) ou d'une maladie (31 %). La moitié des surdités sont qualifiées de légères (selon la classification du BIAP – Bureau international d'audiophonologie). 71 % des personnes concernées ont plus de soixante ans. Environ 40 % des surdités font l'objet d'une correction avec un appareil auditif.

II-5-1) Surdité et presbyacousie

Comme cela a été montré dans les chapitres précédents, le bruit entraîne des effets néfastes sur l'audition et sur l'organisme. La quantité de cellules ciliées disponible à la naissance ne se régénère pas et toute perte de cellules fonctionnelles est irrémédiable. La surdité est la troisième plus fréquente déficience chronique des sujets âgés chez lesquels elle entraîne des répercussions physiques et mentales importantes. Le handicap lié à la surdité est multiple et ne se limite pas à la déficience auditive. La qualité de vie est globalement et profondément altérée. Les répercussions de la surdité se potentialisent avec d'autres déficits. La surdité est parfois associée à d'autres handicaps comme la démence, la perte de mobilité et la diminution d'acuité visuelle. Malgré ces effets délétères, la plupart des sujets âgés ne sont ni évalués ni traités pour leur surdité. Les aides auditives ont montré leur efficacité pour les surdités de perception, mais leur utilisation est faible par manque de motivation, d'éducation et de moyens financiers. Les possibilités de traitement de l'oreille interne relèvent quant à eux actuellement du domaine de la recherche.

La presbyacousie est une détérioration lente de la fonction auditive résultant d'un processus de vieillissement. Elle touche hommes et femmes à partir de 50 ans mais il existe une grande variabilité interindividuelle. Elle affecte principalement les fréquences aiguës. Son évolution est progressive et constante : de 5 à 6 dB de perte par décennie. Cette perte est plus rapide après 70 ans. L'audition peut être normale jusqu'à 90 ans à condition de préserver son capital auditif.

La presbyacousie est un problème de santé publique déjà grandissant. Du fait de l'augmentation conjointe de l'espérance de vie et de la proportion de la population âgée dans notre société, l'incidence et la prévalence de la presbyacousie augmentent. Le problème est lié actuellement aux

facteurs de risque et comportements à risques d'évolution plus rapide et plus précoce. Il existe une majoration par les facteurs d'environnement.

La prévention est un problème difficile. La mesure de prévention la plus importante est la réduction du bruit. Les effets délétères de l'urbanisation et des comportements sur l'audition ont été soulignés de manière spectaculaire. Comparant l'audition d'une population citadine à celle d'une tribu isolée du Soudan, Rosen et ses collaborateurs constatèrent que l'audiogramme des *teenagers* new-yorkais équivalait à celui des octogénaires africains. La prévention des expositions trop élevées doit débuter tôt dans la vie et non pas quelque peu avant la retraite.

II-5-2) Conséquences des surdités acquises

La surdité affecte principalement les personnes âgées (presbyacousie), et, sauf explosions ou bruits très violents susceptibles de causer une surdité instantanée, la déficience auditive s'installe progressivement en fonction du temps d'exposition aux bruits.

II-5-2-1) Altération de la communication interpersonnelle

La principale conséquence des surdités acquises est l'altération, parfois gravissime, de la communication interpersonnelle. La personne Devenue Sourde ou Mal Entendante (DSME) ne parvient plus ou très mal à communiquer avec son entourage aussi bien familial, amical que professionnel. Elle a alors tendance à s'isoler, s'abstient de participer à des activités de groupe (repas de famille, déjeuner entre collègues, conversations impromptues autour d'un café…). Si la personne n'est pas perçue, connue, comme handicapée auditive, alors son attitude n'est pas comprise, elle n'est pas attribuée à sa surdité, mais à une dégradation de son caractère.

II-5-2-2) Altérations des perception de l'espace et du temps

Les surdités altèrent également les perceptions de l'espace et du temps. En effet, l'audition contribue à la perception des volumes et des distances. C'est également par le son que l'écoulement du temps est perçu. Ces fonctions sont inconscientes, leur altération est ressentie comme un mal être et peuvent aggraver un état dépressif.

II-5-2-3) Acouphènes

Les surdités s'accompagnent assez souvent d'acouphènes, très invalidants lorsqu'ils sont permanents. Lorsqu'ils sont «subjectifs » - seule la personne les entend, - par opposition aux

acouphènes « objectifs » qui peuvent être entendus par un tiers avec un stéthoscope -, ils sont difficiles à évaluer, à traiter et le corps médical peut mettre en doute leur réalité.
Les « sifflements d'oreille » sont aussi un signal d'alerte, leur persistance au-delà de 24 heures devrait conduire à une consultation spécialisée d'urgence.

II-5-2-4) Altération des fonctions d'équilibre corporel

Les fonctions d'équilibre de l'oreille interne peuvent être atteintes ou non selon la cause de la surdité. Lorsque la surdité est provoquée par des nuisances sonores, ce sont, le plus souvent, les cellules cillées de la cochlée qui sont détruites et les fonctions relatives à l'équilibre restent intactes. Cependant, les sons contribuent également à l'équilibre corporel. Les personnes nées sourdes ou devenues sourdes depuis longtemps compensent l'absence de son par la vue. Cette compensation est plus difficile de nuit, voire par temps de brouillard pour certaines activités qui exigent un très bon équilibre.

II-5-2-5) Altération de la sécurité

L'oreille est l'organe de l'alerte, c'est presque toujours le son qui avertit d'un danger. Cette fonction disparaît chez les personnes devenues sourdes, elle est fortement altérée dans les cas de surdité unilatérale (la personne ne peut plus localiser l'origine du son, donc du danger) et plus ou moins bien assurée chez les personnes devenues malentendantes.

II-5-2-6) Information incidente

Une personne DSME perd l'accès à l'information incidente que donnent la radio, les discussions entre collègues, les annonces par haut-parleurs et bien d'autres canaux. Cette information incidente, perçue plus ou moins consciemment, comporte des éléments fondamentaux pour l'intégration sociale et professionnelle. La personne devenue sourde se trouve plus ou moins empêchée de participer aux « rites d'interaction » (E. Goffman). L'absence d'information incidente, à la longue, la prive de son savoir-faire social, lui fait commettre des maladresses et l'incite, finalement, à s'isoler.
En phase d'intégration dans une nouvelle entreprise, voire un nouveau service, le recours à un tuteur est un excellent moyen de compensation.

II-5-2-7) Le déni de la surdité acquise

Lorsque survient une déficience, la victime passe par une phase dépressive qui va de la sidération initiale à l'acceptation raisonnée. Ce phénomène a été bien décrit, il est valable pour la surdité comme pour toute déficience invalidante.

La surdité présente cependant une exception à cette évolution psychologique ; le plus souvent, elle est partielle et, surtout, elle est invisible. Une personne devenue malentendante peut parvenir à donner le change, à nier son handicap, à se mentir à elle-même et aux autres. Elle peut se trouver bloquée en phase de déni de sa déficience. Ce déni est renforcé par la mauvaise perception sociale des surdités.

II-5-2-8) La perception sociale des surdités

Sans doute serait-il plus juste d'écrire *aperception*, tant les conséquences du handicap auditif sont ignorées, négligées et incomprises. Un symptôme significatif de cette aperception est donné par le sociologue américain Erving Goffman, lorsqu'il remarque que les personnes handicapées recherchent des personnalités porteuses du même handicap et en font des exemples. Quand bien même ces réussites sont exceptionnelles, elles constituent la preuve que leur handicap n'est pas un obstacle à la réussite sociale et professionnelle.

Selon les chiffres de la Fédération internationale des malentendants, il y aurait 15 % de déficients auditifs en Grande-Bretagne, 18 % en Allemagne, contre seulement 7,1 % en France (chiffre INSEE, enquête HID, 1999). Une telle différence ne s'explique que par des attitudes culturelles différentes, les Anglais et Allemands auraient une attitude plus pragmatique que les Français. Ils bénéficient aussi d'une meilleure prise en charge de leurs aides auditives.
Cette aperception renforce l'attitude de déni de la surdité de certaines personnes qui n'ont pas de personnalité de référence.

II-5-3) Appareillage, rééducation auditive et compensations spécifiques

II-5-3-1) Appareillage

Dans la plupart des cas, la médecine est impuissante et se borne à prescrire un appareil de correction auditive (ACA). Si l'on excepte les surdités de perception, légères à moyennes, qui peuvent se compenser, parfois très bien, avec des ACA, dans la plupart des cas les ACA ne suffisent pas à eux seuls à compenser totalement la surdité.

La personne malentendante entend avec un son déformé (les pertes auditives varient selon les fréquences, en général les sons aigus sont les plus mal entendus), elle est très gênée par les bruits de fonds, comprendre ne lui est plus naturel, elle doit faire un effort de concentration. Les adhérents des associations se plaignent assez souvent de difficultés avec les audioprothésistes, car :

- le statut de la profession est ambigu, mi-paramédical, mi-commercial ;
- la profession est contrainte de travailler au forfait (vente de l'ACA, adaptation et contrôles durant toute la vie de l'appareil) ;
- le contrôle de la bonne adaptation et des résultats de l'appareillage, théoriquement dévolu au médecin ORL, est rarement fait, la profession s'autocontrôle et évalue elle-même ses résultats.

II-5-3-2) Rééducation auditive

Lorsque l'appareillage est difficile (surdités profondes, voire sévères) ou compliqué (pertes auditives très différentes d'une oreille à l'autre), il faudrait que la personne suive une rééducation auditive, qu'elle réapprenne à écouter. Cette rééducation est faite pour les enfants sourds et pour les adultes implantés cochléaires. En revanche, elle n'est jamais prescrite aux adultes appareillés de façon conventionnelle. Cette absence de rééducation est totalement injustifiée.

II-5-3-3) Une compensation spécifique, la lecture labiale

La compensation innée et spécifique que développent les personnes DSME est la lecture labiale. C'est une fonction innée présente chez tous les individus, mais que le cerveau utilise peu lorsque les informations auditives lui suffisent. Lorsque l'audition disparaît ou devient insuffisante, le cerveau cherche spontanément des informations visuelles. Les enfants sourds apprennent la lecture labiale en même temps qu'ils apprennent à parler.

Chez des personnes devenues sourdes jeunes, on a pu constater des réussites remarquables d'apprentissage inné de la lecture labiale. Dans la plupart des cas, cependant, l'inné ne suffit pas et il est d'autant moins efficace que la personne est âgée. Il faut donc compléter l'inné par l'acquis de la technique analytique de lecture labiale. Cependant, comme pour la rééducation auditive, les cours de lecture labiale sont trop rarement prescrits aux adultes DSME. Les associations de personnes DSME signalent un déficit d'orthophonistes qualifié(e)s pour les adultes.

II-5-3-4) Incidence de l'illettrisme

Pour se développer, la lecture labiale exige une bonne maîtrise de la langue parlée, de sa syntaxe et de sa grammaire. C'est une difficulté supplémentaire lorsque la personne DSME est également illettrée. C'est également l'illettrisme qui complique la formation professionnelle d'une personne contrainte à une réorientation professionnelle.

II-5-3-5) Métiers accessibles aux personnes S-DSME

Une enquête réalisée auprès des anciens élèves d'une école spécialisée a montré qu'il existe des personnes sourdes ou malentendantes dans toutes les branches professionnelles et à tous les niveaux. Cependant, bien évidemment, dans chaque branche, certains métiers sont ou deviennent inaccessibles, ceux qui demandent un emploi constant du téléphone, la participation fréquente à des réunions et beaucoup de contacts avec le public. Il est presque toujours possible de maintenir la personne DSME dans sa branche professionnelle, où elle pourra tirer parti de son expérience, à condition de la former à des métiers accessibles. Le maintien au poste de travail initial est souvent possible avec des suppléances sonores et humaines et une adaptation de l'organisation du travail.

II-5-3-6) Accessibilité de la formation permanente

Une surdité acquise implique assez souvent une réorientation professionnelle et donc un besoin de formation. La formation permanente est un peu plus accessible que l'enseignement traditionnel car elle utilise davantage de supports écrits (projections de transparents, vidéo projections, supports de cours…). Dans la plupart des cas la personne DSME ne peut suivre une formation sans être assistée soit par des suppléances sonores, soit par des suppléances humaines. Ces suppléances ne sont ni proposées ni mises en œuvre spontanément. C'est la personne elle-même qui doit expliquer ses besoins et faire les démarches correspondantes, mais les DSME récents sont très mal informés des possibilités de compensation. Les réponses de l'employeur et du formateur sont très variables et ne peuvent s'appuyer sur aucune obligation réglementaire.

II-5-3-7) Qualification des personnes sourdes, devenues sourdes ou malentendantes

D'une façon générale et comme la plupart des personnes handicapées, les personnes nées sourdes ou devenues sourdes jeunes ont un bas niveau de qualification (CAP, BEP). Cependant, de plus en plus, elles ont accès aux études secondaires et universitaires. Le nombre d'étudiants handicapés, dont les sourds, a été multiplié par dix ces dernières années.

Les personnes DSME en raison d'exposition aux bruits sur leur lieu de travail sont, le plus souvent, des ouvriers et des ETAM (employés, techniciens, agents de maîtrise). En revanche, les personnes DSME à la suite d'expositions aux bruits dans leur vie quotidienne (baladeurs, concerts, accidents…) se trouvent à tous les niveaux de qualification.

II-5-4) Mesures de prévention

II-5-4-1) Information du public - Échelles des bruits

Les échelles des bruits, destinées à tout public, visent à faire prendre conscience de la dangerosité du bruit en donnant des exemples de bruits dangereux.

Les documents communiqués au grand public présentent le défaut majeur de ne pas associer l'intensité des bruits au temps d'exposition acceptable. Ces temps d'exposition devraient toujours être évalués, car ils sont un facteur essentiel de risque auditif. Le tableau suivant présente un exemple d'échelle des bruits.

NIVEAUX SONORES En dB(A)	EXEMPLES DE BRUITS	TEMPS MAXIMAL D'EXPOSITION
130 à 140	Turboréacteur d'avion	1/10 de seconde
SEUIL DE DOULEUR (SURDITE CERTAINE)		
120	Presse à emboutir	30 secondes (sans protection)
115	Discothèque, concert rock	¼ d'heure par jour (deux concerts par mois)
110	Baladeur à pleine puissance	3 à 4 heures (1/2 heure par jour)
105	Klaxon à 5 mètres	7 heures (1 heure par jour)
100	Scie à ruban	14 heures (2 heures par jour)
95	Baladeur assez fort	28 heures (4 heures par jour)
SEUIL DE DANGER DE SURDITE		
90	Circulation automobile intense	20 à 40 heures (3 à 6 heures par jour)
85	Radio très forte	
SEUIL D'ALERTE DE SURDITE		
82	Hall d'une grande gare	Illimité (pas de danger auditif)
80	Sonnerie du téléphone à 2 mètres	
70	Restaurant bruyant	
65	Conversation normale	
50	Rue calme	
40	Bureau tranquille	
30	Trombone tombant sur du marbre	
25	Voix chuchotée	
15	Bruissement des feuilles par vent très léger	
Attention : + 3 dB(A) représente le double du niveau sonore. De 90 à 120 dB(A) ; le niveau sonore est multiplié par 1000 !	L'oreille ne prévient pas d'un excès de bruit. Lorsque la douleur survient vers 120 dB(A), il est déjà trop tard	La sensibilité aux bruits varie selon les individus, les durées indiquées selon des moyennes qu'il est conseillé de respecter
Le danger d'un bruit dépend de son intensité, de son type, de sa fréquence, de la durée d'exposition, de la durée de récupération et de la sensibilité individuelle. -Ce tableau ne donne que des exemples indicatifs-		

Tableau 18 : Exemple d'échelle de bruits avec indication des temps d'exposition

Source : Renard M. et Lasserre L.

II-5-4-2) Efficacité des protections sur les lieux de travail

Les casques anti-bruits peuvent présenter plusieurs inconvénients : poids élevé ; source de sudation supplémentaire pour les travaux manuels ; trop grand isolement vis-à-vis de la parole. Or, il existe des embouts auriculaires équipés de filtres qui remédient aux inconvénients des casques (poids négligeable ; adaptation individuelle par moulage des conduits auditifs de chaque personne ; possibilité d'adapter des filtres aux fréquences dont il faut protéger le personnel, sans trop l'isoler des fréquences de la parole).

Hormis dans certains métiers (pilotes de Formule 1, par exemple), il semble que ces protections ne sont pas suffisamment connues et employées. Elles sont couramment disponibles chez les audioprothésistes. Une disposition fiscale pourrait inciter les employeurs à les utiliser davantage (par exemple, taux de TVA réduit sur prescription d'un médecin du travail). Il semble que certaines entreprises s'estiment libérées de toute obligation par la mise à disposition de leur personnel de protections auditives. Aucun contrôle n'est fait quant au port réel des protections.
On pourrait envisager, sinon une réglementation, une recommandation de réserver les casques aux besoins ponctuels de protection et préconiser les embouts filtrants pour le personnel fréquemment exposé aux bruits.

Les ACA ne permettent pas le port de casque et les personnes ont souvent tendance à ôter leurs ACA pour ne plus percevoir le bruit ; elles obtiennent ainsi un confort relatif, mais n'ont plus de protection auditive. Il semble également que la fonction d'écrêtage du son des ACA ne constitue pas une protection suffisante. Les personnes présentant une surdité, d'origine professionnelle ou non, ne devraient donc pas être affectées sur des postes de travail bruyant.

II-5-4-3) Accessibilité des lieux de travail

La réglementation incendie ne prévoit que des alarmes sonores. Il en est de même pour les alarmes des machines. Il y a urgence à compléter la réglementation sur ce point.

La plupart des personnes victimes de surdité acquise ne sont que malentendantes et peuvent bénéficier de suppléances sonores efficaces. Des difficultés peuvent être rencontrées avec les champs magnétiques qui provoquent une induction dans l'appareil auditif (lignes à haute tension, transformateurs électriques, radars, téléphones mobiles, motrices des locomotives...).

II-5-5) Conclusion

Malgré une réglementation abondante, il est toujours possible de devenir sourd ou malentendant par inattention, négligence ou inconscience des dangers du bruit. Au-delà de l'amélioration des mesures d'information, de prévention et de protection, les surdités acquises devraient faire l'objet d'une meilleure prise en charge technico-sociale afin de ne pas provoquer, comme c'est trop souvent le cas actuellement, une désinsertion sociale et professionnelle coûteuse tant sur le plan humain que sur celui des finances du système de protection sociale.
Le maintien dans l'emploi et la réadaptation professionnelle d'une personne devenue sourde ou malentendante sont conditionnés par une prise en charge aussi rapide que possible et faisant appel à divers spécialistes dont les actions doivent être coordonnées.

II-6) COUTS ECONOMIQUES DES IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT

Le bruit, et plus particulièrement celui des transports, représente un coût pour la collectivité : coût pour le réduire, voire le supprimer, par exemple 1,5 milliards € pour la réalisation du programme de résorption des points noirs relatifs au bruit des transports terrestres (Serrou B., 1995)[96]. Nous nous intéressons ici au coût des nuisances sonores du fait des atteintes à la santé et plus généralement au bien-être des individus dont les effets perçus peuvent être appréhendés au travers de la notion de gêne (Lambert J., 2002).

Ces pertes de bien-être pour les riverains d'infrastructures de transport s'évaluent de plusieurs façons (Lambert J., Quinet E. et al., 1999). L'évaluation économique de la gêne due au bruit s'effectue à partir d'enquêtes auprès de la population (méthode d'évaluation contingente, par exemple). Ces enquêtes visent à estimer le prix que les riverains accordent à un environnement sonore acceptable (prix qu'ils se déclarent prêts à payer pour une diminution voire une suppression de la gêne).

Sur la base d'études de ce type le Commissariat Général du Plan (CGP) a proposé en 2001 (Boiteux M., 2001) des évaluations du coût social du bruit (tableau 19).

[96] Il convient d'ajouter le coût des atteintes au patrimoine immobilier, le bruit étant à l'origine d'une perte de valeur des logements. L'évaluation de l'impact du bruit sur le marché immobilier s'effectue à partir de l'analyse des prix immobiliers. L'objectif est d'estimer la dépréciation de la valeur des logements qu'occasionne une situation sonore particulièrement dégradée.

Bruit en façade exprimé en Leq de jour (6h-22h)	Taux de dépréciation	Dommage annuel pour un logement de 100 m^2
55 dB(A)	0 %	0 euro
60 dB(A)	2 %	132 euros
65 dB(A)	6 %	395 euros
70 dB(A)	10,5 %	691 euros
75 dB(A)	17 %	1120 euros
80 dB(A)	24, 15 %	1591 euros

Tableau 19 : Coût du bruit pour un logement de 100 m^2 selon les propositions du rapport du CGP

Si l'on applique ces coûts unitaires à l'ensemble des habitations exposées au bruit des transports en France, on obtient un coût total des dommages estimé pour l'année 1998 à 3,43 milliards d'euros, soit 0,26 % du PIB, dont 84,2 % sont imputables à la circulation routière, 8 % au trafic ferroviaire et 7,8 % au trafic aérien (C. Quin F.D., N. Bourgis, 2001).
Même si ces estimations s'appuient sur des données anciennes concernant l'exposition des Français au bruit des transports, elles indiquent très clairement l'ampleur de la gêne que représente cette nuisance pour la collectivité.

Un autre volet du coût du bruit, difficile à évaluer, a trait à la consommation médicamenteuse des personnes en mauvaise santé, physique et/ou psychique, nécessitant des traitements. Les états dépressifs par exemple ont des causes multiples parfois difficiles à identifier. L'exposition sur le long terme à des nuisances sonores pourrait participer à la dégradation de l'état de santé général, ce qui se traduit par des consultations et la consommation de substances médicamenteuses, contribuant au coût social de la dégradation de l'environnement (cf. II-2-6).

De nombreux médicaments peuvent être utilisés pour combattre les effets du bruit. D'une part, les médicaments sont administrés pour soulager les effets du stress et les perceptions négatives. D'autre part, ils sont prescrits contre les troubles de l'endormissement et les réveils durant la nuit.

III) DESCRIPTEURS DE BRUIT, INDICATEURS BRUIT-SANTE

Cette partie traite des descripteurs de bruit – indicateurs et indices – validés au plan international, ainsi que des valeurs-limites.

La terminologie adoptée dans ce rapport en matière de *descripteurs* de bruit est la suivante :

- le terme *indice* s'applique à une mesure, une description du phénomène physique du bruit, qui prend en compte certains paramètres (fréquences, puissance…) ; l'indice est purement une expression de forme physique ;
- le terme *indicateur* s'intéresse à la relation entre niveaux de bruit (exprimés par un indice) et impacts sanitaires par le biais d'une relation dose-réponse.

Le décibel reste à ce jour le descripteur le plus utilisé pour la mesure du son, comme phénomène physique simple. Afin de « colorer » la mesure de ce phénomène en fonction de l'utilisation qui sera faite de la mesure, et en particulier pour tenter de mesurer la gêne occasionnée par les émissions sonores de différentes origines ou dans différentes conditions d'horaire ou de lieux, de nombreux autres descripteurs ont été mis au point. La connaissance des expositions et des impacts sanitaires du bruit est ainsi rendue d'un accès difficile pour le grand public par la multitude d'indices et indicateurs, différant selon les sources, l'objectif d'utilisation, l'heure d'émission, etc., avec une difficulté pour réaliser un transfert d'un descripteur à l'autre.

L'objectif de ce rapport est de tenter de cerner la démarche qui a conduit à une telle complexification, avant d'envisager une voie de propositions constructives et cohérentes.

III-1) RAPPEL DES DESCRIPTEURS EXISTANTS ET PERTINENCE SUR LE PLAN SANITAIRE

Il existe un grand nombre de descripteurs acoustiques permettant de décrire l'environnement sonore. On peut cependant les regrouper en deux principales catégories (planche 1) :

(1) ceux qui caractérisent un *événement sonore*, tel le passage d'un véhicule automobile isolé, d'un train ou d'un avion. Sur le plan international le niveau maximum (Lmax) est le plus répandu, qu'il soit exprimé en dB(A) (cas du bruit routier ou ferroviaire) ou en PNdB (*Perceived Noise Decibel* - bruit au passage d'un avion)[97]. D'autres descripteurs peuvent être utilisés comme le SEL (*Sound*

[97] Cet indicateur nécessite une décomposition du spectre du bruit en tiers d'octave puis un calcul de correction selon les fréquences et les intensités des bandes de ce spectre. Chacune des 24 bandes se voit attribuer un niveau (Ni) reflétant la

Exposure Level) qui, *a contrario* du Lmax, intègre la durée de l'événement ou, dans le cas du bruit des avions, le LEPN exprimé en EPNdB (*Effective Perceived Noise Decibels*)[98] et non en dB(A) ;

(2) ceux qui caractérisent une *exposition de long terme*, c'est-à-dire qui prennent en compte le cumul des bruits sur une période donnée (le jour, la nuit, 24h ou plus). Les descripteurs les plus utilisés dans le domaine des bruits de transport terrestres sont le LAeq et ses dérivés comme le LDN ou Ldn (avec pondération pour la nuit) ou le Lden (avec pondération pour la soirée et la nuit) ou les descripteurs statistiques comme le L10 (niveau atteint ou dépassé pendant 10 % du temps) ou le L90 (niveau atteint ou dépassé pendant 90 % du temps ou niveau de bruit de fond). Dans le domaine du bruit des avions, les descripteurs d'exposition sont beaucoup plus nombreux et complexes.

Le choix d'un descripteur acoustique pour déterminer l'exposition de la population au bruit est un problème complexe. Un indicateur est une expression mathématique utilisée pour représenter simplement une situation complexe, variable dans le temps et dans l'espace[99]. On admet volontiers qu'un indicateur acoustique est une expression réductrice de la situation, mais c'est aussi un outil qui permet une bonne évaluation et surtout des comparaisons de l'exposition au bruit en différents lieux, à divers moments de la journée et de l'année. Un indicateur permet encore d'établir des projections vers l'avenir, avec la croissance du trafic, et l'évaluation des actions possibles de réduction du bruit. Un indicateur acoustique chiffré doit représenter l'impact du bruit sur une personne, au plan de la santé et de la gêne ressentie.
Cet indicateur correspond à une exposition sonore moyenne de la population, établie sur l'année.

III-1-1) Notion d'indicateur de gêne

III-1-1-1) Le Lden

La gêne est une notion complexe qui a fait et continue de faire l'objet de recherches. On a vu naître au cours du temps un nombre important d'unités spécialisées pour des sources particulières. Depuis quelques années la démarche est inverse, un souci d'uniformisation - pas toujours raisonnable - conduit à attribuer aux grandeurs énergétiques le pouvoir exclusif de représentation de la gêne. Selon la nature des bruits, épisodiques ou continus, on utilisera plus particulièrement les grandeurs

---

gêne sonore dans cette bande de fréquence. Le niveau global se définit comme suit N=max (Ni) + 0,15*(EN(i) – max (Ni)). Le niveau de bruit en PNdB est alors égal à 40 + (10/log 2)*log N.

[98] Ce descripteur de bruit est l'unité de certification acoustique des avions. Il s'agit d'un décibel corrigé pour tenir compte des fréquences particulières aux émissions sonores des avions. La pondération PNdB donne ainsi aux fréquences moyennes et hautes de 1000 à 10 000 Hz plus d'importance que dans les courbes A B et C.

[99] C'est bien le cas de la situation des riverains d'aéroport, plus variable que celle des riverains des routes, compte tenu de la distance source/récepteur et des trajectoires d'avions.

SEL ou LAeq (durée), sachant qu'il est toujours possible, connaissant la suite des SEL, d'obtenir le LAeq global. Ensuite ces grandeurs seront associées dans des expressions mathématiques plus complexes pour modéliser la gêne ressentie. Aujourd'hui dans les études d'environnement, une unité particulière le Lden est recommandée.

Le Lden (day, evening, night) est imposé par la directive européenne n° 2002/49/EC du Parlement européen et du Conseil, adoptée le 25 juin 2002, et relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.

Ici le regroupement des événements sur une longue durée permet d'introduire la période du nycthémère au cours de laquelle se produisent ces événements. Ce qui permet de prendre en compte le fait que le bruit représente une nuisance croissante selon qu'il se produit respectivement le jour, la soirée et la nuit, on divise la journée selon ces trois intervalles. On calcule les LAeq pour chacune de ces périodes.

Définition du L_{DEN}

$$L_{Den} = 10 * Log\left[\frac{1}{(24)}\left(12*10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4*10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8*10^{\frac{L_{night}+10}{10}}\right)\right]$$

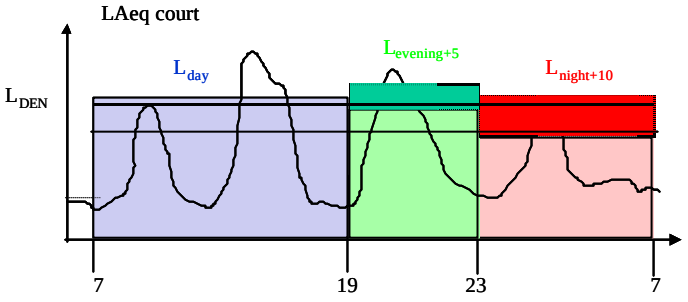
En supposant que l'on connaisse le phénomène par son évolution en LAeq court (Δti en heures) On calcule les trois composantes par les relations suivantes:

LAeq jour $L_{day} = 10*\log\left(\frac{1}{12}\left(\sum_{07}^{19} 10^{\frac{L_{A(\Delta t_i)}}{10}} * \Delta t_i\right)\right)$

LAeq soirée $L_{evening} = 10*\log\left(\frac{1}{4}\left(\sum_{19}^{23} 10^{\frac{L_{A(\Delta t)}}{10}} * \Delta t_i\right)\right)$

LAeq nuit $L_{night} = 10*\log\left(\frac{1}{8}\left(\sum_{23}^{07} 10^{\frac{L_{A(\Delta t)}}{10}} * \Delta t_i\right)\right)$

Note: Le découpage horaire, donné ici à titre d'exemple, n'a pas un caractère définitif dans le cadre de la réglementation.



On obtient ainsi trois grandeurs intermédiaires désignées pour le jour par Lday, pour la soirée Levening et pour la nuit par Lnight. La grandeur Lden rassemble ces grandeurs intermédiaires en affectant un coefficient multiplicatif à l'énergie perçue en soirée et la nuit. Exprimé en dB(A) cela revient à ajouter au niveau partiel correspondant une valeur de 5 unités en soirée et 10 unités pour la période de nuit (directive 2002/49/CE du 25 juin 2002, annexe 1 de la directive). Il s'agit d'une pondération définie arbitrairement

III-1-1-2) Concept d'émergence

Le concept d'émergence repose sur l'hypothèse qu'un phénomène est d'autant plus gênant qu'il se distingue du bruit existant. Cette situation est souvent rencontrée dans les environnements industriels ou de voisinage pour lesquels l'origine de la gêne se trouve souvent dans l'apparition d'une nouvelle source de bruit identifiable, qui vient modifier la situation existante. Pour estimer l'importance de cette modification on choisit d'abord une période temporelle caractéristique, sur

laquelle on mesure le LAeq ambiant en présence du bruit perturbateur puis le LAeq résiduel en l'absence de celui-ci. L'émergence est donnée par la différence entre les valeurs relevées. La réglementation considère comme tolérable une émergence de 5 dB durant le jour et de 3 dB pour la nuit (décret n° 95-408 du 18 avril 1995).

III-1-1-3) Critères complémentaires

Pour prendre en compte une autre propriété de l'appareil auditif, sa sensibilité au spectre de fréquence, la norme de mesure NF S 31010, utilisée dans les mesures d'environnement, introduit d'autres critères pour essayer d'en affiner la caractérisation. C'est ainsi que, à la mesure énergétique exprimée par le LAeq viennent s'ajouter : (1) Une correction qui tient compte de la durée de présence du bruit perturbateur au cours d'une journée ; (2) Une correction d'irrégularité spectrale destinée à tenir compte de la présence de sons purs dans le bruit perturbateurs, sons dont le caractère gênant est affirmé.

Dans d'autres domaines d'application, il devient de plus en plus évident que l'approche énergétique à long terme (journée moyenne), fût-elle pondérée selon les périodes d'apparition du bruit, trouve rapidement ses limites eu égard aux réactions manifestées par les auditeurs.

Ainsi on voit apparaître, sans qu'ils soient définitivement adoptés, des indices événementiels caractérisant des phénomènes uniques. Citons par exemple le LAmax (1s) préconisé par l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires (ACNUSA) pour caractériser chacun des passages d'avions, la nuit.

De même, la répartition spectrale dans le domaine des basses fréquences semble être un descriptif intéressant pour traduire la gêne auprès des personnes présentant des troubles de l'audition.

III-1-2) Les pratiques au niveau international

Associés le plus souvent à des valeurs-limites et à des périodes d'exposition, les descripteurs acoustiques sont utilisés principalement dans l'action réglementaire, en particulier :

- pour la planification (zonage acoustique) ;
- lors de la création ou la modification significative d'infrastructures de transport ;
- lors de la construction de bâtiments le long d'infrastructures existantes ;
- lors de la mise en oeuvre d'actions visant à résorber des points noirs ;
- dans le cadre de programme d'insonorisation des logements comportant parfois des systèmes d'aide aux riverains (aéroports notamment).

L'objectif principal de ces réglementations est de protéger les populations riveraines en fixant des valeurs-limites. Le tableau 20 ci-dessous indique les pratiques actuelles pour un échantillon représentatif de pays industrialisés (Lambert J. et Vallet M., 1994b, Gottlob D., 1995, Flindell I. et Mc Kenzie A., 2000).

Pays	Descripteurs bruit routier	Descripteurs bruit ferroviaire	Descripteurs bruit avion
Allemagne	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	LAeq
Australie	L10, 18h	LAeq 24h LAmax	NEF
Autriche	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	?
Danemark	LAeq 24h	LAeq 24h LAmax 24h	Lden LAmax
Espagne	LAeq 6h - 22h LAeq 22h - 6h	LAeq 6h - 22h LAeq 22h - 6h	
Etats-Unis	L10, 18h ? LAeq ? LDN ?		LDN
Finlande	LAeq 7h – 22h LAeq 22h – 7h	LAeq 7h – 22h LAeq 22h – 7h	?
France	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	Lden
Grèce	LAeq 8h - 20h L10, 18h	?	NEF
Italie	LAeq 6h - 22h LAeq 22h - 6h	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	?
Japon	LAeq 24h	LAmax	WECPNL
Norvège	LAeq 24h LAmax	Lden LAmax	NEF
Pays-Bas	LAeq 7h – 19h LAeq 23h – 7h	LAeq 7h – 19h LAeq 19h - 23h LAeq 23h – 7h	Ke 24h BKL
Portugal	LAeq 7h – 22h LAeq 22h – 7h	LAeq 7h – 22h LAeq 22h – 7h	?
Royaume-Uni	L10, 18h LAeq 7h – 19h LAeq 23h – 7h	LAeq 7h – 23h LAeq 23h – 7h	LAeq 7h – 23h LAeq 23h – 7h
Suisse	LAeq 6h - 22h LAeq 22h – 6h	LAeq 6h - 22h LAeq 22h - 6h	LAeq 6h - 22h LAeq 22h - 6h Lmax (hélicoptères)
Suède	LAeq 24h	LAeq,24h LAmax 23h – 7h	Lden

Tableau 20 : Descripteurs acoustiques utilisés dans l'action réglementaire dans divers pays, selon l'origine du bruit

III-1-2-1) Cas du bruit routier

Du tableau 20, il ressort que le LAeq est l'indicateur le plus utilisé pour le bruit routier. L'exception vient du Royaume-Uni et de l'Australie qui utilisent le L_{10} (niveau de bruit dépassé pendant 10 % du temps). En fait ces deux descripteurs présentent une très bonne corrélation du moins dans le cas

de trafics assez continus, la différence moyenne entre ces deux descripteurs étant de 3 dB(A) (L_{10} - LAeq = 3 dB(A)). Le choix de l'un ou l'autre de ces descripteurs s'explique principalement par le poids que les autorités accordent à leurs avantages et à leurs inconvénients respectifs :

- le LAeq est un indice facilement calculable à partir de données simples caractérisant les trafics et l'urbanisme (débit, vitesse, % véhicules lourds, distance des habitations par rapport à la voie etc.). Il a cependant l'inconvénient de ne pas être bien compris par les riverains et les élus lors de la présentation de projets de voies nouvelles par exemple. Ils considèrent en effet que cet indice est une moyenne et ne prend pas bien en compte les phénomènes de crête.
- le L_{10} présente les caractéristiques inverses : il est plus difficile à prévoir dans les modèles de prévision des niveaux sonores mais il est mieux compris par les populations qui y voient une bonne prise en compte des niveaux de crête.

La période de référence est soit la période de 24h, soit deux périodes séparées (le jour et la nuit).

III-1-2-2) Cas du bruit ferroviaire

Là encore le L_{Aeq} est l'indice le plus couramment utilisé. Cependant certains pays utilisent en complément le L_{Amax}, notamment pour la période nocturne (souci de limiter les effets du bruit sur le sommeil). Les périodes d'application des valeurs limites sont généralement le jour (6 ou 7h à 22h), la nuit (22h à 6h ou 7h) et parfois la soirée (19h - 23h). Les pays nordiques utilisent la seule période de 24 heures.

III-1-2-3) Cas du bruit aérien

Pour quantifier le bruit produit par le passage d'un avion, on distingue les descripteurs qui ne retiennent que le niveau maximum du bruit perçu au cours du passage de l'aéronef, comme Lmax (soit en dB(A) soit en PNdB), et ceux, fondés sur une mesure de l'énergie acoustique, qui intègrent la durée de l'événement. Pour ces derniers on peut soit considérer l'énergie du survol, en PNdB (c'est alors le EPNdB), avec ou sans corrections pour la présence de sons purs ; soit ramener l'énergie du passage à une durée identique de 1 seconde pour tous les bruits (SEL). Ces précisions sont d'une grande importance pour le calcul des prévisions dans des situations qui n'existent pas mais que l'on essaie de prévoir à un horizon donné ou avec des volumes de trafic divers.

A l'inverse du bruit routier et du bruit ferroviaire, les descripteurs d'exposition utilisés dans les réglementations relatives au bruit des avions sont très nombreux. En fait deux approches semblent coexister : l'une a recours au LAeq ou à ses dérivés (Lden), l'autre utilise des indicateurs qui prennent en compte à la fois le nombre de mouvements d'avion et surtout les niveaux de crête au

passage avec des pondérations différentes suivant la période de la journée. Les différences entre pays concernent ainsi : l'unité de bruit (pondération A ou EPNDB), la durée des survols, le poids relatif des niveaux maximum et du nombre de vols ainsi que les facteurs de pondération pour le temps des événements.

Indicateurs acoustiques de la gêne liée au bruit à proximité des aéroports

L'usage d'un indicateur acoustique pour représenter les effets du bruit du trafic aérien sur les riverains procure un fondement technique à la gestion de l'environnement aéroportuaire et représente une méthode plus objective que les luttes d'influence des riverains et acteurs industriels auprès des autorités gestionnaires.

L'indicateur va être aussi utilisé pour définir des zones autour de l'aéroport et préciser l'urbanisation possible dans ces différents secteurs, c'est à dire concilier l'utilisation des sols et l'exploitation des aéroports lors de la création des documents d'urbanisme, pour le long terme.

Un tel indicateur va aussi permettre de contrôler la qualité sonore autour des aéroports, à court terme, et de déterminer si un logement exposé a droit à une aide financière pour améliorer l'isolation de son habitat (Vallet M., 1996).

L'usage d'un indicateur acoustique complémentaire au Lden

L'article 5 du texte de la directive précise les indicateurs acoustiques retenus : Lden et Ln. Le paragraphe 2 de cet article indique que « *les pays membres peuvent utiliser des indicateurs de bruit supplémentaires, pour des cas particuliers comme ceux cités en annexe* ». La première application possible de cette disposition intervient « *lorsque le bruit apparaît pendant une petite fraction du temps, c'est-à-dire 20% ; la seconde concerne les situations ou le nombre moyen d'évènements bruyants est bas, un évènement durant moins de 5 minutes* ». Dans ce cas « *Lmax ou SEL peuvent être utilisés pour la période de nuit, et la protection contre les crêtes de bruit* ».

Lmax, gêne et perturbation du sommeil

L'indice LAmax a été très utilisé dans les recherches sur la perturbation du sommeil par le bruit ; dans les années 90, Griefahn, Vallet et Pearsons ont proposé de combiner le nombre d'événements et le Lmax pour évaluer l'impact du bruit des avions sur le sommeil (1991, Griefahn B., 1992, Pearsons K., 1995). Vernet (Vernet M., 1983) et plus tard Schuemer Khors (Schuemer-Kohrs A., Griefahn B. et al., 1996) ont utilisé Lmax pour traduire les troubles du sommeil dus au bruit des trains. Ces trafics ne provoquent pas de modification de la structure du sommeil, comme le fait le trafic routier continu ; le dormeur se réveille ou réagit quand le bruit apparaît et se rendort le plus souvent. Une seule recherche a permis d'observer une modification du décours naturel du sommeil,

parmi les riverains de l'aéroport de Los Angeles, en 1973, quand les avions étaient très bruyants : Friedman a pu observer une forte récupération du sommeil lent après la cessation des vols de nuit sur une piste, fermée pour cause de réparation, témoignage d'un déficit antérieur de ce type de sommeil (Friedmann J. et al., 1974).

Le travail d'analyse du TNO découlant des observations réalisées à Schipol-Amsterdam, montre que les effets du bruit sur la motilité instantanée pendant le sommeil[100] sont mieux liés au Lmax qu'au Leq intérieur aux chambres ; les niveaux de bruit d'avions qui induisent cette motilité commencent à 32 dB(A), ce qui est inférieur aux niveaux généralement pris en compte (Passchier-Vermeer W. et al., 2002).

Les travaux récents de l'Institut allemand de l'air ne permettent pas encore de trancher la question : l'exploitation des résultats obtenus en laboratoire montre bien un impact des bruits d'avions sur le sommeil lent et la durée des éveils, mais les stimulations, qui peuvent atteindre 128 vols, avec des Lmax allant de 50 à 80 dB(A), pour 8 heures de nuit, sont un peu élevées pour être réalistes (Basner M. et al., 2003). Pour le moment l'utilisation de Lmax paraît bien adaptée pour décrire les effets des bruits d'avions et de trains sur le sommeil.

Lmax et gêne

La limitation du bruit en termes de crête permet de lisser le signal acoustique et de réduire la gêne. Griffiths et Delauzun ont étudié les variations de gêne au cours des saisons ; ils ont observé que pendant l'été, fenêtres ouvertes, la gêne était aussi forte que pendant l'hiver, fenêtres fermées, ce qui correspond approximativement à 15 dB d'écart en Leq (Griffiths I. et Delauzun F., 1978). Une interprétation possible de ce constat est qu'une partie de la gêne est mémorisée par le cerveau, et que son expression n'est pas proportionnelle au niveau de bruit ; en conséquence un Lmax réduit n'excite pas « l'aire corticale du bruit » qui est la base biologique de la gêne. Cela représente une seconde justification de l'usage d'un descripteur complémentaire au Lden, tel que le Lmax.

Lmax et plaintes contre le bruit

Si l'on prend l'exemple des plaintes des riverains de l'aéroport de Lyon Saint-Exupéry, du fait des nuisances sonores aériennes, on ne dispose pas d'enquêtes psychologiques auprès des riverains sur la diminution du bruit, observée autour de l'aérogare. On a noté que le nombre de plaintes contre le

[100] Il s'agit des mouvements corporels spontanés pendant le sommeil.

bruit a très fortement diminué entre 2000 et 2002[101]. Il semble que cette diminution du nombre des plaintes est liée à l'installation du système CONSTAS, opérationnel depuis l'automne 2000 et qui fournit des données sur le bruit et les trajectoires des aéronefs. En fournissant des données acoustiques objectives, celui-ci permet l'instauration d'un dialogue entre les riverains et les gestionnaires de l'aéroport. Un tel dialogue constitue un premier pas significatif dans la gestion des plaintes, rassurant les populations sur la connaissance objective des phénomènes et la prise en compte par les autorités de leur motif de plainte.

Le nombre encore élevé de plaintes en 2001 était lié à la réalisation d'une enquête publique préalable au nouveau PEB, incluant un projet d'extension de l'aéroport, ce qui laisse à penser que cette diminution ne peut-être entièrement imputée à la diminution des Lmax de nuit.

Conclusions sur les indicateurs dans le cas des bruits aériens

Le bruit des avions est une question déjà ancienne de qualité de vie autour des aéroports. Il est aujourd'hui pris en compte par les autorités en charge de l'environnement, au plan réglementaire et administratif, avec de nombreuses décisions récentes prises à la fin des années 1990 et surtout depuis l'an 2000. Avec la directive européenne 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, le bruit autour des aéroports est le plus surveillé à ce jour.

Les conséquences de cette action administrative sont visibles dans la plupart des aéroports, qui ont conscience que leur développement est lié à une action vigoureuse en matière d'ambiance sonore. L'installation de réseaux permanents de mesures acoustiques autour des principales plateformes, édictée en même temps que la création de l'autorité indépendante ACNUSA, permet de noter la diminution des niveaux sonores, aussi bien en niveau global que pour les niveaux moyens de crête.

La protection particulière de la qualité du sommeil des riverains d'aéroport est un problème qui demeure, malgré les diminutions de bruit constatées. Après avoir soutenu l'usage du Lden et proposé les valeurs-limites des zones de protection, l'ACNUSA a suggéré de limiter les niveaux maximaux des survols.

Cependant, il apparaît qu'une étude épidémiologique devrait éclairer cette question pour toutes les sources de bruit.

[101] On a relevé en 2000 : 1301 plaintes par 283 personnes, réparties sur 51 communes, dont 469 par un seul riverain et 303 autres par 3 riverains
- en 2001 : 1015 plaintes par 247 personnes, venant de 52 communes
- en 2002 : 812 plaintes émanant de 60 communes, en raison de l'extension de la zone de référence, liée à un niveau de bruit plus bas.

III-1-2-4) Les indicateurs de la Directive européenne 2002/49/CE (2002)

Suite aux travaux du Groupe de Travail « Indicateurs de bruit » de la Commission des Communautés européennes (CEC, 1999), il a été proposé de retenir, pour décrire le bruit de toutes les sources extérieures (route, fer, avion, équipement extérieur, de façon séparée) et à des fins d'évaluation, de cartographie, de planification et de réduction du bruit, les indicateurs suivants :

1/ le Lden (day - evening – night) qui combine le LAeq de jour (12 heures), le LAeq de soirée (4 heures) et le LAeq de nuit (8 heures) avec une correction de 5 dB pour la soirée, de 10 dB pour la nuit et aucune correction pour le jour. La formule est la suivante :

$$Lden = 10 \lg [(12/24).10^{LD/10} + (4/24).10^{(LE+5)/10} + (8/24).10^{(LN+10)/10}]$$

Par défaut les périodes sont les suivantes :

- jour : 07:00 – 19:00 (période d'activité)
- soirée : 19:00 – 23:00 (période de relaxation)
- nuit : 23:00 – 07:00 (période de sommeil)

2/ le LAeq nuit (8 heures), niveau équivalent mesuré en dB(A)

Ces niveaux doivent être mesurés ou calculés sur la façade la plus exposée à 4 mètres du sol et doivent être représentatifs de l'exposition moyenne au cours d'une année (exposition de long terme).

Deux critères de santé et de bien-être ont été retenus dans le choix de ces indicateurs : la gêne psychologique (perturbation des activités) ainsi que les effets sur le sommeil.

III-1-3) Pertinence sur le plan sanitaire

Se prononcer sur la pertinence des indicateurs existants sur le plan sanitaire nécessite de définir d'abord la « dose » de bruit qu'il faut choisir dans "la famille Décibel" et quel(s) effet(s) sur la santé on considère (gêne, effets sur le sommeil, interférence avec la communication etc.). Les discussions sur ces choix sont très nombreuses et on trouve dans les travaux scientifiques les arguments pour soutenir des propositions très diverses. Les principales questions de débat concernent :

- le choix entre la pondération A des fréquences (dB(A)), qui correspond à la sensibilité de l'oreille et qui diminue les valeurs dans les fréquences inférieures à 500 Hz, et une pondération qui tienne compte de la nature du bruit, par exemple la pondération C pour les bruits contenant beaucoup de basses fréquences ;

- le choix entre un descripteur d'énergie globale du type LAeq (ou Lden) et un descripteur prenant en compte les crêtes ;
- les bruits intermittents (moins de 20 % du temps ou 1 événement par heure par exemple) pour lesquels il est préférable d'utiliser des descripteurs s'appuyant sur le LAmax ou le SEL plutôt qu'une moyenne globale de long terme ;
- la prise en compte ou pas du caractère impulsif du bruit, ainsi que ses variations principales, en comparaison avec un bruit très stable comme celui de systèmes de ventilation d'immeubles. Quelques sources sont à considérer comme produisant des bruits très impulsifs, en particulier les bruits d'armes à feux, les bruits de marteaux piqueurs, les explosions de carrière ou de mines etc. Ces types de bruit peuvent fortement augmenter la gêne ressentie par ceux qui les subissent.
- la considération de la sensibilité différente des activités humaines possibles tout au long de la journée, par exemple le sommeil la nuit ;
- les réglementations recommandent pour la plupart, pour les sources de bruit extérieures, de mesurer le bruit à l'extérieur des logements, en négligeant totalement l'isolation procurée par les fenêtres mais aussi le style de vie. A Séville, on doit vivre plus souvent avec les fenêtres ouvertes qu'à Aberdeen et une réglementation prenant en compte le bruit à l'extérieur introduira une distorsion bien supérieure à celle due à la simplification dans le choix de la métrique du bruit.

L'examen des effets du bruit sur l'homme, celui des normes existantes (ISO 1996) et des pratiques à travers le monde conduit ainsi de plus en plus à l'utilisation du niveau énergétique équivalent LAeq. Il est défini comme le niveau d'un bruit continu et stable, sur une période donnée qui serait équivalent (en termes énergétiques) au bruit réel présentant des variations de niveaux et mesurés sur la même période.

L'équation est $LAeq = 10 \log_{10}\left[\frac{1}{T}\int_0^T 10^{\frac{L_A}{10}} dt\right]$, calculé à partir de la connaissance du niveau L à chaque instant. Ce niveau L instantané est mesuré en dB(A). On précise les périodes d'intégration, sur 24 h, ou de jour, de soirée, etc.

L'usage du LAeq peut donner lieu à une correction pour la nuit et parfois la soirée : le niveau moyen jour-nuit (Ldn) intègre une correction de 10 dB pour la nuit de 22 à 7 heures. Le niveau moyen jour-soirée-nuit (Lden) intègre une correction de 5 dB pour la soirée et 10 dB pour la nuit. Cette façon de caractériser le bruit ne prend pas bien en compte la perturbation apportée par des bruits isolés que des descripteurs comme le LAmax ou le SEL permettraient d'intégrer. Ceci concerne deux sources importantes de bruit : les avions et les trains.

III-2) AMELIORATIONS DES TECHNIQUES ET PROCEDURES

III-2-1) Les critères d'un bon indicateur d'exposition au bruit

Les indicateurs acoustiques à choisir pour caractériser l'exposition des populations au bruit doivent présenter plusieurs qualités. Les trois principaux critères à prendre en compte sont les suivants :

- *Validité,* c'est-à-dire des indicateurs présentant une relation robuste avec les effets du bruit sur la santé et le bien être, que cela concerne le degré de sévérité de ces effets sur une personne ou leur fréquence d'apparition dans la population. On doit préférer les indicateurs acoustiques qui montrent une bonne corrélation statistique avec les différents effets du bruit sur la santé, même si ces derniers montrent une variabilité interpersonnelle très large. En effet, aux niveaux de bruit faibles, certaines personnes expriment des difficultés et à l'inverse, aux niveaux très forts, certaines personnes montrent une résistance inattendue aux atteintes du bruit. Lorsque cette corrélation statistique existe, on peut obtenir une bonne prévision des effets d'un niveau de bruit donné sur la population et sur sa santé. Cela permet des propositions de valeurs-limites à respecter pour protéger la santé de la plus grande partie de la population.

- *Applicabilité pratique*, c'est-à-dire la facilité de mesurer le bruit existant ou de le prévoir dans les situations où la source de bruit n'existe pas encore. En effet, on ne peut guère proposer un indicateur difficile à mesurer ou à prévoir car on se couperait des possibilités de manipuler des paramètres simples mais toutefois sensibles aux variations de situation. L'utilisation de l'échelle logarithmique en décibels est déjà à la limite de la simplicité. Il est toujours possible de mesurer des niveaux de bruit et de calculer ensuite des indicateurs complexes comme ceux utilisés par exemple autour des aéroports, associant le niveau de crête moyen et un logarithme du nombre d'événements - atterrissages ou décollages, éventuellement corrigés d'un terme correcteur pour obtenir une échelle représentative, condensée et utilisable.

- *Transparence*, c'est-à-dire la facilité à expliquer et à être compris par les utilisateurs, en particulier les riverains, les associations de défense de l'environnement et les élus. En effet, les problèmes de bruit sont soulevés par les riverains des lieux bruyants, et il est nécessaire dans leur dialogue avec les pouvoirs publics et les gestionnaires des infrastructures qui génèrent le bruit, que la façon dont le bruit est mesuré ne soit pas la première cause d'incompréhension et parfois même de défiance. A la limite, on pourrait dire qu'un bon indicateur doit être mesurable physiquement par des moyens

simples, accessibles financièrement aux associations d'une part et d'autre part compréhensible par les élus, qui sont, la plupart du temps, le trait d'union entre la population et les techniciens.

Les autres critères concernent la précision pour la description des divers types de bruit d'environnement ainsi que la cohérence réglementaire.

Comme il est indiqué dans le *Position Paper* de la Commission Européenne (*WG* 1), bien qu'il y ait un consensus général sur ces critères, il y a des différences sensibles dans l'importance relative qui doit être accordée à ces critères, notamment par les utilisateurs finaux (European Commission, 2002). Aussi, la recherche d'un indicateur unique et simple est une tâche difficile et délicate, d'autant que ces critères sont en partie mutuellement exclusifs. Du point de vue de la transparence, le descripteur le plus simple serait le niveau de pression linéaire en Watt. Mais ce descripteur serait incompatible avec le critère d'applicabilité pratique, tandis que le critère de validité est encore incertain.

III-2-2) Choix des descripteurs

III-2-2-1) Un large recours au LAeq

Pour décrire le bruit, on a recours de plus en plus au LAeq ou à ses dérivés comme le Lden qui introduit des corrections pour certaines périodes (soirée et nuit) en apportant dans un certain nombre de cas des compléments en fonction de la source et de la nature du bruit. Certains compléments au LAeq sont relativement aisés à proposer car les résultats scientifiques sont consistants.

III-2-2-2) L'impulsivité du bruit

Une correction de 5 dB pour les bruits impulsifs était préconisée dans la première version de la norme ISO n°1996, puis abandonnée dans une version suivante de la norme en 1987. La Communauté européenne a défini l'impulsivité d'un bruit (Journal Officiel de 1979). Si la différence bruit impulsif (LAI[102]) moins bruit stable (LAS) est supérieure à 4 dB, le bruit est déclaré impulsif.

Le 4e programme de recherche sur l'environnement (1986-1990) a inclus une étude sur ce thème, avec des expériences en laboratoire, des observations sur le terrain, des mesures de bruit et des enquêtes. Les résultats fournis permettent de confirmer l'intérêt d'une pondération en cas

[102] LAI est le niveau LAeq pendant 10 millisecondes, s'il y a une augmentation supérieure à 10 dB entre 2 valeurs successives.

d'impulsivité. Il existe une distorsion entre les méthodes de quantification physique et le rôle de l'impulsivité dans les réactions de gêne. En effet, certains bruits sont *jugés* impulsifs (téléphone, klaxon, machine à écrire, sirène d'incendie) alors que la différence LAI-LAS est inférieure à 4 dB ; à l'inverse d'autres ne sont pas jugés impulsifs (portière de voiture, balles de tennis) avec un ? > 4 dB.

La proposition issue de ce programme est que l'ampleur de la correction varie avec le niveau du bruit global, allant de 0 dB pour un Leq de 80 dB(A) à 10 dB pour un niveau Leq A de 50 dB. Une correction de 5 dB(A) pour un Leq = 60 dB et de 3 dB(A) au-dessus jusqu'à 70 dB apparaît satisfaisante.

III-2-2-3) La composition spectrale et la présence de sons purs

La pondération des fréquences d'un bruit selon la courbe A se rapproche de la sensibilité de l'oreille chez l'adulte jeune. Une pondération tenant compte davantage des sons graves est utile lorsque le bruit de la source est modifié avant d'arriver aux oreilles de l'auditeur, par des fenêtres isolantes, des écrans phoniques, la distance entre la source et l'oreille etc., et aussi chez les personnes âgées dont les fréquences utiles d'audition sont décalées vers le bas.

Une prise en compte des sons graves à 32-250 Hz est nécessaire pour le bruit des transports mesuré à l'intérieur des logements et pour les bruits générés par les équipements des logements qui produisent des bruits sourds bien que de niveaux peu élevés. L'adaptation de silencieux sur les avions de générations anciennes ne fait que transférer l'énergie vers des fréquences plus basses. Cet ensemble d'observations fait que dans les villes par exemple, il existe une sorte de « brouillard acoustique » de basses fréquences.

Pour mieux prendre en compte ces basses fréquences, une première proposition consiste en une correction lors d'une composition en sons graves importante, mesurée par la différence de niveaux en dBA et dBC. Lorsque ? dBC - dBA = 10 dB, on introduit une correction de 5 dB(A) pour un Leq < 60 dB(A) et une correction de 3 dB(A) si le Leq = 60 dB(A). De même, en présence de pics de niveau dans une fréquence pure on propose des corrections de mêmes niveaux : si Lf > LA de 10 dB, on ajoute 5 dB(A) pour les niveaux Leq = à 60 dB(A) et 3 dB(A) pour les Leq dB(A) > 60 dB(A).

III-2-2-4) La prise en compte de la situation initiale

La prise en compte de la situation initiale est nécessaire dans les cas de zones calmes où va être installée une infrastructure source de bruit qui va modifier profondément le climat sonore et à un

degré moindre les actions de protection contre une source existante. On comprend aisément que l'acceptation du niveau de bruit créé par une nouvelle autoroute dans une banlieue de grande ville ayant déjà un bruit de fond certain sera plus aisée que dans une zone rurale où le bruit ambiant est de 40 dB Leq A par exemple. Dans ce dernier cas, on peut réfléchir à une augmentation limitée à 12 dB(A) Leq entre la situation calme et la situation bruyante, après la mise en service de l'autoroute. Autrement dit, une limitation à 60 dB(A) Leq sera très acceptable dans une zone avec un bruit de fond de 55 et beaucoup moins bien dans une zone avec 40 dB(A). Dans ce cas de figure, on manque de références scientifiques. Certains spécialistes évoquent aux USA une correction de + 5 dB(A).

III-2-2-5) La prise en compte du nombre d'événements bruyants et de leur niveau de crête

Le problème se pose lorsque le nombre d'événements est faible et qu'il n'est pas pertinent d'utiliser un descripteur équivalent de bruit (petit nombre de niveaux de crête). Lorsque le nombre de bruits augmente, la prise en compte de l'énergie de chaque événement conduit à un calcul similaire au Leq. De même, pour le trafic routier et pour les bruits autour des grands aéroports, on sait évaluer le niveau des crêtes à partir de la vitesse des véhicules de la distance de la route (piste) au logement.

Des travaux suédois et quelques recherches européennes ont mis en évidence le rôle du nombre d'événements sur la gêne provoquée par un niveau Leq identique, en laboratoire. Lorsque le niveau global est inférieur à 60 dB(A) en Leq, le nombre d'événements, s'il est faible, c'est-à-dire compris entre 3 et 10 bruits par heure, minimise la gêne par rapport à 20 ou 30 événements pendant la même période. A l'inverse, pendant le sommeil, on a constaté que des bruits rapprochés avaient moins d'impact sur la qualité du sommeil que des bruits très espacés. La probabilité la plus forte de réveil apparaît lorsque les bruits sont séparés de 40 minutes.

A l'évidence, ces observations sont utiles pour les rares bruits de trains durant la période de nuit ou pour les vols d'avions peu fréquents la nuit. On manque dans ce domaine de résultats scientifiques plus solides, à la fois en laboratoire et en situation réelle, pour proposer une pondération, dans les situations où les niveaux Leq sont inférieurs à 60 dB(A), ce qui arrive souvent pendant la soirée et la nuit. On peut indiquer que les crêtes des événements isolés ne dépassent pas de plus de 10 dB(A) le niveau limite retenu en LAeq.

III-3) AMELIORATIONS OU EVOLUTIONS DES REGLEMENTATIONS EN MATIERE DE FIXATION DES VALEURS LIMITES

III-3-1) Des valeurs limites : pour quel(s) objectif(s) ?

Les pays européens pour la plupart disposent et appliquent des réglementations ou des recommandations nationales permettant, à travers le respect de valeurs limites d'exposition, une protection des riverains contre le bruit d'environnement. Ces réglementations sont apparues tout d'abord dans les pays du nord de l'Europe (Pays-Bas, Allemagne) au cours des années 1970 et 80, puis plus récemment dans les pays du sud de l'Europe (Italie, Portugal par exemple). Ces dispositions réglementaires sont de plus en plus parties intégrantes d'une loi nationale sur le bruit (Pays-Bas, Suisse, Allemagne, Italie, France, Portugal).

Si des valeurs limites sont en vigueur dans la plupart des pays industrialisés, leur application vise à atteindre des objectifs très variables, en particulier :
- protéger des populations riveraines lors de la création d'infrastructures nouvelles de transport ;
- protéger ou traiter les bâtiments neufs à construire aux abords d'infrastructures existantes ;
- résorber des points noirs existants (les infrastructures et les bâtiments existent déjà).

Pour ces différents objectifs, les valeurs limites ne sont pas les mêmes. L'exemple le plus frappant est celui de la Suisse (1986) qui distingue :
- les valeurs limites d'immission : limite générale au-delà de laquelle le bruit devient gênant et nuisible. Ces valeurs doivent être respectées par les installations bruyantes existantes et lors de la construction de nouveaux bâtiments comportant des locaux à usage sensible au bruit ;
- les valeurs de planification : elles sont déterminantes pour les nouvelles installations bruyantes ainsi que pour la délimitation et l'équipement de nouvelles zones à bâtir. En vertu du principe de prévention, les valeurs-limites sont plus sévères ;
- les valeurs d'alarme : elles représentent un critère d'urgence dans l'action à mener et conduisent à traiter les points noirs dans les délais les plus brefs.

III-3-2) Les critères pour l'établissement de valeurs limites

Les deux principaux critères pris en compte pour fixer des valeurs-limites dans la population générale sont la gêne psychologique et les perturbations du sommeil. C'est donc sur la base de travaux de recherche portant sur ces effets que les valeurs limites sont la plupart du temps établies. A ces critères viennent s'ajouter ceux de la perturbation de la communication, particulièrement

importants en milieu scolaire. En milieu professionnel le critère est autre, il s'agit d'abord de préserver la fonction auditive des travailleurs.

Ainsi, dans la mesure où le bruit est plus ou moins gênant suivant le lieu et la période de la journée (et des activités pratiquées), les valeurs-limites sont souvent établies en fonction du degré de sensibilité des zones d'habitation ou de l'affectation des bâtiments :
- zone de détente ou école ou hôpital
- zone d'habitations exclusivement résidentielle
- zone mixte où sont admises des activités artisanales
- zone industrielle où des entreprises sont majoritairement implantées.

III-3-3) Les valeurs-limites

Les valeurs limites d'exposition résultent le plus souvent de compromis entre les exigences humaines découlant des effets du bruit (gêne ressentie, effets du bruit sur le sommeil notamment) et des conséquences économiques et financières induites par la mise en œuvre des protections phoniques.
Ce compromis, réalisé le plus souvent par les autorités gouvernementales, tend à évoluer dans le temps, dans la mesure où les exigences humaines semblent plus marquées actuellement que dans le passé (plus grande sensibilité des populations au bruit, pression sociale accrue, inquiétude vis-à-vis de la réduction du "capital silence") et les coûts de protection mieux intégrés dans les projets d'infrastructures nouvelles.

III-3-3-1) Bruit routier

Dans un grand nombre de cas, les réglementations s'appliquent essentiellement aux voies nouvelles et aux modifications importantes des voies existantes des réseaux routiers nationaux. Les voies communales, qui constituent l'essentiel du réseau routier urbain, ne sont que trop rarement concernées par les réglementations : leur traitement est souvent laissé à l'appréciation des autorités locales ; dans ce cas elles ont le pouvoir d'appliquer ou non les réglementations concernant le réseau national.

Les valeurs-limites d'exposition au bruit sont appliquées généralement pour la période diurne et pour la période nocturne. Certains pays retiennent trois périodes en ajoutant la soirée qui est une période très sensible pour les riverains, mais peu différente de la journée quant à l'exposition au

bruit. Très peu de pays retiennent une période unique de 24h. La définition de la période de jour et de nuit varie cependant d'un pays à l'autre, la période 6h - 22h pour le jour et donc 22h - 6h pour la nuit étant la plus souvent utilisée. Tant que la différence entre Leq de jour et Leq de nuit est assez importante (supérieure à 5 dB(A) environ) le recours à un descripteur portant sur une période unique comme le jour peut être admis compte tenu de la liaison forte entre les niveaux sonores sur ces deux périodes. Cependant, la croissance des trafics routiers nocturnes, observée depuis quelques années implique de plus en plus une différenciation dans les périodes de références. En effet, les niveaux sonores nocturnes ne sont plus, comme autrefois, systématiquement liés de la même façon aux niveaux de jour. Des différences très faibles de l'ordre de 3, voire 2 dB(A) sont souvent mesurées sur des voiries importantes de centre-ville et aux abords des voies rapides urbaines fortement chargées en poids lourds.

Outre la période de la journée, les valeurs-limites d'exposition dépendent de la sensibilité de la zone où elles s'appliquent (hôpitaux, écoles, zone résidentielle, zone mixte : résidentielle et commerciale, zone industrielle) ou du stade de développement des infrastructures et des bâtiments (existant, en projet, planifié notamment). Des différences de 10 à 15 dB(A) sont couramment rencontrées entre les valeurs-limites d'exposition des zones considérées comme les plus sensibles (hôpitaux, écoles) et des zones les moins sensibles (zones industrielles). Les situations sont donc très diverses et parfois difficilement comparables. Néanmoins, on peut considérer que la limite de 60-65 dB(A) mesurée en Leq de jour en façade d'habitation (qui est proche de 68 dB(A) en L_{10}) et 50-55 la nuit semble, dans bon nombre de pays, être la règle de base pour ce qui concerne la prise en compte du bruit aux abords des voies routières nouvelles dans les zones résidentielles.
Des différences de 5 à 10 dB(A) sont aussi couramment observées entre les valeurs-limites d'exposition concernant les situations nouvelles (action de prévention) et celles concernant les situations existantes (action de rattrapage).

III-3-3-2) Bruit ferroviaire

Comme pour le bruit routier, des valeurs-limites d'exposition au bruit sont appliquées dans un grand nombre de pays industrialisés. Ces valeurs-limites d'exposition dépendent souvent de la sensibilité de la zone concernée par le bruit. Dans le cas de création de voies nouvelles, en habitat résidentiel, les valeurs limites en façade d'habitation sont comprises entre : 62 et 69 dB(A) de jour, 53 à 62 dB(A) la nuit, 60 à 63 si on considère la période de 24h. Quant au L_{Amax} autorisé, il se situe entre 75 et 85 dB(A) pour la période nocturne (en fait 50 dB(A) en niveau intérieur).

Un grand nombre de pays applique un « bonus ferroviaire », c'est-à-dire une valeur-limite plus

élevée que pour le bruit routier. Ce bonus compris entre 3 et 5 dB(A) semble se justifier à la lumière d'une moindre gêne ressentie pour le bruit ferroviaire.

III-3-3-3) Bruit d'avion

A l'inverse du bruit routier ou du bruit ferroviaire, les descripteurs d'exposition utilisés dans les réglementations relatives au bruit des avions sont très nombreux. Compte tenu de la diversité des indicateurs utilisés, il est bien difficile de comparer les valeurs limites d'exposition, d'autant que les niveaux sonores sont exprimés tantôt en unité dB(A), tantôt en EPNDB.

Définition des principaux descripteurs acoustiques (Pinçonnat P., 2003)

$L_{Aeq, T}$: niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, en décibels, déterminé pour un intervalle de temps T. C'est la valeur moyenne énergétique du bruit fluctuant mesuré sur la durée T, qui donne plus d'importance aux valeurs élémentaires élevées.

L_{DEN} ou Lden : niveau sonore continu équivalent pondéré A, pondéré par la moyenne énergétique des niveaux sonores continus équivalents mesurés sur trois intervalles de référence de jour, de soirée et de nuit auxquels sont appliqués des termes correctifs majorant, prenant en compte un critère de gêne en fonction de la période de la journée.

L_{Amax} : valeur maximum du niveau de pression acoustique pondéré A, exprimé en décibels, déterminé sur l'intervalle de temps T en utilisant la pondération temporelle « rapide » (*fast*).

L_{AE} ou SEL : niveau de pression acoustique pondéré A d'un son fictif qui, maintenu constant pendant 1 seconde, aurait la même énergie acoustique que l'événement considéré. Il est souvent désigné par SEL (*Sound Exposure Level*).

E : l'émergence est définie comme une modification temporelle du niveau de bruit ambiant induite par l'apparition ou la disparition d'un bruit particulier. E est obtenue en comparant le niveau de pression acoustique continu équivalent du bruit ambiant, en présence du bruit particulier à caractériser [LAeq, T, part], au niveau de pression acoustique continu équivalent du bruit résiduel [Laeq, res] tel que déterminé sur l'intervalle d'observation.

L_{AX} : niveau de pression acoustique pondéré atteint ou dépassé pendant X % de l'intervalle de temps considéré, appelé aussi niveau acoustique fractile. Par exemple L_{A90}, niveau dépassé pendant 90 % de l'intervalle de mesurage, L_{A10}, niveau dépassé pendant 10 % de l'intervalle de mesurage.

IV) REGLEMENTATION ET ROLE DES DIFFERENTS ACTEURS

Il faut souligner la multiplicité des acteurs en matière de lutte contre les nuisances sonores. Sont notamment impliqués dans la lutte contre le bruit les ministères en charge de : l'environnement (y compris à travers la mission bruit), la santé, l'intérieur, l'équipement, les transports et le logement (y compris la DGAC), la justice, la défense, la culture, la jeunesse et les sports, l'économie les finances et l'industrie.

Sont également impliqués en matière de lutte contre les nuisances sonores :

- les directions des grands aéroports nationaux (définition des PEB)
- le Conseil national du bruit
- le Conseil supérieur d'hygiène publique de France
- l'Agence de l'environnement et la maîtrise de l'énergie (action de recherche et développement)
- le comité français d'éducation pour la santé (actions de communication et d'éducation)
- les services déconcentrés de l'État : DDASS (directions départementales des affaires sanitaires et sociales), DRASS (directions régionales des affaires sanitaires et sociales), DRIRE (directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement), DIREN (Directions régionales de l'environnement), DDE (directions départementales de l'équipement)
- les pôles de compétence bruit (département ; ces pôles sont en grande majorité pilotés par les DDASS).
- l'ANAH : Agence nationale de l'amélioration de l'habitat
- l'ACNUSA pour les nuisances sonores aériennes
- les associations spécialisées dans la lutte contre le bruit ou contre les nuisances (application de la réglementation, problèmes particuliers)
- les associations de défense des consommateurs ou des particuliers
- les associations d'information en matière de bruit, d'environnement ou d'écologie (diffusion d'information, éducation, sensibilisation, etc.), y compris le CIDB (Centre d'information et de documentation sur le Bruit, créé en 1978, qui dispose d'une bibliothèque de 12 000 documents, de fiches pratiques pour les particuliers et de plaquettes grand public)
- les élus
- les services techniques des CL : services communaux d'hygiène, services de police

Les attributions essentielles de l'État en matière de lutte contre les nuisances sonores sont les suivantes :

- contrôle des niveaux de bruit ;

- contrôle des règles de construction ;
- contrôle des règles d'urbanisme, classement des voies ;
- limitation du bruit des machines et installations dans l'environnement ;

Un programme de rattrapage des points noirs devait être engagé dès l'an 2000 et porter en priorité sur la protection des habitations exposées à des nuisances sonores excessives et des bâtiments publics sensibles. En février 2002, le bilan restait mitigé : le recensement, par les préfets, des zones fortement exposées au bruit n'était pas complet ; les reports des informations de classement dans les PLU étaient rarement réalisés.

37% des collectivités locales (CL) interrogées dans le cadre d'une enquête conduite par le CIDB déclaraient en 2002 que le recensement des points noirs n'avait pas été fait dans leur département ; 29,6% des CL ne savaient pas que ce recensement devait avoir lieu ! Seules 29,6% des CL déclaraient que les opérations de rattrapage avaient été programmées sur leur territoire ; et 29,6% ne se prononçaient pas.

On peut donc estimer qu'il y a un manque d'engagement suivi de l'État dans la politique de réduction des nuisances sonores, et en particulier en ce qui concerne la résorption des points noirs.

IV-1) ROLE DES COLLECTIVITES TERRITORIALES

IV-1-1) Compétences générales des collectivités locales

IV-1-1-1) Pouvoirs de police

La préservation de la tranquillité publique et, notamment, la lutte contre le bruit, relève essentiellement du maire, comme l'indique l'article L.2212-2 du code général des collectivités territoriales : « *la police municipale a pour objet d'assurer le bon ordre, la sûreté, la sécurité et la salubrité publiques* ».

Le maire est compétent pour lutter contre les nuisances sonores au titre de son pouvoir de police (pouvoir de police administrative, l'habilitant à réglementer les activités ; pouvoir de police judiciaire, l'habilitant à constater par procès-verbal les infractions), auquel il faut ajouter les pouvoirs de police spéciale. En combinant ses différents pouvoirs, le maire est en mesure de mettre en place une politique de lutte contre le bruit.

Au titre du code de l'urbanisme, le maire dispose également de moyens efficaces pour prévenir et réduire les nuisances sonores. Ainsi, l'élaboration du Plan local d'urbanisme (PLU) et la délivrance

des permis de construire doivent permettre la prise en compte des contraintes acoustiques à court, moyen et à long terme, dans les projets d'aménagement.

Les bruits de voisinage sont ceux sur lesquels portent les revendications les plus nombreuses de la part des habitants. Ce type de bruits est aujourd'hui placé sous la responsabilité unique du maire qui dispose de davantage de moyens pour traiter les plaintes depuis la loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 et les décrets de 1995. La loi n°92-1444 relative à la lutte contre le bruit donne en effet un cadre juridique unificateur et simplificateur et renforce les obligations et les sanctions[103]. En permettant à un grand nombre d'agents de constater les infractions en matière de bruit, le législateur a voulu améliorer l'efficacité du dispositif répressif : les agents assermentés et les inspecteurs des services communaux d'hygiène et de santé possèdent une compétence répressive et des contraventions de 3e classe sont prévues[104].

Les autorités municipales et préfectorales disposent de larges prérogatives afin de réglementer, par voie d'arrêté, les activités susceptibles de troubler la tranquillité publique, sur la base des articles L.1311-2 du code de la santé publique et du pouvoir de police administrative générale qui leur est conféré par le Code général des collectivités territoriales. Sauf disposition plus répressive, la violation des arrêtés ainsi pris est passible de la peine d'amende prévue pour les contraventions de la première classe.

Les mesures préventives sont issues du pouvoir de police administrative et sont constituées essentiellement de la réglementation par arrêtés. En janvier 2004 la mission bruit n'avait cependant recensé que 80 arrêtés préfectoraux et 210 arrêtés municipaux relatifs aux nuisances sonores ! La prévention passe aussi par la gestion du Plan local d'urbanisme.

---

[103] Les infractions de bruits de voisinage sont prévues et réprimées par les articles R.1336-6 à R.1336-10 du code de la santé publique. Elles comprennent (1) les bruits « de comportements » ou « domestiques » de nature à porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme par leur durée, leur répétition ou leur intensité ; (2) les bruits d'activité dont l'origine se trouve dans une activité professionnelle ou une activité culturelle sportive ou de loisir organisée de façon habituelle ou soumise à autorisation, dès lors que leur niveau sonore excède la valeur limite d'émergence réglementaire autorisée ; (3) les bruits de chantier produits à l'occasion de travaux publics ou privés, sur les bâtiments et leurs équipements, qui portent atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme en raison d'une violation des conditions d'utilisation ou d'exploitation des matériels et équipements fixées par les autorités compétentes, ou d'un défaut de précautions appropriées pour limiter l'émission de bruit, ou encore d'un comportement anormalement bruyant. Ces infractions constituent des contraventions de la troisième classe.

[104] Outre les officiers et agents de police judiciaire, de nombreux agents sont investis par la loi d'un pouvoir de police judiciaire spécial afin de rechercher et de constater par procès verbal les infractions de bruit de voisinage : les agents commissionnés et assermentés appartenant aux services de l'environnement, de l'agriculture, de l'industrie, de l'équipement, des transports, de la mer, de la santé et de la jeunesse et des sports ; les inspecteurs des installations classées ; les agents des douanes et de la répression des fraudes ; les fonctionnaires et agents des collectivités territoriales mentionnés à l'article L.1312-1 du code de la santé publique (en particulier les ingénieurs du génie sanitaire et les agents communaux agréés par le procureur de la République et assermentés).

IV-1-1-2) Construction d'une nouvelle infrastructure et modification significative d'une infrastructure existante

Le bruit des infrastructures de transports terrestres, nouvelles ou faisant l'objet de modifications, est réglementé par l'article L 571-9 du code de l'environnement, le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995, et les arrêtés du 5 mai 1995 et du 8 novembre 1999. Ces textes s'appliquent en cas de construction d'une nouvelle infrastructure routière (quel que soit son statut) ou ferroviaire (y compris les infrastructures de transports guidés de type tramway, métro, etc.), ainsi qu'en cas de modification significative d'une infrastructure existante[105], quel que soit le maître d'ouvrage[106].

Des obligations précises en matière de protection contre le bruit s'imposent à tous les maîtres d'ouvrage d'infrastructures de transports terrestres, dès lors qu'ils construisent une nouvelle infrastructure ou modifient de manière significative une infrastructure existante. Entrées en vigueur depuis 1995 pour les routes, et depuis 2000 pour les infrastructures ferroviaires, ces obligations portent sur le contenu des études d'impact, sur les objectifs de protection à viser, ainsi que sur les moyens de protection à employer pour les atteindre. Elles ont pour objet de protéger, par un traitement direct de l'infrastructure ou, si nécessaire, par insonorisation des façades, les bâtiments les plus sensibles existant avant l'infrastructure. Ces dispositions visent à prévenir la création de nouveaux points noirs lorsque l'on construit une infrastructure nouvelle ou lorsqu'on la réaménage.

Plusieurs principes de protection doivent être suivis pour limiter les nuisances sonores de l'infrastructure après sa mise en service.

Le maître d'ouvrage doit chercher à limiter l'impact acoustique de l'infrastructure dès sa conception, ce qui nécessite une véritable réflexion sur l'intégration acoustique de l'infrastructure, dès le stade des études préliminaires et jusqu'aux stades d'études plus avancées (avant projet, études de définition détaillées).

Le maître d'ouvrage est tenu de limiter l'impact acoustique de l'infrastructure sur les bâtiments dont les modes d'occupation sont sensibles au bruit (habitat, locaux d'enseignement, de soins, de santé et d'action sociale, bureaux), dès lors que ceux-ci ont été autorisés avant l'existence administrative de

---

[105] On doit considérer que l'on est en présence d'une modification significative lorsque les conditions suivantes sont simultanément remplies : (1) d'une part des travaux d'aménagement sur place sont prévus (ex : création d'une voie supplémentaire, création d'un échangeur dénivelé, etc.) ; (2) d'autre part, ces travaux ont pour effet d'accroître, à terme, les niveaux sonores dus à l'infrastructure d'au moins 2 dB(A) par rapport aux niveaux que générerait l'infrastructure sans ces travaux.

[106] Sont néanmoins exclus de cette définition, et donc exemptés des obligations de protection afférentes aux modifications significatives :
- les aménagements de voirie ponctuels (ralentisseur) ;
- les aménagements de carrefours non dénivelés ;
- les travaux de renforcement, d'entretien ou de réparation des chaussées (le changement de revêtement de chaussée n'est pas considéré comme une modification significative d'infrastructure) ;
- les travaux de modernisation, de renouvellement ou d'électrification des infrastructures ferroviaires.

l'infrastructure en cause (principe d'antériorité). Des valeurs limites devront être respectées sur la durée d'utilisation de l'infrastructure[107]. Ces valeurs limites dépendent de l'état initial de l'ambiance sonore extérieure (les zones les plus calmes seront davantage protégées que les zones où les niveaux sonores ambiants étaient déjà importants) et de la nature des locaux (les locaux d'enseignement seront mieux protégés que les bureaux). Ils diffèrent selon qu'il s'agit d'une infrastructure nouvelle ou de la modification significative d'une infrastructure existante. Ils diffèrent également selon le type d'infrastructure (routière ou ferroviaire)[108].

Le maître d'ouvrage devra donc privilégier les mesures de protection visant à contenir la contribution sonore extérieure de l'infrastructure en dessous des valeurs limites réglementaires : cela passera par le traitement de l'infrastructure à la source (caractéristiques géométriques de l'infrastructure, écrans acoustiques, revêtements de chaussées peu bruyants, etc.). Si les plafonds de bruit extérieur ne peuvent pas être respectés pour des motifs techniques, économiques ou environnementaux, le maître d'ouvrage a néanmoins la possibilité, en dernier recours, de procéder à l'insonorisation des locaux concernés. Dans ce cas, les textes fixent les performances minimales d'isolation acoustique à obtenir après travaux.

Le contenu de l'étude d'impact est réglementé par le décret du 12 octobre 1977, qui a été modifié à diverses reprises, notamment par le décret du 9 janvier 1995 pour ce qui concerne le bruit des infrastructures de transports terrestres. L'étude d'impact doit ainsi présenter :
- une analyse de l'état initial des niveaux sonores ambiants qui devra localiser les zones d'ambiance sonore préexistante modérée (les textes définissent les critères acoustiques à considérer pour la définition) ainsi que zones urbanisées les plus calmes ;
- une analyse des impacts acoustiques prévisibles, directs (aux abords de l'infrastructure) ou indirects (aux abords des infrastructures connectées), permanents (évolution des niveaux sonores de long terme après mise en service) ou provisoires (chantier), de manière notamment à localiser les bâtiments à protéger au titre de la réglementation ;
- une analyse des coûts collectifs des nuisances sonores ;
- les mesures envisagées par le maître d'ouvrage pour supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet dues au bruit, ainsi que l'estimation des dépenses

[107] Ainsi, la contribution sonore moyenne de l'infrastructure en façade des bâtiments à protéger, tant en période de nuit (évaluée en LAeq(22h-6h), norme NF S 31-110) qu'en période de jour (évaluée en LAeq(6h-22h) - norme NF S 31-110), devra, dans la mesure du possible, rester inférieure à des valeurs limites fixées par les arrêtés du 5 mai 1995 pour les routes et du 8 novembre 1999 pour les voies ferrées. Il faut noter que la réglementation plafonne la moyenne des niveaux sonores mais ne plafonne pas les niveaux maxima ce qui, dans certains cas pose des difficultés.
[108] A titre d'exemple, l'arrêté du 5 mai 1995 plafonne notamment à 60 dB(A) et 55 dB(A) les contributions sonores diurne et nocturne des routes nouvelles en façade des logements initialement situés en zone de bruit modéré ainsi que des établissements sensibles (santé, soins, enseignement, action sociale).

correspondantes, notamment (mais pas seulement[109]) en vue de respecter localement les obligations imposées par le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 ;
- la description des hypothèses (caractéristiques du trafic, météorologie) et des méthodes d'évaluation (références des méthodes de calcul et de mesure) employées.
Le maître d'ouvrage de l'infrastructure est tenu de décrire dans l'étude d'impact les nuisances acoustiques susceptibles d'être engendrées par le chantier ainsi que les mesures envisagées à son niveau pour les limiter.

Il est par ailleurs tenu de communiquer aux préfets et maires concernés, un mois avant le démarrage du chantier, les éléments d'information utiles sur la nature du chantier, sa durée, les nuisances sonores attendues, ainsi que les mesures prises pour limiter ces nuisances. Au vu de ces éléments, les préfets concernés peuvent prescrire, par arrêté préfectoral motivé notamment au regard du caractère excessif des nuisances sonores prévisibles, après avis des maires concernés, des conditions particulières de fonctionnement du chantier (conditions d'accès, horaires). Le maître d'ouvrage informe le public de ces éléments par tout moyen approprié.

Les CL sont responsables de la qualité des études d'impact des projets dont elles assurent la maîtrise d'ouvrage. Elles doivent au minimum veiller à ce que les obligations de contenu précédemment exposées soient respectées par le dossier soumis à enquête publique. Au delà de ces obligations formelles, c'est l'esprit des textes qui doit également être respecté, et en particulier, l'exigence de transparence de l'information vis à vis du public. Le bruit constitue en effet un enjeu majeur pour l'acceptabilité des projets d'infrastructure et l'enquête publique est la seule occasion pour le public de se prononcer sur le projet.

Certaines lacunes sont fréquemment rencontrées dans les dossiers soumis à enquête publique :
- absence de clarté quant aux hypothèses et méthodes employées pour conduire les évaluations acoustiques ;
- absence de cartes indiquant : l'état initial des niveaux sonores ambiants (avant travaux), l'état prévisible à long terme des contributions sonores de l'infrastructure en façade des bâtiments (sans protection à la source, avec protection à la source), les bâtiments à protéger au titre de la réglementation, ainsi que la localisation et la nature des protections envisagées ;

[109] Le maître d'ouvrage doit faire état de toutes les nuisances prévisibles. En particulier, le fait que le décret du 9 janvier 1995 ne soit précis qu'à propos de la limitation des contributions sonores moyennes n'est pas un argument juridique qui exonère le maître d'ouvrage de l'analyse des pics de bruit ni de leur limitation : l'état des connaissances permet de penser que des niveaux sonores intérieurs de courte durée (indicateur LAmax) répétés plusieurs fois pendant la nuit sont probablement préjudiciables au sommeil lorsqu'ils sont supérieurs à 45 dB(A).

- absence d'évaluation des impacts acoustiques indirects le long des infrastructures connectées au projet ;
- absence d'information sur les pics sonores prévisibles[110].

Bien que la réglementation en vigueur ne l'impose pas, il est vivement recommandé de réaliser régulièrement des campagnes de mesures des niveaux sonores après mise en service de l'infrastructure nouvelle ou modifiée, afin de vérifier que les objectifs acoustiques réglementaires sont bien respectés[111].

IV-1-2) Le Plan local d'urbanisme (PLU)

Le Plan local d'urbanisme a deux fonctions essentielles : exprimer le projet d'aménagement et de développement durable (PADD) de la collectivité locale, et fixer les règles générales d'utilisation du sol, notamment en vue de prévenir et réduire le bruit dû aux transports. Il permet à la fois de prescrire des actions et opérations d'aménagement, ainsi que d'interdire ou de soumettre à prescriptions spéciales les constructions et les opérations futures d'aménagement. Il constitue donc un outil très important pour maîtriser le bruit du aux transports.

IV-1-2-1) Prescriptions réglementaires du PLU

Parmi les nombreux objectifs assignés aux documents d'urbanisme, l'article L.121-1 du code de l'urbanisme précise que le PLU « *…détermine les conditions permettant d'assurer…. La réduction des nuisances sonores, …, la prévention des pollutions et des nuisances de toutes natures* ». Le respect de cet objectif pourra se traduire dans les documents qui le composent à savoir le rapport de présentation, le PADD, le règlement, les documents graphiques et les annexes.

Le rapport de présentation du PLU doit analyser l'état initial des nuisances sonores dues aux transports et exprimer les besoins liés à leur prévention et à leur réduction. Il doit également

[110] Il est recommandé d'examiner les contributions sonores LA max entre 22h et 6h en façade des bâtiments sensibles, et d'indiquer les mesures envisagées pour les limiter significativement en visant si possible 45 dB(A) en LAmax à l'intérieur des chambres exposées (voir les obligations de contenu des études d'impact présentées précédemment).

[111] Dans ce cas, les mesures doivent être réalisées selon des normes suivantes : NF S 31-085 pour le bruit en façade d'origine routière, NF S 31-088 pour le bruit en façade d'origine ferroviaire, NF S 31-010 pour les bruits extérieurs d'autres origine ou multiples, NF S 31-057 pour l'isolement acoustique d'une façade (voir les arrêtés du 5 mai 1995 et du 8 novembre 1999 qui imposent l'usage de ces normes pour les contrôles *in situ*).

justifier les choix retenus par la collectivité locale en matière de prévention et de réduction du bruit[112].
Le code de l'urbanisme prévoit également expressément que le rapport de présentation du PLU « *évalue les incidences des orientations du plan sur l'environnement et expose la manière dont le plan prend en compte le souci de sa préservation et de sa mise en valeur*». L'évaluation des incidences du PLU sur les niveaux sonores doit ainsi trouver sa place.

Le PADD pourra prévoir, dans la mesure où l'état initial des nuisances sonores dues aux transports le justifie, des orientations d'urbanisme et d'aménagement visant à prévenir ou réduire le bruit dû aux transports. Il pourra également décliner ces orientations par une description plus précise et plus technique des différentes actions et opérations d'aménagement envisagées au titre de la prévention et de la réduction du bruit des transports.

Les textes laissent une grande souplesse quant aux actions et opérations possibles (articles L. 123-1 2e paragraphe et R. 123-3 du code de l'urbanisme), dès lors que les choix retenus sont expliqués dans le rapport de présentation et relèvent bien du champ d'application du PLU.
Les orientations et prescriptions du PADD ainsi que ses documents graphiques sont opposables à toute personne publique ou privée pour l'exécution de tous travaux, constructions, plantations, affouillement ou exhaussement des sols, pour la création de lotissements etc. Ces documents constituent donc un moyen particulièrement efficace pour prévenir les impacts acoustiques des transports sur les bâtiments et les espaces publics sensibles.

Le règlement du PLU délimite dans des documents graphiques les *zones urbaines* (U), les *zones à urbaniser* (AU), les *zones agricoles* (A) ainsi que les *zones naturelles et forestières* (N) à protéger. Il fixe, pour chacune d'elles, les règles générales d'utilisation et d'occupation des sols (alinéas 4 et 5 de l'article L. 123-1 et les articles R. 123-3 à R. 123-10 du code de l'urbanisme).
Les documents graphiques font apparaître les secteurs où les nécessités de la protection contre les nuisances, notamment sonores, justifient que soient interdites ou soumises à des conditions spéciales les constructions et installations de toute nature, ainsi que les emplacements réservés à l'aménagement d'ouvrages publics (articles R. 123-11 et R. 123-12 du code de l'urbanisme).

Les annexes graphiques du PLU doivent faire apparaître les secteurs affectés par le bruit définis au titre du classement sonore des infrastructures de transports terrestres, ainsi que les prescriptions

[112] Le rapport de présentation, même s'il n'est pas opposable, est un document important. Le défaut de compatibilité entre ses orientations et le règlement du PLU constitue un motif d'annulation du document.

d'isolement acoustique en vigueur dans ces secteurs et la référence des arrêtés préfectoraux de classement sonore et les informations utiles au public pour leur consultation.

Le PLU doit être compatible avec le plan de déplacements urbains (PDU) et le SCoT, documents généralement établis dans un cadre intercommunal et pouvant contenir des orientations liées au bruit des transports sur le territoire du PLU. Il doit également être compatible avec les prescriptions d'urbanisme du PEB des aérodromes qui doit lui être annexé [113].

IV-1-2-2) Possibilités offertes aux CL

Les collectivités locales analysent l'état initial ou prévisible des nuisances sonores dues aux transports. Cette analyse, essentielle, doit figurer au rapport de présentation du PLU. Elle permet à la collectivité locale d'exprimer des objectifs portant sur la prévention et la réduction du bruit des transports. Elle fonde les choix opérationnels et réglementaires retenus par la collectivité locale pour lutter contre le bruit des transports. Pour élaborer cette analyse, la collectivité locale peut s'appuyer sur les informations suivantes :

- les émissions sonores de référence, les catégories sonores et la localisation des secteurs affectés par le bruit des transports terrestres ;
- la localisation des zones de bruit critique et des points noirs dus au bruit des transports terrestres ;
- les cartes de bruit des aérodromes.

Cette analyse servira à définir des orientations locales portant sur la prévention et la réduction du bruit des transports, qui devront être compatibles avec notamment le SCoT, le PEB et le PDU. Ces orientations seront justifiées dans le rapport de présentation du PLU et précisées dans le PADD, dans les documents graphiques, le règlement, ou les annexes selon le cas.

Le PADD doit témoigner de la volonté de la collectivité de concilier le développement de la commune et la qualité de l'environnement des habitants. Les objectifs concourant à garantir la qualité de l'environnement sonore à moyen et long terme doivent y être précisés.

La connaissance des « secteurs affectés par le bruit » des infrastructures de transports terrestres classées ainsi que des zones où des points noirs ont été recensés devrait conduire la collectivité à préciser des actions d'aménagement visant à réduire le bruit notamment dans les parties des zones U et N concernées. Le PADD pourra notamment, dans les secteurs affectés par le bruit :

[113] Cette obligation de compatibilité vise l'ensemble des documents du PLU qui ne devront pas être contraires aux orientations, prescriptions ou principes définis par les documents de portées supérieures mais contribuer à leur réalisation.

- préciser les mesures de nature à préserver du bruit des transports les centres-villes et les centres de quartiers ;
- prévoir des actions et opérations d'aménagement visant à prévenir ou à réduire le bruit des transports, celles-ci pouvant notamment porter sur la restructuration et la réhabilitation des îlots, quartiers ou secteurs ;
- préciser les caractéristiques et le traitement des rues, des espaces et ouvrages publics à conserver, à modifier au à créer, au regard notamment des objectifs de lutte contre le bruit retenus par la collectivité locale ;
- définir, en application de l'article L. 111-1-4 du code de l'urbanisme, les conditions d'aménagement des entrées de ville qui permettront d'y limiter l'impact acoustique des infrastructures concernées (autoroutes, routes express, déviations, routes classées à grande circulation) dans la mesure où la règle de constructibilité limitée y serait levée.

Le règlement pourra compléter les orientations définies par le PADD en précisant des règles d'urbanisme cohérentes dans les secteurs visés par le PADD.

Le règlement du PLU devra de manière compatible avec le PEB interdire ou limiter les occupations des sols dans les zones les plus exposées du PEB. La marge de manœuvre de la collectivité locale est donc limitée et encadrée dans ces zones. Dans les secteurs affectés par le bruit des transports terrestres, cette marge de manœuvre est réelle car la réglementation impose des règles de construction et non d'urbanisme.

Il peut être judicieux de transposer, dans les secteurs les plus exposés au bruit des transports terrestres (secteurs affectés par le bruit des infrastructures de catégories sonores 1 à 3) des règles d'urbanisme analogues à celles qui s'appliquent dans les zones des PEB[114].

L'attention devrait se porter sur les règles applicables en zones U, UA et N, pour les constructions et opérations d'aménagement les plus sensibles telles que les habitations, les établissements de soins, de santé, d'enseignement, ainsi qu'aux lotissements, aux zones d'aménagement concertées, et aux opérations d'aménagement d'espaces publics sensibles (parcs publics, etc.)[115].

---

[114] La stratégie du règlement pourrait par exemple s'articuler autour des principes suivants qui devront être exposés dans le rapport de présentation du PLU :
- favoriser la concentration des nouvelles activités bruyantes dans les secteurs les plus affectés par le bruit des transports, dans la mesure où ceux-ci sont suffisamment éloignés des zones d'habitat ou des espaces publics sensibles, existants ou futurs, pour ne pas les affecter ;
- favoriser dans les espaces denses ou à densifier des formes urbaines visant à limiter la propagation dans l'espace des nuisances sonores et à préserver ou créer des espaces calmes ;
- soumettre à conditions d'implantation particulières, voire interdire, la construction de bâtiments ou espaces publics les plus sensibles dans les secteurs les plus affectés au bruit des transports terrestres.

[115] Les règles pourront être différentes dans une même zone selon la destination des constructions (habitation, hôtel, bureau, commerce, artisanat, industrie, etc.). Elles pourront porter sur les aspects suivants :

Pour le cas du bruit dû aux infrastructures de transports terrestres, deux grands principes peuvent être appliqués dans les prescriptions spéciales du règlement.

(1) *Éloigner ou aligner*

L'éloignement permet un gain de - 3 dB(A) par doublement de distance ; cette solution est donc efficace pour des distances source - récepteur relativement faibles.

Passer de 15m à 30m permet de gagner 3 dB, alors qu'à 50m, il faut aller à 100m pour perdre ces mêmes 3dB. Le retrait doit malgré tout être suffisamment significatif pour avoir un effet sensible et une valeur minimale de 20m peut être recommandée. Au delà d'une centaine de mètres, la solution de l'éloignement présente donc un rapport « espace consommé / gain acoustique » trop important et peut se trouver peu compatible avec l'objectif de densification urbaine posé par la loi SRU.

Selon le cas, il peut donc être nécessaire de favoriser les constructions à l'alignement des voies (première rangée exposée pour dégager des espaces calmes) ou au contraire bâtir en retrait ce qui peut s'avérer relativement efficace pour diminuer le niveau sonore en façade[116].

(2) Faire écran à la propagation du bruit

La protection peut être assurée par des buttes de terres ou des écrans. Ceci est difficilement applicable en secteur urbain dense et mérite une attention particulière en matière d'insertion paysagère. Dans certains cas, il est nécessaire de favoriser la continuité des façades afin de créer des espaces calmes à l'arrière. Cette disposition doit bien entendu s'accompagner d'un certain nombre de précautions et notamment d'un bon respect de la réglementation de la construction sur l'isolation acoustique des façades, voire d'une réflexion appropriée sur la distribution interne des pièces les plus sensibles.

La définition des hauteurs des bâtiments permettra également d'organiser la protection des bâtiments les uns par rapport aux autres. L'anti-épannelage consistera à fixer aux bâtiments situés le long d'une infrastructure une hauteur minimale suffisante pour assurer la protection des bâtiments

---

- les occupations et utilisations des sols sensibles au bruit de transport interdites ou soumises à conditions particulières du fait notamment de nuisances sonores excessives dues aux transports, en application des points 1° et 2° de l'article R. 123-9 du code de l'urbanisme ;
- l'implantation et la hauteur des constructions en vue de limiter l'impact acoustique des infrastructures de transport sur les bâtiments autorisés ou préexistants, en application des points 6°, 7°, 8° et 10° de l'article R. 123-9 du code de l'urbanisme ;
- les conditions d'aménagement des espaces publics en application du point 13° de l'article R. 123-9 du code de l'urbanisme.

[116] Chaque fois que la solution de l'éloignement sera retenue pour limiter l'exposition au bruit des populations riveraines d'un axe bruyant il faut se poser la question de l'utilisation des espaces ainsi dégagés et les utiliser autant que possible pour protéger les constructions et espaces sensibles en prévoyant des emplacements réservés à l'aménagement de murs ou merlons antibruit par exemple.

situés à l'arrière. L'épannelage consistera à ce que les hauteurs minimales augmentent en fonction de la distance à la source de bruit, chaque bâtiment protégeant l'autre.

Les prescriptions définies par le règlement du PLU ne pourront porter sur l'organisation interne des locaux, solution pourtant intéressante pour éviter l'exposition sonore excessive des pièces sensibles, ni sur les caractéristiques acoustiques des matériaux et structures employés pour la construction. En effet, le constructeur n'est tenu en la matière que par les règles, notamment acoustiques, imposées par le code de la construction et de l'habitation.

Les documents graphiques du règlement (zonage) pourront également préciser les emplacements réservés à la réalisation des écrans antibruit (murs ou merlons), à conditions d'en préciser le bénéficiaire (articles L.123-2 et R. 123-11 point d), et de délimiter précisément les secteurs dans lesquels les prescriptions spéciales applicables en vue de limiter l'exposition au bruit s'appliquent.

Les principes précédemment décrits pour l'élaboration du rapport de présentation et du règlement du PLU sont adaptables au rapport de présentation et au zonage des cartes communales. La carte communale ne dispose cependant pas de règlement analogue à celui du PLU, et elle ne pourra pas définir de règles d'urbanisme spéciales pour les constructions ou opérations projetées dans les secteurs affectés par le bruit des transports terrestres. En revanche, à l'instar des PLU, les cartes communales doivent être compatibles avec les dispositions du PEB dont elles intégreront les documents.

Il est enfin possible et particulièrement recommandé d'intégrer, en annexe des cartes communales, les informations cartographiques et les prescriptions issues des arrêtés préfectoraux de classement sonore des infrastructures de transports terrestres. Cette mesure est nécessaire à la bonne information du public et des constructeurs.

IV-1-2-3) Le classement sonore des transports terrestres

Le classement sonore des infrastructures de transports terrestres constitue un dispositif réglementaire préventif. Il se traduit par la classification du réseau de transports terrestres en tronçons auxquels sont affectés une catégorie sonore, ainsi que par la délimitation de secteurs dits « affectés par le bruit », dans lesquels les futurs bâtiments sensibles au bruit devront présenter une isolation acoustique renforcée. Arrêtées et publiées par le préfet après consultation des communes concernées, les informations du classement sonore doivent être reportées par la collectivité locale compétente dans les annexes informatives du Plan Local d'Urbanisme (PLU). Le classement sonore

n'est donc ni une servitude, ni un règlement d'urbanisme, mais une règle de construction fixant les performances acoustiques minimales que les futurs bâtiments devront respecter.
Il constitue également une base d'informations utile à l'établissement d'un plan d'actions complémentaires à la réglementation sur l'isolation acoustique des locaux.
Ses modalités d'élaboration seront probablement modifiées pour intégrer les changements récemment introduits par la directive européenne du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.

Dispositions actuellement en vigueur

Le classement sonore est arrêté et publié au recueil des actes administratifs par le préfet de département, après consultation des communes concernées. Les communes peuvent néanmoins proposer au préfet le classement des infrastructures de transports terrestres sur tout ou partie du territoire communal.
Toutes les routes dont le trafic est supérieur à 5 000 véhicules par jour doivent être classées, quel que soit leur statut (national, départemental ou communal). Il en est de même des infrastructures ferroviaires interurbaines de plus de 50 trains par jour, ainsi que des infrastructures ferroviaires urbaines et des lignes de transports collectifs en site propre de plus de 100 trains ou bus par jour.
Les tronçons d'infrastructures, homogènes du point de vue de leur émission sonore, sont classés en cinq catégories en fonction des niveaux sonores calculés ou mesurés à leurs abords[117]. Des secteurs, dits « affectés par le bruit », sont ainsi déterminés de part et d'autre des infrastructures classées : leur profondeur à partir du bord de l'infrastructure varie de 10 à 300 mètres selon la catégorie sonore.
Les bâtiments d'habitation, les établissements d'enseignement et de santé, ainsi que les hôtels venant s'édifier dans ces secteurs devront présenter des isolements acoustiques (qui caractérisent la « résistance » de la façade, fenêtres fermées, à la transmission du bruit provenant de l'extérieur) compris entre 30 et 45 dB(A) afin que les niveaux de bruit résiduels intérieurs ne dépassent pas 35dB(A) de jour et 30 dB(A) de nuit.

La réglementation relative au classement sonore ne vise donc pas à interdire de futures constructions ni à réglementer leur implantation ou leur hauteur (elle ne constitue ainsi pas un règlement d'urbanisme), mais à faire en sorte que celles-ci soient suffisamment insonorisées (elle se traduit par une règle de construction).

[117] NB : les indicateurs de bruit réglementaires actuellement en vigueur sont les LAeq(6h-22h) et LAeq(22h-6h) définis par la norme NF S 31-110.

Les maires des communes concernées ont l'obligation d'afficher en mairie les arrêtés préfectoraux de classement sonore pendant un mois au moins. La collectivité locale compétente en matière d'urbanisme doit reporter les périmètres des secteurs affectés par le bruit, ainsi que les prescriptions d'isolement acoustique arrêtés par le préfet, dans les annexes informatives du PLU.
Cette formalité, essentielle pour garantir l'information des particuliers et des professionnels sur les règles acoustiques applicables dans les secteurs affectés par le bruit, est obligatoire. Elle est effectuée par un arrêté de mise à jour pris par la collectivité locale compétente en matière d'urbanisme (article R. 123-22 du code de l'urbanisme).

Au delà des obligations réglementaires, les collectivités locales peuvent informer davantage le public sur les implications réglementaires issues du classement sonore pour leur projet de construction. Bien que cela ne soit plus une obligation, il est particulièrement recommandé d'informer le demandeur d'un certificat d'urbanisme de la localisation du terrain concerné dans un secteur affecté par le bruit, de lui préciser la catégorie sonore de l'infrastructure concernée, et de lui fournir les informations figurant dans l'arrêté préfectoral de classement sonore sur les prescriptions d'isolement acoustique à respecter dans la mesure où il est envisagé de réaliser un bâtiment d'habitation, un établissement d'enseignement, de santé ou un hôtel.
Il est également particulièrement recommandé d'intégrer, en annexe à la carte communale, la carte des secteurs affectés par le bruit et les prescriptions d'isolement acoustique arrêtées par le préfet. Ces mesures concourent à la meilleure information des particuliers ou des professionnels de la construction.

Vers une politique locale de prévention et de réduction du bruit des transports terrestres
La connaissance des catégories sonores des infrastructures de transports terrestres et des secteurs affectés par le bruit peut être utilisée en vue de planifier, dans ces secteurs, des actions de lutte contre le bruit complémentaires aux règles d'isolation acoustique.
La carte des secteurs affectés par le bruit fournit en particulier une première information sur l'exposition au bruit des transports terrestres : elle indique des zones où les niveaux sonores dans l'environnement dépassent ou risquent de dépasser à terme le niveau de 60 dB(A) en période de jour (en LAeq(6h-22h)) du seul fait des infrastructures de transports terrestres. Les enquêtes de gêne révèlent que cette dose de bruit est perçue comme étant «gênante» par 25% des personnes enquêtées, et, qu'au delà de ce niveau, la proportion de personnes gênées croît très rapidement.

La carte des tronçons classés selon leur catégorie sonore complète l'information précédente et permet notamment de repérer les tronçons d'infrastructures les plus bruyants, et donc les secteurs

affectés par le bruit où les niveaux sont les plus critiques. Ainsi, les infrastructures de catégories 1 à 3 sont susceptibles d'émettre des niveaux sonores gênants pour plus de 80% des personnes enquêtées ou à l'origine d'effets néfastes sur le sommeil.

Compte tenu de ces informations, les collectivités compétentes pourraient décliner dans leurs documents de planification (SCoT, PDU, PLU, carte communale) un véritable plan local d'actions, cohérentes dans les domaines de l'urbanisme et des déplacements, ciblées sur les secteurs affectés par le bruit, en vue d'y prévenir ou réduire l'exposition au bruit des transports terrestres.

IV-1-3) Le permis de construire

Des initiatives locales comme celle du Pôle de compétence bruit de l'Isère proposent des démarches de prise en compte du bruit dans l'examen des permis de construire (Esmenjaud M., 2003). Ces démarches permettent de prévenir les nuisances en intégrant les considérations sonores aux trois étapes du diagnostic, de l'identification de la réglementation, puis de la décision en matière de permis de construire.

L'article R 111-2 du code de l'urbanisme, applicable cumulativement avec un PLU, indique dans son 1er alinéa que « *Le permis de construire peut être refusé ou n'être accordé que sous réserves de l'observation de prescriptions spéciales si les constructions par leur situation ou leurs dimensions sont de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique* ».

L'article R 111-3-1 du code de l'urbanisme, qui n'est pas applicable pour les communes dotées d'un PLU, indique : « *Le permis de construire peut être refusé ou n'être accordé que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales si les constructions sont susceptibles, en raison de leur localisation, d'être exposées à des nuisances graves, dues notamment au bruit* ».

Le PLU est le moyen privilégié de prévention des nuisances sonores.

De plus en plus souvent, des arrêtés préfectoraux introduisent des dispositions en vue de prévenir les situations de nuisances sonores en amont de la réalisation des projets générateurs de bruit.

IV-1-4) Les Plans de déplacements urbains (PDU)

Le PDU doit permettre de réaffecter la voirie aux transports en commun et à promouvoir les modes de déplacement les moins polluants (vélos, rollers, marche...), répondant de la sorte à la fois aux préoccupations liées à la qualité de l'air et aussi à celles de sécurité routière et de nuisance sonores. S'il entraîne la réduction des vitesses de circulation, le PDU concourre à l'objectif de diminution des émissions sonores du trafic routier. Le PDU rend également possible la restriction de circulation

dans certains secteurs avec la création de « zones 30 », plus calmes. Il peut viser la fluidification du trafic, limitant les émergences sonores gênantes.
Par sa démarche, fondée sur un diagnostic initial, il implique d'identifier les zones où les niveaux de bruit dépassent une valeur jugée acceptable, et permet de recenser les populations exposées dans les zones sensibles.

L'analyse des PDU élaborés entre 1996 et 2001 (45 PDU sur les 70 obligatoires) montre qu'ils abordent de façon succinte et générale les problématiques de bruit ; ils fournissent rarement des objectifs quantifiés ; les populations exposées ne sont pas prises en compte ; de rares villes s'intéressent au problème du bruit (Serve C., 2003). Seul le PDU de Grenoble fixe des objectifs précis et quantifiés[118] ; seuls ceux de Clermont-Ferrand et Grenoble prennent en compte de façon quantitative les populations exposées.

Dans la phase de diagnostic, seules 13 villes présentent des résultats de mesures ou des informations issues du classement sonore des voies ; les voies ferroviaires seront recensées seulement trois fois ; en revanche lorsque le diagnostic s'appuie sur une consultation de la population et des acteurs, le bruit apparaît comme une priorité parmi les thèmes de l'environnement.
Les mesures restent très générales : « *traiter les axes urbains bruyants* ».

IV-1-5) La résorption des points noirs dus au bruit des transports terrestres

L'accroissement des trafics routiers et ferroviaires, notamment la nuit, conjugué à l'absence de maîtrise des nuisances sonores le long des infrastructures les plus anciennes produisent des situations extrêmes où des bâtiments à occupation sensible sont exposés à des niveaux sonores reconnus pour provoquer une gêne très importante ou des perturbations du sommeil, les « points noirs » dus au bruit des transports terrestres.

Les orientations adoptées pour la résorption des points noirs le long des réseaux routier et ferroviaire nationaux figurent dans le plan national d'actions de lutte contre le bruit présenté le 6 octobre 2003 par la ministre en charge de l'environnement et qui vise à traiter, d'ici 5 ans, 50 000 logements. Ces derniers sont recensés par les services de l'Etat comme étant des « points noirs » dus au bruit des seuls réseaux routier et ferroviaire nationaux. Le programme accorde la priorité aux zones urbaines sensibles ainsi qu'aux secteurs où les niveaux de bruit nocturnes sont les plus élevés.

[118] Le PDU grenoblois vise à ramener de 25% à 20% la part de la population exposée régulièrement à plus de 65 dB(A).

Les points noirs dus au bruit des réseaux nationaux sont définis comme bâtiments d'habitation, de soins, de santé, d'enseignement ou d'action sociale répondant à des critères liés à l'exposition sonore en façade du bâtiment ainsi qu'à la date d'autorisation de construire de ce bâtiment (critères d'antériorité) :

- critères acoustiques : on retient, pour le moment, les bâtiments exposés à des contributions sonores moyennes en façade des bâtiments (on considère les indicateurs de gêne LAeq pour le bruit routier et If pour le bruit ferroviaire) supérieures à 70 dB(A) en période de jour (6h-22h), ou à 65 dB(A) en période de nuit (22h-6h), ces contributions sonores étant attribuables aux infrastructures des réseaux routier et ferroviaire nationaux.
- critères d'antériorité : on retient les bâtiments d'habitation autorisés avant 1979 ainsi que ceux qui ont été autorisés avant l'infrastructure en cause. Pour les bâtiments d'enseignement, de soins, de santé et d'action sociale, sont retenus ceux qui ont été autorisés avant la date d'entrée en vigueur de l'arrêté préfectoral portant classement sonore de l'infrastructure en cause.

Le recensement des points noirs dus aux réseaux routier et ferroviaire nationaux est réalisé, sous l'impulsion et l'autorité des préfets de département, par les délégations régionales de Réseau Ferré de France pour ce qui vise le réseau ferroviaire national, ainsi que par les DDE en collaboration avec les sociétés concessionnaires d'autoroutes pour ce qui concerne le réseau routier national. Les modalités de collaboration sont négociées dans le cadre d'un comité de pilotage départemental présidé par le préfet de département[119]. Les études nécessaires sont financées par les ministères chargés des transports et de l'environnement.

Les opérations de protection contre le bruit doivent privilégier les solutions de protection à la source (écrans antibruit, parements acoustiques, actions de réduction du bruit de roulement) par rapport à l'insonorisation des locaux qui doit rester le dernier recours. Ces solutions techniques sont conçues de manière à ce que les contributions sonores extérieures soient si possible inférieures à 65 dB(A)

[119] Les préfets de département sont chargés de proposer les opérations de rattrapage éligibles au programme national. Ces propositions sont discutées dans le cadre des comités de pilotage départementaux avec les principales collectivités locales concernées, les maîtres d'ouvrage des infrastructures concernées, les associations agréées de protection de l'environnement et les organismes professionnels (bâtiment, travaux publics).
Les préfets de région assurent, dans le cadre d'un comité de pilotage régional associant la Région, les arbitrages nécessaires entre les propositions des différents départements. Ils sollicitent auprès des ministres chargés des transports et de l'environnement les crédits d'Etat nécessaires. Ils programment les crédits obtenus et les subdélèguent aux préfets de département.
Les collectivités locales peuvent participer aux comités de pilotage régionaux ou départementaux. Ces derniers ont pour objet d'associer les principaux acteurs concernés à la conception d'un plan départemental de résorption des points noirs dus au bruit des réseaux de transports terrestres. Leur rôle est donc important pour les communes traversées par les réseaux nationaux, notamment lorsqu'il s'agira de définir les priorités opérationnelles et les modalités de cofinancement des opérations.

de jour et à 60 dB(A) de nuit, et qu'en tout cas, les contributions sonores intérieures résiduelles soient inférieures à 40 dB(A) de jour et à 35 dB(A) de nuit.

Près de 50 millions d'euros par an peuvent être engagés chaque année sur le budget des ministères en charge de l'équipement, de l'environnement et de la ville en complément des financements provenant des collectivités locales[120]. En complément de ces financements, essentiellement consacrés à la réalisation de protections à la source, les préfets de département peuvent accorder, dans le cadre du décret du 3 mai 2002 modifié, des subventions pour l'insonorisation des logements privés (80, 90 ou 100% selon les revenus des propriétaires) et des locaux d'enseignement, de soins, de santé et d'action sociale (100%)[121]. Ces nouvelles aides de l'État, financées sur le budget du ministère chargé de l'environnement, viennent compléter, le cas échéant, les aides des collectivités locales, de l'Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH) et de l'Agence nationale pour la rénovation urbaine.

L'engagement des opérations de rattrapage ne peut être effectif sans l'implication financière des collectivités locales, notamment de la Région et des communes ou établissements publics de coopération intercommunal compétents sur les territoires concernés.
Le programme de résorption des points noirs dus au bruit des réseaux nationaux est fondé sur le principe du cofinancement Etat – collectivités locales, dans le cadre des contrats de plan Etat – Région pour le réseau routier national, de conventions multipartites pour le réseau ferroviaire national, ou des arrêtés préfectoraux ou conventions d'OPAH pour le financement d'opérations d'insonorisation dans le cadre du décret du 3 mai 2002 modifié. Les collectivités locales peuvent donc se positionner comme des partenaires à part entière de la politique de résorption des points noirs dus au bruit des réseaux nationaux.

Les opérations programmées pour l'amélioration de l'habitat (OPAH), les contrats de plan Etat/Région et les contrats d'agglomération sont des cadres d'action possibles et adaptés pour la mise en œuvre coordonnée de différentes aides financières (Etat, région, département, communes,

[120] Pour ce qui concerne le réseau routier national non concédé, les opérations de protection sont financées dans le cadre des contrats de Plan Etat-Région ; les clés de financement sont généralement de 60-70% pour les collectivités locales, et de 30-40% pour le ministère chargé des transports. Ce sont les DDE qui assurent la maîtrise d'ouvrage de ces opérations. Pour ce qui concerne le réseau autoroutier concédé, les opérations de protection sont financées par les sociétés concessionnaires d'autoroute, qui en assurent la maîtrise d'ouvrage, et les collectivités locales concernées. Pour ce qui concerne le réseau ferroviaire national, les opérations de rattrapage sont cofinancées dans le cadre de convention multipartites associant la Direction Régionale de l'Equipement (25%), la délégation régionale de RFF (25%) qui assure la maîtrise d'ouvrage et le montage administratif des conventions de financement, et les collectivités locales (50%).
[121] Cf. guide Certu « Isolation acoustique des façades – guide technique et administratif pour le traitement des points noirs bruit ».

ANAH) pour l'insonorisation des habitations recensées comme points noirs des réseaux routiers gérés par les collectivités locales.

En tant que maîtres d'ouvrage et gestionnaires des réseaux routiers départementaux, communaux ou communautaires, les CL peuvent également définir des programmes d'investissements visant à réduire le bruit des infrastructures en service à la source : l'utilisation systématique de revêtements de chaussées peu bruyants en renouvellement des couches de roulement, notamment à l'aide de bétons bitumineux très minces, la construction d'écrans ou merlons antibruit ou le parement des trémies et bouches de tunnels à l'aide de produits absorbants sont des solutions techniques qui ont fait leur preuve. Le financement de ces opérations peut faire appel, depuis 2001, à des emprunts proposés par la Caisse des Dépôts et Consignations à des conditions spécialement définies pour les collectivités locales.

La directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement doit conforter le développement de ce type de politique et l'étendre aux réseaux de transports terrestres relevant de la compétence des collectivités locales.

La circulaire interministérielle du 25 mai 2004 de la direction des routes, de la direction des transports terrestres, de la délégation interministérielle à la ville et la direction de la prévention des pollutions et des risques, traite du classement sonore des infrastructures de transports terrestres, des observatoires du bruit des transports terrestres, ainsi que du recensement et de la résorption des « points noirs » dus au bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux. Dernier texte en date, elle porte ainsi sur l'ensemble des questions ayant trait au bruit des infrastructures existantes, questions qui étaient traitées séparément dans les circulaires antérieures (25 juillet 1996, 12 décembre 1997, 12 juin 2001, 28 février 2002, 23 mai 2002).

La nouvelle circulaire tire en premier lieu les conséquences du bilan négatif, réalisé par le ministère de l'écologie et du développement durable à la fin de l'année 2003, en matière de classement sonore des infrastructures de transports terrestres. Un chapitre complet est ainsi consacré à la mise en œuvre de cette procédure obligatoire et essentielle pour prévenir la construction de bâtiments d'habitation, d'hôtels, d'établissements scolaires ou de santé insuffisamment isolés. Cette circulaire constitue en quelque sorte un rappel à l'ordre des préfets de département et des collectivités locales. Elle insiste notamment sur la priorité immédiate qui doit être consacrée par les préfets de département pour prendre les premiers arrêtés de classement sonore. Elle rappelle la responsabilité partagée des préfets de département et des collectivités locales compétentes en matière

d'urbanisme. Elle apporte à ce titre des précisions attendues en matière d'intégration du classement sonore dans les documents d'urbanisme, ainsi qu'en matière de mise à jour du classement sonore. Elle fournit des orientations à suivre en vue d'améliorer l'information du public et des constructeurs et complète les dispositions minimales requises au titre du décret n° 95-21 du 9 janvier 1995.

La nouvelle circulaire recadre en second lieu l'élaboration des observatoires du bruit des transports terrestres pour tenir compte du plan national d'actions de lutte contre le bruit. Elle demande en particulier aux services de concentrer leurs efforts sur le recensement des points noirs du bruit localisés dans les zones urbaines sensibles - 354 zones sont a priori concernées - ainsi que dans les secteurs où les valeurs limites de bruit nocturne sont dépassées. Le recensement des points noirs dans ces secteurs prioritaires devra être achevé avant la fin de l'année 2005.
Il devra être complété avant juin 2006 par le recensement de tous les autres points noirs pour l'ensemble des réseaux nationaux. Il faut également noter que les valeurs limites définissant les points noirs (cf. annexe 1 de la circulaire) se réfèrent désormais aux indicateurs Lden et Lnight introduits par la directive européenne n° 2002/49/CE du 25 juin 2002 sur l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement.

La circulaire demande enfin aux préfets de département de préparer, avant le 30 juin 2006, un plan d'action fondé sur les résultats des observatoires (cartographies des points noirs) et visant le traitement des points noirs recensés dans les secteurs prioritaires. Cette orientation prépare les services de l'Etat à l'application de la directive qui exige avant 2008 la production de tels plans pour réduire le bruit des routes présentant un trafic supérieur à 6 millions de véhicules par an et des voies ferrées présentant un trafic supérieur à 60 000 trains par an. La circulaire précise enfin les modalités possibles pour le financement des opérations. Elle réaffirme le principe selon lequel les opérations doivent accorder la priorité à la réduction du bruit à la source.

IV-2) POLITIQUES DE LUTTE CONTRE LE BRUIT : QUELQUES RESULTATS

Au cours des dernières années, les élus de diverses grandes agglomérations françaises ont entrepris des politiques ayant directement ou non une influence en termes d'émissions sonores par les transports. Ainsi le tramway a été réhabilité dans la plupart des grandes villes françaises[122], selon un objectif de rééquilibrage modal et de réduction de la présence automobile. Les CL portent également un intérêt croissant au renouvellement de leur parc automobile avec parfois l'achat de véhicules électriques. Un programme d'encouragement par des aides financières a été lancé conjointement par EDF, le GART, l'UTP et le ministère de l'Equipement, du Logement et des transports (opération « 100 bus électriques »). Grâce à ce programme, 28 collectivités ont fait l'acquisition de véhicules électriques (CIDB, 2003).

- 46,3% des CL ayant répondu à l'enquête du CIDB[123] déclarent avoir adopté des mesures d'amélioration du niveau acoustique en matière de choix des matériaux de voirie, des équipements de travaux publics.
- En 2002, 40,7% des CL avaient réalisé une carte du bruit. Selon la loi de 1992, ces cartes, réalisées par le préfet à l'échelle du département, sont obligatoires pour les infrastructures de transports terrestres ; ce classement a pour but d'obliger les constructeurs à respecter les normes d'isolation pour les futurs bâtiments et de faciliter l'obtention de subvention pour la réhabilitation des immeubles.
- 27,7% des CL avaient installé des murs anti-bruit.
- Seules 20,3% des CL sensibilisent régulièrement les citoyens aux problèmes de nuisances sonores.
- 54,8% des villes ayant répondu à l'enquête disposent d'arrêtés municipaux réglementant les activités et comportements bruyants. 38,8% des CL interrogées possèdent un service spécialisé dans l'accueil des plaignants. 18,5% des villes déclarent la présence de médiateurs bruit en leur sein.

IV-2-1) Application de la réglementation : de nombreuses difficultés

90,7% des villes ayant répondu au questionnaire du CIDB estiment que des progrès ont été réalisés en matière de politique de lutte contre le bruit, notamment sur le plan réglementaire. Elles dénoncent néanmoins de nombreuses difficultés[124] :

[122] Des tramways sont en service à Nantes, Marseille, Montpellier, Nancy, Orléans, Paris, Rouen, Rennes, Lille, Lyon, Grenoble, Strasbourg, St Etienne. D'autres grandes villes comme Bordeaux et Clermont-Ferrand ont entamé des travaux d'installation de lignes de tramway.
[123] Données issues de l'enquête réalisée en 2002 par le CIDB auprès des maires des grandes villes de France.

(1) le bruit est une nuisance difficile à combattre, en grande partie du fait du comportement du public ; il est difficile d'évaluer la gêne, nécessairement subjective ; il y a un manque d'éducation civique et de sensibilisation au bruit à l'école ; la médiation est difficile ;
(2) les rapports avec la justice posent problème : il est difficile de mobiliser le Parquet ; la procédure pénale est lente ; il y a un manque de retour d'informations après transmission au procureur. Il est en effet apparu des lacunes dans la mise en œuvre des contrôles et de la répression des infractions prévues, en particulier en matière de bruits de voisinage.

Afin d'améliorer la situation et face à une forte demande sociale, le gouvernement a voulu dans son programme de lutte contre les bruits de voisinage mettre l'accent d'une part sur le renforcement des contrôles et des verbalisations, d'autre part sur l'accroissement du nombre des réponses pénales apportées aux infractions constatées. La circulaire CRIM.03-/G4- du ministère de la Justice en date du 16 octobre 2003 ,relative au volet pénal de la lutte contre les bruits de voisinage, adressée aux procureurs précise que « *pour avoir un réel effet dissuasif, les procès-verbaux dressés doivent être suivis d'une réponse pénale adaptée. Le classement sans suite des procédures doit être strictement limité aux faits insuffisamment caractérisés ou pour lesquels un obstacle de fait ou de droit empêche toute poursuite* ».

Afin d'améliorer le traitement pénal des infractions de bruit de voisinage la circulaire recommande de développer la gamme des réponses pénales, et, « *lorsque ces nuisances surviennent entre des personnes contraintes de partager un même environnement, et parfois inscrites dans un conflit de voisinage qui dépasse le problème de la nuisance sonore* », d'éviter que la relation s'envenimer en privilégiant « *la pacification des relations de voisinage par la mise en œuvre de mesures alternatives aux poursuites, qui éviteront de laisser se développer un sentiment d'impunité chez l'émetteur de nuisances, tout en permettant de rechercher une solution concrète (…)* », par exemple par rappel solennel à la loi, obligation de se mettre en conformité avec la loi, ou par médiation pénale[125]. Il est prévu d'évaluer le programme gouvernemental par une remontée de données chiffrées permettant de dénombrer et de déterminer la nature des suites réservées aux poursuites relatives au bruit de voisinage, y compris en cas de classement sans suite.

---

[124] *Ibid*.

[125] En revanche, en présence de réitérants hostiles à toute modification de leur comportement ou dans des hypothèses où d'emblée toute tentative d'améliorer la solution de résoudre le conflit éventuel apparaît impossible autrement que par une répression systématique la circulaire précise qu' «*il y aura lieu de procéder à des poursuites immédiates qui viseront à obtenir une sanction rapide* ». Pour faciliter ces procédures et alléger la tâche des juges d'instance, il a été donné compétence aux juges de proximité pour sanctionner, par la voie de la procédure ordinaire devant le tribunal de police ou de la procédure simplifiée de l'ordonnance pénale, la contravention de bruit de voisinage ainsi que celle de tapage nocturne (décret n°2003-542 du 23 juin 2003).

(3) il y a un manque de coordination des acteurs ;
(4) l'application de la réglementation, notamment le décret du 15/12/1998 concernant les prescriptions applicables aux établissements recevant du public et diffusant de la musique amplifiée (manque d'études d'impacts fiables, manque de coopération des propriétaires) est difficile ;
(5) il y a un déficit d'implication financière de l'État (pour réaliser des campagnes d'information ; des murs anti-bruit ; acheter du matériel sonométrique ; faire respecter la réglementation) ;
(6) il y a un retard dans le classement sonore des voies bruyantes et la résorption des points noirs.

Les CL se déclarent finalement bien informées en matière de bruit. L'arsenal réglementaire à leur disposition est depuis 1992 plus efficace et plus large. Elles estiment disposer aujourd'hui les moyens d'agir et de mettre en œuvre des solutions de réduction des nuisances sonores. Mais certaines déclarent manquer des moyens humains, techniques et financiers pour réaliser leurs projets.
Les petites communes ayant répondu au questionnaire du CIDB déclarent manquer de moyens humains et financiers pour mener des actions significatives en matière de lutte contre le bruit et elles considèrent le bruit comme une nuisances *relativement* importante. De ce fait elles mènent peu d'actions de lutte contre le bruit. Elles sont plus critiques quant aux progrès réalisés de 1992 à 2002 et déclarent manquer d'information et de sensibilisation.

IV-2-2) Quelques exemples dans le Val-de-Marne [126]

Des diverses réunions et rencontres avec les élus et les responsables des services des mairies du Val-de-Marne[127], il ressort que si le rôle des maires est clair en matière de prévention et de répression des nuisances sonores dites de voisinage, dès qu'il s'agit de mettre en place des actions plus lourdes dans l'objectif d'éviter d'exposer des populations nouvelles ou de préserver des zones calmes, le foisonnement de réglementations, la disparité des acteurs, le manque de synergies et de visibilité des actions apparaissent rapidement comme des obstacles insurmontables. A ce constat s'ajoute l'absence d'incitation ou d'information sur les incitations financières, voire des intérêts

[126] Rappelons que le Val-de-Marne est un département particulièrement concerné par les nuisances sonores du fait d'une infrastructure de transports très développée. Le département est traversé par d'importants axes de circulation routière (autoroutes A6, A4, nationales 4, 6, 7 et 19, A86, boulevard périphérique), recevant quotidiennement un trafic parmi les plus élevés de France. Le réseau ferroviaire régional et national (voie ferroviaire du TGV sud-est) traverse également le département, qui accueille en outre le deuxième aéroport international de la région, Orly qui a accueilli 23 millions de passagers en 2001 (données ADP).
[127] Les résultats présentés dans cette partie sont tirés d'une étude conduite par l'ODES auprès des maires des 47 communes du Val-de-Marne. Parmi eux 36 ont accepté de répondre.

économiques contradictoires. La lutte contre ce type de nuisance s'inscrit alors difficilement parmi les dossiers prioritaires[128].

IV-2-2-1) Les pouvoirs de police générale : une réglementation claire dans son ensemble

Le règlement des plaintes pour « atteintes à la tranquillité publique » est le lot de la quasi-totalité des communes du département du Val de Marne qui déclarent traiter, en moyenne, de 20 à 40 plaintes par an. Deux villes déclarent ne recevoir aucune plainte tandis que deux autres villes déclarent près de 400 plaintes chacune.

Le mode de prise en charge est assez hétérogène selon les communes. Un peu plus de 10 communes sur les 36 qui ont accepté de répondre au questionnaire disposent d'un service « hygiène et sécurité ». Dans les autres communes, le plaignant est orienté vers la police municipale (pour 5 communes), vers les conciliateurs municipaux ou correspondants du TGI (6 communes) ou pris en charge directement par les services techniques de la mairie (près de 15 communes). Près de 70 % des plaintes sont réglées, quel que soit le service qui les prend en charge, par une conciliation à l'amiable.

Ainsi, à notre connaissance, seules cinq communes ont fait l'acquisition de sonomètres. Si des mesures sont nécessaires, il est fait appel aux services de la DDASS. Le nombre de ces demandes est en diminution depuis plusieurs années selon la DDASS.

Les responsables locaux s'appuient, pour la plupart d'entre eux, sur l'arrêté préfectoral du département, révisé en août 2003. Cependant plus de 15 communes possèdent leur propre réglementation locale, en complément de l'arrêté préfectoral, soit sur des questions spécifiques (circulation des poids lourds en centre ville la nuit, encadrement plus strict des livraisons, …) soit pour réglementer ou organiser l'utilisation d'engins bruyants et parfois des activités commerciales.

IV-2-2-2) Prévention et réduction des nuisances sonores : une réglementation complexe et peu utilisée

Bien que le maire puisse agir en termes de prévention des nuisances sonores (PLU, PDU, permis de construire), la plupart des responsables font le constat d'un manque d'information. Le classement des voies, le programme de résorption des points noirs, les différentes cartes du bruit, existantes ou à venir, sont des éléments (à l'exception des données du PGS et du PEB[129]) la plupart du temps

---

[128] Ces éléments sont issus d'un questionnaire et de rencontres réalisés par l'Observatoire Départemental de l'Environnement Sonore du Val de Marne (ODES) auprès des 47 communes du département, entre mars et décembre 2003, auxquels 36 communes ont participé.

[129] En sus des PEB et PGS, une décision ministérielle du 4 avril 1968 impose un couvre-feu total sur l'aéroport d'Orly (décollages interdits entre 23h15 et 6h00 ; atterrissages interdits entre 23h30 et 6h15). Un arrêté du 6 octobre

ignorés ou mal connus des responsables communaux. Cette connaissance insuffisante s'accompagne trop souvent d'une absence de visibilité des bénéfices à attendre de leur utilisation. Ces éléments sont, en outre, plus souvent perçus simplement comme aide au diagnostic et non à la prévision.

Une pression forte de la part des administrés peut cependant « aider » les communes à prendre en charge la question du bruit de façon plus volontariste. Certaines sont ainsi à la recherche, pour s'en inspirer, de PLU « exemplaires » au titre de la prise en compte des nuisances sonores. La demande dans ce domaine existe donc et pousse certains à se lancer dans des démarches de « diagnostic qualitatif » fondé sur le ressenti des populations. Ce ressenti, s'il est le seul élément du diagnostic est un peu insuffisant pour construire un plan de lutte contre le bruit, mais il peut constituer un complément d'informations très riche, couplé à des données chiffrées. De l'avis de nombreuses associations de riverains et élus de communes incluses ou en marge du PGS, ce dernier gagnerait en fiabilité s'il était étayé par des éléments relatifs à la gêne ressentie[130].

Outre la pression des administrés, un deuxième levier d'actions réside, pour les communes, dans les incitations financières. Cependant, malgré un engagement important du Département et de la Région, les questions restent nombreuses, et de l'avis des responsables, les promesses non tenues également. Le plus souvent, le coût des travaux à réaliser (couverture de voies, construction de protection…) est inacceptable pour les finances de la commune. Et qui, alors, des services de l'État, des grandes entreprises « pollueuses », de la Région ou du Département peut alors apporter une aide ? Comment mobiliser les intervenants, sur quelle base ? Et enfin dans quels délais ?

L'impression générale est qu'il est impossible de se faire entendre et de s'y retrouver parmi les trop nombreux niveaux de décision. A cela on peut ajouter une possible frilosité à faire émerger des conflits pour lesquels il n'existe pas de solutions immédiates.

Enfin, certains responsables, élus ou services techniques, font remarquer que ce dossier ne semble pas s'inscrire dans une véritable dynamique. Certains considèrent que la politique contre le bruit reste le parent pauvre des politiques publiques.

1994 limite à 250 000 le nombre de créneaux horaires attribuables annuellement sur l'aéroport d'Orly. Enfin, un arrêté du 29 septembre 1999 plafonne, pour chacun des transporteurs aériens fréquentant la plate-forme, le nombre annuel de mouvements de certains avions.

[130] Dans l'ensemble du Val-de-Marne, 520 000 personnes se déclarent victimes du bruit, soit près de la moitié de la population du département. Une enquête réalisée par la Sofres en 1997 a indiqué qu'immédiatement après les questions de chômage, et au premier rang des préoccupations environnementales des Val-de-Marnais figure le problème des nuisances sonores.

Tous ces éléments cumulés se révèlent très décourageants pour des responsables confrontés à de nombreuses autres contraintes pour lesquelles les politiques et les aides sont plus lisibles et plus directement suivies d'effets. Dans l'état actuel des choses, de nombreux de responsables locaux ne se précipitent pas pour traiter ce dossier « risqué ».

Interrogés par le CIDB dans le cadre d'une enquête réalisée en 2002, les élus des collectivités locales (CL) se déclarent bien informés en matière de bruit[131]. L'arsenal réglementaire à leur disposition n'est plus jugé inefficace et restreint depuis la loi sur le bruit de 1992. Si certaines CL affirment disposer aujourd'hui des moyens d'agir et de mettre en œuvre des solutions de réduction des nuisances sonores, certaines déclarent manquer des moyens humains, techniques et financiers pour réaliser leurs projets.

On peut regretter que les nuisances sonores soient occultées en ce qui concerne l'action des structures intercommunales : le bruit reste de la compétence de la commune. Pourtant on peut penser que mener une politique globale et cohérente de lutte contre le bruit serait plus efficace au niveau de l'agglomération. Cela signifierait la mise en place de moyens financiers et humains plus importants au service de toutes les communes de l'agglomération.

IV-2-3) Cartographie du bruit : état des lieux

IV-2-3-1) L'antériorité européenne

La cartographie du bruit dans l'environnement dû aux activités industrielles ou aux infrastructures de transports se développe en Europe, depuis près de 20 ans.

Les législations allemande, suisse et néerlandaise en matière de bruit ont été en Europe les premières à exiger la production de cartes de bruit, ou « cadastres du bruit », normalisées depuis le début des années 1980, et complétées parfois par des « cartes de conflit sonore » indiquant les zones où les valeurs limites ou valeurs cibles en vigueur sont dépassées. Ces zones appellent la mise en œuvre de mesures préventives ou curatives pour maîtriser l'exposition au bruit. Les cartes sont effectuées sur de vastes territoires (agglomérations) ou à l'occasion de l'étude des impacts acoustiques d'un projet d'installation d'une activité ou d'une infrastructure de transport.

[131] Les données présentées ici sont issues de l'enquête réalisée en 2002 par le CIDB auprès des maires des grandes villes de France. Sur les 80 membres de l'Association des Maires des Grandes Villes de France – villes et structures urbaines intercommunales – auxquels le questionnaire de l'enquête a été adressé, 60 ont répondu : 40 grandes villes, 14 structures intercommunales, 6 petites communes.

IV-2-3-2) le cas français

La pratique française de réalisation de cartes de bruit est plus récente. Des cartes de bruit sont parfois produites, de manière volontaire, au stade des études d'impact préalables à l'implantation d'activités bruyantes ou à la réalisation d'infrastructures de transports terrestres, afin de présenter l'état sonore initial dans la zone d'implantation du projet ainsi que les niveaux de bruit attendus après réalisation du projet. Mais la production de cartes de bruit au stade de l'étude d'impact n'est pas systématique ; elle n'est d'ailleurs pas strictement exigée par la réglementation relative aux études d'impact.

Dans le domaine des infrastructures de transports terrestres, la cartographie du bruit se développe depuis la fin des années 1990 sous l'impulsion de la réglementation relative au classement sonore des infrastructures de transports terrestres (cf. III-1-2-3 sur le classement sonore des transports terrestres). L'article L. 571-10 du code de l'environnement indique ainsi que «*dans chaque département, le préfet recense et classe les infrastructures de transports terrestres en fonction de leurs caractéristiques sonores et du trafic. Sur la base de ce classement, il détermine, après consultation des communes, les secteurs situés au voisinage de ces infrastructures qui sont affectés par le bruit, les niveaux de nuisances sonores à prendre en compte pour la construction de bâtiments et les prescriptions techniques de nature à les réduire* ».

Cette réglementation qui concerne la majeure partie des réseaux de transports terrestres, quelle que soit leur appartenance domaniale, conduit l'Etat à déterminer, par section d'infrastructure homogène, les niveaux sonores de référence (LAeq(6-22) et LAeq(22-6) évalués dans des conditions conventionnelles à proximité de l'infrastructure). De ces niveaux dépend la catégorie sonore de chaque section ainsi que la largeur des secteurs affectés par le bruit. Ces secteurs doivent figurer dans les documents d'urbanisme pour garantir l'information des constructeurs et des demandeurs de certificats d'urbanisme ou de permis de construire. Y sont imposées des règles d'isolation acoustique spécifiques pour les bâtiments à construire.

Si cette réglementation constitue un progrès, elle demande des améliorations car elle n'exige pas de cartographies représentant ces informations. Or, en l'absence de cartes adaptées indiquant, sur fonds parcellaires, les secteurs affectés par le bruit et indiquant la catégorie sonore des infrastructures, les services chargés des certificats d'urbanisme peuvent difficilement préciser les nuisances à prendre en compte par les constructeurs pour le dimensionnement de l'isolation acoustique des bâtiments.

En complément du classement sonore se mettent en place depuis 2001, sous l'impulsion de l'Etat, des systèmes d'information géographiques (SIG) dédiés au bruit des infrastructures de transports

terrestres, dont l'objet est de capitaliser en bases de données les informations relatives au classement sonore et aux points noirs du bruit, de permettre à l'Etat de diffuser plus aisément ces informations au public, et de préparer des plans de résorption des points noirs. Ces SIG ont donc notamment vocation à produire, d'ici 2005, la cartographie des points noirs dus au bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux, lesquels appelleront la mise en œuvre d'actions de réduction du bruit.

IV-2-3-3) Des initiatives locales

Plusieurs agglomérations françaises ont anticipé les exigences de la directive européenne 2002/49/CE, et travaillent depuis 2002 à la conception d'outils adaptés pour l'élaboration des cartes qu'elle requiert. La plus avancée dans ce type de démarche est la Ville de Paris, la première à avoir publié une carte du bruit routier, qu'elle devrait modifier prochainement pour se conformer aux indicateurs européens et compléter pour prendre en compte d'autres sources de bruit (bruit ferroviaire en plus du bruit routier). Les agglomérations de Lyon, Bordeaux, Saint-Étienne, Nancy, Angers, Lille, Boulogne Billancourt et Montbéliard élaborent, dans le cadre d'un projet européen[132], des outils de cartographie. Ces agglomérations devraient être en mesure de répondre aux exigences en la matière avant les délais requis par la directive.

Ces cartes sont essentiellement établies par modélisation, comme le permet la directive, et sont validées par des campagnes de mesures. Certaines des agglomérations précitées s'engagent actuellement vers la mise en œuvre de réseaux de surveillance du bruit qui permettront notamment de valider les cartes.

La Commission européenne a publié des documents techniques destinés à aider les collectivités locales à concevoir leur cartographie ; le ministère français en charge de l'environnement a engagé diverses actions (colloque, guides) visant à diffuser ces travaux et à valoriser les expériences des agglomérations les plus avancées en la matière.

Dans le domaine du bruit causé par les aérodromes, des cartes de bruit sont requises par la réglementation relative aux PEB et aux PGS (cf. I-3-1-2 sur les bruits liés aux transports aériens).

[132] Ce projet, intitulé GipSyNoise, vise à concevoir un outil SIG adapté aux objectifs de la Directive n° 2002/49/CE en matière de cartographie du bruit. (financé dans le cadre du programme Life-environement de la Commission Européenne)

Références bibliographiques

Conference proceedings, INTERNOISE, Sydney, vol.1, pp.207-210, 1991.
- Bruit des infrastructures ferroviaires : Nouvelle méthode de prévision du bruit ferroviaire (NMPB FER), Méthode de calcul incluant les effets météorologiques, 1998.
- "Les signes discrets de la presbyacousie : 3ème journée nationale de l'audition 07/03/00. Une journée pour mieux entendre", Quotidien du médecin, n°6659 5 mars 2000.
- Parlement Européen, CCE, Directive 2002/49/EC du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit ambiant, JO des Communautés, 18 juillet 2002.
- Décret n°91-877 du 3/9/1991, Tableau 42 des atteintes auditives provoquées par les bruits lésionnels, J.O. du 28-09-2003.
- AFNOR, Norme NF S 30-007. Zéro normal de référence pour l'étalonnage des audiomètres à sons purs, 1975.
- AFNOR, Norme AFNOR NFS 31-085 Acoustique - caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier, octobre 1991 et Norme AFNOR NFS 31-088 Acoustique - mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation, 1996.
- AFNOR, Norme AFNOR XPS 31 133, Acoustique, - Bruit des infrastructures de transports terrestres - Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques, Paris, 2001.
- Alesandrini P., Deverrewaere E., Esmenjaud M. et Levecq J., Rapport de synthèse : réflexion rhône-alpine sur les niveaux sonores émis par les haut-parleurs aux abords des gares SNCF, 1999.
- Alsina i Donadeu R. et Moch A., Le traitement de la plainte, OMS, (en cours).
- Anfosso-Lédée F., "Rappels sur la génération, la propagation et l'absorption du bruit de roulement", Revue Générale des Routes, n°803, février 2002.
- Anfosso-Lédée F. et Dangla P., "Modélisation numérique du fonctionnement des écrans antibruit routiers dans leur environnement", Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n°203 pp.45-54, mai-juin 1996.
- Anfosso-Lédée F., Garai M. et Al., " Adrienne " : une méthode européenne pour la qualification sur site des écrans antibruit", Acoustique & Techniques, n°23 pp.6-19, octobre 2000.
- Antoine F., Rapport de stage d'IUT : étude des sonorisations de gares, 1998.
- Aran J.M., "Current perspectives on inner ear toxicity", Otolaryngol. Head & Neck Surgery, n°12 (1), pp.133-144, 1995.
- Aran J.M., Hiel H., Hayashida T., Erre J.P., Aurousseau C., Guilhaume A. et Dulon D., Noise, aminoglycosides, and diuretics, Noise-Induced Hearing loss, Mosby-year Book, Henderson, Salvi, Hamernik, 188-195, 1992.
- Aran J.M., Hiel H., Hayashida T., Erre J.P., Dancer A., Henderson D., Salvi R., Hamernik R.P. et coll., Noise and aminoglycoside ototoxicity, Noise-Induced Hearing Loss, St Louis, 188-195, 1991.
- Aran J.M. et Portman M., "Synergies entre bruit et médicaments ototoxiques : nouvelles données expérimentales", Bull. Acad. Nat. Méd, n°174 (7), pp.939-945, 1990.
- Attias J., Reshef I., Shemesh Z. et Salomon G., "Support for the central theory of tinnitus : a military epidemiological study", Int J Audiol, n°41 pp.301-307, 2002.
- Auzilleau S.c., "Le bruit des deux roues à moteur. Rapport du groupe de travail interministériel, Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, 29 juin 2001.
- Avsar Y. et Gonullu T., A map preparation for outdoor noises of educational buildings in Fatih

district of Istanbul, Int Symposium on Noise control and acoustics for educational Buildings, Istanbul, Z. K. Proc YTU, pp.69-76, 2000.
- Axelsson A. et Prasher D., "Tinnitus: A warning signal to teenagers attending discotheques?" Noise Health, n°1 (2), pp.1-2, 1999.
- Barraqué B., "La lutte contre le bruit en France", Les politiques d'environnement, évaluation de la première génération, 1971-1995, Editions Recherches, 1998.
- Barregard L. et Axelsson A., "Is there an ototraumatic interaction between noise and solvents ?" Scand. Audiol., n°13 pp.151-155, 1984.
- Barrière N. et Gabillet Y., "Sound propagation over a barrier with realistic wind gradients. Comparison of wind tunnel experiments with GFPE computations", Acustica united with Acta Acustica, n°85 (3), pp.325-334, 1999.
- Basner M. et al., Aircraft noise effects on sleep - Preliminary results on 64 subjects and 832 laboratory nights, 8th It Congress on Noise as a Public Health Problem, Rotterdam, De Jong et al editors, 2003.
- Bates D., Beaumont S. et Baylis B., "Ototoxicity induced by gentamicin and furosemide", Ann Pharmacother, n°36 (3), pp.446-451, 2002.
- Bérengier M., Gauvreau B., Blanc-Benon P. et Juvé D., "Outdoor sound propagation: A short review on analytical and numerical approaches", Acta Acustica united with Acustica, n°89 (6), pp.980-991, 2003.
- Bérengier M., Zouboff V., Bertrand J. et Curran F., Propagation acoustique à grande distance : Influence des conditions atmosphériques, 1er Congrès Français d'Acoustique, Lyon, 1990.
- Bert E., L'acoustique, élément incontournable de la qualité des constructions. Les nouvelles réglementations concernant les locaux d'enseignement, les établissements de santé et les hôtels, Mission bruit MEDD, octobre 2003.
- Billaud P., "Le bruit en milieu scolaire et ses conséquences", "Après-demain", pp.15-20, 1982.
- Bistrup M.L., "Prevention of adverse effects of noise on children", Noise and Health, n°5 (19), pp.59-65, 2003.
- Blazy J.-P., Rapport d'information sur la politique aéroportuaire, Assemblée Nationale, 2 juin 1999.
- Boettcher F., Bancroft B., Salvi R. et Henderson D., "Effects of sodium salicylate on evoked-responses measures on hearing", Hear. Res., n°2, pp.433-438, 1989.
- Boiteux M., Transports : Choix des investissements et coût des nuisances. Rapport du Groupe de travail.Commissariat Général du Plan, La Documentation Française, Paris, 2001.
- Bonding P., "Critical bandwidth in patients with a hearing loss induced by salicylates", Audiology, n°18 pp.133-144, 1979.
- Borchgrevink H.M., Leisure-nois induced hearing loss over 20 dB(A) affects one-third of Norwegian 18 year old males before military service, 4th international conference on effects of noise on auditory system, Beaune, 1990.
- Borchgrevink H.M., "Does health promotion work in relation to noise", Noise Health, n°5 pp.25-30, 2003.
- Bronzaft A., "The effect of a noise abatement program on reading ability", J. Environmental Psychology, n°1 pp.215-222, 1982.
- Bronzaft A.I. et Mc Carthy D.P., "The effect of elevated train noise on reading ability", Environmental Behavior, n°7 pp.517-528, 1975.
- Brosseaud Y. et Anfosse Lédée F., "Les revêtements de chaussées limitant le bruit de roulement,

exemple de partenariat et de coopération entre l'Administration et les Entreprises françaises", Routes Actualité, n°111 février 2002.
.- Buffe P., Cudennec Y., Ben Azzouz M., Bassoumi T. et Ferron J.J., "Enquête sur la nuisance de l'écoute de la musique au casque", Ann. Otolaryngol, n°103 pp.351-355, 1986.
- Calebrese G., Martini A., Sessa G., Cellini M., Bartolucci G.B., Marcuzzo G. et De Rosa E., "Otoneurological study in workers exp osed to styrene in the fiberglass industry", Int. Arch. Occup. Environ. Health, n°68 pp.219-223, 1996.
- Campo P., "Origine et mécanismes de la baisse de sensibilité auditive centrée sur 4000 Hz chez l'ouvrier exposé au bruit", Arch. Mal. Prof., n°48 (3), pp.233-237, 1987.
- Campo P., "Effets des salicylates sur le système auditif : revue bibliographique", Cahier de notes documentaires de l'INRS, n°142 pp.79-86, 1991.
- Campo P., "Audition : l'amplificateur cochléaire", Documents pour le médecin de travail, n°49 pp.15-22, 1992.
- Campo P., Lataye R., Cossec B. et Placidi V., "Toluene-induced hearing loss : a mid-frequency location of the cochlear lesions", Neurotox. & Teratol., n°19 pp.129-140, 1997.
- Campo P., Lataye R., Loquet G. et Bonnet P., "Styrene-induced hearing loss : a membrane insult", Hear. Res., n°154 pp.170-180, 2001.
- Campo P., Lataye R., Loquet G. et Bonnet P., "Styrene-induced hearing loss : a membrane insult", Hear Res, n°154 pp.170-180, 2001.
- Campo P., Loquet G., Blachiere V. et Roure M., "Toluene and styrene intoxication route in the rat cochlea", Neurotox. & Teratol., n°21 (4), pp.427-434, 1999.
- Campo P., Pouyatos B., Lataye R. et Morel G., "Is the aged rat ear more susceptible to noise or styrene damage than the young ear ?" Noise & Health, n°5 pp.1-18, 2003.
- CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, Acoustique des salles de classe, de séminaires et des amphithéâtres & communication avec les malentendants, Université Paris-Sud - Orsay, 2003.
- Carson S., Prazma J., Pulver S. et Anderson T., "Combined effects of aspirin and noise causing permanent hearing loss", Arch. Otolaryng. Head & Neck Surgery, n°115 pp.1070-1075, 1989.
- Carter N., Henderson R., Lal S., Hart M., Booth S. et Hunyor S., "Cardiovascular and autonomic response to environmental noise during sleep in night shift workers", Sleep, n°25 pp.457-464, 2002.
- Carter N.L., "Transportation noise, sleep, and possible after-effects", Environm. Internat., n°22 pp.105-116, 1996.
- Carter N.L., Cardiovascular response to environmental noise during sleep, 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, Australie, vol.2, pp.439-444, 1998.
- CEC, Position paper on EU noise indicators, CEC, 27 août 1999.
- Champelovier P., Cremezi-Charlet C. et Lambert J., Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruit routier et ferroviaire, Rapport de recherche INRETS n° 242, septembre 2003.
- Chen G. et Fechter L., "Potentiation of octave-band noise induced auditory impairment by carbon monoxide", Hear. Res., n°132 pp.149-159, 1999.
- Chen G., McWilliams M. et Fechter L., "Intermittent noise-induced hearing loss and the influence of carbon monoxide", Hear. Res., n°138 pp.181-191, 1999.
- CIDB, Le bruit, une préoccupation des citoyens. Résultats de l'enquête menée par l'Association des maires des grandes villes de France, colloque " Le bruit ? Un casse-tête pour bien le gérer ", CIDB (Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit), 29-30 octobre 2003.
- Clairbois J.P., Beaumont J., Garai M. et Schupp G., A new in-situ method for the acoustic performance of road traffic noise reducing devices, International Congress on Acoustics (ICA'98),

Seattle, 1998.
- Collins P., "Synergistic interactions of gentamicin and pure tones causing cellular hair cell loss in pigmented guinea pigs", Hear. Res., n°36 pp.249-260, 1988.
- Comité de pilotage musiques amplifiées et risques auditifs Basse-Normandie, Les musiques amplifiées et les risques auditifs. Concert de sensibilisation pour la Basse-Normandie., Comité de pilotage musiques amplifiées et risques auditifs Basse-Normandie, 2003.
- Commission de sécurité des consommateurs, "Avis relatif aux risques présentés par l'utilisation abusive des baladeurs musicaux. 9ème rapport au Président de la République et au Parlement", Journal Officiel, n°4238, 1993.
- Commission européenne, Projet européen HARMONOISE : "Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise. 5ème PCRD.
- CREDOC et IFEN, Enquête sur les " Conditions de vie et les Aspirations des Français ", IFEN, 2002.
- Crenner E., « Le cadre de vie, comment le perçoit-on ? », INSEE PREMIERE, n°476 juillet 1996.
- Crofton K., Lassiter T. et Rebert C., "Solvent-induced ototoxicity in rats : an atypical mid-frequency hearing deficit", Hear. Res., n°80 pp.25-30, 1994.
- Crook M.A. et Langdon J., "The effects of aircraft noise around London airport", J Sound Vib, n°34 pp.221-232, 1974.
- CSTB, CERTU, LCPC et SETRA, Bruit des infrastructures routières, méthode incluant les effets météorologiques, 1996.
- Dauman R., "Communication. 106ème congrès Français d'ORL 3/5 oct.1999. Thérapie acoustique d'habituation : pour apprendre à vivre avec des acouphènes", Quotidien du médecin, 21 octobre 1999.
- DDASS et DRASS d'Ile-de-France, Niveaux sonores dans les discothèques : protection des usager, 2002.
- Defrance J., Barrière N. et Premat E., Sound propagation through forests with realistic meteorological conditions: theory and experiment, 10th International Symposium on Long Range Sound Propagation, Grenoble, France, 2002.
- Defrance J. et Jean P., "Integration of the efficiency of noise barrier caps in a 3D ray tracing method. Case of a T-shaped diffracting device", Applied Acoustics, n°64 (8), pp.765-780, 2003.
- Delaunay N., Evaluation de l'exposition au bruit en période scolaire chez un maître nageur en piscine couverte, AIMT 67 du Bas-Rhin, 1999.
- Delcampe D., Les nouvelles obligations des collectivités territoriales. La cartographie du bruit, l'information du public, les plans d'action (directive européenne 2002/49), Mission Bruit MEDD, octobre 2003.
- Di Nisi J., Muzet A. et Weber L.D., "Cardiovascular responses to noise. Effects of self-estimated sensitivity to noise, sex, and time of the day", J.Sound Vib., n°114 (2), pp.271-279, 1987.
- Dickinson P., Communication personnelle.
- Direccion de la Calidad Ambiental, Estudio piloto de dosimetria, 2001.
- Dulon D., Hiel H., Aurousseau C., Erre J. et Aran J., Pharmacokinetics of gentamicin in the sensory hair cells of the organ of Corti : rapid uptake and long term persistence, Acad. Sci., 1993.
- Dumaurier E., Le bruit à l'école : de 5 à 7 ans, Ministère de l'Environnement, 1983.
- Ekborn A., Lindberg A., Laurell G., Wallini I., Ekborg S. et Ehrsson H., "Ototoxicity, nephrotoxicity and pharmacokinetics of Cisplatin and its monohydrated complex in guinea pig",

Cancer Chemother Pharmacol, n°51 pp.36-42, 2003.
- Esmenjaud M., "La loi SRU, le plan local d'urbanisme et le permis de construire : des outils de prévention des nuisances sonores." Le bruit? Un casse-tête pour bien le gérer, Caen, France, pôle compétence bruit d'Isère, CIDB, 2003.
- European Commission, Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, 20 février 2002.
- Evans G., Hygge S. et Bullingar M., "Chronic noise and psychological stress", Psychological Science, n°6 pp.333-338, 1995.
- Evans G.W., Bullinger M. et Hygge S., "Chronic noise exposure and physiological response : a prospective study of children living under environmental stress." Psychological Science, n°9 (1), pp.75-77, 1998.
- Evans G.W., Lercher P., Meis M., Ising H. et Kofler W.W., "Community noise exposure and stress in children", Journal of the Accoustial Society of America, n°109 (3), pp.1023 - 1027, 2001.
- Favre B., « La politique technique de RVI en matière de réduction des nuisances sonores », avril 2004.
- Favre B., « Le bruit des véhicules industriels », présentation powerpoint, avril 2004.
- Fechter L., "Combined effects of noise and chemicals", Occupational Medecine : State of the Art. Reviews, n°10 (3), pp.609-621, 1995.
- Fechter L., Chen G. et Rao D., "Chemical asphyxiants and noise", Noise and Health, n°4 (14), pp.49-61, 2002.
- Fechter L., Liu Y., Herr D. et Crofton K., "Trichloroethylene ototoxicity: Evidence for a cochlear origin", Toxicol. Sciences, n°42 pp.28-35, 1998.
- Fidell S., "Assessment of the effectiveness of aircraft noise regulation", Noise Health, n°1 (3), pp.17-26, 1999.
- Fields J.M., "An updated catalog of 521 social surveys of residents' reactions to environmental noise (1943-2000)", NASA/CR-2001-211257, décembre 2001.
- Finitzo-Hieber I. et Tillman T., "Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination abilities for normal and hearing-impaired children", Speech Hearing Research, n°21 pp.440 - 458, 1978.
- Flindell I. et Mc Kenzie A., An inventory of current European methodologies and procedures for environmental noise management, European Environment Agency, mars 2000.
- Flindell I.H. et Stallen P.J., "Non-acoustical factors in environmental noise", Noise Health, n°1 (3), pp.11-16, 1999.
- Flindell I.H. et Witter I.J., "Non-acoustical factors in noise management at Heathrow Airport", Noise Health, n°1 (3), pp.27-44, 1999.
- Forge A., "A tubulo-cisternal endoplasmic reticulum system in the potassium transporting marginal cells of the stria vascularis and effects of the ototoxic diuretic ethacrynic acid", Cell & Tissue Res., n°226 pp.375-387, 1982.
- Forge A. et Schacht J., "Aminoglycoside antibiotics", Review Audiology Neuro Otology, n°5 pp.3-22, 2000.
- Franchini A., Giacomin P., Menini L., Poli M. et Pompoli R., Sonoro e prestationi acustiche negli edifici scolastici, Rumore e ambiante scolastici, Associazone Italiana di Acustica, Ferrara, Italy, 17-32, 1995.
- Francks J.R., Morata T.C., Axelsson A., Borchgrevink H.M., Hamernik R.P., Hellstrom P.A., Henderson D. et Salvi R., Ototoxic effects of chemicals alone or in concert with noise : a review of

human studies, Scientifics Basis of Noise-Induced Hearing Loss, New-York, 437-446, 1996.
- François D. et Vallet M., Le bruit à l'école. Livret no 38, OMS, 2001.
- Friedmann J. et al., Effects of cessation of late night landing, report 132543, NASA, 1974.
- Fujimura K., Yoshida M. et Makishima K., "Effect of salicilate and short-term sound exposure on extra-cochlear electrically-evoked otoacoustic emissions", Acta Otolaryngol, n°121 pp.781-6, 2001.
- Gérin M., Gosselin P., Cordier S., Viau C., Quénel P. et Dewailly E., Environnement et santé publique, Editions Tec & Doc, Edisem, 2003.
- Glass D.C. et Singer J.E., Urban stress. Experiments on noise and social stressors, Academic press, New York, 1972.
- Gottlob D., "Regulations for Community noise", Noise/News international, décembre 1995.
- Govaerts P.J., Claes J., Van de Heyning P., Jorens P., Marquet J. et De Broe M.E., "Aminoglycoside-induced ototoxicity", Toxicol. Letters, n°52 pp.227-251, 1990.
- Grandjean E., "Le bruit du trafic et ses effets sur les malades à l'hopital", Kampf dem Larm, n°25 pp.35-39, 1978.
- Gratiot-Alphandery H. et Lehman A., Analyse des effets psychologiques du bruit dans une cantine scolaire. Rapport 84.309, Ministère de l'Environnement, 1986.
- Griefahn B., "Noise control during the night", Acoust Austral., n°20 pp.43-47, 1992.
- Griefahn B., Deppe C., Moog R., Mehnert P., Moehler U., Schümer-Kohrs A. et Schümer R., "An interdisciplinary study on railway and road traffic noise: Behavioral results. Joint Meeting ASA/EAA/DEGA", J Acoust. Soc Am, n°105 (2), 1999.
- Griefahn B., Möhler U. et Schümer R.H., Vergleichende Untersuchung über die Lärmwikung bei Strassen- und Schienenverkehr, (Hauptbericht-Textteil, Kurzfassung, Abbildungen und Tabellen, Dokumentationsanhang), SGS, München, 1999.
- Griffiths I. et Delauzun F., "The problem of the individual differences in sensitivity to traffic noise and the establishement of standards", R Applied Psychology, n°27 pp.19-31, 1978.
- Gualezzi J.-P., Le bruit dans la ville, Avis et rapports du Conseil Economique et Social, Séance des 14 et 15 avril 1998, Les éditions des Journaux Officiels, Paris, 1998.
- Gualezzi J.-P., "La lutte contre les nuisances sonores n'est pas encore prioritaire", revue écho bruit, n°101 pp.22-25, mars 2003.
- Guitton M.J., Caston J., Ruel J., Johnson R.M., Pujol R. et Puel J.L., "Salicylate induces tinnitus through activation of cochlear NMDA receptors", J. Neurosci, n°23, 2003.
- Guski R., "Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance", Noise Health, n°1 (3), pp.45-56, avril juin 1999.
- Haines M., Brentnall S.L., Stansfeld S. et KLineberg E., "Qualitative responses of children to environmental noise", Noise and Health, n°5 (19), pp.19-30, 2003.
- Haines M. et Stansfeld S., Measuring annoyance and health in child social surveys, Proceedings of the 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Nice, France, 2000.
- Haines M. et Stansfeld S., Aircraft noise at school and child performance and health, European Commission, 2000.
- Hamet J.-F. et Klein P., Recherches physiques sur le bruit de roulement dans les projets " Texture & bruit " et " SI.R.U.US ", Journées d'Etudes " Bruit du trafic routier ", Nantes, France, 2001.
- Hashimo E., Shero M. et Salvi R., "Lysosomal targeting and accumulation of aminoglycoside antibiotics in sensory hair cells", Brain Res., n°777 pp.75-85, 1997.
- Heran-Le Roy O. et Sandret N., "SUMER 94", Documents pour le Médecin du Travail, n°69 pp.63-70, 1997.

- Hiel H., Schamel A., Erre J.P., Hayashida T., Dulon D. et Aran J.M., "Cellular and subcellular localization of tritiated gentamicin in the guinea pig cochlea following combined treatment with ethacrynic acid", Hear. Res., n°57 pp.157-165, 1992.
- Ho M.T. et Quinot E., "Apparition et aggravation de la surdité dans une population exposée au bruit", Cahier de notes documentaires de l'INRS, n°7, 1994.
- Hofstetter P., Ding D., Powers N. et Salvi R., "Quantitative relationship of carboplatin dose to magnitude of inner and outer hair cell loss and the reduction in distortion product otoacoustic emission amplitude in chinchillas", Hear. Res., n°112 pp.199-215, 1997.
- Horie G., Sakurai Y., Nogushi T. et Matsubara N., Synthesized evaluation of noise, lighting and thermal conditions in a room, Proceedings of Noise Control 85, International Conference on Noise Control Engineering, Cracovie, pp.pp. 491-496, 1985.
- Hugel F., Les bruits de voisinage et les communes : prise en charge, difficultés et propositions d'actions, Mininstère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000.
- Hygge S., Evans G.W. et Bullinger M., The Munich airport noise study : Cognitive effects on children from before to after the change over of airport, Inter-Noise '96, Liverpool, UK, I. o. Acoustics, vol.5, pp.2189–2192, 1996.
- IFEN, Les attentes des Français en matière d'environnement, Les données de l'environnement, n°74, Orléans, 2002.
- IFEN, La sensibilité des Français à leur environnement de proximité, Les données de l'environnement, n°85, Orléans, 2002.
- INSEE, Le cadre de vie, comment le perçoit-on ?, 1996.
- INSEE, "Mesurer la qualité de vie dans les grandes agglomérations", INSEE PREMIERE, n°868, octobre 2002.
- INSEE (Rizk Cyril), "Le cadre de vie des ménages les plus pauvres", INSEE PREMIERE, n°926 Octobre 2003.
- Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement, L'exposition des écoliers au bruit, Bruxelles, 1999.
- International Institute of Noise Control Engineering - Working Party on the Effectiveness of Noise Wall, "Draft Report, Technical assessment of the effectiveness of noise walls", Noise/News International, n°6 (1), mars 1998.
- InVS, Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, mai 2000.
- Ising H., Lange-Asschenfeldt H., Lieber G.F., Weinhold H. et Eilts M., "Respiratory and dermatological diseases in children with long-term exposure to road traffic immissions", Noise Health, n°5 (19), pp.41-50, Apr-Jun 2003.
- ISO, ISO 389. Acoustics. Standard Reference Zero for calibration of pure-tone audiometers, 1975
- ISO, ISO 1999. Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. 2nd edition. International Standard, Geneva, 1990.
- ISO, Norme ISO 9613-2, Acoustique - Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - Partie 2 : méthode générale de calcul, Organisation Internationale de Normalisation, 1993.
- ISO, Norme ISO 9613-1, Acoustique - Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - Partie 1 : Calcul de l'absorption atmosphérique, Organisation Internationale de Normalisation, 1993.
- ISO, ISO R 1996. Acoustics - Description and measurement of environmental noise. Part 1 : Basic quantities and procedures (1982) - Part 2 : Acquisition of data pertinent to land use (1987) - Part 3 : Application to noise limits (1987), 1996.
- ISO, Technical specification ISO/DTS 15666 "Acoustics - Assessment of noise annoyance by

means of social and socio-acoustic surveys", ISO, 15 janvier 2003.
- Jacobsen P., Hein H.O., Suadicani P., Parving A. et Gyntelberg F., "Mixed solvent exposure and hearing impairment : an epidemiological study of 3284 men", The Copenhagen male study. Occup. Med., n°43 pp.180-184, 1993.
- Jastreboff P.J., "Phantom auditory perception (Tinnitus) : mechanisms of generation and perception", Neurosci Res, n°8 pp.221-54, 1990.
- Job A., Delplace F., Arvers P., Gorzerino P., Grateau P. et Picard J., "Analyse automatique d'audiogrammes visant à la surveillance épidémiologique de cohortes exposées aux bruits impulsifs", Rev Epidem et santé Publ, n°41 pp.407-415, 1993.
- Job A., Raynal M. et Rondet P., "Hearing loss and use of personal stereos in young adults with antecedents of otitis media", Lancet, n°353 pp.35, 1999.
- Job A., Raynal M. et Rondet P., "Facteurs de vulnérabilité au traumatisme sonore et à la perte auditive précoce chez les jeunes adultes", Trav Scient, n°21 pp.167-8, 2000.
- Job A., Raynal M., Tricoire A., Signoret J. et Rondet P., "Hearing status of french youth aged from 18 to 24 years in 1997. A cross-sectionnal epidemiological study in the selection centres of the army in Vincennes and Lyon", Rev Epidem et santé Publ, n°48 pp.227-237, 2000.
- Job R.F., "Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to noise", Noise Health, n°1 (3), pp.57-68, 1999.
- Job S. et Hatfield J., Factors contributing to reported reaction to combined noise sources, Inter Noise, Nice, vol.6, 2000.
- Johnson A., Juntunen L., Nylen P., Borg E. et Höglund G., "Effect of interaction between noise and toluene on auditory function in the rat", Acta Otolaryngol.(Stockh.), n°105 pp.56-63, 1988.
- Johnson A. et Nylen P., "Effects of industrial solvents on hearing", Occup. Med. Sate of the art. Reviews, n°10 (3), pp.623-640, 1995.
- Jokitulppo J.S., Bjork E.A. et Akaan-Penttila E., "Estimated leisure noise exposure and hearing symptoms in Finnish teenagers", Scand Audiol, n°26 pp.257-62, 1997.
- Jonsson A. et Hansson L., "Prolonged exposure to stressful stimulus (noise) as a cause of high blood pressure in man", Lancet, n°8 (86-87), 1977.
- Josse R., L'isolation phonique et l'acoustique des locaux scolaires, CSTB, Paris, 1962.
- Jurriëns A.A., Griefahn B., Kumar A., Vallet M. et Wilkinson R.T., An essay in european research collaboration : common results from the project on traffic noise and sleep in the home, Proceedings of the 4th international congress on noise as a public health problem, Torino, vol.2, pp.929-937, 1983.
- Karsdorf G. et Klappach H., "The influence of traffic noise on the health and performance of secondary school students in a large city", Zeitschrift für die Gesamte Hygiene, n°14 pp.52-54, 1968.
- Kirk-Othmer R., Economic Aspect, Encyclopedia of chemical technology (3rd edition), 257-271, 1983.
- Klis S., Hamers F., De Groot J. et Smoorenburg G., Protection against cisplatin ototoxicity by melanocortins, Cochlear pharmacology and noise trauma, London, 181, 1999.
- Knipschild P. et Oudshoorn N., "Medical effects of aircraft noise: drug survey", Int. Arch. Occup. Environ. Health, n°40 pp.197-200, 1977.
- Kryter K., "Scaling human reactions to the sound from aircraft", JASA, n°31 (11), pp.1415-1429, 1959.
- Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris et Pôle de compétence bruit, L'Etat du bruit

à Paris, mars 2002.
- Lambert J., "La gêne due au bruit des transports terrestres", Acoustique et Techniques, n°28 1er trimestre 2002.
- Lambert J., "La gêne due au bruit des transports terrestres", Revue Générale des Chemins de Fer, n° spécial bruit, novembre 2003.
- Lambert J., Quinet E. et Kail J.M., Evaluer les effets des transports sur l'environnement : le cas des nuisances sonores, Cadas, n°16, novembre 1999.
- Lambert J., Simonnet F. et Vallet M., Comportements dans l'habitat soumis au bruit de circulation, Rapport IRT n°47, septembre 1980.
- Lambert J. et Vallet M., Rapport préparatoire à la Commission Européenne sur le bruit de l'environnement, INRETS -LEN, 1994.
- Lambert J. et Vallet M., Study related to the preparation of a communication on a future EC noise policy, prepared for DG XI, INRETS, LEN, n°9420, décembre 1994.
- Lamure C., la résorption des Points Noirs du bruit routier et ferroviaire, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 1998.
- Lamure C., Bruit de l'aviation légère en France, Conseil national du bruit, 2002.
- Larnaudie M., Evaluation de l'exposition des Parisiens au bruit, Mairie de Paris/DPE/SPAAS, 2002.
- Lataye R. et Campo P., "Combined effects of noise and toluene exposure on hearing function", Neurotox. Teratol., n°19 pp.373-382, 1997.
- Lataye R., Campo P. et Loquet G., "Combined effects of noise and styrene exposure on hearing function in the rat", Hear. Res., n°139 pp.86-96, 2000.
- Laurell G., Teixeira M., Sterkers O. et Ferrary E., "Effect of cisplatin administration on the electrochemical composition of endolymph in the rat cochlea", Hear. Res., n°87 pp.16-20, 1995.
- LCPC, http://www.lcpc.fr/fr/presentation/organigramme/div_ger/equip/index.php.
- Lee K., "Self-reported sleep disturbances in employed women", Sleep, n°15 pp.493-498, 1992.
- Lefebvre M., Réduire le bruit dans l'entreprise, INRS ed, 1997.
- Legent F., Manuel Pratique d'ORL, Masson ed, Paris, 1984.
- Lehman G., Les effets du bruit sur les enfants à l'école, Rapport au Ministère de l'Environnement, 1981.
- Lemonnier P., 10 ans de la loi bruit : bilan et perspectives, 10 ans de la loi bruit, Paris, CIDB, vol.écho bruit n°101 mars 2003, pp.20-21, 2003.
- Leroux M. et Bardyn J.L., Application de la législation relative à la lutte contre bruit, Centre de Recherche sur l'Espace SONore et l'Environnement Urbain -URA - CNRS 1268, Grenoble, 1998.
- Liberman M.C. et Dodds L., "Acute ultrastructural changes in acoustic trauma : serial section reconstruction of stereocilia and cuticular plates", Hear. Res., n°26 pp.45-64, 1987.
- Liberman M.C. et Dodds L.W., "Acute ultrastructural changes in acoustic trauma : serial-section reconstruction of stereocilia and cuticular plates", Hear Res, n°26 pp.45-64, 1987.
- Loquet G., Campo P. et Lataye R., "Comparison of toluene-induced and styrene-induced hearing losses", Neurotox. & Teratol., n°21 pp.689-697, 1999.
- Loth D., Avan P., Teyssou M. et Menguy C., "Etude des risques auditifs secondaires à l'écoute des enregistrements numériques sur disque à l'aide d'appareils portables", Bull. Acad. Natle Méd., n°176 (8), pp.1245-1253, 1992.
- Loth D., Avan P., Teyssou M. et Menguy C., Etude des risques auditifs secondaires à l'écoute des baladeurs, Ministère des affaires sociales, de la santé et de la ville, 1995a.

- Loth D., Avan P., Teyssou M. et Menguy C., Les risques auditifs liés à l'écoute musicale des chaînes stéréophoniques, Ministère des affaires sociales, de la santé et de la ville, 1995b.
- Loth D., Menguy C. et Teyssou M., Effets sur la santé de l'écoute de la musique à haut niveau sonore, Service central de biophysique et de médecine nucléaire, Hôpital Lariboisière, Université Paris VII.
- Loth D., Teyssou M., Avan P. et Menguy C., Etude des risques auditifs secondaires à l'écoute d'appareils portables à cassettes analogiques (baladeurs), Service central de biophysique et de médecine nucléaire. Hôpital Lariboisière, UFR Lariboisière St. Louis, Université Paris VII.
- Loth D., Teyssou M. et Menguy C., Effets sur la santé de l'écoute de la musique à haut niveau sonore, étude réalisée pour le ministère des affaires sociales, de la santé et de la ville, 1994.
- Lukas J.S., Dupree R.B. et Swing J.W., "Effects of noise on academic achievement and classroom behavior", Office of Noise Control, Cal. Dept. of Health Services, FHWA/CA/DOHS-81/01, septembre 1981.
- Matheson M.P., Stansfeld S.A. et Haines M.M., "The effects of chronic aircraft noise exposure on children's cognition and health: 3 field studies", Noise Health, n°5 (19), pp.31-40, Apr-Jun 2003.
- Maurin M., Lambert J. et Alauzet A., Enquête nationale sur le bruit des transports en France Rapport INRETS n° 71, INRETS, juillet 1988.
- Mc Alpine D. et Johnstone B.M., "The ototoxic mecanism of cisplatin", Hear res, n°47 pp.191-204, 1990.
- Mc Fadden S., Campo P., Quaranta N. et Henderson D., "Effects of noise on inferior colliculus evoked potentials and cochlear anatomy in young and aged chinchillas", Hear. Res., n°117 pp.81-96, 1998.
- MEDD (Ministère de l'Ecologie et du développement durable), Bruit des transports terrestres : résorber les points noirs, Ministère de l'Ecologie et du développement durable (MEDD), 2002.
- Meyer-Bisch C., "Epidemiological evaluation of hearing damage related to strongly amplified music (personal cassette players, discothèques, rock concerts) High-definition audiometric survey on 1364 subjects", Audiology, n°35 pp.121-42, 1996.
- Michel T., Police municipale de Boulogne Billancourt, Le bruit des deux-roues. Campagne de sensibilisation. L'exemple de la ville de Boulogne-Billancourt, Colloque Le bruit? Un casse-tête pour bien le gérer, Caen, 2003.
- Miedema H., Passchier-Vermeer W. et Vos H., Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance, TNO (Netherland Organisation for Applied Scientific Research), janvier 2003.
- Miedema H.M.E. et Vos H., "Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise", J. Acoust. Soc. Am., n°105 (6) juin 1999.
- Migot M. et Rumeau M., Campagne de mesures relative aux lieux de loisirs bruyants, étude réalisée pour le ministère des affaires sociales, de la santé et de la ville, 1993.
- Miller R., Newhook R. et Poole A., "Styrene production, use, and human exposure", Crit. Rev. Toxicol., n°524 (1), pp.1-10, 1994.
- Ministère de l'écologie et du développement durable, Plan national d'actions contre le bruit. Actions concernant les logements soumis à un bruit excessif, Ministère de l'écologie et du développement durable, 6/10/2003 2003.
- Ministère de l'écologie et du développement durable, Plan national d'actions contre le bruit, dossier de presse, Paris, 2003.
- Moch A., Aspects psychologiques des stress de l'environnement, Paris VIII, Paris, 1987.

- Moch A. et Maramotti I., "Les ambiances de la ville : du stress au confort", Pratiques psychologiques, n°17-24, 1995.
- Moehler U., Griefahn B., Liepert M. et Schümer R., "An interdisciplinary study on railway and road traffic noise: acoustical results. Joint Meeting ASA/EAA/DEGA", Schümer, n°105 (2), 1999
- Moehler U., Liepert M., Schuemer R. et Griefahn B., "Differences between railway and road traffic noise", J Sound Vib, pp.853-864, 2000.
- Möhler U., Liepert M., Schümer R.H. et Griefahn B., "Differences between railway and road traffic noise", J Sound Vib, n°231 pp.853-864, 2000.
- Mongan E., Kelly P., Nies K., Porter W. et Paulus H., "Tinnitus as an indication of therapeutic serum salicylate levels", J. Am. Med. Association, n°226 pp.142-145, 1973.
- Morata T. et Campo P., "Ototoxic effect of styrene alone or in concert with other agent : a Rewiew", Noise Health, n°4 pp.15-24, 2002.
- Morata T., Campo P., Prasher D., Henderson D., Kopke R., Salvi R. et Hamernik E., Auditory function after single or combined exposure to styrene : a review, Noise-induced hearing loss/ Basic mechanisms, prevention and control, London, 293-304, 2001.
- Morata T., Dunn D., Kretschmer L., Lemasters G. et Keith R., "Effects of occupational exposure to organic solvents and noise on hearing", Scand. J. Work Environ. Health, n°19 pp.245-254, 1993.
- Morata T., Fiorini A., Fischer F., Colacioppo S., Wallingford K., Krieg E. et Dunn D., "Toluene-induced hearing loss among rotogravure printing workers", Scand. J. Work Environ. Health, n°23 pp.289-298, 1997.
- Morata T.C., Dunn D.E. et Sieber W.K., "Occupational exposure to noise and ototoxic organic solvents", Arch. Environ. Health, n°49 (5), pp.359-365, 1994.
- Morata T.C., Johnson A.C., Nylen P., Svensson E., Cheng J., Krieg E.F., Lindblad A.C., Ernstgard L. et Frank J., "Audiometric findings in workers exposed to low level of styrene and noise", JOEM, n°44 (9), pp.806-814, 2002.
- Mouret J. et Vallet M., Les effets du bruit sur la Santé, Centre d'information et de documentation sur le bruit, Paris, 1998.
- Mulheran M. et Harpur E., "The effect of gentamicin and furosemide given in combination on cochlear potentials in the guinea pig", British journal of audiology, n°32 pp.47-56, 1998.
- Mulroy M., Henry W. et McNeil P., "Noise-induced transient microlesions in the cell membranes of auditory hair cells", Hear. Res., n°115 pp.93-100, 1998.
- Murugasu E. et Russel I., "Salicylate ototoxicity : the effects on basilar membrane displacement, cochlear microphonics, and neural responses in the basal turn of the guinea pig cochlea", Auditory Neurosciences, n°1 pp.139-150, 1995.
- Muzet A. et Ehrhart J., "Amplitude des modifications cardiovasculaires provoquées par le bruit au cours du sommeil", Coeur et médecine interne, n°17 pp.49-56, 1978.
- Muzet A. et Ehrhart J., Habituation of heart rate and finger pulse responses to noise during sleep, Noise as a Public Health Problem. ASHA report, 10, Rockville, Maryland, 401-404, 1980.
- Muzet A., Ehrhart J., Eschenlauer R. et Lienhard J.P., "Habituation and age differences of cardiovascular responses to noise during sleep", Sleep 1980, pp.212-215, 1981.
- Muzet A., Schieber J.P., Olivier-Martin N., Ehrhart J. et Metz B., Relationship between subjective and physiological assessments of noise-disturbed sleep, International congress on noise as a public health problem, Dubrovnik - Yugoslavia, U. S. E. Agency, pp.575-586, 1973.
- Naitoh P., Muzet A. et Lienhard J.P., Effects of noise and elevated temperature on sleep cycle. Sleep Research, 2nd International Congress of Sleep Research, Edimburgh, vol.4, pp.174, 1975.

- Nicolas A., Bach V., Tassi P., Dewasmes G., Ehrhart J., Muzet A. et Libert J.P., "Electroencephalogram and cardiovascular responses to noise during daytime sleep in shift workers", Eur J Appl Physiol, n°66 pp.76-84, 1993.
- Nilsson M.E. et Berglund B., "Effects of noise from combinations of traffic sources", Archives of the Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute, n°6 (1), 2001.
- Norme ISO 9613-1 - Acoustique, Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - Partie 1 : Calcul de l'absorption atmosphérique, Organisation Internationale de Normalisation, 1993.
- Observatoire du bruit, Pôle de compétence bruit et Préfecture de police de Paris, L'état du bruit à Paris, mars 2002.
- Occhipinti P., Le bruit urbain lié au transport terrestre : caractérisation et quantification au cours de déplacements franciliens, mémoire de DESS, Université Denis Diderot (Paris VII), Mairie de Paris/DPE, septembre 2003.
- Oertli J., The STAIRRS project : a cost effectiveness analysis of railway noise reduction on a European scale, proceedings of the 5th European Conference on Noise Control, EURONOISE, Naples, 2003.
- Öhrström E., Research on noise since 1988: present state, Noise and man, Nice, I. ed. M. Vallet, vol.3, pp.331-338, 1993.
- OMS, Résumé d'orientation des Directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement, OMS.
- OMS, Le bruit, critère d'hygiène de l'environnement, OMS, n°n°12, 1980.
- OMS, WHO Guidelines for Community noise, Genève, 2000.
- Organisation Mondiale de la Santé - Bureau régional de l'Europe, Bruit et santé, 2000.
- Passchier-Vermeer W. et al., Sleep disturbance and aircraft noise exposure, Exposure effects relationships, Report n°27, TNO, 2002.
- Pearsons K., "Predicting noise-indiced sleep disturbance", JASA, n°97 (1), pp.331-335, 1995.
- Pellerin N. et Candas V., "Combined effects of temperature and noise on human discomfort", Physiology & Behavior, n°78 pp.99-106, 2003a.
- Pellerin N. et Candas V., "Effects of steady-state noise and temperature conditions on environmental perception and acceptability", Indoor Air, n°13 pp.1-8, 2003b.
- Phillips S.M. et Abbott P.G., Factors affecting Statistical Pass-by measurements, Congrès Internoise 2001, La Haye, Pays-Bas, 2001.
- Pinçonnat P., "Quelques définitions relatives au bruit", Revue générale des chemins de fer, octobre 2003.
- Prasher D., Henderson D., Kopke R., Salvi R., Hamernik E., Mills J., Schulte B., Boettcher F. et Dubno J., A comparison of age-related hearing loss and noise-induced hearing loss, Noise-Induced hearing loss: Basic mechanisms, prevention and control, London, 497-511, 2001.
- Premat E., Defrance J., Mos A. et Chartier H., "Towards an experimental benchmark test cases database for the validation of numerical models for outdoor sound propagation", Acta Acustica united with Acustica, n°89 (6), pp.992-997, 2003.
- Prince M.M., Gilbert S.J., Smith R.J. et Stayner L., "Evaluation of the risk of noise-induced hearing loss among unscreened male industrial workers", J Acoust Soc Am, n°113 pp.871-80, 2003.
- Prost G., Duclos J.-C., Normand J.-C., Bergeret A. et Herrscher M.-P., Evaluation de l'audition des jeunes français, Institut Universitaire de Médecine du Travail de Lyon, 1999.
- Puel J.L., Gervais d'Aldin C.H., Safieddine S., Eybalin M., Pujol R, Alxelsson, Borchgrevink, Hamernik E., Hellstrom, Henderson D. et al., Excitotoxicity and plasticity of the IHC-auditory

nerve synapse contribute to both TTS and PTS, Scientific Basis of Noise-Induced Hearing Loss, New York, 36-42, 1996.
- Puel J.L., Ruel J., Guitton M., Wang et Pujol R., "The inner hair cell synaptic complex physiology, pharmacology and new therapeutic strategies", Audiol Neurootol, n°7 pp.49-54, 2002.
- Pujol R., "Les acouphènes", INSERM U583, Cerveau & psycho, n°3 pp.71-78, 2003.
- Pujol R., Puel J.L., Gervais D'Aldin C. et Eybalin M., "Pathophysiolology of glutamatergic synapsis in the cochlea", Acta otolaryngol, n°113 pp.330-4, 1993.
- Quin C., Duprez F. et Bourgis N., Compte national du transport de voyageurs (1998). Tome 2 : Les coûts externes du transport de voyageurs. Rapport au Ministre de l'Equipement, des Transports et du Logement, Ministre de l'Equipement, des Transports et du Logement, février 2001.
- Ringeval J., Etude de l'exposition au bruit du poste de bétonneur dans une entreprise de fabrication de prédalles en béton vibré, à l'aide d'un exposimètre individuel, AIMT du Bas-Rhin, 2000.
- Ritter P., Des solutions pour vivre mieux. Rapport du groupe de travail sur les difficultés d'application de la réglementation sur les bruits de voisinage, Conseil National du Bruit, 2002.
- Roa D. et Fechter L., "Increased noise severity limits potentiation of noise induced hearing loss by carbon monoxide", Hear. Res., n°150 pp.206-214, 2000.
- Robertson D. et Johnstone B., "Acoustic trauma in the guinea pig cochlea : early changes in ultrastructure and neural threshold", Hear. Res., n°26 pp.65-88, 1980.
- Rosenhall U., "The influence of ageing on noise-induced hearing loss", Noise & Health, n°5 (20), pp.47-53, 2003.
- Rybak L., "Pathophysiology of furosemide ototoxicity", The Journal of Ototlaryngology, n°11 (2), pp.127-133, 1982.
- Rybak L., "Hearing : the effects of chemicals", Otolaryngol. - Head and neck surgery, n°106 pp.677-686, 1992.
- Sandberg U. et Ejsmont J., Tyre/road noise reference Book, Informex, 2002.
- Sargent J. et al., "The disturbance caused to school teachers by noise", Journal of Sound and Vibration, n°70 (4), pp.557-572, 1980.
- Schreckenberg D., Schuemer-Kohrs A., Schümer R., Griefahn B. et Möhler U., "An interdisciplinary study on railway and road traffic noise: annoyance differences. Joint Meeting ASA/EAA/DEGA", J Acoust. Soc Am, n°105 (2), 1999.
- Schuemer-Kohrs A., Griefahn B., Mehnert P. et Moelher U., Design of a field study on the effects of railway noise and road traffic noise, InterNoise Proceeding, Internoise, pp.2183-2189, 1996.
- Sergi B., Ferrasiesi A., Troiani D., Paludetti G. et Fetoni A.R., "Cisplatin ototoxicity in the guinea pig : Vestibular and cochlear damage", Hear.Res., n°182 pp.56-64, 2003.
- Serrou B., La protection des riverains contre le bruit des transports terrestres. Rapport au Premier Ministre, 15 avril 1995.
- Serve C., "La prise en compte du bruit dans les plans de déplacement urbains", Le bruit? Un casse-tête pour bien le gérer, Caen, France, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg, CIDB, 2003.
- SETRA/CERTU, Bruit et études routières - Manuel du chef de projet, octobre 2001.
- Shield B. et Dockrell J., Noise levels in London schools, http://www.teachernet.gov.uk, 2002.
- Sliwinska-Kowalska M., Zamyslowska-Szmytke E., Szymczak W., Kotylo P., Fiszer M., Dudarewicz A., Wesolowski W., Pawlaczyk-Luszczynska M. et Stolarek R., "Hearing loss among workers exposed to moderate concentrations of solvents", Scand J. Work Environ. Health, n°27 (5), pp.335-342, 2001.

- Stallen P.J., "A theoretical framework for environmental noise annoyance", Noise Health, n°1 (3), pp.69-80, 1999.
- Stansfeld S., Haines M. et Brown B., "Noise and health in the urban environment", Reviews on environmental health, n°15 (1-2), pp.43-82, 2000.
- Stypulkowski P., "Mechanisms of salicylate ototoxicity", Hear. Res., n°46 pp.113-146, 1990.
- Sulkowski W., Kowalska S., Lipowczan A., Prasher D. et Raglan E., "Tinnitus and impulse noise induced hearing loss in drop-forge operators", Int J Occup Med Environ Health, n°12 pp.177-82, 1999.
- Tarnopolsky A., Watkins G. et Hand D.J., "Aircraft noise and mental health: I. Prevalence of individual symptoms", Psychol. Med, n°10 (4), pp.683-698, 1980.
- Thiery L., Pietry-verdy M.F., Damongeot A., Derzko G. et Grodemange J.P., "Etude de l'audition d'une population urbaine non soumise à des bruits d'origine professionnelle", Revue d'Acoustique, n°49, 1979.
- Thiessen G.J., "Effect of traffic noise on the cyclical nature of sleep", J Acoust Soc Am, n°84 pp.1741-1743, 1988.
- Toppila E., Pyykko I. et Stark J., "Age and noise-induced hearing loss", Scan Audiol, n°30 pp.236-44, 2001.
- Tracol R. et Fossey V., "Campagne de prévention des risques auditifs chez les adolescents", Le bruit? Un casse-tête pour bien le gérer, Caen, DRASS de Basse Normandie, 2003.
- Tran Ba Huy P., Meulemans A., Wassef M., Manuel C., Sterkers O. et Amiel C., "Gentamicin persistence in rat endolymph and perilymph after a two day constant infusion", Antimicrobial agents and Chemotherapy, n°23 (2), pp.344-346, 1983.
- Tzanneva L., Savov A. et Damianova V., "Audiological problems in patients with tinnitus exposed to noise and vibrations", Cent Eur J Public Health, n°8 pp.233-5, 2000.
- Vadrot C.-M. et Dejouet M., La place de l'environnement dans les médias. Association des journalistes-écrivains pour la Nature et l'Ecologie, Victoires éditions, Paris, 1998
- Vallet M., "Caractéristiques et indicateurs de la gêne due au bruit des avions", Synthèse INRETS, n°29, 1996.
- Vallet M., Gagneux J.M., Clairet J.M., Laurens J.F. et Letisserand D., Heart rate reactivity to aircraft noise after a long term exposure, Noise as a Public Health Problem, Centro Ricerche E Studi Amplifon, Milano, 965-971, 1983
- Vallet M. et Karabiber Z., "Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings", Noise Control Engineering Journal, n°50 (2), pp.58-62, 2002.
- Vernet M., "Comparison between train noise and road traffic noise annoyance during sleep", JSV, n°87 (2), pp.331-335, 1983.
- Vincent R. et Subra I., Approche méthodologique de l'évaluation a priori des expositions dans une démarche d'évaluation des risques. L'exemple de l'enquête styrène, Document de travail INRS n°296.423/ EPRC, 1995.
- Whitworth C., Hudson T.E. et Rybak L.P., "The effect of combined administration of cadmium and furosemide on auditory function in the rat", Hear. Res., n°129 pp.61-70, 1999.
- WHO Local authorities health and environment, Noise and health, Geneva, 2000.
- Yamazaki K., Nomoto S., Yokota Y. et Murai T., "The effects of temperature, light, and sound on perceived work environment", ASHRAE Trans., n°104 pp.711-720, 1998.
- Young J., Upchurch M., Kaufman M. et Fechter L., "Carbon monoxide exposure potentiates high-frequency auditory threshold shifts induced by noise", Hear. Res., n°26 pp.37-43, 1987.

Présentation des membres du groupe d'experts

Sont brièvement présentées ici les personnes, issues des organismes partenaires de l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale, d'institutions de recherche et d'universités, ayant participé à l'élaboration de ce rapport, soit par une contribution (auteur), soit par un travail de coordination (coordinateur).

Fabienne Anfosso-Lédée (auteur), ingénieur des Travaux Publics de l'Etat, docteur en Acoustique, est actuellement chercheur au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) à Nantes, où elle est responsable de projets de recherche en acoustique routière. Sa spécialité concerne les écrans antibruit, le bruit de contact pneumatique-chaussée et les revêtements de chaussée peu bruyants. Elle a également exercé comme chargée d'études acoustiques au CETE (Centre d'Etudes Technique de l'Equipement) de l'Est (Laboratoire de Strasbourg).

Claude Azais (auteur), docteur *es sciences* de l'Université de Toulouse, a exercé le poste de maître de conférence et enseigné dans diverses institutions. Il a été membre de l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires (ACNUSA).

Jacques Beaumont (auteur et coordinateur), docteur en sciences physiques de l'Université de Dijon, directeur de recherche, dirige actuellement le laboratoire Transports-Environnement de l'INRETS – Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, au centre de Lyon-Bron. Il est également président de la Commission Nationale des Ecrans Acoustiques (CNEA) ; membre du groupe de travail WG6/TC 226 "Noise reduction antidevices" auprès de la Commission européenne ; expert auprès de l'OMS sur la question Bruit/santé ; directeur Adjoint du Groupement de Recherche (G.D.R.) "Bruit des Transports" ; professeur en acoustique à l'Ecole Nationale des Transports Publics de l'Etat (ENTPE) ; antérieurement responsable du groupe Acoustique, puis directeur adjoint du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg.

Michel Bérengier (auteur)**,** directeur de recherche et docteur en acoustique, est responsable de la Section « Acoustique Routière et Urbaine » au centre de Nantes du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). Membre du conseil d'administration de la Société Française d'Acoustique (SFA), ses activités se situent dans le cadre de la recherche en acoustique de l'environnement routier et plus particulièrement de la propagation acoustique en milieu extérieur.

Didier Cattenoz (auteur) est ingénieur des Travaux Publics de l'Etat. Après avoir été responsable de la cellule acoustique du LREP (Laboratoire Régional des ponts et chaussées de l'Est Parisien - Direction Régionale de l'Equipement d'Ile-de-France), il est aujourd'hui chargé de mission à la Mission Bruit de la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable), en charge notamment du bruit des aéronefs.

Pierre Campo (auteur) est docteur *es sciences* de l'Université de Nancy et habilité à diriger des recherches (HDR) de l'Université de Bordeaux. Il est responsable d'étude à l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) et participe à un groupe d'experts pour la Commission européenne pour le projet NoiseChem.

Patrick Cellard (auteur) est ingénieur, responsable de l'activité « bruits des matériels » au Laboratoire National d'Essais (LNE) depuis 1995 où il réalise des mesures de bruit de machines ou de bruit dans l'environnement au service d'industriels ou des pouvoir publics. Il est membre de la commission de normalisation AFNOR : S30J et il participe à d'autres groupes de normalisation français ou internationaux (CEN, ISO) pour le bruit des machines. Il est aussi membre de la Société Française d'Acoustique et du conseil d'administration du Centre d'Information et de Documentation du Bruit (CIDB).

Jérôme Defrance (auteur) est responsable du pôle Acoustique Environnementale et Urbaine du Département Acoustique et Eclairage du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Ingénieur de l'École Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg, il a obtenu un Doctorat d'Acoustique en 1996 et assure, depuis, la fonction d'ingénieur de recherche au sein du CSTB de Grenoble.

David Delcampe (auteur) est ingénieur chargé du bruit des transports terrestres et de la directive européenne relative au bruit dans l'environnement au ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD). Il intervient comme expert du Gouvernement au comité bruit et au groupe de coordination des travaux européens sur le bruit ambiant présidés par la Commission européenne.

Nicolas Grénetier (auteur et coordinateur) est ingénieur du génie sanitaire dans le bureau « bâtiments, bruit et milieu de travail » de la Direction Générale de la Santé, au Ministère de la santé, de la famille et des personnes handicapées.

Michel Hubert (auteur) est chargé de mission Transports-bruit à l'Institut Français de l'Environnement (IFEN). Ingénieur du génie rural, des eaux et forêt et titulaire d'un DEA d'économie de l'environnement, il travaille au sein département des synthèses sur le *reporting environnemental* et les indicateurs d'environnement et de développement durable.

Agnès Job (auteur)**,** docteur de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, est chercheur en audiologie et épidémiologiste des pathologies auditives liées au bruit dans les armées au Centre de Recherches du Service de Santé des Armées (CRSSA) depuis 1991. Elle réalise des études sur les facteurs de vulnérabilité inter-individuels qui potentialisent les effets du bruit afin de disposer d'outils prédictifs d'une vulnérabilité auditive.

Romain Kania (auteur) est chef de clinique assistant dans le service d'Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale de Monsieur le Professeur Patrice TRAN BA HUY, à l'Hôpital Lariboisière à Paris.

Jacques Lambert (auteur)**,** économiste, est directeur de recherche au Laboratoire Transports et Environnement de l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité), où il dirige l'équipe « Evaluation environnementale ». Il est aussi expert auprès de la Commission européenne (DG Environnement) et de l'OCDE (DG Environnement).

Philippe Lepoutre (auteur) est responsable du pôle technique à l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires (ACNUSA). Ingénieur acousticien, il a dirigé le laboratoire de mesure acoustique du Service Technique de la Navigation Aérienne puis était responsable en certification acoustique des avions auprès des JAA (*Joint Aviation Authorities*).

Paul Louit (auteur)**,** ancien élève de l'Ecole Polytechnique, ingénieur au Corps des Mines, a exercé diverses fonctions relatives à la protection de l'environnement en DRIRE (direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement) et au ministère chargé de l'environnement, avant de rejoindre, en 1980, la direction des relations du travail au ministère chargé du travail où il est conseiller scientifique.

Annie Moch (auteur) est docteur d'Etat en psychologie sur le thème des stress de l'environnement. Elle a été nommée Professeur des universités en psychologie de l'environnement à l'Université Paris 10 Nanterre depuis 1988. Une partie importante de ses travaux porte sur les effets du bruit sur l'homme à toutes les phases de son développement.

Colas Morillon (auteur) est titulaire d'une maîtrise de droit public et d'un DESS d'administration locale. Il est actuellement chargé de mission à la Mission Bruit de la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable), en charge notamment des questions juridiques et administratives.

Alain Muzet (auteur) est médecin, directeur de recherche au CNRS et directeur du Centre d'Etudes de Physiologie Appliquée du CNRS à Strasbourg. Spécialiste de la physiologie du sommeil il a été expert auprès de la Commission Européenne et de l'OMS pour les effets du bruit sur l'homme. Il a également présidé la Commission Internationale des Effets Biologiques du Bruit de 1988 à 1993, été membre de l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires de 2000 à 2003. Il est membre du Conseil Scientifique de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale et il préside actuellement le Conseil Scientifique du programme « Bruit et Nuisances Sonores » du ministère en charge de l'environnement.

Georges Raimbault (coordinateur), ingénieur de l'École Centrale de Paris, a principalement mené des recherches sur l'hydrologie des espaces aménagés. Il est actuellement Directeur Technique pour le domaine de l'Environnement et des Risques Naturels au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

Marc Renard (auteur) est ingénieur en chef (bâtiment) dans un office d'HLM. Devenu-sourd, il a croisé ses expériences de professionnel et de personne sourde en développant les principes de l'accessibilité du cadre de vie pour les personnes sourdes ou malentendantes. Il participe à de nombreuses commissions comme expert ou comme représentant des associations.

Ariane Revol-Briard (auteur)**,** formée au journalisme, est directrice de l'Observatoire départemental de l'Environnement sonore du Val-de-Marne (ODES). Elle a travaillé notamment aux ministères chargés de la santé, de la justice et de l'équipement dans le domaine de l'information et de la communication.

Jacques Roland (auteur et coordinateur), ingénieur civil de l'aéronautique, spécialiste de vibrations des structures et acoustique du bâtiment, est directeur du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) de Grenoble, Chef du Département Acoustique et Eclairage. Il préside le Comité Technique TC 126 du Comité Européen de Normalisation "Acoustique du Bâtiment".

Michel Vallet (auteur)**,** psychologue, a exercé la fonction de directeur de recherche à l'INRETS après une thèse sur la Perturbation du sommeil par le bruit. Il dirige l'association AEDIFICE qui réalise des travaux scientifiques et se trouve sous contrat avec la Commission européenne (DG XII). Il exerce des missions d'expertise pour la Commission européenne (DG Environnement, projet LIFE et DG Recherche – Développement).

RECOMMANDATIONS

Présentation des recommandations

Les recommandations sont présentées en cinq parties. Les références entre crochets renvoient aux parties, sous-parties et paragraphes du rapport qui précède.

Afin de protéger la santé des populations, les indicateurs pertinents doivent permettre d'apprécier l'impact sanitaire potentiel du bruit [*partie III*]. Il est donc indispensable de connaître au mieux ces impacts sanitaires afin de construire les indicateurs les plus représentatifs des risques sanitaires jugés prioritaires. Or, l'une des principales conclusions pouvant être tirées de l'état des lieux approfondi dressé dans le rapport [*partie II*] est la nécessité d'améliorer les connaissances en matière d'impacts sanitaires de l'exposition au bruit. Bien que les connaissances soient incomplètes à ce jour, de l'état des données existantes il est possible de tirer un ensemble de recommandations solidement étayées. Compte tenu de la complexité du sujet, les connaissances resteront par ailleurs probablement imparfaites.
La première partie énonce donc des pistes de recherche possibles en matière d'indicateurs et de connaissance sur les impacts sanitaires de l'exposition au bruit, qu'il s'agisse des effets subjectifs ou des effets biologiques, en particulier dans le cas des populations dites sensibles.

La deuxième partie rassemble les recommandations qui relèvent de l'action des pouvoirs publics en matière de lutte contre les nuisances sonores. Elle propose, en premier lieu, les modalités d'un dispositif de surveillance des impacts sanitaires du bruit. Est ensuite abordée la définition de marqueurs sanitaires nécessaires à une surveillance efficace et à l'évaluation des politiques de lutte contre les impacts sanitaires du bruit. Enfin, sont formulées des propositions de simplification en matière de réglementation et de valeurs-limites.

La troisième partie s'attache aux recommandations destinées aux élus locaux, notamment en matière d'utilisation des documents d'aménagement et de planification urbaine, mais également dans le domaine des études d'impact liées aux projets d'infrastructures de transports.

Enfin, la quatrième partie propose des pistes de recherche et d'action aux professionnels de différents domaines : bâtiment, équipements urbains et routiers, constructeurs automobiles, tandis que la dernière partie insiste sur l'information et la sensibilisation de l'ensemble de la population aux risques sanitaires liés à l'exposition au bruit.

1. INDICATEURS BRUIT - SANTE

Une première « recommandation » d'ordre général, dépassant le cadre de ce rapport, consisterait à préciser, préalablement à la définition des mesures de santé publique, ce que l'on entend par « santé » lorsque l'on tente de quantifier les effets des facteurs environnementaux sur l'homme. La définition large donnée par l'OMS de la santé n'est en effet pas toujours admise par les « décideurs » et les notions de « bien-être physique, mental et social » sont difficiles à définir. Il serait donc fort utile de préciser quelles sont les atteintes à l'intégrité humaine qui doivent être considérées comme inacceptables, et ce choix devrait être fait en fonction du facteur considéré et du contexte dans lequel il se manifeste. Il ne revient pas au rapport de répondre à une telle question. La réponse à cette question est cependant ce qui doit guider l'intervention des pouvoirs publics et la mise en œuvre des politiques de santé publique.

La traduction des effets du bruit sur la santé, à l'aide d'indicateurs, mérite un important travail d'amélioration des connaissances des impacts sanitaires du bruit, si l'on ne s'en tient pas seulement à la gêne exprimée qui, elle, est bien connue et représentée à travers les courbes dose-réponse [*§ II-3-1-2*].

1.1. Impacts sanitaires du bruit : besoins de recherches

Les recommandations présentées ici font référence aux éléments présentés dans la partie II du rapport qui traite des impacts sanitaires du bruit.

1.1.1. Les effets subjectifs de l'exposition au bruit : prise en compte de la gêne

Il existe un nombre important d'études relatives aux effets subjectifs du bruit, mais celles-ci fournissent, le plus souvent, des résultats peu cohérents, voire contradictoires. Il est difficile de faire la part entre les effets dus au bruit et les facteurs de confusion possibles (données socio-économiques essentiellement).
Dans les dossiers soumis à l'administration, la *gêne déclarée* reste l'indicateur réglementaire de nuisance pris en compte dans l'évaluation de l'impact du bruit sur les populations. Pourtant, la gêne déclarée ne présente pas une corrélation nette avec l'intensité du bruit. Ainsi, la prise en compte de la gêne sur une base purement déclarative a, par exemple, conduit à accorder au transport ferroviaire un « bonus »[133] qui n'apparaît pas justifié quand on s'intéresse aux troubles du sommeil [*§ II-3-1-2*]. La déclaration de gêne en tant qu'indicateur est difficile à relier à des effets physiologiques en raison de différences très marquées d'un individu à l'autre de sensibilité et d'attitude face au bruit.

[133] Les valeurs-limites d'exposition au bruit ferroviaire retenues dans la plupart des pays européens pour les riverains sont plus élevées que celles appliquées au transport routier.

Les populations déclarent que la gêne va en diminuant face à une exposition permanente au bruit (« habituation au bruit »). Pourtant, plusieurs études ont montré que, sur le plan physiologique, l'individu *ne s'adapte pas* au bruit, même après une longue période d'exposition.
Cette permanence des effets peut être différente d'un individu à l'autre. Les études concernant l'auto-estimation de la sensibilité au bruit ont montré que la sensibilité diurne pouvait être exacerbée chez certaines personnes alors que les réponses biologiques (stress, pression artérielle, troubles digestifs, etc.) au bruit nocturne étaient identiques pour ceux qui se disent sensibles et ceux qui se disent non sensibles au bruit. Autrement dit, les personnes se déclarant très sensibles au bruit ne présentent des réactions *biologiques* au bruit différentes des autres personnes (ne se déclarant pas particulièrement sensibles) que lorsque les mesures sont effectuées de jour, quand les personnes sont éveillées et donc conscientes.

Lorsqu'elle est exprimée, la gêne doit être prise en compte car elle est souvent révélatrice d'une situation préoccupante. Des enquêtes de gêne sur de grands échantillons permettent d'apprécier la tendance générale de l'évolution de la sensibilité de la population vis-à-vis de son environnement sonore ainsi que l'importance des différences de perception d'une population ou d'une culture à l'autre. La gêne constitue cependant un indicateur sanitaire *insuffisant*, et les effets biologiques devront, chaque fois que cela sera possible, être évalués de façon *complémentaire*.

Les effets biologiques du bruit [*II-1 et II-2*] sont assez semblables d'une personne à l'autre. Pourtant, chacun exprime différemment sa gêne face au bruit. La plainte est donc essentiellement une indication sur la façon dont la personne vit sa relation avec un environnement perçu comme bruyant et non un indicateur des effets objectifs de l'impact du bruit [*II-3*]. On peut ainsi rencontrer des personnes se plaignant de manière très importante d'une exposition pourtant objectivement jugée modérée ; et d'autres n'exprimant aucune gêne particulière à l'exposition de niveaux de bruit intenses, alors même que leur organisme souffre, conduisant dans certains cas au développement d'une pathologie pour une exposition à un niveau de bruit qui n'induit pas de gêne. La surdité progressive provoquée par une exposition prolongée au bruit est l'exemple même de ce processus.

Dans certains cas où l'on peut soupçonner l'existence d'effets délétères du bruit, il n'est pas nécessaire de recueillir une déclaration de gêne pour se préoccuper de la situation. En d'autres termes, bien qu'elle soit l'effet le plus facile à mesurer, la gêne n'est pas le seul effet possible et mesurable de l'exposition au bruit ; sa prise en compte n'est pas suffisante.

La gêne doit donc continuer à être prise en compte dans les politiques de santé publique comme marqueur d'un effet la santé, même si elle constitue un indicateur sanitaire insuffisant. Les effets biologiques et physiopathologiques ne peuvent être considérés comme les seuls marqueurs des effets du bruit sur la santé.

Définition d'un protocole unifié d'analyse des effets auditifs

Pour tirer le meilleur des recherches épidémiologiques dans le domaine des effets auditifs, et en particulier pour autoriser des comparaisons, il est nécessaire de définir les conditions d'un recueil

homogène de données. Les étalonnages différents des appareils, le mode de calcul des seuils auditifs, le choix des populations et des expositions, sont autant de critères d'inclusion différents qui rendent l'exploitation et surtout la comparaison des résultats difficiles.

Il conviendrait de définir un protocole unifié qui serait utilisé pour toute nouvelle enquête audiologique. Un tel protocole devrait être élaboré et proposé à un niveau international, dans des instances comme l'OMS, l'ISO, le CEN ou la Commission européenne. Les autorités sanitaires françaises pourraient initier une telle démarche par le biais des représentants nationaux dans ces instances.

1.1.2. Les effets biologiques du bruit

Effets sur l'audition : le développement d'outils diagnostiques fiables

En France, comme dans la plupart des pays industrialisés, il n'existe à l'heure actuelle que peu de données épidémiologiques sur les surdités de l'adulte exclusivement liées au bruit[134]. Il est d'ailleurs difficile de faire la part des pertes auditives strictement liées au bruit [*II-1*].

En ce qui concerne le dépistage des pertes auditives, il convient donc de donner aux chercheurs les moyens de développer des outils diagnostiques fiables qui permettent de dépister des dysfonctionnements infra-cliniques, révélant l'existence objective d'une vulnérabilité auditive. Ce dépistage en amont permettrait de mieux cibler la prévention.

Une étude prospective est à l'heure actuelle menée en milieu militaire avec des outils d'explorations fonctionnelles objectifs plus fins que ne l'est l'audiométrie tonale subjective classique. Il s'agit de la mesure des oto-émissions acoustiques, qui semble tout à fait prometteuse. Il conviendrait d'élargir à la population générale ce type d'étude - jusqu'à aujourd'hui limitée à une population de jeunes militaires -, notamment dans le cadre d'un système de surveillance (cf. *infra*).

Effets extra auditifs

Il est aujourd'hui très difficile de distinguer les effets sanitaires extra auditifs à long terme de l'exposition au bruit de ceux engendrés par d'autres facteurs d'agression, qu'ils soient physiques, biologiques ou psychologiques. Le bruit agit en combinaison avec d'autres facteurs et leurs interactions sont difficilement prévisibles. Il est possible que chez des organismes fragilisés le bruit soit alors le révélateur d'un état de détresse ignoré jusqu'alors.

Certains effets extra auditifs sont encore mal connus. C'est le cas des réponses physiologiques minimes, mais cumulées sur de longues durées (sécrétions hormonales, modifications cardiovasculaires, système immunitaire,….). Ainsi, sur la base de nos connaissances actuelles il est

[134] Une des rares études à grande échelle est celle du CRSSA - centre de recherche du service de santé des armées - conduite en 1997 auprès de 1208 jeunes de 18-24 ans.

difficile de répondre à la question de savoir quelle est la part liée au bruit dans le risque cardiovasculaire des populations. En effet, il existe toujours un débat sur la relation entre l'exposition au bruit et le risque cardio-vasculaire à long terme [*§ II-2-1 et § II-2-2*].

Les effets du bruit sur le système cardiovasculaire constituant une préoccupation essentielle en termes de santé publique, il est nécessaire de les confirmer par l'étude de cohortes bien délimitées et dont les expositions au bruit seraient parfaitement caractérisées. En effet toutes les études publiées pêchent par hétérogénéité des protocoles d'exposition et par une maîtrise insuffisante des facteurs de confusion. Ces derniers ne sont pas traités similairement d'une étude à l'autre.

1.1.3. Étude des populations « sensibles »

La plupart des recherches sont faites sur des populations dites « normales », c'est à dire en bonne santé et ne prenant pas de médicaments. Les cas de populations particulièrement exposées au bruit sont encore très mal connus [*II-4*]. Les populations défavorisées sur le plan socio-économique sont souvent aussi celles qui sont exposées aux risques les plus importants.

Il apparaît essentiel de développer de nouvelles recherches en élargissant les études à de nouvelles populations (en plus de celles qualifiées de « normales ») et notamment les populations que l'on peut considérer comme étant « à risque ».

Sensibilité biologique au bruit

Il semble exister des différences notables de tolérance au bruit entre des cultures différentes, mais certains font l'hypothèse qu'il n'existe pas de différences de leur sensibilité biologique. Dans ces conditions, une tolérance culturelle plus élevée au bruit serait susceptible de conduire à des impacts plus importants en termes de santé publique.

1.1.4. Les types d'exposition

Les travaux épidémiologiques publiés à ce jour sont relativement anciens et portent uniquement sur de jeunes hommes [*§ II-1-3*]. Il existe donc peu d'informations sur l'état sanitaire auditif de la population, en particulier sur la prévalence de la presbyacousie en population générale, ainsi que sur la sévérité des déficits auditifs qui lui sont liés, ou encore sur l'existence de liens éventuels avec une exposition antérieure au bruit.

Nous recommandons d'accroître les connaissances épidémiologiques sur :
- **les atteintes auditives de la population** (prévalence et gravité des pertes auditives dans les différentes classes d'âge)
- **l'exposition** des populations afin de la mettre en rapport avec les troubles sanitaires. Les connaissances actuelles en matière de niveaux de bruit ambiant et d'exposition des populations urbaines au bruit apparaissent très insuffisantes. Il conviendrait notamment d'améliorer la

connaissance de l'exposition au bruit d'un échantillon représentatif de diverses catégories de la population, non pas en un lieu et à un moment donné, mais en valeur moyenne au cours d'une journée moyenne. Il faut donc accroître le recours à des techniques de mesure de longue durée permettant des intégrations dans le temps des mesures de l'exposition au bruit. Ce type d'études de portée nationale relève de la compétence de l'InVS.

Par analogie aux expositions aux rayons ionisants qui sont mesurées et enregistrées par des dosimètres, il serait intéressant d'évaluer la faisabilité d'un « DosiBell », appareil léger, portable et individuel qui enregistrerait les niveaux sonores et les temps d'exposition de la personne exposée. Actuellement on peut utiliser des sonomètres portables afin de mesurer l'exposition d'individus, mais ils restent d'un usage incommode car encombrants et mal adaptés à ce type d'étude. Il serait un outil de contrôle aussi bien pour le salarié que son employeur ou le médecin du travail. Il pourrait également contribuer, avec un public sélectionné, à une meilleure connaissance des multi expositions aux bruits de natures diverses.

Impacts des bruits de basses fréquences

Une prise en compte des sons graves à 32-250 Hz est nécessaire pour apprécier les impacts sanitaires du bruit des transports à l'intérieur des logements et, d'une manière plus générale, pour les bruits générés par les équipements des logements qui produisent des bruits sourds, bien que de niveaux peu élevés. Dans les villes, il existe aussi une sorte de « brouillard acoustique » de basses fréquences, lié à l'ensemble des moyens de transports [*§ III-1 et § III-2-2*].

Nous recommandons l'initiation de recherches de nature d'une part métrologique et d'autre part épidémiologique, afin de mesurer l'exposition de la population aux bruits de basses fréquences puis d'intégrer les données obtenues dans les normes, les valeurs limites d'exposition ou les réglementations.

Impacts sanitaires des multi-expositions (expositions cumulées) et coexpositions (bruit et autres paramètres environnementaux)

Dans la plupart des cas d'exposition au bruit, on relève non pas une, mais plusieurs sources sonores. Des réglementations différentes s'appliquent à chacune de ces sources, lesquelles sont mesurées à travers des descripteurs différents, rendant toute évaluation de l'exposition globale impossible. La multiexposition s'avère donc d'autant plus difficile à appréhender si les sources de bruit ne se produisent pas toutes dans le même temps [*§ II-4-2*].
De plus, les populations étudiées en laboratoire ne sont pas directement superposables aux populations qui vivent auprès de ces sources sonores. Il est donc indispensable d'observer la plus grande prudence quant à l'application automatique de niveaux ou de barèmes visant à déterminer les risques subis par les personnes vivant en zones bruyantes.

L'interférence du bruit avec la réalisation d'activités peut conduire à des accidents du travail en raison du masquage de la communication parlée ou encore du masquage de signaux sonores

importants, notamment des signaux de sécurité [*§ II-3-3*]. Dans le cadre de l'apprentissage, le bruit ambiant constitue un facteur de dégradation de la qualité de la communication et de retard à la compréhension des messages qui lui sont associés [*§ II-4-1 et § I-2-3*]. Le coût physiologique de l'immersion dans un milieu bruyant, que ce soit dans le cadre du travail ou de la formation, est vraisemblablement non négligeable, bien que difficilement chiffrable. En effet, il n'existe pas d'évaluation globale du coût des effets d'interférence du bruit.

Il conviendrait d'accroître les connaissances épidémiologiques en matière d'impacts sanitaires de l'exposition au bruit et en particulier celles concernant :

1/ les impacts sanitaires du cumul au long cours de l'exposition quotidienne aux bruits de sources diverses, en termes d'effets non auditifs.
Il n'existe pas à ce jour d'études épidémiologiques portant sur les impacts sanitaires de l'exposition au bruit environnemental (par nature, de niveau modéré) *au long cours*, en partie pour des raisons méthodologiques, mais également par manque de moyens. Pour ce qui concerne en particulier le cumul de l'exposition diurne et nocturne, il apparaît nécessaire de conduire des études approfondissant les connaissances sur les effets d'une exposition chronique pendant le sommeil à des événements sonores isolés, mais répétés.

Les effets immédiats du bruit sont parfaitement connus et documentés et, il ne paraît pas nécessaire à de rares exceptions près (notamment l'identification de groupes « sensibles »), de développer de nombreuses expérimentations de laboratoire. En revanche, nous ne connaissons pas encore les effets à long terme de l'exposition au bruit, notamment nocturne [*§ II-2-1-5*].

Pour répondre à la question des effets à long terme de l'exposition au bruit nocturne, il conviendrait de réaliser une large enquête épidémiologique centrée sur l'exposition au bruit nocturne et dans laquelle seraient comparées deux populations de personnes ayant une même exposition au bruit au cours de la journée et qui ne diffèreraient que par le niveau d'exposition au bruit au cours de la nuit. De tels travaux permettraient de déterminer la part liée à l'exposition au bruit nocturne dans les effets de l'exposition cumulée au bruit. Ce type d'étude n'a jamais été réalisé en raison du coût et de la difficulté d'une telle approche.

2/ les impacts sanitaires des coexpositions (expositions concomitantes au bruit et à d'autres types de nuisances : bruit et agents ototoxiques notamment ; bruit et températures extrêmes - chaudes ou froides - ; bruit et pollution atmosphérique, etc.).
Les populations défavorisées vivant dans des environnements dégradés sont particulièrement concernées par les expositions cumulées et les coexpositions, elles cumulent en effet l'exposition à de nombreuses nuisances, aboutissant à une mauvaise qualité de vie qui se répercute sur leur état de santé. Peuvent être également concernés des professionnels travaillant à l'extérieur ou dans des locaux particuliers (chambres froides, par exemple). De plus, en matière d'impacts sanitaires des coexpositions, les travaux disponibles, très peu nombreux, n'ont généralement porté que sur les

effets strictement *auditifs*. Il conviendrait donc d'initier des recherches élargies aux effets non auditifs des coexpositions.

3/ la diminution des performances scolaires liée à une exposition au bruit dans les salles de classes. Les connaissances actuelles montrent qu'une exposition excessive au bruit dans le cadre de l'enseignement primaire diminue la compréhension du discours de l'instituteur, augmente l'irritabilité et la fatigue des élèves et des enseignants, entraîne un retard d'acquisition de la lecture. Certains travaux laissent à penser que les facteurs socio-économiques constituent un facteur de confusion important, ce qu'il conviendrait de vérifier. Peu de travaux sont en revanche disponibles concernant le lien entre niveaux de bruit dans les salles de classe et réussite scolaire des collégiens et lycéens. De même, peu d'études sont disponibles concernant les liens entre effets biologiques (stress, pression artérielle, troubles digestifs, troubles du comportement) et exposition au bruit. Il paraît donc utile de proposer de telles études, d'autant plus qu'elles s'adressent à une population particulièrement exposée au bruit à l'occasion des loisirs.

1.2. Indices de bruit et indicateurs bruit-santé

1.2.1. Indicateurs intégrés et indicateurs événementiels

Les descripteurs acoustiques de l'exposition au bruit sont multiples, ce qui n'est pas un facteur de transparence en matière de gestion des nuisances sonores [*partie III*]. On distingue les indices *intégrés* (énergétiques ou statistiques) et les indices *évènementiels*. Dans le premier cas, les valeurs données sont globalement plus faibles (car moyennées sur une longue période de temps) et elles ne devraient pouvoir être mises en relation qu'avec une évaluation globale, tandis que, dans le second cas, les valeurs peuvent être mises en relation avec des effets immédiatement observables sur la santé.

Un descripteur ou indice *intégré* peut sans doute rendre compte de la *gêne globale* exprimée par des individus pour une période d'exposition telle que la journée. En revanche, en ce qui concerne les perturbations du sommeil, vécues inconsciemment par le dormeur et pour lequel toute interruption de son processus hypnique peut entraîner un éveil prolongé et une réduction du temps de sommeil, chaque événement bruyant devrait être quantifié. Un indice intégré sur les 8 heures nocturnes est insuffisant pour rendre compte des perturbations biologiques subies du fait de la survenue d'événements bruyants ponctuels au cours de la nuit.

Les indicateurs retenus dans la directive européenne 2002/49/CE relative au bruit de l'environnement (L_{den} et L_{night}) sont fondés sur l'évaluation de l'énergie équivalente développée sur de longues périodes (niveau L_{Aeq} sur la période jour, soirée, nuit). Ils ne traduisent pas de façon pertinente toutes les situations et notamment l'émergence des sources événementielles dans un bruit

de fond faible (bruit nocturne par exemple). Ils sont donc insuffisants comme outil de gestion des niveaux de bruit dans la perspective de protéger la santé des populations.

• Il est essentiel de préciser systématiquement quelle catégorie d'indices (intégrés ou événementiels) est utilisée pour quantifier l'environnement ou l'événement sonore.

• Afin de prendre en considération plusieurs paramètres en plus du niveau énergétique total, il convient de compléter, dans la réglementation française, les indicateurs énergétiques imposés dans la directive 2002/49/CE, en tenant compte :

- de l'*émergence* du bruit (ex. d'indicateur d'émergence : le Lmax mais celui-ci n'est pas pleinement satisfaisant) ;
- du *nombre d'événements sonores ;*
- de la *période* pendant laquelle les événements bruyants se produisent, en particulier la nuit.

Il est ainsi souhaitable que les indices *évènementiels* soient introduits dans les indices déjà mis en place de manière à prendre en compte les effets sur le sommeil de l'exposition au bruit.
Cependant, il convient de s'en tenir à un petit nombre d'indicateurs pertinents appliqués à l'ensemble des sources en supprimant les indicateurs spécifiques à certains types de sources.

• Pour ce qui concerne les indicateur intégrés de la directive européenne 2002/49/CE, les pondérations (pénalités) du Lden, retenues à ce jour pour les périodes de soirée et de nuit, méritent d'être reconsidérées de façon approfondie et validées.
Dans le cadre du programme Santé Publique initié par le Conseil du Parlement Européen (décision n° 1786/2002/EC du 23/09/02), l'OMS (Bureau Régional Européen à Bonn) a déposé récemment le projet *Night Noise Guidelines* (NNGL). Les deux principaux objectifs de ce projet consistent à :
- proposer des recommandations (valeurs limites) en matière de bruit nocturne, pour des expositions de courte comme de longue durée, dans le but de protéger la santé des populations ;
- valider la pondération (+10 dB) affectée à la période nocturne dans le calcul du Lden.
Ces travaux pourraient être suivis et pris en compte dans la réglementation nationale.

• L'élaboration d'un indicateur acoustique urbain pertinent sur les périodes sensibles doit également être envisagée. En effet, la traduction physique du phénomène d'émergence par rapport au bruit de fond semble être indispensable tant dans le plan temporel que dans le plan fréquentiel. Si l'indicateur L_{Amax} est intéressant par sa simplicité de compréhension et de mesure physique, cette simplicité peut limiter son intérêt, car il représente de manière insatisfaisante l'ensemble du phénomène considéré.

1.2.2. Multiexpositions et indice synthétique

Les multiexpositions en situation urbaine sont peu documentées. Lorsque plusieurs sources de bruit sont présentes simultanément (par exemple : une route, une voie ferrée et une installation classée pour la protection de l'environnement), la réglementation relative à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transport terrestre ne procède pas au cumul des sources de bruit

et donc ne prend pas en compte le total de l'exposition subie. Certaines études ont mis en avant un « bonus » du bruit ferroviaire par rapport à la route, (bonus variable selon différentes situations et périodes) [*§ III-3-3-2*]. Ce bonus est cependant remis en cause par d'autres études. Un indicateur composite synthétiserait les différents paramètres et indicateurs mentionnés ci-dessus (niveau énergétique total, émergence ou valeur maximale, nombre d'événements, période d'émission du bruit). Appliqué notamment à la mesure d'exposition des populations urbaines au bruit des infrastructures de transport, il faciliterait la mise en place d'actions et de moyens de protection à ce type de nuisance.

Un tel indicateur favoriserait l'appréhension des niveaux d'exposition aussi bien par le public que par les décideurs. Il permettrait alors de fonder de manière plus accessible à la fois la réglementation et l'action des pouvoirs publics. Dans un souci de simplification, il remplacerait un ensemble d'indicateurs : famille des indices statistiques (L_{90}, L_{50}, L_{10}), famille des indices énergétiques SEL, PNEdB ou composés.

Quelle que soit la période (jour, nuit) considérée, quelles que soient la diversité des bruits et leurs caractéristiques relevées (intensité sonore, fréquence, durée, nombre de bruits, niveau d'émergence,…), la construction d'un indicateur unique serait pertinente pour rendre compte des impacts sanitaires d'une exposition cumulée à divers types de bruits. En usage dans de nombreux pays, il permettrait des comparaisons et une convergence des politiques nationales de lutte contre les nuisances sonores.

Nous recommandons de mettre en place un groupe de travail constitué d'acousticiens et de médecins qui travaillerait à l'élaboration de ce nouvel indicateur composite. Celui-ci pourrait être proposé ensuite pour une utilisation élargie au niveau européen, notamment dans le cadre de l'application de la directive 2002/49/ CE.

2. RECOMMANDATIONS POUR LES POUVOIRS PUBLICS : STRATEGIE D'ACTION, DISPOSITIF DE SURVEILLANCE, REGLEMENTATION

2.1. Stratégie d'action

La stratégie d'action proposée par le rapport du groupe technique national de définition des objectifs (rapport GTNDO), annexant la proposition de loi de santé publique pour les années 2004 à 2008, traite de la lutte contre les nuisances sonores. La stratégie proposée consiste à :
- faire respecter les valeurs limites relatives à l'exposition au bruit ;
- mesurer le niveau d'exposition des populations : contrôle des Etablissements Recevant du Public sensibles (écoles, crèches, établissements médico-sociaux, discothèques) et études de la distribution des niveaux domestiques d'exposition (enquêtes de prévalence répétées dans le temps) ;
- intégrer les objectifs de réduction des nuisances sonores dans la politique d'aménagement du territoire et de la ville ;
- informer et sensibiliser la population aux risques sanitaires liés au bruit par une campagne nationale sur les risques auditifs qui sont les plus faciles à mettre en évidence, mais aussi sensibiliser sur les effets extra auditifs du bruit.

Cet ensemble d'actions correspond en tous points aux recommandations de ce rapport. Il convient donc de s'assurer de leur mise en œuvre effective.

2.2. Dispositif de surveillance des impacts sanitaires du bruit

L'évaluation des résultats d'une politique de lutte contre les nuisances sonores passe obligatoirement par la définition et le suivi d'indicateurs. Ces derniers doivent au préalable être définis comme étant représentatifs des objectifs poursuivis en matière de prévention des impacts sanitaires du bruit. Le dispositif de surveillance doit permettre le suivi de ces indicateurs.
Un tel dispositif de surveillance des impacts sanitaires du bruit pourrait être coordonné par l'Institut de veille sanitaire (InVS), dont la mission est de surveiller l'état de santé de l'ensemble de la population et d'alerter les pouvoirs publics en cas de menace pour la santé publique.

La surveillance des impacts sanitaires du bruit peut se fonder sur la mesure continue de « marqueurs » ciblés, directs ou indirects, assez aisément disponibles, et choisis pour leur capacité à "émettre" des signaux sanitaires sur les effets du bruit.

2.2.1. Marqueurs sanitaires suivis par le dispositif de surveillance des impacts sanitaires du bruit

Ce dispositif pourrait s'attacher à mesurer et contrôler :

- des marqueurs sanitaires *indirects*, tels que la consommation médicamenteuse de psychotropes (somnifères, anxiolytiques, anti-dépresseurs) au sein de zones urbaines plus ou moins bruyantes mais présentant des caractéristiques socio-démographiques qui les rendent comparables et homogènes. Il peut également s'agir d'indicateurs de qualité de sommeil, d'irritabilité, d'inattention de l'enfant à l'école (fondée notamment sur les résultats scolaires, l'absentéisme), selon ces mêmes zones urbaines

- des marqueurs sanitaires *directs* tels que les capacités auditives des adolescents : audiogrammes et tests de compréhension en milieu bruyant (en lien avec la fréquence de sorties en discothèques, concerts et soirées et avec les pratiques d'écoute musicale (durée quotidienne et volume sonore habituel d'utilisation de baladeurs, volume d'écoute des chaînes stéréophoniques)

Il conviendrait pour le choix des marqueurs sanitaires suivis par le réseau de surveillance épidémiologique de l'état de la santé auditive de la population d'adopter au moins certains des « indicateurs bruit-santé » actuellement en cours d'élaboration par le bureau européen de l'OMS. Les marqueurs sanitaires actuellement en discussion par les membres du groupe de travail auprès de l'OMS sont les suivants : « déclaration de gêne et de perturbations du sommeil dues au bruit » et « fraction attribuable à l'exposition au bruit de la morbidité et/ou de la mortalité liées aux troubles cardio-vasculaires ». Mais ce dernier « indicateur » doit être ajusté ; il semble manquer des données pour le définir de façon correcte[135].

2.2.2. Réseau institutionnel de surveillance des impacts sanitaires du bruit

Le dispositif de surveillance des impacts sanitaires du bruit pourrait s'appuyer sur :
- les services de santé scolaire : ceux-ci disposent de données, de qualité très variable, sur l'état auditif des enfants et jeunes qu'il convient d'harmoniser et de collecter afin de les exploiter ;
- les services de médecine préventive universitaire ;
- La Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (Cnam-TS) et les caisses d'assurance maladie, disposant d'un réseau de centres d'examens de santé et qui suivent de manière régulière l'état de santé des salariés et de leurs ayants-droits : elles pourraient suivre un ou quelques marqueurs de l'état de santé auditive à l'occasion des bilans de santé effectués tous les 5 ans.

Au niveau local, peuvent intervenir :
- les cellules interrégionales d'épidémiologie d'intervention (CIREs) qui peuvent intervenir en identifiant localement les sources utiles et les partenaires à intégrer dans un système de réseau pour faire remonter les données à l'InVS, et en formant les personnels de santé afin de leur permettre de dépister les pertes auditives (médecins scolaires) ;

---

[135] Les autres « indicateurs bruit-santé » discutés pour l'OMS sont soit des indicateurs d'exposition (par exemple l'indicateur « population exposée à différents niveaux de bruit par type de source de bruit - transports routiers, aériens, ferroviaires, industries, autres »), soit des indicateurs d'action politique (par exemple l'indicateur « existence d'une législation nationale sur les valeurs-limites des loisirs en plein air et des discothèques »). Il ne s'agit donc pas de marqueurs sanitaires tels qu'ils devraient être contrôlés dans le réseau de surveillance afin de rendre compte de l'impact sur la santé des populations de l'exposition au bruit.

- les Observatoires Régionaux de la Santé, qui peuvent fournir des données spécifiques à leur région. Par exemple, dans les régions où se trouvent les dix plus grands aérodromes bénéficiant du dispositif d'aide à l'insonorisation au voisinage des aérodromes (pour lesquels un Plan de Gêne Sonore est établi), les ORS peuvent fournir des marqueurs de l'exposition de la population régionale aux nuisances sonores aériennes, parmi ceux qui sont définis plus haut.
- les services de médecine du travail, qui disposent sur chaque salarié d'un dossier de santé complet, ainsi que de données relatives aux différentes expositions professionnelles. Ces données sont cependant inexploitées en dehors du cadre des risques professionnels et restent centrées sur le risque auditif de l'exposition au bruit en milieu professionnel, en méconnaissant les expositions d'autre nature.
- les CRAM ; elles disposent de données en matière de maladies professionnelles et d'indemnisation des maladies professionnelles et pourraient fournir des informations sur le risque lié à l'exposition au bruit en milieu de travail ;
- les Unions régionales de médecins libéraux; les médecins libéraux sont en contact avec la population et disposent dans leurs dossiers médicaux d'informations relatives à la prévalence des effets auditifs du bruit et des effets non auditifs. Ces données individuelles ne font à ce jour l'objet d'aucune analyse globale et sont uniquement utilisées pour la prise en charge individuelle des patients ;
- les statisticiens régionaux (DRASS) pourraient coordonner le recueil des informations en provenance des sources diverses et les transmettre aux CIREs ou à l'InVS ;
- les DDASS : à l'initiative de la DDASS 78 se met actuellement en place en Île-de-France un réseau de recueil des traumatismes sonores aigus en collaboration avec les ORL de la région. Si cette expérience est concluante, elle pourrait être étendue à l'ensemble du territoire. L'InVS est actuellement associé à cette étude.

Enfin, plus globalement, en matière de lutte contre les nuisances sonores, l'émiettement des responsabilités et l'enchevêtrement des compétences sont contraires aux besoins de pilotage de proximité. Le bruit dans l'environnement est un problème *hétérogène*, avec des sources multiples, dispersées, relevant de compétences administratives et de réglementations diverses, et présentant une forte composante liée aux modes de vie, aux comportements, et donc au civisme.

Nous recommandons de mettre en place un dispositif de surveillance, piloté par l'InVS, des impacts sanitaires du bruit. Ce dispositif pourrait traiter les données sanitaires brutes recueillies auprès des différents services de santé, ainsi que des CIREs et des services déconcentrés de l'État chargés d'identifier les dépositaires de ces informations ou de mettre en œuvre un recueil d'informations lorsqu'il n'existe pas.

2.3. Réglementation et valeurs-limites

2.3.1. Simplification et centralisation de la réglementation

Si l'arsenal réglementaire est relativement complet en matière de lutte contre le bruit, il se complexifie sans cesse. Les sources et les effets du bruit étant multiples, la réglementation sur le bruit est inscrite dans divers textes et apparaît dans de nombreux codes, ce qui rend son application délicate.

Il est proposé de centraliser la réglementation en matière de bruit, de la simplifier et de fournir aux autorités compétentes les moyens matériels et humains de la mettre réellement en application.
Il pourrait également être envisagé de regrouper les compétences, les connaissances, l'expertise en matière de gestion du bruit, au plan local (municipalité ou groupement de communes : ce qui existe avec les pôles de compétence bruit) et national, afin de définir des responsabilités et des compétences précises pour chacun des acteurs.

2.3.2. Protection des périodes et des populations « sensibles »

Les effets du bruit sur la santé sont particulièrement marqués pour les périodes de nuit et soirée. Les pouvoirs publics pourraient être amenés à renforcer les limitations et exigences pour les périodes de soirée et nuit en termes d'exposition de la population au bruit du trafic routier.

En matière d'exposition concomitante au bruit et à d'autres nuisances (par exemples les agents ototoxiques), il n'apparaît actuellement pas envisageable d'élaborer des indicateurs pertinents au plan sanitaire représentatifs de coexpositions, en raison de notre ignorance de l'ensemble des mécanismes en cause, des niveaux de leur interaction et des effets réels de chacun des facteurs.

Afin de mieux protéger les populations sensibilisées par des agents ototoxiques en milieu professionnel, il pourrait être proposé, par mesure de précaution, de réduire les valeurs limites d'exposition au bruit. Il relèverait alors des missions du ministère chargé du travail de fixer les niveaux de valeurs-limites, sur propositions de l'INRS, puis de déterminer les règles de contrôle du respect de ces valeurs.

Les jeunes sont particulièrement exposés à des niveaux sonores élevés à l'occasion des pratiques d'écoute de musiques amplifiées. On pourrait envisager d'installer un périmètre de sécurité infranchissable entre le public et les sources sonores puissantes (« murs » d'enceintes, par exemple), dont les niveaux d'émission sont réglementés. Ce périmètre de sécurité délimiterait la zone où les valeurs limites sont susceptibles d'être dépassées à proximité des sources et où le public ne devrait donc pas avoir accès.

La comparaison des recommandations concernant le niveau de bruit ambiant maximal dans les salles de classe montre que les valeurs françaises sont moins exigeantes que celles d'autres pays [*§ I-2-3-2*]. Il conviendrait de reconsidérer les valeurs-limites en matière de niveau de bruit maximal dans les locaux scolaires.

2.3.3. Bruits de voisinage

En ce qui concerne les bruits de voisinage, la circulaire CRIM.03/G4 du ministère de la justice en date du 16 octobre 2003, relative au volet pénal de la lutte contre les bruits, dans le cadre du Programme national de lutte contre le bruit, rappelle notamment que les autorités municipales et préfectorales disposent de larges prérogatives afin de réglementer les activités susceptibles de troubler la tranquillité publique. Elle rappelle également la longue liste des fonctionnaires et agents de l'État et des collectivités territoriales chargés de constater les infractions, ainsi que les textes de référence en matière de constatation des infractions. Elle rappelle que pour avoir un effet dissuasif, les procès verbaux doivent être suivis d'une réponse pénale et que le classement sans suite des procédures doit rester exceptionnel, contrairement à la situation actuelle. Elle propose également de diversifier le mode de traitement des procédures, afin de permettre la résolution des conflits de voisinage générés ou alimentés par des nuisances sonores, tout en évitant de laisser se développer un sentiment d'impunité chez les émetteurs de ces nuisances (sentiment actuellement très répandu chez les fauteurs de trouble). Cette circulaire rappelle enfin la compétence donnée par décret du 23 juin 2003 aux juges de proximité pour sanctionner les bruits de voisinage.

Une réelle application des dispositions et rappels contenus dans cette circulaire serait de nature à modifier sensiblement la situation actuelle. En effet, en matière de bruits de voisinage, non seulement les fauteurs de troubles développent un sentiment d'impunité, mais en outre, ils ont tendance à nier l'existence du trouble lui-même, y compris lorsqu'il est évident et donne lieu à des plaintes répétées. Pour que ces dispositions portent leurs fruits, il convient que les mesures sonométriques soient réalisées dans les meilleurs délais et que les procédures puissent aboutir rapidement.

2.3.4. Contrôle de la diffusion des échappements non homologués

Selon le décret n° 2003-1228 du 16 décembre 2003 modifiant le décret n° 95-79 du 23 janvier 1995 et relatif à la procédure d'homologation des silencieux et dispositifs d'échappement des véhicules, les échappements des deux-roues motorisés sont soumis à homologation. Or le non respect permanent de cette réglementation entraîne une gêne à l'origine des plaintes majeures de la population[136].

Il conviendrait d'une part, de faire évoluer la réglementation de manière à ce que les pots non homologués ne puissent être vendus que pour une utilisation dans le cadre de compétitions sportives réelles (échappements vendus exclusivement dans des magasins spécialisés avec vérification

[136] Ainsi une étude conduite pour le compte de l'Observatoire du bruit à Paris en 2002, qui a permis d'établir un classement des bruits, source par source, indique que les deux-roues motorisés sont perçus comme la source de bruit la plus importante, source qui revêt un caractère insupportable ou intolérable pour 70 % des personnes interrogées.

effective des licences de compétition des acheteurs) ; d'autre part, de faire en sorte que le prix d'achat des pots non homologués ne soit pas sensiblement inférieur à celui des pots homologués.

2.3.5. Qualité acoustique des bâtiments

Beaucoup de pays européens possèdent, en plus d'un niveau réglementaire, différents niveaux de qualité acoustique supérieure à caractère non réglementaire, mais qui jouent un rôle important dans le cadre des lois de l'offre et de la demande.

L'approche par des niveaux de qualités acoustiques supérieures devrait être repensée en France, non plus seulement sous l'angle du logement social, mais également pour servir de référence aux marchés privés et pour tous les types de construction.

2.3.6. Vibrations et bruits solidiens

Il n'existe actuellement en France ni réglementation ni recommandation fixant des limites aux niveaux vibratoires auxquels sont soumis les habitants dans leur logement. Il n'y a pas non plus de normes françaises ou européennes spécifiques aux vibrations et bruits solidiens des transports terrestres, et qui définissent la manière de mesurer les vibrations (que ce soit au sol en façade de bâtiment ou dans les habitations), la manière de mesurer le bruit dans les locaux (les normes courantes ne sont pas applicables aux basses fréquences du bruit solidien), les indices appropriés [*§ I-3-1-3*]. Il conviendrait donc de définir les indices appropriés et la manière de mesurer les vibrations et bruits solidiens. De plus, des protections peuvent être préconisées soit au niveau des voies ferrées, soit au niveau des bâtiments.

3. RECOMMANDATIONS POUR LES ELUS LOCAUX

3.1. Aménagement / urbanisme

La prévention des nuisances sonores consiste, d'une part, à éviter d'implanter des sources de bruit à proximité de bâtiments ou de zones sensibles (habitats, établissements de soin, médico-sociaux, ou d'enseignement, zones calmes à préserver…) ; d'autre part, à éviter d'installer des populations dans des zones soumises à des bruits excessifs. Elle passe donc par les documents d'urbanisme et par les décisions en matière de permis de construire [*IV-1*].

Les différents modes de transports constituant à ce jour la principale source d'émissions sonores, l'aménagement des espaces et les politiques urbaines visant à rééquilibrer le partage modal aux détriments des modes motorisés, les plus bruyants, apparaît comme un levier incontournable. La durée de vie des grands aménagements, y compris les infrastructures de transports, justifie que soient pris en compte dès aujourd'hui des paramètres acoustiques dans les choix d'infrastructures.
La loi Solidarité et Renouvellement Urbains, le plan local d'urbanisme, le plan de déplacements urbains et le permis de construire constituent des outils pertinents de prévention des nuisances sonores. Les collectivités territoriales disposent de possibilités d'action en ce domaine. La directive du 25 juin 2002 impose une cartographie du bruit et des plans d'action, qui sont destinés à lutter contre les nuisances sonores dans l'environnement, en particulier en provenance des infrastructures de transport, et à protéger les zones calmes.

Afin d'éviter des décisions préjudiciables à la santé de leurs administrés, les élus pourraient être davantage formés aux éléments acoustiques de l'aménagement urbain. Ainsi, ils pourraient prendre en considération les conséquences, en termes d'émission et d'exposition au bruit, des choix d'implantation d'activités et utiliser judicieusement les outils de décision et les instruments de planification et d'aménagement à leur disposition (PDU, PLU, permis de construire). Pour l'ensemble de ces démarches, par exemple pour la prise en compte du bruit dans l'examen des permis de construire, les élus pourraient avoir recours au pôle de compétences Bruit de leur département dont les moyens d'action doivent être élargis. Ainsi le pôle de compétence Bruit pourrait devenir un partenaire institutionnel incontournable en matière de prévention et de traitement des nuisances sonores.
Le bruit reste une compétence de la seule commune, et l'on peut regretter que les nuisances sonores ne fassent pas l'objet d'actions plus globales, par exemple à l'échelle des structures intercommunales. Une politique globale et cohérente de lutte contre le bruit serait plus efficace au niveau de l'agglomération. Cela signifierait la mise en place de moyens financiers et humains plus importants au service de toutes les communes de l'agglomération.

3.2. Études d'impact : bruit des transports terrestres

Les collectivités locales sont responsables de la qualité des études d'impact des projets dont elles assurent la maîtrise d'ouvrage [*§ IV-1-1-2*]. La qualité des études acoustiques pourrait être améliorée de façon significative, car la méthodologie retenue à ce jour ne prend pas en compte les aspects sanitaires et se contente, la plupart du temps, de se conformer aux exigences acoustiques réglementaires exprimées en énergie acoustique équivalente (L_{Aeq}).

Il est souhaitable de recueillir un avis acoustique systématique au niveau de l'avant projet détaillé des infrastructures de transport. Il appartiendrait aux DDASS d'identifier les acousticiens les plus compétents pour délivrer un avis pertinent. La réglementation relative aux études d'impact devrait être modifiée afin d'améliorer l'information dans le cadre des enquêtes publiques préalables à l'autorisation des activités ou des projets d'infrastructures : la production de cartes de bruit au stade de l'étude d'impact devrait devenir systématique, afin de présenter l'état sonore initial dans la zone d'implantation du projet ainsi que les niveaux de bruit attendus après réalisation du projet. Ces niveaux de bruit devraient être obtenus à partir de modèles communs validés au plan national.
Afin de vérifier que les objectifs acoustiques réglementaires sont bien respectés et, bien que la réglementation en vigueur ne l'impose pas, les collectivités locales pourraient régulièrement réaliser des campagnes de mesures des niveaux sonores après mise en service d'infrastructure nouvelle ou modifiée.

4. RECOMMANDATIONS POUR LES PROFESSIONNELS

4.1. Isolation et conception des bâtiments

4.1.1. Conception des bâtiments

La prise en compte des critères acoustiques dès la conception des bâtiments, tout comme l'insonorisation *a priori* des salles accueillant des groupes de personnes (restaurants d'entreprise, salles de réunion, lieux de vie, établissements scolaires, etc.) sont aujourd'hui indispensables, aussi bien en ce qui concerne l'insonorisation contre les bruits intérieurs au bâtiment que contre les bruits d'origine extérieure. Il conviendrait de sensibiliser les maîtres d'ouvrage et de parfaire la formation des maîtres d'œuvre en matière de qualités acoustiques des bâtiments, notamment en ce qui concerne l'amélioration des qualités acoustiques des locaux d'enseignement (écoles, collèges, lycées, universités, etc.), ou de certains locaux de travail (bureaux paysagés), en veillant tout

particulièrement au temps de réverbération, afin que les échanges oraux puissent être compréhensibles et l'apprentissage facilité.

Lorsque cela n'est pas le cas, l'opération lancée en octobre 2003 par la ministre en charge de l'environnement dans le cadre du plan national d'actions contre le bruit et visant notamment à insonoriser des cantines et locaux scolaires, mériterait d'être élargie.

4.1.2. Amélioration des produits d'isolation

Des progrès dans la mise au point de nouveaux produits performants et économiques ne semblent plus devoir être attendus d'une approche par tâtonnement expérimental, mais plutôt d'une compréhension fine des phénomènes physiques mis en jeu [*§ I-1-3*].
Les équipements d'isolation phonique qui, aujourd'hui, contribuent très faiblement au coût de construction, mais jouent un rôle important dans le confort acoustique (entrées d'air et autres équipements de ventilation) pourraient être particulièrement améliorés. Les ascenseurs, qui sont des équipements plus coûteux et plus techniques, pourraient eux aussi connaître des évolutions afin de réduire les coûts des mesures d'isolation phonique sur le gros œuvre des constructions ainsi que les dépenses consenties pour atténuer leurs effets a posteriori.

Des méthodes de mesure et de caractérisation des matériaux plus précises et moins coûteuses permettraient un contrôle plus rigoureux de la qualité des constructions.

4.1.3. Besoins en informations du consommateur

La construction neuve est généralement prise en charge par des professionnels qui savent trouver les informations pertinentes et les utiliser efficacement pour gérer le problème acoustique. Il n'en est pas de même pour le marché très important de la réhabilitation, sur lequel les bureaux d'étude sont absents et où le prescripteur, l'acheteur et le poseur ne font parfois qu'un seul, le particulier lui-même.

La mise à disposition du particulier de méthodologies simples et compréhensibles, utilisant un marquage explicite sur les produits disponibles dans le négoce et dans les grandes surfaces de bricolage, lui permettrait d'obtenir le résultat acoustique espéré. Dans le cas où la pose est réalisée par des non professionnels, les règles de mise en œuvre pourraient être préalablement clairement définies. On pourrait également envisager de délivrer une qualification aux entreprises qui offrent des garanties prouvées dans la pose de produits destinés à améliorer l'acoustique, sachant que pour certains, la mise en œuvre est aussi importante que le choix du produit dans l'obtention du résultat final.
Des opérations de démonstration ou des « maisons témoins » pourraient se révéler utiles pour échanger avec le public et parfaire son apprentissage des bonnes pratiques, en particulier en ce qui concerne l'amélioration de l'isolement des bâtiments situés en zone d'aéroport. Les méthodes de

simulation virtuelle du résultat acoustique espéré sont très utiles également pour faire l'économie d'un dialogue trop technique que le particulier ne maîtrise la plupart du temps que difficilement.

4.2. Recherches dans le domaine des équipements

Actuellement, les *matériaux* mis en œuvre dans un site urbain sont réfléchissants (façades des bâtiments, rues piétonnes, voies circulées, mobilier urbain,…), entraînant une amplification des signaux sonores émis, pouvant aller de 2 à 8 dB(A).

Une étude sur l'effet de l'utilisation de matériaux absorbants en milieu urbain pourrait être initiée, en liaison avec les différents opérateurs (industriels, architectes, ingénieurs, chercheurs,…).

Dans le domaine des équipements routiers, il est souhaitable de soutenir la recherche en matière de *couche de roulement*, dans un objectif de réduction pérenne du bruit [*§ I-3-1-1*]. Le maintien dans le temps des performances nécessaires, à ce jour non assuré, pourrait devenir une condition indispensable pour que les revêtements de chaussées soient homologués comme moyens de protection contre le bruit.

Des pistes intéressantes apparaissent également dans la recherche sur les *écrans acoustiques*, notamment en termes d'amélioration des performances liées à la diffraction (couronnement, fractales) [*§ I-4-2*]. Mais si ce type de moyen de protection est à ce jour le plus utilisé, justifiant que des améliorations lui soient apportées, il paraît *prioritaire* de s'attacher à réduire les émissions sonores *à la source* dans un objectif de protection des populations. Ceci passe par des améliorations techniques sur les véhicules et les chaussées, mais avant tout sur la prise en compte très en amont des questions de nuisances sonores, dès la phase de planification urbaine, puis dans les décisions d'installations d'activités et de logement, dans les caractéristiques urbanistiques des bâtiments et des quartiers.

4.3. Recherches dans le domaine des véhicules automobiles

L'évolution probable de la motorisation thermique actuelle vers l'hybridation (électrique/thermique) semble constituer une avancée en termes d'émissions sonores. La recherche dans le domaine des « véhicules propres » - hybride mais aussi tout électrique - se légitime donc également sur le plan acoustique.

5. RECOMMANDATIONS POUR LE GRAND PUBLIC ET LES POPULATIONS SENSIBLES

Tous les individus d'une population ne sont pas égaux face au bruit. Il existe des facteurs de vulnérabilité qui aggravent la dégradation de la capacité auditive lors de l'exposition au bruit. Ce risque est difficilement mesurable dans certaines situations, car il dépend du degré de sévérité ou de concentration du facteur responsable de la vulnérabilité, surtout lorsque la cause est individuelle (otites, traumatismes crâniens, prise de médicaments, âge, etc..) [*§ II-1-2-4*].

Si l'exposition sonore en milieu industriel est de mieux en mieux évaluée et contrôlée, en revanche, l'exposition lors des activités de loisirs ne l'est pas [*§ I-2-4-1*]. Afin que chacun puisse évaluer le risque de dégradation de sa capacité auditive lors d'une exposition bruyante, les facteurs de susceptibilité au bruit doivent être connus de tous, au fur et à mesure que progressent les connaissances dans différents milieux. La diffusion de l'information et la communication sont donc essentielles. Le plan national d'actions contre le bruit lancé le 6 octobre 2003 par la ministre en charge de l'environnement prévoit d'intégrer l'éducation à l'environnement aux enseignements du primaire et du secondaire à partir de la rentrée 2005. « L'éducation au monde sonore » doit en faire partie à travers trois thèmes :

- l'écoute et la découverte d'un environnement sonore (sensibilisation des enfants aux phénomènes vibrations et sons) ;
- l'éducation au civisme (initiation au respect d'autrui et au respect de la qualité de vie sonore) ;
- la prévention des risques auditifs (dossier de presse/plan national d'actions contre le bruit, octobre 2003).

L'objectif est une large sensibilisation des enfants du primaire, ainsi qu'une formation des enseignants, des conseillers en éducation musicale, des inspecteurs de l'éducation nationale et du personnel médical des établissements scolaires.

Il convient à cet égard de développer des documents d'information et de formation pertinents destinés aux enseignants et aux élèves pour remplir cet objectif de formation scolaire. Plus globalement, il apparaît nécessaire de donner aux établissements d'enseignement les moyens en termes de formation des enseignants, de temps et de matériels d'atteindre de tels objectifs, à défaut de quoi cette proposition restera un vœu pieux.

Il pourrait être fourni une information de prévention vis-à-vis de l'ensemble des risques auditifs, en adaptant les actions aux publics visés, en tenant compte des pratiques sonores et culturelles. Il s'agirait d'informer, faute de pouvoir dépister par une mesure objective, ou mieux encore, parallèlement à une telle politique de dépistage. Le grand public devrait notamment être informé des facteurs de susceptibilité interindividuelle, des risques que présente l'utilisation d'agents ototoxiques, notamment médicamenteux.

Les expositions sonores les plus délétères en termes de santé publique, entraînant des pertes de sensibilité auditive statistiquement significatives, sont les concerts de groupes, les discothèques et les baladeurs. A ce jour et à de rares exceptions près, médias, fabricants de matériels hi-fi, maisons de disque et artistes valorisent les niveaux sonores très élevés.

Une information concernant les facteurs de risque liés à l'exposition au bruit amplifiée est nécessaire pour que les risques auditifs soient mieux pris en compte et que les comportements se modifient. Une telle sensibilisation s'adresserait à l'ensemble de la population, et tout particulièrement aux jeunes dont les pratiques d'écoute de musique amplifiée se sont considérablement accrues au cours des dernières années, conduisant à des expositions dangereuses à des niveaux sonores élevés.

Cette sensibilisation pourrait être réalisée par le corps médical ; auprès des jeunes, l'efficacité de campagnes impliquant des acteurs «crédibles». Un exemple de campagne de sensibilisation, conduite auprès de lycéens sur les risques auditifs liés à l'écoute de musiques amplifiées est présenté en annexe de ce rapport. Ce type d'opération mériterait d'être imité et réalisé sur l'ensemble du territoire français. Si l'INPES a vocation à coordonner de telles campagnes de portée nationale, un relais sur le terrain semble indispensable et pourrait se faire avec l'aide des services de santé scolaire, puis plus tard à l'occasion de différents bilans de santé ou visites de contrôle périodique, notamment dans le cadre de la médecine du travail. Il s'agit d'inciter la population-cible à se protéger. Le bouchon d'oreille en mousse devrait pouvoir trouver sa place dans toutes les poches au même titre qu'un mouchoir où un comprimé d'aspirine, c'est-à-dire, être sous la main en situation de besoin.

Le seuil de douleur auditive (120 dB(A)) est supérieur au seuil de danger (85 dB(A)). De ce fait la personne exposée n'est pas prévenue d'un risque auditif. Tout dépend de sa sensibilité personnelle, de son éducation, de sa connaissance ou non des dangers du bruit.

Nous suggérons que les sources de bruits dangereux (concerts, boîtes de nuit, machines-outils…) soient surveillées par des sonomètres avec un grand affichage visible du public, associés à des périmètres de sécurité matérialisés par des barrières ou une signalisation au sol.