



**ENSP**

ÉCOLE NATIONALE DE  
LA SANTÉ PUBLIQUE

**RENNES**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Ingénieurs du génie sanitaire 2001-2002**

Date du Jury : **24 septembre 2002**

**Les effets du bruit d'une activité aéroportuaire  
sur la santé des populations riveraines :**

**éléments d'analyse  
du volet sanitaire des études d'impact**

Présenté par  
Jeanne FALIU  
Ingénieur ENSI Limoges  
*Eau & Environnement*

Lieu du stage  
Direction Générale de la Santé (Paris)  
Bureau "air, sol, déchets" (SD7B)

Responsable professionnel  
Dr. Isabelle NICOULET, DGS-SD7B

Référent pédagogique  
Michèle LEGEAS, ENSP-EGERIES

---

## Remerciements

---

Je remercie Monsieur Thierry Michelon, sous-directeur responsable de la sous-direction de la gestion des risques des milieux de la DGS, pour l'accueil au sein du bureau "air, sol, déchets" et la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Je remercie tout particulièrement Madame Isabelle Nicoulet, Médecin Inspecteur de Santé Publique et responsable de la partie "volet sanitaire des études d'impact" à la DGS, pour m'avoir encadrée et prodigué son expérience pendant toute la durée de ce stage.

Je remercie également Madame Michèle Legeas, enseignante au département EGERIES de l'ENSP, pour son soutien et ses conseils pendant la préparation et la réalisation de ce mémoire. Je tiens à remercier aussi Séverine Deguen et Bernard Junod pour leurs conseils en statistiques, épidémiologie et méthodologie générale.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des personnes qui ont accepté de me recevoir au sein de leur organisme, pour me faire part de leurs connaissances et de leur point de vue sur la problématique du stage.

Un grand merci également à l'ensemble du personnel du bureau 7B pour son accueil et sa sympathie. Je remercie Monsieur Guy Béchu du bureau 7C, spécialiste du bruit à la DGS pour son aide, et Madame Carole Marchal pour la mise à disposition de son bureau qui m'a permis l'accomplissement de ce travail dans des conditions optimales.

Enfin je remercie mes parents de m'avoir permis de suivre des études passionnantes.

---

## Résumé

---

L'étude d'impact de tout aménagement aéroportuaire (création ou extension) se réfère à la loi 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature et doit notamment comprendre une partie sur les nuisances sonores produites par l'activité aéroportuaire. Or, l'article 19 de la loi 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie modifie l'article 2 de la loi 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature, et instaure que cette étude d'impact soit accompagnée d'un volet sanitaire afin d'étudier l'impact du projet sur la santé humaine.

Ce travail s'appuie sur la démarche méthodologique en quatre étapes de l'évaluation des risques proposée dans le guide de l'Institut de Veille Sanitaire de mai 2000, appliquée au domaine du bruit. Une étude bibliographique a permis de recenser les différents impacts sanitaires du bruit sur les populations riveraines de l'aéroport ; des entretiens avec des acteurs du domaine ont apporté des éléments de terrain et d'actualité sur le débat des nuisances sonores aériennes.

Le bruit constitue un agent stressant pour l'organisme, à l'origine de multiples conséquences sanitaires au sens de l'OMS. En effet, au-delà des effets auditifs, l'exposition chronique au bruit environnemental aéronautique provoque de nombreux effets non-auditifs, le plus souvent exprimés par la plainte. Les troubles du sommeil dus aux vols nocturnes représentent une lourde charge dans la vie quotidienne des populations riveraines. Le système cardio-vasculaire est également affecté à travers plusieurs pathologies potentielles (infarctus du myocarde, angine de poitrine, hypertension). La littérature montre aussi que le bruit a des répercussions psychologiques, il diminue les performances mentales et rend difficile la concentration des enfants en âge d'apprentissage scolaire. Même si toutes les études ne sont pas concordantes sur une association positive entre exposition au bruit et effets sur la santé, l'identification des dangers permet de mettre en évidence des menaces inquiétantes pour la santé des personnes exposées de manière chronique au bruit des avions. L'évaluation de l'exposition des populations démontre la difficulté à définir le périmètre d'étude et la nécessité d'analyser à part les personnes plus sensibles.

Pour diminuer l'exposition sonore des populations riveraines, l'application des mesures de réduction du bruit est nécessaire, en attendant une étude épidémiologique de grande ampleur sur le premier aéroport européen en nombre de mouvements qu'est Roissy-Charles-de-Gaulle, aéroport implanté de plus au sein d'une zone à densité de population élevée.

---

# Abstract

---

According to the law of December, 30<sup>th</sup> 1996, a study of the sanitary impact must be carried out before any creation or modification of airport building. Noise problems have a particular importance in this type of project. Therefore, the aim of the work is to make the analysis of noise effects on airportside residents easier.

A bibliographical study allowed us to make a census of the various sanitary impacts due to the noise. Interviews with persons working in the field brought concrete and topical elements about the debate on noise pollution.

Noise is a stressful agent for human organism which, beyond the simple annoyance, has many sanitary consequences in the meaning of World Health Organization -health is not only an absence of illnesses, but is a state of physical, mental and social well-being-. We can mention sleep disturbances, changes in cardiovascular system, psychopathological effects, damaging on mental performances. The assessment of noise exposure reveals the sensibility of some populations in comparison with general population.

In order to decrease noise exposure of airportside residents, the enforcement of noise reduction measures is necessary. Nevertheless an epidemiological study of large scale should be lead on Roissy-Charles-de-Gaulle airport, the first european airport in movements' number, moreover set up within an area with high density of population.

---

## Liste des sigles utilisés

---

ACNUSA	Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ADP	Aéroports de Paris
ADVOCNAR	Association de Défense du Val d'Oise Contre les Nuisances Aériennes de Roissy
APSAT	Association Pour la Santé de l'homme au Travail
ARH	Agence Régionale d'Hospitalisation
BIUM	Bibliothèque Inter-Universitaire de Médecine
CCE	Commission Consultative de l'Environnement
CDES	Commission Départementale de l'Education Spéciale
CIDB	Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit
CIRE	Cellule Interrégionale d'Epidémiologie
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CRESSON	Centre de Recherche sur l'espace Sonore et l'environnement urbain
CSHPF	Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
dB	Décibels
dB(A)	Décibels Acoustiques
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DGS	Direction Générale de la Santé
DNL	Day-Night Level
DORA	Directorate of Operational Research and Analysis
DPPR	Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (MEDD)
DRASS	Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EEG	Electroencéphalographie
EMG	Electromyographie
EOG	Electrooculographie
EPNdB	Effected Perceived Noise Decibel
FINESS	Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux
Hz	Hertz
IHD	Ischemic Heart Disease

ILS	Instrument Landing System
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
INSERM	Institut National de Santé et de Recherche Médicale
InVS	Institut de Veille Sanitaire
IP	Indice Psophique
LCPP	Laboratoire Central de Préfecture de Police
Lden	Day-evening-night level (niveau sonore jour-soirée-nuit)
Leq	Equivalent level (niveau sonore équivalent)
Lmax	Maximum level (niveau sonore maximum)
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MEDD	Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
mm Hg	Millimètres de mercure (unité de pression)
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ORS	Observatoire Régional de Santé
PEB	Plan d'Exposition au Bruit
PGS	Plan de Gêne Sonore
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
POR	Prevalence Odds Ratio
POS	Plan d'Occupation des Sols
RANCH	Road traffic and Aircraft Noise exposure and Children's Cognition and Health
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Institut de recherche en santé publique et environnement)
SEL	Sound Exposure Level
SNECMA	Société Nationale d'Etudes et de Constructions Aéronautiques
SONATE	Suivi Opérationnel des Nuisances d'Avions et de leurs Trajectoires pour l'Environnement
STBA	Services Techniques des Bases Aériennes
TGV	Train à Grande Vitesse
UFCNA	Union Française Contre les Nuisances Aériennes
URCAM	Union Régionale des Caisses d'Assurance Maladie
VSEI	Volet Sanitaire d'Etude d'Impact
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

---

# Sommaire

---

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1 - PRÉSENTATION DU CONTEXTE.....</b>	<b>3</b>
1.1 TERMINOLOGIE ET PRECISIONS TECHNIQUES .....	3
1.1.1 Définitions des termes de base .....	3
1.1.2 Les mouvements d'aéronefs .....	3
1.2 IDENTIFICATION DES DANGERS LIÉS À L'INFRASTRUCTURE .....	4
1.3 DEFINITION DU PERIMETRE DE TRAVAIL.....	5
<b>2 - MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>5</b>
2.1 ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE .....	6
2.2 ENTRETIENS.....	6
2.3 PARTICIPATION À LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE "TRANSPORT AÉRIEN, AÉROPORTS ET DÉVELOPPEMENT DURABLE" .....	7
<b>3 - RÉSULTATS .....</b>	<b>7</b>
3.1 GÉNÉRALITÉS SUR LE BRUIT ET LES AVIONS .....	7
3.1.1 Notions.....	7
3.1.2 La mesure du son et l'oreille humaine .....	7
3.1.3 Le bruit des avions .....	8
3.2 LA RÉGLEMENTATION .....	8
3.2.1 Les textes relatifs au bruit.....	8
3.2.1.1 La législation de base.....	8
3.2.1.2 La prise en compte des nuisances sonores .....	9
3.2.1.3 Les textes récents .....	10
3.2.1.4 Valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé .....	11
3.2.2 L'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact.....	11
3.3 ETAT INITIAL DU SITE.....	12
3.4 IDENTIFICATION DES DANGERS SANITAIRES LIÉS AU BRUIT DES AVIONS.....	13
3.4.1 Les dommages à l'oreille interne .....	13
3.4.2 Les effets non-auditifs .....	14
3.4.2.1 Les effets du bruit sur le sommeil.....	14
3.4.2.2 Maladies cardio-vasculaires et facteurs associés .....	20
3.4.2.3 Pathologies psychiatriques et répercussions psychologiques .....	31
3.4.2.4 Difficultés de concentration et atteintes des performances mentales .....	32
3.4.2.5 La gêne due au bruit des avions.....	34
3.4.2.6 Critiques sur les études de la bibliographie .....	39

3.5	DÉFINITION DE RELATIONS DOSE-EFFET .....	40
3.6	EVALUATION DE L'EXPOSITION DES POPULATIONS.....	41
3.6.1	<i>La métrologie de l'événement sonore aéronautique</i> .....	41
3.6.1.1	Certification des aéronefs .....	41
3.6.1.2	Les mesures réalisées par la DGAC.....	42
3.6.2	<i>La modélisation</i> .....	42
3.6.3	<i>L'exposition des populations</i> .....	43
3.6.3.1	Le périmètre d'étude .....	43
3.6.3.2	Le recensement des personnes dites sensibles .....	44
3.7	CARACTÉRISATION DES RISQUES.....	48
3.8	LES MESURES DE RÉDUCTION DES NUISANCES SONORES PERCUES PAR LES POPULATIONS RIVERAINES.....	48
3.8.1	<i>Les progrès techniques sur les moteurs d'avion</i> .....	48
3.8.2	<i>L'optimisation de l'utilisation du ciel</i> .....	49
3.8.3	<i>La protection au sol</i> .....	49
3.9	PROPOSITIONS D'ÉTUDES ET DISCUSSION.....	50
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>52</b>
	<b>SOMMAIRE DES ANNEXES</b> .....	<b>54</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>70</b>



---

# Tableaux

---

Tableau I :	Exemples de pollutions générées par une activité aéroportuaire et conséquences sanitaires .....	4
Tableau II :	Valeurs guides de l'OMS pour le bruit ambiant [2].....	11
Tableau III :	Prise de médicaments à effet somnifère dans une population exposée et une population témoin .....	19
Tableau IV :	Estimation de l'association entre bruit, infarctus du myocarde et maladies cardiaques ischémiques, ajustée sur le sexe et l'âge.....	21
Tableau V :	Estimation de l'association entre bruit et angine de poitrine, ajustée sur le sexe et l'âge .....	22
Tableau VI :	Estimation de l'association entre exposition professionnelle au bruit et risque d'hypertension artérielle. ....	22
Tableau VII :	Estimation de l'association entre bruit de trafic routier et risque d'hypertension.....	23
Tableau VIII :	Prévalence de l'hypertension parmi les riverains exposés à des niveaux équivalent et maximum de bruit d'avions.....	23
Tableau IX :	Prévalence de l'hypertension parmi les riverains exposés à des niveaux équivalent et maximum de bruit d'avions, stratifiée par sexe, âge et acuité auditive. ....	23
Tableau X :	Estimation de l'association entre bruit de trafic routier et utilisation d'anti-hypertenseurs .....	25
Tableau XI :	Estimation de l'association entre bruit de transports, utilisation de médicaments cardio-vasculaires et consultation d'un généraliste ou d'un spécialiste .....	26
Tableau XII :	Valeurs de pression artérielle en fonction de l'exposition de riverains au bruit d'avions .....	26
Tableau XIII :	Evolution de la pression artérielle en fonction de l'énergie sonore.....	27
Tableau XIV :	Fréquence cardiaque en fonction du niveau sonore .....	28
Tableau XV :	Concentration de substances hormonales en fonction du niveau sonore .....	29
Tableau XVI :	Comparaison de l'état de santé en fonction de la résidence dans une ville exposée au bruit des avions ou non. ....	30
Tableau XVII :	Comparaison des troubles psychiatriques suivant l'exposition au bruit .....	31
Tableau XVIII :	Nombre moyen de puzzles effectués en fonction du sexe .....	32
Tableau XIX :	Proportions des réponses au questionnaire de l'enquête sur la gêne dans l'échantillon de riverains .....	37
Tableau XX :	Synthèse des éléments bibliographiques analysés observant une association entre niveau sonore et effets sanitaires .....	41

---

# Figures

---

Figure 1 : Composite de données d'études récentes sur les troubles du sommeil [12] .....	17
Figure 2 : Risque d'hypertension selon différentes catégories de niveaux sonores .....	24
Figure 3 : Evolution de la consommation d'anti-hypertenseurs par année et suivant la zone d'exposition au bruit.....	24
Figure 4 : Evolution de la pression artérielle chez des enfants en fonction du niveau sonore.....	27
Figure 5 : Principaux effets de la gêne due au bruit [29] .....	34

---

# Introduction

---

Le bruit, ou plus précisément l'excès de bruit, constitue la principale nuisance ressentie par les êtres humains. En Europe, environ 450 millions de personnes sont exposées quotidiennement à des niveaux sonores équivalents d'au moins 55 dB(A) [1], tout particulièrement en ville, où résident près de 80 % des Français [2]. Les nuisances sonores font l'objet de nombreuses récriminations de la part des citoyens, qui en dénoncent régulièrement le caractère excessif, surtout la nuit. Le bruit ne représente pas seulement une atteinte à la qualité de vie, c'est aussi un enjeu de santé publique. En effet, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans sa définition de la santé indique qu'il s'agit d'un "état de bien-être physique, mental et social, et pas seulement d'une absence de maladie" (premier principe de la constitution de l'OMS approuvée en juin 1946).

Le bruit généré par l'activité aéronautique constitue un souci majeur pour les riverains d'aéroports qui semblent prétendre subir une altération de leur santé, dans le sens de la définition de l'OMS. La réglementation concernant les projets d'aménagement impose, depuis le 1<sup>er</sup> août 1997, (date correspondant au premier jour du septième mois suivant la publication de la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie) de réaliser une analyse des effets sur la santé dans les études d'impact. La Direction Générale de la Santé (DGS) a donc pris la décision de décliner la méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires par secteurs industriels et par infrastructures, dont les aéroports. Les pollutions atmosphérique et sonore représentent les deux thèmes principaux à traiter pour la constitution d'un dossier d'aménagement aéroportuaire : un groupe de travail du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) a travaillé sur la partie "pollution de l'air", et l'objet de ce mémoire est d'apporter des éléments pour l'appréciation de la partie traitant du bruit généré par l'infrastructure de transport aérien.

A l'heure où les pouvoirs publics sont sur le point de prendre des mesures pour lutter contre les nuisances sonores, notamment autour des grandes plates-formes parisiennes, il paraît nécessaire de faire le point sur l'état des connaissances des effets du bruit des avions sur la santé des populations riveraines. La démarche suivie s'apparente à celle d'une évaluation de risque, modelée pour répondre au cas particulier de l'agent agresseur qu'est le bruit. Une synthèse des données de la bibliographie agrémentées par certains propos d'acteurs concernés, a été réalisée afin de déterminer les dangers pour la santé des personnes

exposées au bruit. Un récapitulatif est ensuite présenté sous forme d'une ébauche de relations "dose-effet". Une analyse de l'exposition des populations permet de mettre en évidence des groupes dits "à risque" car plus sensibles ; la caractérisation des risques est l'étape suivante : elle permet d'annoncer le risque existant pour les populations, à partir des données actuelles. Enfin, des propositions de moyens de réduction du bruit sont avancées. Les grandes lignes sur les types d'études nécessaires à lancer pour bâtir les arguments sanitaires propres au mécanisme complexe d'action du bruit sur l'organisme humain sont également présentées.

# 1 - PRESENTATION DU CONTEXTE

## 1.1 TERMINOLOGIE ET PRECISIONS TECHNIQUES

### 1.1.1 Définitions des termes de base

La langue française offre une terminologie assez large autour du domaine aéronautique, c'est la raison pour laquelle il convient de préciser la signification de certains mots qui seront employés dans ce mémoire. L'aéroport constitue le lieu aménagé pour le trafic aérien, et comporte l'ensemble des installations techniques et commerciales nécessaires. L'aérodrome, lui, comprend le terrain aménagé pour le décollage et l'atterrissage des aéronefs. L'aéronef, synonyme d'avion, définit tout appareil qui peut voler. On distingue ensuite l'aérogare, qui se rapporte au bâtiment où se rassemblent les voyageurs aériens pour le départ et l'arrivée (formalités, réception bagages, etc.) [3].

Un aéroport comprend trois zones :

- la zone publique accessible aux usagers : aérogares, moyens de transport de l'aérogare à la ville desservie, etc.
- la zone réservée au personnel aéronautique : hangars de fret, ateliers de maintenance, dépôts de carburant, services administratifs, tour de contrôle, etc.
- la zone dédiée aux aéronefs et leur déplacement : il s'agit des pistes ou voies de décollage et d'atterrissage, et des "taxiways" (terme du domaine de l'aviation pour désigner les pistes d'attente avant décollage et après atterrissage) lorsque l'aérodrome possède plusieurs pistes de décollage/atterrissage.

La zone aéroportuaire peut être définie comme l'ensemble comprenant l'aéroport, l'aérodrome et toutes les activités induites directement par l'exploitation du site (voies routières et ferrées, entreprises en tous genres, etc.). Dans la plupart des études de la littérature, l'exposition au bruit est caractérisée par la mesure globale du niveau sonore ; il est difficile de distinguer la part provenant des aéronefs, celle du trafic routier et celle du bruit ambiant notamment.

### 1.1.2 Les mouvements d'aéronefs

Les pilotes d'avions sont soumis au respect des trajectoires qui leur sont imposées sous des contraintes de sécurité et d'environnement. La tour de contrôle de tout aéroport garde chaque appareil sous surveillance ; en fonction de la distance à l'aéroport elle effectue trois contrôles :

- **le contrôle en route** qui permet de gérer la progression des avions évoluant en dehors des zones proches des aéroports. Les avions circulent à l'intérieur de couloirs larges de 10 milles nautiques (18 km) et sont séparés verticalement de 1000 pieds (environ 300 m) et de 2000 pieds au-dessus de 9000 m.
- **le contrôle d'approche** qui prend le relais du contrôle en route pour gérer la phase de descente de l'avion jusqu'à 6 ou 10 milles nautiques de la piste. Cette étape est particulièrement délicate car les avions rejoignent tous une même trajectoire en direction des pistes. L'espacement entre eux se réduit alors à 3 milles nautiques (5,4 km).
- **le contrôle d'aérodrome** : la vigie de la tour de contrôle reçoit les avions du contrôle d'approche et surveille leur alignement sur les systèmes d'aide à l'atterrissage (comme les "Instrument Landing System" -ILS-). Sur les grands aéroports, elle les transmet au contrôleur au sol sitôt la piste dégagée. Ce dernier guide les appareils jusqu'aux parkings.

## 1.2 IDENTIFICATION DES DANGERS LIES A L'INFRASTRUCTURE

La zone aéroportuaire, son activité et le trafic induit sont à l'origine de pollutions diverses ; différents milieux subissent cet impact défavorable. Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de pollution par milieu et d'effets sur la santé correspondants.

**Tableau I : Exemples de pollutions générées par une activité aéroportuaire et conséquences sanitaires**

Milieu impacté	Type de source / polluant	Impact sanitaire	Voie d'exposition
Eau	Nappes de kérosène - benzène	Cancers	Ingestion
Sol et sous-sol	Coulures de carburants Délestage de carburants (20 mg/m <sup>2</sup> de sol)	Cancers	Ingestion
Air	Manipulation des carburants (évaporation) Combustion produisant des imbrûlés : effet de serre	Troubles respiratoires, asthme	Inhalation
Paysage	Sources lumineuses	Altération du cadre de vie	Vue
Champs électromagnétiques	Ondes radar, radio...	?	?
Environnement sonore	Moteurs d'avion	Troubles d'apprentissage	Ouïe

La partie concernant la pollution de l'air générée par la zone aéroportuaire est traitée par un groupe de travail du CSHPF : ses conclusions ne sont pas disponibles pour être intégrées au présent mémoire.

### **1.3 DEFINITION DU PERIMETRE DE TRAVAIL**

Un site aéroportuaire est source de multiples pollutions ; dans un dossier d'étude d'impact chacune d'entre elles doit être traitée précisément selon les impacts générés. Le bruit est une de ces pollutions, et, de loin actuellement, la plus sujette à polémique : l'ambiance sonore revêt en effet de plus en plus, une très grande importance en terme de confort dans l'habitat. C'est la raison pour laquelle, dans ce document, la focalisation est faite sur le bruit produit par les aéronefs en mouvement à proximité des aéroports.

Le sujet traité dans ce rapport se restreint aux avions et à leur production d'énergie sonore pour deux raisons principales : tout d'abord, sur l'aire considérée autour du site aéroportuaire, c'est la plupart du temps l'émergence (cf. annexe 4) des décollages et atterrissages qui est la plus gênante en termes d'énergie sonore reçue par les populations riveraines, car il s'agit de bruits d'intensité élevée et quasiment continus sur certains aéroports, tels que Roissy. Ensuite, les études et publications de la littérature sur lesquelles est basée l'argumentation s'attachent à décrire les effets du bruit des avions sur l'homme. Il est très difficile de faire la distinction entre bruit de trafic routier et bruit de trafic ferroviaire imputables à l'aéroport, sauf si des études précises ont été réalisées avant l'implantation de la structure de transport aérien (bien souvent ce n'est pas le cas, d'où, nous le verrons plus loin, l'intérêt de l'état initial). Néanmoins, les composantes des effets du bruit demeurent complexes, il convient donc de tenter d'éclaircir certains points, notamment l'analyse des effets sur la santé, incontournable étape de l'évaluation des risques sanitaires de l'étude d'impact, avant de proposer des mesures compensatoires visant à limiter les impacts de l'installation sur l'homme et l'environnement.

## **2 - METHODOLOGIE**

Il apparaît clairement que le bruit nécessite une approche transdisciplinaire qui recouvre quatre grands domaines :

- l'acoustique physique, à travers les problèmes d'émission et de propagation (modélisation et validation par des mesures),
- la psycho-acoustique qui traite de la réception des bruits par l'homme et de son interprétation,
- la médecine qui s'intéresse aux pathologies de l'oreille, aux perturbations du sommeil, aux indicateurs de santé, et à toutes autres pathologies provoquées par l'état de stress de l'organisme,
- la sociologie qui s'attache aux problèmes de la gêne éprouvée par les individus (enquêtes).

La collecte des données s'est effectuée en deux temps : d'une part une recherche bibliographique la plus large possible, et d'autre part la rencontre d'un panel de personnes représentatif de l'étendue des acteurs du domaine du bruit des avions.

## **2.1 ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE**

La recherche bibliographique nécessaire pour nourrir les arguments avancés, comprend plusieurs sources d'informations :

- Interrogation de la base de données médicales "Medline" [4], en appliquant les mots clés "noise and airport", "noise and health effects", "aircraft noise and health effects". Le résultat des recherches sur Internet a permis d'obtenir environ 400 articles. La sélection des articles s'est faite à la lecture du résumé, en fonction du sujet traité et de la disponibilité de la revue correspondante.
- Recherche en bibliothèques spécialisées :
  - Documentation disponible à la DGS.
  - Documentation du Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB).
  - Articles médicaux et de santé publique de la Bibliothèque Inter-Universitaire de Médecine (BIUM), avec recherche préalable sur Medline.
  - Documentation de l'Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) de Lyon-Bron.
  - Rapports du Centre de Recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain de Grenoble (CRESSON).

## **2.2 ENTRETIENS**

L'organisation des entretiens se divise en cinq phases :

- 1- Rédaction d'un guide d'entretien sous forme d'une trame de questions (cf. annexe 5).
- 2- Prise de contact avec l'intéressé(e) et envoi de ce questionnaire quelques jours avant la rencontre (cf. annexe 6 pour la liste des personnes interrogées).
- 3- Déroulement de l'entretien et enregistrement de la discussion.
- 4- Rédaction de la synthèse de l'échange oral pour une utilisation facilitée des éléments importants à mobiliser pour l'argumentation.
- 5- Remerciements écrits.

Six personnes ont été interviewées durant le mois de juin 2002 ; la durée des entretiens s'échelonne de 45 minutes à 2 heures.



## **2.3 PARTICIPATION A LA CONFERENCE INTERNATIONALE "TRANSPORT AERIEN, AEROPORTS ET DEVELOPPEMENT DURABLE"**

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), le Conseil Général du Val d'Oise et l'Organisation Non Gouvernementale (ONG) "Transport and Environment" ont organisé les 1<sup>er</sup> et 2 juillet derniers une conférence sur le thème de ce mémoire regroupant de nombreux acteurs de la scène internationale et représentant un panel très large de structures et d'organismes partenaires impliqués dans les actions liées à l'organisation aéroportuaire. Un atelier était consacré aux réflexions sur le thème des nuisances sonores.

## **3 - RESULTATS**

### **3.1 GENERALITES SUR LE BRUIT ET LES AVIONS**

#### **3.1.1 Notions**

Le bruit désigne un son qui nous dérange, nous déplaît ou nous agresse. La distinction qui est faite entre un bruit et un son s'explique par un phénomène physique. Le son est provoqué par une variation rapide de la pression atmosphérique due à un mouvement des molécules du milieu qui nous entoure, c'est-à-dire l'air. Pour éviter toute confusion dans le contexte de travail, un bruit aérien désigne, en acoustique, non pas le bruit des avions, mais le bruit se propageant dans l'air, par opposition aux bruits solidiens, qui se propagent dans les milieux solides [5].

Le son se propage à la vitesse de 340 mètres par seconde. De nombreux facteurs sont à prendre en compte pour comprendre la propagation du son, notamment la température de l'atmosphère et l'effet du vent. Pour limiter la progression d'une émission sonore, on utilise des techniques qui font appel aux règles de l'absorption et de l'isolement acoustique.

#### **3.1.2 La mesure du son et l'oreille humaine**

Un son est caractérisé par son niveau mesuré en décibels (dB). Le "0 décibel" représente le seuil d'audibilité, c'est-à-dire le niveau de pression le plus faible qui provoque une sensation auditive. Le "120 décibels" constitue le seuil de douleur à partir duquel un son entraîne une douleur auditive. Mais le seuil de danger est fixé, lui, aux alentours de 100 décibels [5].

Pour évaluer le bruit effectivement perçu, il faut tenir compte de la variation fréquentielle de sensibilisation de l'oreille. Le système qui restitue le mieux l'audition humaine a été affecté de la lettre A (décibels Acoustiques). Cette unité exprime les larges variations d'intensité auxquelles nos oreilles sont soumises. La mesure du bruit peut concerner soit un bruit

instantané, soit son niveau maximum, soit le niveau énergétique moyen sur une durée donnée (Leq ou niveau sonore équivalent).

### **3.1.3 Le bruit des avions**

Il arrive en deuxième position des sources de bruit dans la plupart des pays, même si la population qui y est exposée est 3 à 50 fois plus faible, selon les pays, que pour les transports terrestres [5]. En France, l'administration a estimé que le nombre de riverains situés dans l'emprise d'un plan de gêne sonore serait d'environ 160 000 tandis que des associations de défense de riverains estiment à 3 millions le nombre de personnes concernées, au sens large, par les nuisances sonores liées au transport aérien [6].

Le bruit des avions provient, pour l'essentiel, des moteurs à réaction lors des opérations d'atterrissage et de décollage, et des opérations de vol à basse altitude. Pour les avions à réaction en vol, on distingue :

- ◆ le bruit des moteurs

- 1) bruit de jet (généralisé lors du mélange des gaz éjectés de la tuyère avec l'air ambiant)
- 2) bruits internes : bruit des parties tournantes du moteur, bruit de combustion

- ◆ le bruit aérodynamique : volets, train d'atterrissage, etc.

Comme dans le cas du trafic automobile, l'amélioration technique a été importante, mais plus que compensée par la formidable progression du trafic.

Néanmoins, les riverains ne renoncent pas à défendre leurs droits et à se battre contre l'existence, les modes d'exploitation ou encore l'extension d'aéroports [7].

## **3.2 LA REGLEMENTATION**

### **3.2.1 Les textes relatifs au bruit**

#### **3.2.1.1 La législation de base**

En France, la lutte contre le bruit au voisinage des aéroports repose essentiellement sur trois lois :

- La loi n° 85-696 du 11 Juillet 1985 qui, à titre préventif, institue les plans d'exposition au bruit (PEB) et limite l'urbanisation au voisinage des aérodromes ; ses dispositions ont été intégrées dans le Code de l'Urbanisme aux articles L.147-1 à L.147-11 et le PEB doit être intégré au plan local d'urbanisme (PLU).

- La loi n° 92-1444 du 31 Décembre 1992 qui, à titre curatif, organise un dispositif d'aide aux riverains et institue les plans de gêne sonore (PGS) : une taxe pour la mise en oeuvre des dispositions nécessaires à l'atténuation des nuisances sonores au voisinage des aérodromes, est due par les exploitants d'aéronefs, et affectée à l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).
- La loi n° 99-588 du 12 Juillet 1999 qui, au titre de la transparence et de la concertation, a créé une autorité indépendante de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires (ACNUSA) composée de huit membres nommés pour six ans. Elle a des compétences générales sur les conditions d'exploitation des aéroports civils, mais aussi des missions particulières (modification des procédures de décollage et d'atterrissage, avis sur les PEB et les PGS, contrôle du respect des chartes de qualité de l'environnement sonore et la médiation...). Enfin elle a un pouvoir de sanctions et peut prononcer des amendes administratives (infractions concernant le non-respect de procédures de restrictions particulières...).

### 3.2.1.2 La prise en compte des nuisances sonores

Les nuisances sonores sont prises en compte selon deux moyens (lors de la création ou de l'extension d'aménagement aéroportuaire) :

- Une étude d'impact est nécessaire lorsque les travaux de création ou d'extension de l'aérodrome dépassent 1,8 millions d'euros (la loi 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature institue les études d'impact sur l'environnement).
- Une enquête publique doit être réalisée en cas de création d'un nouvel aérodrome ou d'une nouvelle piste. Le dossier soumis à enquête publique comprend :
  - une notice explicative précisant l'objet de l'enquête et la portée des PEB,
  - l'avis des communes intéressées et de la commission consultative de l'environnement (CCE) s'il y a lieu (les CCE ont été créées par le décret 87-341 du 21 mai 1987 relatif aux CCE des aérodromes ; elles sont composées d'élus, d'associations de riverains, de représentants des usagers, du personnel et du gestionnaire de l'aérodrome et donnent leur avis sur tous les événements susceptibles de modifier l'environnement de l'aéroport),
  - la mention des textes qui régissent l'enquête publique (décret 87-339 du 21 mai 1987 définissant les modalités de l'enquête publique relative aux PEB des aérodromes)

### 3.2.1.3 Les textes récents

#### 3.2.1.3.1 *Le décret n° 2002-626 du 26 avril 2002*

Il modifie le code de l'urbanisme en fixant les conditions d'établissement des PEB et des PGS des aérodromes.

Le PEB comprend quatre zones délimitées comme suit en unité dB(A) (l'indice "level day-evening-night" ou Lden est défini en annexe 3B) :

- la zone de bruit fort A comprise à l'intérieur de la courbe d'indice Lden 70,
- la zone de bruit fort B comprise entre Lden 70 et Lden 62,
- la zone de bruit modéré C comprise entre 62 et une valeur choisie de Lden entre 57 et 55,
- la zone D comprise entre la limite extérieure de la zone C et la courbe d'indice Lden 50.

En ce qui concerne le PGS, il comporte trois zones :

- Zone I > Lden 70
- Lden 65 < Zone II < Lden 70
- Lden 55 < Zone III < Lden 65

La révision des PGS devra être achevée avant le 31 décembre 2003, et avant le 31 décembre 2005 pour les PEB.

#### 3.2.1.3.2 *La proposition de directive européenne du 26 mars 2002*

Cette directive établit les règles et procédures concernant l'introduction de restrictions d'exploitation liées au bruit dans les aéroports de la Communauté. Ce texte renforce, et surtout homogénéise l'évaluation et la gestion du bruit ambiant au niveau de tous les modes de transport. Cette proposition a pour objet :

- le contrôle du bruit ambiant, notamment à proximité d'infrastructures de transport importantes, y compris d'aéroports,
- l'information du public concernant le bruit ambiant et ses effets,
- l'établissement par les autorités compétentes de programmes d'action visant à prévenir et à réduire le bruit ambiant lorsque nécessaire, et à préserver la qualité de l'environnement sonore lorsqu'elle est bonne.

### 3.2.1.4 Valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé

**Tableau II : Valeurs guides de l'OMS pour le bruit ambiant [2]**

Environnement	Effets critiques	Leq (dBA)	Base temps (h)	Lmax (dBA)
Zone résidentielle (extérieur)	Gêne moyenne en journée et soirée	50	16	-
Intérieur d'une habitation	Intelligibilité d'un discours	35	16	-
Chambre à coucher intérieur	Troubles du sommeil la nuit	30	8	45
Chambre à coucher extérieur	Troubles du sommeil (fenêtre ouverte)	45	8	60

Ce tableau ne présente pas les recommandations de l'OMS, mais bien les valeurs minimales pour lesquelles l'effet est observé.

### 3.2.2 L'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact

L'article 19 de la loi 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie a modifié le contenu des études d'impact qui doivent, depuis le 1<sup>er</sup> août 1997, analyser les effets du projet sur la santé et présenter des mesures compensatoires pour y remédier. A l'heure actuelle, la réalisation de ce volet sanitaire soulève de nombreuses interrogations tant pour les pétitionnaires chargés de réaliser les études que pour les services instructeurs chargés d'évaluer le contenu des dossiers.

Suite à cette obligation, les ministères de la santé et de l'environnement ont rédigé plusieurs circulaires d'application, dont :

- la circulaire MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement) du 17 février 1998 relative à l'application de l'article 19 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, complétant le contenu des études d'impact des projets d'aménagement.
- la circulaire DGS/VS3 2000-61 du 3 février 2000 relative au guide de lecture et d'analyse du volet sanitaire des études d'impact (VSEI). Celui-ci est destiné à aider les services déconcentrés lorsqu'ils émettent un avis sur les dossiers où une étude des effets sur la santé est requise. Le cadre général qui a été retenu dans ce guide est celui de la démarche d'évaluation des risques.
- la circulaire DGS 2001-185 du 11 avril 2001 relative à l'analyse des effets sur la santé dans les études d'impact. Cette circulaire précise aux services déconcentrés la manière d'agir lors de la formulation d'un avis sur un dossier. L'annexe de ce texte dresse la liste des informations devant au minimum figurer dans le dossier pour que les DDASS puissent formuler un avis (cf. annexe 1).

L'état initial du site constitue la première étape du volet sanitaire. Ensuite, le volet est construit à partir de la logique de la démarche d'évaluation des risques en quatre étapes : identification des dangers, définition des relations dose-réponse, évaluation de l'exposition humaine et caractérisation des risques. Enfin, la démarche d'évaluation des risques devra comporter une conclusion résumant les résultats, et développant les mesures compensatoires supplémentaires envisagées pour réduire le risque pour la santé.

Cette démarche tient compte des limites de l'évaluation des risques ; elle prévoit notamment de recenser les incertitudes scientifiques, de faire appliquer le principe de proportionnalité en fonction de l'importance du projet et des populations exposées et d'établir que le respect de la réglementation n'est pas suffisant pour assurer l'absence de risques [8].

### **3.3 ETAT INITIAL DU SITE**

Cette partie préalable à toute installation doit montrer que le niveau sonore final (installations existantes et nouvelle infrastructure) autour du site choisi pour l'implantation de la nouvelle infrastructure est acceptable pour la santé de la population. En effet, elle doit fournir les renseignements nécessaires à l'évaluation du niveau de bruit dans le périmètre d'étude avant l'implantation (cf. paragraphe 3.6.3.1 pour le périmètre) en détaillant les autres sources de bruit dans la zone d'impact.

Cet état initial doit également informer sur les populations vivant dans l'enceinte de la zone, leur état de santé et le recensement de personnes sensibles. Les sources pour ces données sont multiples : l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) pour les données populationnelles, les Directions Départementales et Régionales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS et DRASS) et Agences Régionales d'Hospitalisation (ARH) pour les admissions hospitalières et la morbidité hospitalière, l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) pour les données de mortalité, l'Union Régionale des Caisses d'Assurance Maladie (URCAM) pour la consommation médicamenteuse, les Cellules InterRégionales d'Epidémiologie (CIRE), les Observatoires Régionaux de Santé (ORS), les services de l'Equipement pour les données d'urbanisme (types d'habitat...).

Les populations sensibles doivent également être caractérisées : le paragraphe 3.6.3.2 sur "le recensement des personnes dites sensibles" apporte les éléments nécessaires à la précision des individus "à risque".

D'après les personnes rencontrées et l'exploitation de la bibliographie sur le sujet, il semblerait que la caractérisation précise du niveau sonore dans le périmètre d'étude, avant l'implantation d'une nouvelle structure, n'ait pas été faite ; d'autres contacts seraient à prendre avec les services de l'aviation civile qui instruisent directement les dossiers, et les services du ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD).

### **3.4 IDENTIFICATION DES DANGERS SANITAIRES LIES AU BRUIT DES AVIONS**

Les effets sur la santé liés au bruit sont multiples ; en ce qui concerne les riverains d'aéroport, les conséquences sanitaires touchent essentiellement l'organisme dans son ensemble à travers diverses réponses comportementales, physiologiques et pathologiques.

#### **3.4.1 Les dommages à l'oreille interne**

Une étude chinoise de 1997 [9] a évalué les fonctions cochléaires (cf. annexe 2) sur des individus vivant à proximité d'un aéroport. L'exposition est caractérisée pour un niveau supérieur à 40 dB(A), mesurée grâce à l'indice moyen pondérant la période nocturne (Day-night level DNL) ; le niveau de crête Lmax se situe à 86 dB(A) (cf. annexe 3 pour des détails sur les indices mentionnés). L'anormalité des possibilités de la rampe tympanique est significativement plus élevée chez les volontaires les plus exposés. De plus, une corrélation positive a été trouvée entre la latence de l'atteinte de la rampe tympanique et la haute fréquence du son chez les exposés (4kHz). L'étude confirme d'une part le dommage engendré aux organes périphériques de la cochlée chez les individus exposés fréquemment, et démontre d'autre part, l'importance de la voie centrale de l'audition. Néanmoins, ces résultats restent controversés. Les hautes fréquences s'atténuent plus vite que les basses fréquences en fonction de la distance, donc toucheraient un nombre de personnes moins important.

Globalement il existe très peu d'études sur le sujet des bruits aéronautiques et de leurs effets sur l'audition des riverains car les niveaux sonores sont relativement faibles pour altérer les fonctions auditives ; néanmoins, une exposition prolongée peut fatiguer l'oreille, et celle-ci, sans période de "repos" peut, à certaines fréquences, ne pas jouer son rôle pleinement (selon le docteur A. Muzet).

Les conséquences du bruit d'avions sur l'être humain riverain d'aéroport concernent majoritairement les effets non-auditifs, correspondant aussi à des effets non spécifiques du bruit (selon le docteur A. Muzet).

## 3.4.2 Les effets non-auditifs

### 3.4.2.1 Les effets du bruit sur le sommeil

#### 3.4.2.1.1 Aspect expérimental

Le sommeil est un état de repos relativement fragile car il peut être interrompu, de façon volontaire ou non, par diverses stimulations, dont le bruit constitue une cause majeure [10]. La sensibilité et la fragilité du sommeil méritent qu'on lui accorde une attention particulière : c'est notamment ces aspects particuliers du sommeil qui expliquent pourquoi l'une des premières mesures proposées en France par l'ACNUSA a été de fixer des limites sonores précises pour le bruit des aéronefs pour la période nocturne (cas particuliers des vols à basse altitude).

#### ❖ Le sommeil

Il ne se présente pas sous la forme d'un état unique, mais plutôt sous celle d'une succession d'états : les stades de sommeil qui sont plus ou moins profonds et au cours desquels nous sommes plus ou moins sensibles aux perturbations sonores. L'annexe 3 détaille les critères pris en compte pour décrire les différents stades. Le sommeil est nécessaire pour la survie de l'individu et son altération entraîne des troubles qui seront décrits par la suite.

La qualité du sommeil est appréciée grâce à l'enregistrement polygraphique simultané des mesures physiologiques : l'activité électrique cérébrale (électroencéphalographie ou EEG), l'activité oculomotrice (électrooculographie ou EOG), l'activité des muscles de surface (électromyographie ou EMG) ou encore les activités végétatives comme la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire. Cette qualité de sommeil peut également être évaluée par des mesures subjectives grâce à l'utilisation de questionnaires appropriés. Ceux-ci peuvent explorer la qualité du sommeil lui-même, mais aussi la qualité de la veille qui lui fait suite. Il y a donc lieu de distinguer les effets immédiats des effets secondaires [10].

#### ❖ Les effets immédiats de la perturbation du sommeil

La structure physiologique du sommeil est quantifiée par des paramètres tels que : la latence d'endormissement, les éveils et changements de stades et la modification des rythmes propres aux stades. L'éveil, lui, dépend du stade de sommeil dans lequel se trouve le dormeur et des caractéristiques physiques du bruit et de sa signification (niveau sonore atteint, nombre d'événements, différence entre niveau sonore maximum et bruit de fond habituel, etc.).



#### ◆ **La réduction du temps 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 nouvel endormissement. Il a ainsi été démontré que des bruits intermittents ambiants et habituels ayant une intensité maximale de 45 dB(A) et au-delà ( $L_{max}$  mesuré dans les locaux ; cf. annexe 3B pour la définition des indices de bruit), peuvent augmenter la latence d'endormissement de quelques minutes à près de vingt minutes [10].

En ce qui concerne les éveils au cours du sommeil, il apparaît clairement qu'il existe une grande variabilité dans les capacités d'observer un éveil pour un stade de sommeil donné et que les seuils d'éveil diminuent au fur et à mesure que le temps cumulé de sommeil augmente. De ce fait, au cours des heures matinales, les bruits ambiants peuvent plus facilement éveiller un dormeur et l'empêcher de retrouver le sommeil. Le niveau de bruit nécessaire pour éveiller le dormeur est très dépendant du stade de sommeil ; ainsi le seuil d'éveil est beaucoup plus élevé dans les stades de sommeil à ondes lentes (stade 3 et 4, souvent qualifiés de sommeil profond) que dans les stades 1 et 2 (cf. annexe 2) [8].

#### ◆ **Les modifications de la structure interne du sommeil**

La simple observation visuelle d'un dormeur permet de déceler certains des effets produits par le bruit tels que les éveils, les mouvements corporels ou les changements de posture. Toutefois, grâce à l'enregistrement polygraphique du sommeil, l'information récoltée est beaucoup plus riche car plus complète. Il peut survenir un changement dans les stades de sommeil, qui se fait toujours dans le sens d'un allègement de ce dernier.

Bien qu'encore non déterminées de façon irréfutable, les fonctions du sommeil profond (à ondes lentes, permettant la récupération physique) et du sommeil paradoxal (à ondes rapides, qui permet la récupération mentale et émotionnelle), semblent être essentielles pour la croissance et le développement harmonieux de l'organisme ainsi que pour la récupération de la fatigue, physique ou mentale. L'instabilité du sommeil provoquée par le bruit entraîne donc une fragmentation de sa structure, et, par là même un amoindrissement de sa qualité [10].

#### ◆ **Les modifications végétatives**

La perturbation d'une séquence normale de sommeil peut apparaître pour des niveaux maxima compris entre 45 et 55 dB(A) selon les expérimentations du docteur A. Muzet [10]. Cependant, cela ne signifie pas que pour des niveaux maxima inférieurs à ces valeurs, il n'existe plus d'effet visible du bruit. Des réponses végétatives ou encore des phénomènes vasomoteurs, peuvent être observés pour des niveaux de bruit bien inférieurs. En effet les bruits d'avions entraînent des réactions EEG dès que le  $L_{eq}$  atteint 35 dB(A). Ceci n'exclut pas le caractère nocif du cumul de ces effets du bruit à long terme : cela indique que

l'organisme du dormeur continue à réagir à ces perturbations environnementales, même si celles-ci passent complètement inaperçues pour ce dernier.

Selon le docteur Alain Muzet, la permanence de telles réponses végétatives sur des périodes d'exposition très longues constitue un phénomène dont on ne peut exclure, a priori, d'éventuelles conséquences cliniques à long terme sur l'organisme du dormeur [10].

#### 3.4.2.1.2 Répercussions décrites par les populations

##### ❖ Effets immédiats

###### ◆ **Les études bibliographiques**

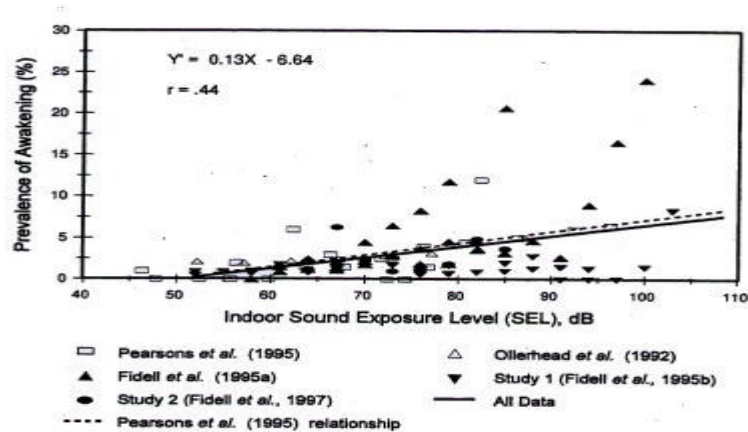
Une synthèse bibliographique [11] concernant les répercussions des vols de nuit sur la qualité de vie et la santé des riverains d'aéroport a été réalisée par le docteur Pierre de Marneffe (novembre 1997), suite à l'annonce de l'installation de la société TNT, transporteur spécialisé dans le fret aérien, sur l'aéroport Liège-Bierset. Lorsque l'on interroge les riverains d'un aéroport (Muzet A. et Vallet M. in [11] et François J. in [11]) où sont acceptés les vols de nuit (Roissy) sur la qualité de leur sommeil, on constate une gêne quasi constante en fonction du niveau de bruit : entre 20 et 35% sont réveillés la nuit, entre 20 et 40% sont réveillés le matin de bonne heure et entre 30 et 50% sont réveillés la nuit et/ou le matin (pourcentages indépendants). L'aire d'exposition permettant de définir la notion de "riverains" n'est pas développée dans cette publication, mais une réflexion est menée sur la problématique du périmètre d'étude au paragraphe 3.6.3.1.

En Angleterre, une étude publiée par le Directorate of Operational Research and Analysis (DORA) en 1980 in [11] sur les riverains d'aéroport, montre que ces derniers gardent les fenêtres fermées pour dormir, quelle que soit la saison, dans une proportion qui varie de 10% à 46 dB(A) (en Leq de 23 h à 7 h, en extérieur), à 50% pour un niveau de 70 dB(A).

Les réveils pendant la nuit (23h à 7h) touchent 25% des riverains pour un niveau de 55 dB(A) en Leq et 40% à 65 dB(A). Le matin, 25% des personnes interrogées se plaignent de fatigue, conséquence de la perturbation du sommeil pour des niveaux variant de 45 à 60 dB(A).

Fidell S. et al. [12] ont tenté d'évaluer les effets de la cessation des vols de nuit de l'aéroport de Los Angeles, et de l'apparition de ces vols sur celui de Denver. Une autre étude menée en parallèle [12] a été conduite concernant l'observation des réactions des populations avoisinantes de l'aéroport d'Atlanta avant, pendant et après le déroulement des Jeux Olympiques d'été en 1996. Les conclusions ne sont pas strictement comparables puisque la méthodologie utilisée distingue trois types d'effets observés pendant la nuit (motilité ou le fait de se mouvoir, éveil, réveil brutal) mesurés par trois moyens différents (système de boutons poussoirs lors d'un réveil, mesure à l'aide d'un algorithme ou d'un système d'enregistrement graphique). La corrélation entre valeurs de "Sound Exposure Level" (SEL ou niveau

d'exposition sonore) et effets sur l'être humain montre une tendance positive, entre le niveau de bruit et l'apparition des effets ; les résultats des études des années 1990 avec lesquels Fidell S. a tenté de comparer ses chiffres ne permettent pas de conclure à une significativité. Les raisons de cette difficulté à tirer une conclusion claire demeurent notamment dans la définition non rigoureuse de la population exposée au bruit nocturne et dans le choix d'un échantillon peu représentatif de la population [12].



**Figure 1 : Composite de données d'études récentes sur les troubles du sommeil [12]**

◆ **Les propos d'une association**

Les propos du docteur Nerome, praticien hospitalier à l'hôpital de Montmorency et présidente de l'Association de Défense du Val d'Oise contre les Nuisances Aériennes de Roissy (ADVOCNAR), permettent d'illustrer les effets décrits précédemment. En effet, Roissy doit faire face à environ 160 mouvements chaque nuit (chiffres 2001), il s'agit principalement de transport de fret, notamment pour l'acheminement de courrier postal dont les délais de distribution sont stricts. Elle considère que cela se fait au détriment de la santé de milliers de personnes qui vivent sous les axes d'atterrissage ou de décollage. Bien souvent, même les niveaux sonores à l'intérieur sont difficilement respectés : les valeurs recommandées par l'OMS dans la chambre à coucher sont de 30 dB(A) (Leq 8 h) et de 45 dB(A) (Lmax). De plus, le nombre de personnes dont le sommeil est perturbé par les passages d'avions la nuit est conséquent en rappelant que la densité de population autour de Roissy est d'environ 1400 habitants au km<sup>2</sup> (chiffres 2001).

Par ailleurs, le docteur Nerome souligne que les nuisances sont amplifiées durant la saison estivale pour deux raisons essentielles :

- conditions météorologiques particulières, avec davantage de vents d'Est, qui ramènent l'énergie sonore vers la zone la plus peuplée.
- nécessité importante d'ouvrir les fenêtres des habitations à cause des températures ambiantes plus hautes.

En outre, les nuisances du trafic de Roissy sont concentrées sur quatre pistes parallèles (cf. annexe 4C sur l'organisation des pistes à Roissy-Charles-de-Gaulle) ; les avions sont alignés à environ 20 km des pistes et larguent au passage une quantité d'énergie sonore élevée pour les riverains des communes (plaintes reçues par l'ADVOCNAR) situées à l'aplomb immédiat de la trajectoire imposée par l'ILS (cf. annexe 4). Le niveau sonore ne semble pas être connu de manière précise sur chaque territoire communal, c'est pourquoi l'association vient de se doter d'une station sonomètre, car il n'existe aucun capteur sonore à l'intérieur des habitations des communes survolées, donc on ne sait pas précisément à quel niveau sonore est exposée la population riveraine de l'aéroport.

❖ Effets ressentis au lendemain des nuits perturbées

Ils sont souvent difficiles à cerner du fait de la grande variabilité de leur latence d'apparition.

◆ ***La perception de l'humeur et de la forme physique***

L'utilisation de questionnaires appropriés sert à apprécier la forme et l'humeur du dormeur au lendemain des nuits perturbées par le bruit. Les effets de l'exposition au bruit nocturne sont le plus souvent constitués par une plainte subjective de mauvais sommeil, une mauvaise qualité de la période de veille consécutive, souvent accompagnée d'une somnolence diurne dont les effets peuvent être désastreux en termes de capacité de travail ou encore de survenue d'accidents. Bien que l'aspect subjectif puisse être considéré comme une approche incomplète, le coût et la complexité des mesures physiologiques polygraphiques sont tels, que l'évaluation subjective reste la méthode la plus rapide et la plus accessible pour mesurer l'impact du bruit sur de très larges échantillons de populations [10].

◆ ***Les conséquences sur les performances diurnes***

Des mesures instrumentales peuvent être utilisées pour apprécier les performances diurnes à des tâches verbales, écrites ou psycho-sensorimotrices plus ou moins complexes. Ainsi, il a été possible de comparer les performances obtenues au lendemain de nuits perturbées par le bruit avec celles obtenues au lendemain de nuits non perturbées et de mettre en évidence une détérioration des temps de réaction, consécutive à l'exposition au bruit nocturne, lors de l'exécution de tâches intellectuelles [10].

De façon complémentaire, il est également possible d'effectuer des dosages urinaires ou sanguins permettant de révéler l'existence de témoins biochimiques reflétant les perturbations subies par l'organisme notamment les hormones liées au stress (cf. annexe 5 et paragraphe sur le stress et ses conséquences).

### ◆ **La prise de médicaments**

La période nocturne est spécifique et elle provoque parfois des comportements d'excès suite à des agacements causés par l'impossibilité de trouver le sommeil. On peut citer par exemple la manipulation pharmacologique du sommeil, telle que la prise de somnifères. Lors d'un comportement de ce type, il est important de distinguer deux types de résultats [10] :

- la réactivité généralisée sur laquelle le somnifère agit pleinement pour éviter les périodes d'éveil,
- la réactivité localisée qui demeure inchangée après la prise de somnifères (les réponses cardiovasculaires restent les mêmes).

Les conséquences d'habitude et de dépendance suite à l'ingestion de ces remèdes pour trouver le sommeil peuvent être persistantes et provoquer de graves dégâts dans la vie quotidienne (endormissement au volant d'un véhicule par exemple). Il faut rappeler qu'il s'agit dans ce cas d'un sommeil artificiel, qui n'a pas les mêmes qualités qu'un sommeil naturel.

L'étude épidémiologique des troubles anxio-dépressifs réalisée autour de Roissy [13] présente les fréquences de certains effets possibles du stress sur la santé.

**Tableau III : Prise de médicaments à effet somnifère dans une population exposée et une population témoin**

Effets possibles du stress sur la santé	Fréquence chez les patients		Odds Ratio (OR)	Intervalle de Confiance 95 % (IC 95)
	zone exposée	zone témoin		
Benzodiazépines*	43 %	13 %	5,46	2,62-11,59
Autres somnifères	30 %	12 %	3,18	1,50-6,83

\*Groupe de substances psychotropes à effet sédatif utilisées pour réduire les états de stress et d'anxiété.

Ces paramètres reflètent bien la vulnérabilité des populations vivant dans les zones de bruit élevé à proximité des couloirs aériens. En outre, il existe un certain nombre de facteurs de situation tels que l'ambiance familiale, les sollicitations de la vie socioprofessionnelle, les tracas et les peines du moment, l'existence de troubles de la santé, pouvant influencer la prise de médicaments.

### ❖ Habitude au bruit et effets à long terme

Un certain degré d'habitude aux conditions sonores existe, mais elle reste incomplète : certaines fonctions physiologiques (notamment cardio-vasculaires) demeurent modifiées par la répétition des perturbations sur des durées d'exposition très longues.

Le nombre de réactions cardio-vasculaires des personnes dormant sous les axes des pistes d'un aéroport (par exemple, 160 mouvements d'aéronefs la nuit sur Roissy) peut donc être non négligeable pour un organisme censé être au repos.

Le coût le plus important de la privation de sommeil pour la santé, au sens large, est la réduction de la qualité de vie (fatigue chronique excessive, somnolence, réduction de la

motivation, conflits, etc.) lorsque l'exposition au bruit d'avions dure des mois voire des années [10].

L'analyse des résultats obtenus par divers auteurs [14] sur le réveil comportemental provoqué par des bruits (avion, trafic routier, etc.), d'intensités comprises entre 40 et 86 dB(A), conduit à la conclusion que le nombre de réveils diminue au cours des sept premières nuits pour atteindre un niveau constant, traduisant ainsi une habitude au bruit. En confirmant l'existence d'une habitude comportementale, il a été néanmoins constaté que les modifications de la structure temporelle des stades de sommeil (recueil d'indices électrophysiologiques) ne présentent pas de signes d'habitude au bruit pendant vingt nuits d'observation ; il en est de même pour les réponses cardio-vasculaires provoquées par un bruit de circulation de  $L_{eq}$  45, 55 ou 64 dB(A).

Les personnes exposées de manière chronique à des niveaux de bruit nocturne de l'ordre de 45 dB(A) présentent une structure de sommeil proche de celle de la plupart des sujets dépressifs ou de personnes plus âgées [15].

Même si les troubles du sommeil ont été relativement bien étudiés, il n'en demeure pas moins que les études épidémiologiques réalisées dans ce domaine (Knipschild P. et Oudshoorn N. in [10], Tarnopolski A. et al. in [10], Kryter KD. in [10]) sont soumises à l'interaction de nombreux facteurs, qui seront détaillés plus loin.

#### 3.4.2.2 Maladies cardio-vasculaires et facteurs associés

Il existe suffisamment de preuves que l'exposition durable au bruit conduit à une augmentation chronique du taux des hormones du stress et aux facteurs de risque biochimique d'artériosclérose [2]. On peut ainsi prévoir qu'une exposition chronique au bruit accroît le risque de maladies cardio-vasculaires spécifiques.

##### 3.4.2.2.1 Maladies cardio-vasculaires

###### ◆ L'infarctus du myocarde

L'état de la littérature utilisée ne mentionne pas de travaux analysant l'association entre bruit en environnement de travail et infarctus du myocarde. Par contre, le bruit des transports et l'infarctus ont été étudiés, notamment par des chercheurs hollandais de l'institut de recherche sur la santé publique et l'environnement (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu - RIVM). Une de leurs équipes a réalisé une méta-analyse publiée en mars 2002 [1] et rassemblant les effets sanitaires observés suite à l'exposition au bruit de transports.

**Tableau IV : Estimation de l'association entre bruit, infarctus du myocarde et maladies cardiaques ischémiques, ajustée sur le sexe et l'âge<sup>1</sup>**

Noise exposure, outcome	RR <sup>a</sup> 5 dB(A)	95% CI <sup>b</sup>	No. of estimates <sup>c</sup>	Measurement range dB(A)
<b>Road traffic</b>				
Myocardial infarction	1,03	0,99-1,09	3	51-80
Ischemic Heart Disease-total (IHD)	1,09	1,05-1,13	2	51-70

<sup>a</sup> Relative Risk

<sup>b</sup> Confidence Interval of 95%

<sup>c</sup> Nombre d'études estimant le risque

Ce tableau montre que le bruit de trafic routier est associé de manière statistiquement significative aux maladies cardiaques ischémiques (risque relatif de 1,09 pour chaque élévation de 5 dB(A)), même si cela reste relativement faible. Il existe une tendance entre bruit de trafic routier et infarctus du myocarde, mais elle n'est pas démontrée comme significative (risque relatif de 1,03 par augmentation de 5 dB(A)). Cette méta-analyse n'a pas pris en compte le risque d'infarctus du myocarde et de IHD par rapport au transport aérien.

Le programme de recherche sur l'évaluation de l'impact sanitaire de l'aéroport de Schiphol a étudié les troubles cardiovasculaires et notamment les infarctus du myocarde dus au transport aérien [16]. L'estimation du nombre d'hypertendus supplémentaires (1500 IC 95% = [800-2200], chiffres 1976) conduirait à un nombre d'infarctus du myocarde additionnels compris entre 2 et 6 ; ce qui provoquerait un décès chaque année pour une population totale de 1,6 millions d'individus.

Deux études cas-témoins in [16] sur la relation entre bruit de trafic routier et incidence de l'infarctus du myocarde ont donné un risque relatif de 1,07 par tranche de 5 dB(A) (IC 95% = [0,99-1,14]). En admettant que cette relation puisse être transposable au bruit d'avion, environ 34 (IC 95 % = [-1 ; 77]) cas additionnels d'infarctus du myocarde peuvent être attendus chaque année aux Pays-Bas autour de l'aéroport de Schiphol. Le nombre total d'infarctus du myocarde est de 4900 par an pour la population autour de l'aéroport de Schiphol ; un maximum de 0,7% de cette incidence est estimé être associé à l'exposition au bruit d'avions [16].

#### ◆ L'angine de poitrine

D'un point de vue symptomatologique, il s'agit de douleurs constrictives angoissantes, ressenties principalement dans le thorax, lorsque le cœur ne reçoit pas assez d'oxygène. En ce qui concerne le milieu de travail, cette pathologie ne semble pas avoir été étudiée quant à son association avec le bruit professionnel. La méta-analyse du RIVM [1] permet d'observer les relations entre le bruit dû aux transports routier et aérien, et le risque d'angine de poitrine.

<sup>1</sup> Un certain nombre de tableaux ont été laissés volontairement en langue anglaise pour éviter toute perte d'information à travers une traduction.

**Tableau V : Estimation de l'association entre bruit et angine de poitrine, ajustée sur le sexe et l'âge**

Noise exposure	RR <sub>5 dB(A)</sub>	95% CI	No. of estimates	Measurement range dB(A)
Road traffic	0,99	0,84-1,16	2	51-70
Air traffic	1,03	0,90-1,18	1	55-72

Le tableau ci-dessus permet de mettre en évidence que l'association entre bruit de trafics (routier et aérien) et angine de poitrine n'est pas significative. Cependant les auteurs observent une tendance entre bruit et effet pathologique, en particulier pour le bruit du trafic aérien.

◆ **L'hypertension artérielle**

Si on retient la définition de l'OMS pour l'hypertension artérielle, il s'agit d'une pression artérielle systolique supérieure à 160 mm de mercure (Hg) et/ou diastolique supérieure à 95 mm de Hg et/ou un traitement anti-hypertenseur en cours. Il y a donc deux méthodes principales pour démontrer l'existence d'une hypertension : la mesure d'une part, et la consommation d'anti-hypertenseurs d'autre part.

a) L'hypertension mesurée

En ce qui concerne le lien entre bruit et hypertension artérielle, il n'est plus à démontrer [1,14,16,17,18]. L'environnement sonore de travail a une influence forte sur l'apparition d'hypertension artérielle. La durée d'exposition au bruit (niveau sonore moyen > 85 dB(A)) est associée positivement à l'hypertension, comme le montre l'étude du groupe des médecins du travail de l'Association Pour la Santé de l'homme au Travail (APSAT) sur 7000 salariés [18]. L'hypertension concerne 38% des travailleurs ayant plus de 25 ans d'exposition, alors qu'elle touche 7% des travailleurs ayant de 1 à 9 années d'exposition. Néanmoins, même si l'ajustement sur l'âge est fait, la relation persiste lorsque l'exposition est de 25 ans au moins ; dans ce cas, la prévalence de l'hypertension observée est 2,6 fois plus élevée dans le groupe de sujets exposés [18].

Les résultats de la méta-analyse du RIVM [1] vont dans le sens positif d'une association entre exposition professionnelle et apparition de l'hypertension artérielle.

**Tableau VI : Estimation de l'association entre exposition professionnelle au bruit et risque d'hypertension artérielle.**

Noise exposure, outcome	RR <sub>5 dB(A)</sub>	95% CI	No. of estimates	Measurement range dB(A)
Occupation Hypertension	1,14	1,01-1,29	9	55-116

Une relation significative entre exposition au bruit professionnel et hypertension est mise en évidence pour chaque augmentation de 5 dB(A) (risque relatif important de 1,14).



La méta-analyse [14] a également étudié l'association entre le bruit de trafic routier et le risque d'hypertension.

**Tableau VII : Estimation de l'association entre bruit de trafic routier et risque d'hypertension**

Noise exposure, outcome	RR <sub>5 dB(A)</sub>	95% CI	No. of estimates	Measurement range dB(A)
Road traffic Hypertension	0,95	0,84-1,08	2	< 55-80

Le lien entre bruit de trafic routier et risque d'hypertension est non-significatif, mais les auteurs constatent une certaine tendance positive.

La prévalence de l'hypertension dans une population exposée au bruit d'avions a été étudiée dans une étude transversale [17] autour de l'aéroport de Stockholm Arlanda au cours d'une récente recherche sur un échantillon de 266 riverains de l'aéroport et 2693 habitants d'autres territoires de Stockholm. Les résultats de prévalence de l'hypertension selon le type de mesure sont les suivants :

**Tableau VIII : Prévalence de l'hypertension parmi les riverains exposés à des niveaux équivalent et maximum de bruit d'avions**

Noise exposure	Ajusted POR*	95% CI*
<b>Equal energy</b> > 55 dB(A)	1,6	1,0 to 2,5
<b>Maximum noise</b> > 72 dB(A)	1,8	1,1 to 2,8

\*Prevalence odds ratio - 95 % confidence interval

Dans cette même étude, une stratification par sexe, âge et acuité auditive a été menée [17].

**Tableau IX : Prévalence de l'hypertension parmi les riverains exposés à des niveaux équivalent et maximum de bruit d'avions, stratifiée par sexe, âge et acuité auditive.**

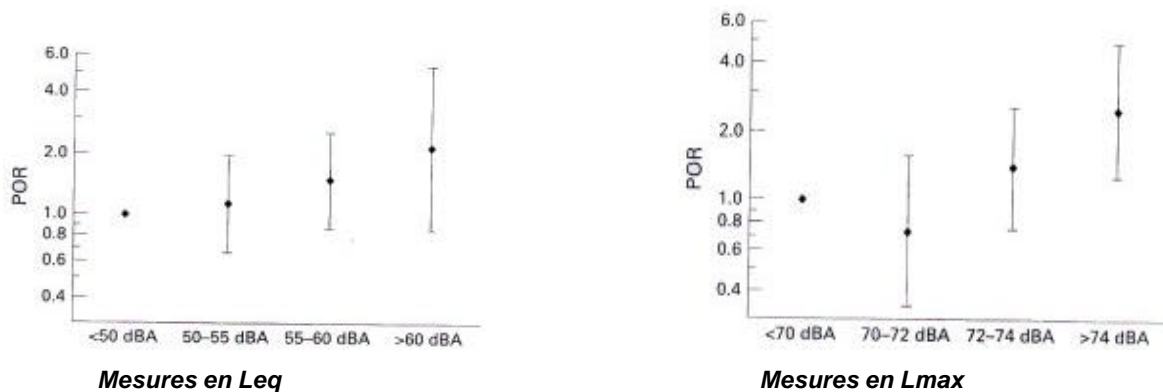
	POR <sup>a</sup>	95% CI <sup>b</sup>
	Leq > 55 dB(A)	
Men	1,7	0,9 to 3,3
Women	1,4	0,8 to 2,8
< 55 years	1,2	0,6 to 2,5
>= 56 years	1,9	1,0 to 3,7
Hearing loss	0,7	0,2 to 2,4
No hearing loss	2,0	1,2 to 3,2
	Lmax > 72 dB(A)	
Men	1,8	0,9 to 3,4
Women	1,7	0,9 to 3,2
< 55 years	1,4	0,7 to 2,7
>= 56 years	2,2	1,1 to 4,1
Hearing loss	1,1	0,4 to 3,3
No hearing loss	2,1	1,3 to 3,4

<sup>a</sup>Prevalence odds ratio adjusted for age, sex, smoking and education (except when stratified by sex)

<sup>b</sup>95 % confidence interval

Il n'y a pas de différence flagrante entre les sexes pour le risque hypertension. Par contre, les sujets plus âgés semblent avoir une prévalence plus importante pour l'hypertension relativement à l'exposition au bruit d'avions. Les personnes dotées d'une bonne acuité auditive ont un risque particulièrement élevé pour une exposition chronique au bruit des avions. Par ailleurs, les deux mesures sont très corrélées : le bruit d'avions défini comme des niveaux crête ou un nombre d'événements montre une association meilleure avec la réaction recherchée que si l'on considère les niveaux d'énergie équivalents. Cette étude suggère donc la prise en compte fondamentale des niveaux maximum lorsque l'on étudie les effets sanitaires. Le risque est en effet plus fort lorsque l'on considère le niveau maximum, dans l'étude considérée.

On observe de plus, une évolution croissante dose-réponse lorsque le niveau sonore (équivalent et maximum) augmente [17].

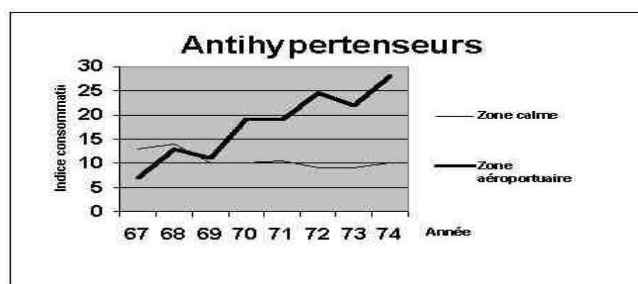


**Figure 2 : Risque d'hypertension selon différentes catégories de niveaux sonores**

**b) La consommation d'anti-hypertenseurs**

En admettant qu'un individu en bonne santé n'ait pas besoin de médicaments et que le bruit puisse avoir des retentissements variés, la consommation de médicaments par les populations exposées au bruit peut représenter un effet quantifiable de cette nuisance.

Une augmentation de la consommation de médicaments destinés au traitement de l'hypertension artérielle a été observée autour de l'aéroport d'Amsterdam au fur et à mesure de son développement (Knipschild in [11]), même si la relation n'est pas significative en termes statistiques.



**Figure 3 : Evolution de la consommation d'anti-hypertenseurs par année et suivant la zone d'exposition au bruit.**

La forte croissance de consommation d'anti-hypertenseurs dans la zone aéroportuaire montre clairement un lien entre les bruits d'avions subis et le nombre d'hypertendus (on peut poser l'hypothèse que les personnes traitées par anti-hypertenseurs sont hypertendues alors que toutes les personnes hypertendues ne sont pas traitées). Quoiqu'il en soit, même si le délai d'exposition nécessaire pour que les conséquences vasculaires soient mesurables semble relativement long, l'exposition chronique au bruit est à ranger parmi les facteurs de risque potentiel d'hypertension artérielle.

La méta-analyse [1] présente aussi les résultats des études sur le bruit routier et l'utilisation d'anti-hypertenseurs.

**Tableau X : Estimation de l'association entre bruit de trafic routier et utilisation d'anti-hypertenseurs**

Noise exposure, outcome	RR <sub>5 dB(A)</sub>	95% CI	No. of estimates	Measurement range dB(A)
Road traffic Use of antihypertensives	0,96	0,76-1,22	2	> 50-73

En ce qui concerne le bruit du trafic routier, le lien avec l'utilisation d'anti-hypertenseurs n'est pas significatif ; les auteurs constatent néanmoins une tendance positive.

#### ◆ Troubles cardio-vasculaires non précisés

Pour mesurer ces troubles, il a été choisi de suivre la prescription de médicaments et la consultation de généralistes ou spécialistes. Knipschild P. in [13], aux Pays-Bas, a étudié les effets du bruit des avions sur les riverains d'aéroport. Il a comparé divers paramètres chez des groupes de population exposés à des niveaux de bruit élevés (67-75 dB(A) en Leq) ou faibles (46-55 dB(A) en Leq). Les troubles cardio-vasculaires, ainsi que la fréquence des visites chez le médecin et la consommation de médicaments vendus sur ordonnance, étaient significativement augmentés dans la population habitant dans des zones à niveau de bruit élevé (mise en évidence d'un taux de consultation et donc de prescription médicale de 8 à 9,3% dans les zones bruyantes, contre 5,7% dans une zone plus calme).

La même méta-analyse [1] a permis aussi d'étudier la relation entre bruit de transports et utilisation de médicaments contre les troubles cardio-vasculaires, ainsi que le niveau de consultations de médecins.

**Tableau XI : Estimation de l'association entre bruit de transports, utilisation de médicaments cardio-vasculaires et consultation d'un généraliste ou d'un spécialiste**

Noise exposure, outcome	RR <sub>5 dB(A)</sub>	95% CI	No. of estimates	Measurement range dB(A)
<b>Air traffic</b> Use of cardiovascular medicines	1,05	0,99-1,11	2	38-77
<b>Road traffic</b> Consultation of general practitioner/specialist	0,91	0,73-1,12	1	55-70

Les associations étudiées ici ne sont pas significatives, mais les auteurs constatent une certaine tendance positive, plus marquée pour la relation entre bruit de transport aérien et utilisation de médicaments cardiovasculaires.

#### 3.4.2.2 Constatation de l'augmentation de la pression artérielle

L'hypertension artérielle est une maladie avec une définition précise des valeurs tensionnelles. Dans de nombreuses études, c'est l'augmentation à un instant "t" de la pression artérielle qui est étudiée en relation avec le bruit.

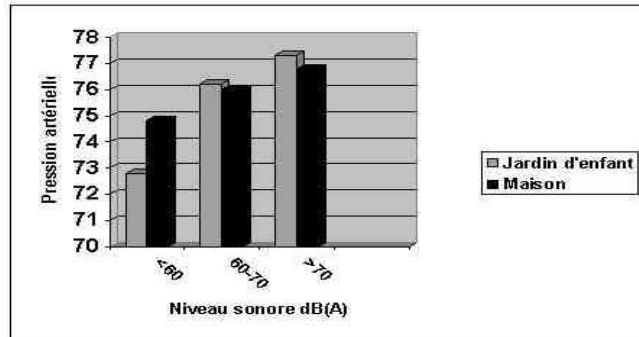
L'étude épidémiologique des troubles anxio-dépressifs autour de Roissy [13], montre que, d'un point de vue médical, il n'y a pas de différence de pression artérielle entre les deux groupes de patients. Les "exposés" représentent les patients ayant consulté un médecin situé à l'intérieur des contours de bruit de l'aéroport (275 personnes), les "non exposés" à l'extérieur (374 personnes).

**Tableau XII : Valeurs de pression artérielle en fonction de l'exposition de riverains au bruit d'avions**

	Pression systolique (mm Hg)	Pression diastolique (mm Hg)
<b>Exposés</b>	129,5	77,4
<b>Non-exposés</b>	131,6	78,6

Ces résultats montrent que le bruit d'avions ne semble pas créer de problèmes majeurs ; néanmoins il est nécessaire de préciser ici que le groupe des non exposés est légèrement plus âgé que l'autre groupe, et que de ce fait ils ont une tension davantage liée à l'âge qu'au bruit [13]. En effet, la pression artérielle augmente avec l'âge, ce qui pourrait en partie expliquer les chiffres ci-dessus. De plus, un patient qui va consulter un praticien situé en zone bruyante ne vit pas forcément dans cette zone. Différents facteurs sont donc impliqués dans cette relation et favorise la "non-association" entre pression artérielle élevée et exposition au bruit.

L'étude de Regecova V. in [11] analyse 1542 enfants âgés de 3 à 7 ans confrontés à une pollution sonore diurne et observe une élévation significative de la pression artérielle en fonction du niveau sonore.



**Figure 4 : Evolution de la pression artérielle chez des enfants en fonction du niveau sonore**

L'observation de cette figure montre que la pression artérielle s'élève avec le niveau de bruit, tant à la maison qu'au jardin d'enfant.

L'étude réalisée dans la vallée du Tyrol en Autriche [19] a étudié aussi les variations de pression artérielle chez 115 enfants scolarisés.

**Tableau XIII : Evolution de la pression artérielle en fonction de l'énergie sonore**

	non-exposed group < 50 dB(A)	exposed group > 60 dB(A)
<b>Diastolic blood pressure</b>	73.00 mmHg	72.75 mmHg
<b>Systolic blood pressure</b>	115.32 mmHg	117.29 mmHg <sup>c</sup>

<sup>c</sup>Statistically significant difference

Le tableau montre que les enfants exposés à des niveaux sonores plus élevés ont une pression sanguine systolique (cf. annexe 5) significativement plus importante que leurs homologues dans l'environnement plus calme [ $t(106) = 1,74, p < 0,04$ ].

Il est important de bien différencier l'augmentation de la pression artérielle de l'hypertension artérielle. En effet, une augmentation de pression artérielle n'évoluera pas forcément vers une hypertension artérielle. Cependant cet élément ne doit pas être négligé car le nombre de pathologies induites (accident vasculaire cérébral, infarctus, etc.) augmente avec la pression artérielle, mais la relation est sans effet seuil.

### 3.4.2.2.3 Constatation de l'augmentation de la fréquence cardiaque

L'étude réalisée dans la vallée du Tyrol en Autriche [19] sur 115 enfants scolarisés a mis en évidence des résultats sur les conséquences symptomatologiques du stress psychophysiologique. Le groupe non-exposé correspond à un environnement sonore inférieur à 50 dB(A) ; les exposés à une zone supérieure à 60 dB(A).

**Tableau XIV : Fréquence cardiaque en fonction du niveau sonore**

	non-exposed group < 50 dB(A) Leq	exposed group > 60 dB(A) Leq
<b>Heart rate</b>	89.99 bpm <sup>a</sup>	90.43 bpm
<b>Heart rate reactivity</b>	3.87 bpm	5.81 bpm <sup>c</sup>

<sup>a</sup>bpm = beats per minute

<sup>c</sup>Statistically significant difference

Le taux de réactivité du cœur est significativement plus fort chez les enfants exposés à un niveau sonore plus important. Cette constatation est d'autant plus importante qu'elle concerne des organismes jeunes : les enfants font en effet partie d'une population dite "à risque" dont il faudra tenir compte différemment pour évaluer les risques sanitaires dus au bruit. Il reste à démontrer les effets sanitaires à haute fréquence cardiaque.

#### 3.4.2.2.4 Réactions de stress

Comme on l'a vu précédemment, les études épidémiologiques ne permettent pas vraiment de parvenir à une conclusion claire ; néanmoins, la plausibilité physiologique doit être prise en compte pour expliquer le lien de causalité entre certaines réponses de l'organisme et la pathologie : le stress est une des réponses du corps humain, source potentielle de complications pathologiques, notamment cardiovasculaires.

#### ◆ Le contexte de l'action de l'agent stressant

Le phénomène sonore provoque un certain nombre de réactions inopinées et involontaires au niveau de différents systèmes physiologiques. Le caractère répétitif du phénomène constitue une agression pour l'organisme et peut devenir un danger pour l'intégrité de l'individu. Il demeure raisonnable de dire que c'est l'état de stress, état d'alerte lui-même variable, qui agit comme amplificateur des effets négatifs du bruit [5].

Le stress est avant tout un stimulus (activité pouvant entraîner une réponse chez un individu donné), n'étant pas le même pour tous. Il est aisé de comprendre que la limite entre physiologie (interaction correspondant à une situation dans laquelle un équilibre est rapidement rétabli après une modification transitoire) et pathologie (modification durable avec des régulations centrées sur d'autres niveaux fonctionnels) n'est pas simple [5]. Le problème est encore plus complexe si l'on se souvient de la définition de la santé donnée par l'OMS, rappelée dans l'introduction...

#### ◆ Les perturbations hormonales

L'exposition au bruit entraîne une modification de la sécrétion des hormones liées au stress, l'adrénaline et la noradrénaline (cf. annexe 5). Leurs taux peuvent augmenter de façon significative et cela se traduit par une excrétion urinaire accrue de leurs produits de dégradation [20]. L'élévation de ces taux peut provoquer une augmentation du métabolisme

des graisses et un bouleversement de tout le système cardio-vasculaire décrit dans les parties précédentes (arythmies cardiaques, agrégations plaquettaires, élévation de la pression artérielle, etc.).

Plusieurs études rapportent également une élévation du taux nocturne de cortisol (cf. annexe 5) sous l'effet du bruit. Cette hormone de stress joue aussi un rôle important dans les défenses immunitaires de l'organisme (par exemple contre les infections microbiennes). Cette diminution des capacités immunitaires semble être liée aux modifications des taux de corticoïdes sous l'influence du stress et des conflits auxquels l'individu est soumis. Des données obtenues chez l'animal indiquent même que le stress prolongé pourrait entraîner une atrophie de l'hippocampe (partie du cerveau), structure nerveuse d'importance majeure, du fait de la sécrétion excessive de glucocorticoïdes [20]. La recherche dans ce domaine mériterait d'être développée.

Les femmes enceintes constituent une population sans doute davantage "à risque" par leur réponse au bruit à travers une réaction de stress : celle-ci, en effet transmise au fœtus [21] peut avoir des conséquences sur la formation des organes et le déroulement de la grossesse. Plusieurs études japonaises (Nakamura H. in [13]) suggèrent que les enfants nés de mères exposées au bruit d'avions ont un poids et une taille inférieurs à ceux d'enfants d'un échantillon témoin non soumis au bruit. Le mécanisme explicatif pourrait résider dans l'insuffisance de la sécrétion liée à certains stades de sommeil. En fait, dans cette recherche, de nombreux facteurs ne sont pas contrôlés (rang de naissance, type d'alimentation traditionnel ou occidental) qui auraient dû l'être pour affirmer la responsabilité dans les retards décrits. Rehm K. et Jansen G. in [13] ont tenté de mettre en évidence les liens entre le bruit des avions et la fréquence des naissances d'enfants prématurés. Bien que ce type d'effet n'ait pu être démontré statistiquement, il existe une tendance à un taux plus élevé de prématurés dans les zones bruyantes [13].

L'étude réalisée dans la vallée du Tyrol en Autriche [19] a mis en évidence des résultats sur le stress psychophysiologique et ses symptômes. Ces résultats psychophysiologiques ont été obtenus après analyse d'urine :

**Tableau XV : Concentration de substances hormonales en fonction du niveau sonore**

	Groupe non-exposé < 50 dB(A)	Groupe exposé > 60 dB(A)
<b>Epinephrine</b>	697.96 ng/8h <sup>b</sup>	690.48 ng/8h
<b>Norepinephrine</b>	8920.38 ng/8h	9900.86 ng/8h
<b>20A-dihydrocortisol</b>	7.75 µg/8h	9.80 µg/8h <sup>c</sup>
<b>Cortisol</b>	3.86 µg/8h	4.87 µg/8h <sup>c</sup>

<sup>b</sup>h = hours

<sup>c</sup>Statistically significant difference

La quantité de cortisol libre total est significativement plus élevée chez les exposés [U = 273, p < 0,05]. Le test U non-paramétrique de Mann-Whitney a été utilisé parce que les données

endocriniennes ne respectaient pas les conditions de normalité. Au contraire, les taux de catécholamines ne sont pas significativement différents selon l'exposition au bruit.

Les réactions biochimiques au sein de l'organisme humain sont également influencées par le caractère habituel ou non du bruit perçu [22]. La sécrétion élevée de substances chimiques va en effet faire croître la résistance périphérique des vaisseaux sanguins et faire diminuer l'amplitude des pulsations digitales. Par ailleurs, Ising H.[22] prouve aussi que le taux élevé de catécholamines libérées sous l'effet du stress, peuvent faire croître le niveau de magnésium du sérum, alors que le magnésium cellulaire se raréfie dans les érythrocytes : ce processus conduirait à la diminution de magnésium et à l'élévation de calcium dans le myocarde, donc participerait à l'augmentation du risque d'infarctus.

On constate que l'ensemble des phénomènes "en réponse" à la stimulation du bruit sont liés et participent au développement des troubles cardiovasculaires.

#### ◆ **Autres effets du stress**

L'étude épidémiologique des troubles anxio-dépressifs réalisée autour de Roissy [13] présente les fréquences de certains effets possibles du stress sur la santé.

**Tableau XVI : Comparaison de l'état de santé en fonction de la résidence dans une ville exposée au bruit des avions ou non.**

Effets possibles du stress sur la santé	Fréquence chez les patients (en %)		OR	IC 95%
	zone exposée	zone témoin		
<b>Avis du patient</b>				
Santé influencée par les nuisances	84	47	5,99	3,01-12,10
<b>Signalement par le patient</b>				
Fumeur	71	55	1,97	1,11-3,54
Prise quotidienne prolongée de psychotrope	71	57	1,92	1,06-3,47
<b>Antécédents</b>				
Arrêts de travail	77	36	5,80	2,77-12,25
<b>Médicaments consommés</b>				
Anti-acides à visée digestive	37	9	5,89	2,61-13,66
Antalgiques, anti-inflammatoires	60	45	1,85	1,07-3,21
Anti-dépresseurs	31	12	3,21	1,52-6,91
Autres psychotropes	19	6	3,67	1,43-11,17

Ces écarts, très évocateurs de différences d'état de santé entre les habitants des deux zones, nécessitent d'être confirmés par une enquête élargie auprès de deux groupes comparables non seulement sur l'âge et le sexe, mais aussi sur le type d'habitat (maison ou immeuble) et les critères sociaux (cf. paragraphe 3.6.3.2.4 sur les populations précaires). Cependant, ils reflètent bien la vulnérabilité des populations vivant dans les zones de bruit élevé à proximité des couloirs aériens. Par ailleurs, un certain nombre d'autres facteurs interviennent dans les investigations des médecins sollicités, tels que des conditions de travail difficiles, de mauvaises relations avec le voisinage, une durée de transport dépassant



deux heures par jour, etc [13]. Ces paramètres sont susceptibles d'avoir leur propre influence sur le stress, plus ou moins indépendamment du bruit. Les auteurs précisent également qu'il est indispensable d'affiner l'analyse à cause du petit nombre de médecins investigateurs impliqués dans cette recherche.

### 3.4.2.3 Pathologies psychiatriques et répercussions psychologiques

Tarnopolski A. in [13], à la suite de plusieurs études sur les admissions en hôpital psychiatrique, a réalisé une enquête pour repérer les troubles psychiatriques et leur fréquence en fonction des niveaux de bruit d'un aéroport. L'auteur constate que le bruit provoque des désordres psychiatriques seulement parmi les catégories socio-professionnelles élevées. Le bruit ne provoque pas de maladies mentales à lui seul, mais en interaction avec d'autres facteurs sociaux ou personnels.

L'étude de Relster E. au Danemark (Muzet A. et Vallet M. in [11]) a été consacrée aux répercussions psychiatriques de l'exposition chronique au bruit. Le tableau suivant dresse un constat chiffré dans les zones exposées à des Leq de 69 à 78 dB(A) de jour autour de l'aéroport de Copenhague (il n'est pas précisé à quel niveau est soumise la population témoin).

**Tableau XVII : Comparaison des troubles psychiatriques suivant l'exposition au bruit**

	Consultation d'un psychologue ou psychiatre sur 5 ans	Internement en hôpital psychiatrique	Prise de tranquillisants
Population témoin	12%	2%	17%
Population exposée	19%	4%	25%

L'étude de Meecham WC. in [11], analyse sur une période de dix ans (1970-1980) la population proche de l'International Los Angeles Airport. Comparé à une population témoin, le nombre de suicides est accru de 100% pour la tranche d'âge 45-54 ans. Au total, un accroissement de 5% de la mortalité est constaté pour les riverains de l'aéroport.

Bien que Kryter KD. in [23] en 1990, dans une nouvelle analyse de ces données, déclare une association positive entre exposition au bruit et admission psychiatrique, il semblerait que la voie de l'admission en hôpital soit influencée par de nombreuses variables psychosociales, lesquelles apparaîtraient plus puissantes que l'exposition au bruit. Le bruit jouerait le rôle de facteur supplémentaire dans le malaise général ressenti par certaines populations considérées comme en marge de la société.

Sur l'aéroport Kadena au Japon il a été observé une aggravation des états dépressifs et nerveux suivant une élévation du niveau sonore dû au passage d'avions militaires. A ce sujet il est intéressant de constater que le ministère de la défense considère que les décibels militaires ne sont pas des décibels civils s'agissant de vols d'avions militaires

particulièrement bruyants [24]. En outre, il n'existe encore, en France, que très rarement un plan de gêne sonore autour des aéroports militaires, lesquels se trouvent de facto, exonérés de toute obligation de contribution à l'amélioration de l'isolation acoustique des bâtiments exposés au bruit aéronautique.

#### 3.4.2.4 Difficultés de concentration et atteintes des performances mentales

En environnement de travail, le bruit a des effets sur la productivité et la sécurité [5] mais aussi sur l'état de vigilance et l'attention du sujet. Il est souvent montré comme dans une étude récente de l'industrie automobile [15], que certaines tâches sont plus vulnérables à l'action du bruit. Dans les tâches qui demandent une attention soutenue (surveillance, contrôle de qualité), les effets du bruit peuvent se manifester, soit sur le niveau moyen de la performance, soit sur son évolution dans le temps, soit sur la variabilité des réponses (réponses retardées) sans modifications significatives du niveau moyen.

Une population tout à fait sensible au bruit est celle des enfants, notamment en âge d'apprentissage. Il a été clairement démontré que le bruit perçu à la maison (cf. paragraphe sur les effets au lendemain de nuits perturbées), mais également à l'école durant les phases de concentration, augmente le risque d'observer des problèmes d'apprentissage à l'école. Le détournement de l'attention par le bruit constitue l'explication la plus ancienne des effets négatifs du bruit sur la performance [5]. D'un point de vue psychophysique, il s'agit d'une réaction d'orientation. Celle-ci se manifeste par une commutation de l'attention vers la nouvelle source de stimulation et par l'inattention réflexe à l'information en cours de traitement (distraction).

Les effets spécifiques sur les performances scolaires peuvent être [25] :

- capacités de lecture pauvres et performances scolaires médiocres sur des tests nationaux,
- mémoire insuffisante quand il s'agit d'une demande en matériel sémantique nécessitant une forte mobilisation intellectuelle, telle que l'épreuve de rédaction par exemple,
- déficits en attention soutenue et en attention visuelle,
- faible perception du discours et mauvaise discrimination auditive.

Une partie de l'étude réalisée en Autriche [19] a avancé des résultats concernant la "motivation" selon l'environnement sonore, mesurée à travers le nombre de puzzles entrepris par des enfants, selon les filles et les garçons :

**Tableau XVIII : Nombre moyen de puzzles effectués en fonction du sexe et du niveau sonore**

	non-exposed group < 50 dB(A)	exposed group > 60 dB(A)
Male	4.91	5.54
Female	5.50	4.26

L'observation des chiffres montre que le bruit n'affecte pas la motivation des garçons. En effet, l'équipe de recherche disposait sans doute de données suffisantes pour réaliser une régression dont les paramètres sont les suivants pour le sexe masculin [ $b = 0,93$ ,  $t(111) = 1,41$  non-significatif]. En revanche, pour les filles, l'augmentation du niveau sonore entraîne une baisse dans la performance de réalisation des tâches : [ $b = - 1,24$ ,  $t(111) = 1,62$ ,  $p < 0,05$ ], l'association entre exposition au bruit et performance d'attention pour le sexe féminin est statistiquement significative. Par conséquent, on peut dire qu'il existe un genre significatif dû à l'intensité sonore. En outre, et cela vient appuyer les résultats démontrés sur l'atteinte des capacités d'attention, la méthodologie suivie dans cette étude intègre les informations générales sur les échantillons étudiés : les deux échantillons ne diffèrent selon aucune des variables testées (âge, genre, éducation de la mère, parent seul, taille de la famille, densité dans l'habitation, type d'habitation, indice de masse corporelle). Par ailleurs, l'homogénéité socio-démographique des échantillons sélectionnés est représentative des données nationales de la population autrichienne.

Une étude de Haines MM. [26] sur 451 enfants de 8 à 11 ans scolarisés dans des écoles à l'Ouest de Londres, exposées ou non au bruit d'avions, a permis de mettre en évidence une association entre exposition au bruit et performances à un test de lecture. Des mesures répétées effectuées grâce à un modèle linéaire, examinant l'association entre exposition au bruit et performance au test de lecture appliqué, ont révélé une relation significative pour les quinze questions les plus difficiles dans l'échelle de lecture ( $F(1,423) = 4,75$ ,  $p = 0,03$ ) ; par contre, l'association est non-significative lorsque l'on inclut les 70 questions du test. Ce résultat est confirmé par l'ajustement fait sur l'âge, la langue principale et le niveau social.

Haines MM. et son équipe londonienne [27] ont percé une nouvelle voie de travail dans ce domaine dans une toute récente étude sur 123 écoles primaires autour de l'aéroport d'Heathrow. Les performances scolaires en lecture et mathématiques diminuent lorsque l'exposition chronique au bruit d'avions augmente (il n'y a aucun effet d'habituation avec le temps) ; de plus, cette association est influencée par des facteurs socio-économiques. Il y a au moins deux interprétations possibles de cet effet socio-économique sur la performance. La plus évidente est que l'état socio-économique confond l'association entre bruit et performance scolaire, et explique l'effet du bruit. Ceci impliquerait que les effets de l'exposition au bruit pourraient être un marqueur pour un effet socio-économique sur la performance. Cependant il est commun de penser que la privation sociale, la qualité de l'école et l'exposition au bruit sont tous connus pour influencer défavorablement les performances scolaires. L'ajustement sur le niveau social peut être un sur-ajustement. Cela est appelé un effet contexte, les plus défavorisés allant s'installer autour des aéroports.

Il est possible que l'effet du bruit sur les performances ne soit pas indépendant des effets du désavantage social sur celles-ci. Tout cela pour dire que l'exposition au bruit et la classe

sociale à la fois sont corrélées et ont un effet combiné sur l'influence de la performance. La nature des connexions entre classe sociale, bruit et performance est inconnue et nécessite davantage de considération théorique et d'études empiriques [27].

### 3.4.2.5 La gêne due au bruit des avions

#### 3.4.2.5.1 Définition

La gêne due au bruit est un phénomène commun. Selon l'OMS [2], ce sentiment de gêne peut être défini par "un sentiment de déplaisir associé à un agent (le bruit) dont un individu ou un groupe sait ou croit qu'il a un effet nocif sur sa santé". Dans le domaine des transports aériens, la gêne constitue la réponse principale au bruit.

#### 3.4.2.5.2 Les conséquences et effets sanitaires

Les effets de la gêne sur l'être humain sont multiples, comme le montre la figure ci-dessous ; on peut les regrouper en deux grands types : les aspects comportementaux et les effets en lien avec un impact sanitaire et l'apparition de pathologies.

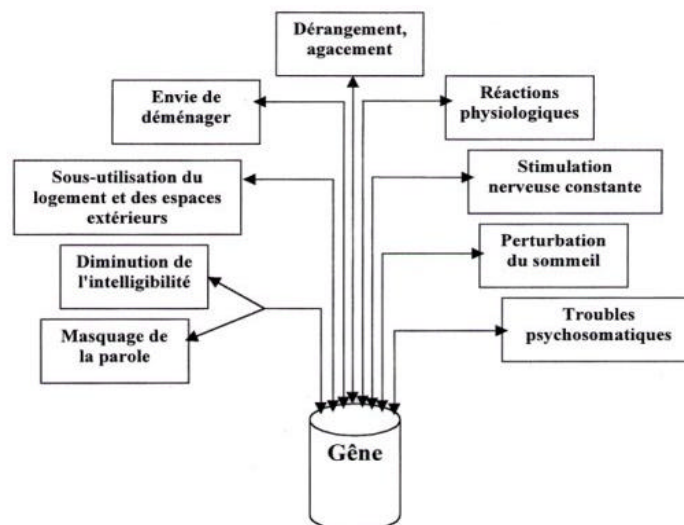


Figure 5 : Principaux effets de la gêne due au bruit [29]

#### ◆ Aspects comportementaux

L'événement sonore interfère en général avec d'autres activités des riverains telles que : la réception des informations (radio, télévision, etc.), la réalisation de certaines tâches et l'intelligibilité du discours. Il est fréquent qu'un riverain s'arrête de parler parce qu'un avion passe ; en plus de la perturbation d'une activité précise, la personne garde le sentiment d'un dérangement, qui contribue à la gêne générale [29]. Ce phénomène d'agacement face au bruit favorise l'agression ; pour se protéger de ces effets néfastes, les riverains peuvent

développer des comportements d'adaptation visant à limiter la gêne ressentie (fermeture des fenêtres, modification de l'usage des pièces du logement, déménagement, etc.).

#### ◆ **Apparition de pathologies**

Les effets directs de la gêne sur le comportement de l'individu soumis au bruit des avions peuvent avoir une composante indirecte à plus long terme, qui favorise l'apparition de troubles sanitaires psychosomatiques ou non selon le "terrain" psychophysiologique de la personne. Cela implique l'existence d'êtres humains plus sensibles au bruit qui sont davantage gênés par un environnement sonore bruyant sur lequel ils ne peuvent agir. Il convient ici de rappeler l'hypersensibilité au bruit des personnes dépressives, hypocondriaques ou anxieuses, ainsi que celles qui se trouvent dans des situations difficiles (divorce, chômage, difficultés relationnelles, etc.) [5].

Cela ne signifie pas que des individus sains sur le plan psychologique ne peuvent pas subir de complications sanitaires directement liées à la gêne due au bruit. En effet une simple réaction de stress ou une variation du taux d'hormones peuvent participer au processus de développement de troubles cardiovasculaires, après un certain temps d'exposition aux événements sonores aériens.

#### 3.4.2.5.3 *Comment la mesurer ?*

La gêne des riverains d'aéroports dépend à la fois des niveaux acoustiques physiques émis par les avions et de la sensibilité de la population. C'est pourquoi on distingue deux types de descripteurs.

#### ◆ **Les descripteurs quantitatifs**

Les études utilisent les indices acoustiques de gêne, à la fois pour la gestion à long terme de l'urbanisme autour des aéroports et pour l'aide aux riverains dans l'amélioration de l'insonorisation de leur logement (élaboration des plans d'exposition au bruit et des plans de gêne sonore) [29]. Michel Vallet affirme qu'il est appréciable que la gêne soit quantifiable et même mesurable.

La dernière étude de Mars 2000 réalisée autour des deux grands aéroports parisiens [30] montre que la corrélation entre la gêne et les indices "Level Day-Night" (Ldn) et "Level Day-Evening-Night" (Lden) est la meilleure (cf. annexe 4) ; le niveau équivalent et l'indice psychologique étant bien plus mauvais dans la corrélation. Cela confirme l'importance de la prise en compte de périodes particulières sur 24 heures, telles que la soirée et la nuit. Pour illustrer les résultats de l'enquête, deux arguments peuvent être cités ; en ce qui concerne la période de soirée (18-22h), le Docteur Nerome de l'ADVOCNAR insiste sur le fait qu'il s'agit d'un moment où la famille se retrouve après le travail et où chacun doit pouvoir s'exprimer sans être gêné ou se reposer, ce qui conforte l'idée fondamentale de tenir compte de ce

moment où la plupart des gens sont chez eux. Par rapport au bruit perçu la nuit, il est clair qu'il est plus intrusif que celui entendu le jour (Porter CS. et al. in [23]) : ceci est dû à la réduction du bruit de fond la nuit (à l'extérieur comme à l'intérieur de l'habitat), ce qui confirme la nécessité de pondérer davantage les bruits des transports aériens produits la nuit.

Cependant, l'attribution d'indices acoustiques à chaque répondant est confronté à deux problèmes principaux [30] :

- soit il s'agit d'indices acoustiques mesurés en un point donné d'une commune dont il est difficile de considérer qu'ils sont représentatifs de l'ensemble des logements enquêtés.
- soit il s'agit d'indices acoustiques estimés et les modèles utilisés ne sont pas à l'abri d'erreurs, tant les variables contextuelles à prendre en compte sont nombreuses.

#### ◆ **Les descripteurs qualitatifs**

Les enquêtes psychosociologiques par questionnaires ont montré que l'énergie acoustique n'explique que 33% de la variance des réponses de la gêne. D'autres facteurs modulent cette réponse [31] :

- *Facteurs de situation*, qui viennent moduler l'exposition individuelle au bruit : bruit de fond (taille de la ville...), niveau d'isolation du logement, etc.
- *Facteurs individuels* : socio-démographiques (sexe, âge, niveau de formation, statut d'occupation du logement, dépendance professionnelle vis-à-vis de la source de bruit, usage de la source, bruit subi au travail, etc.) et facteurs d'attitude (sensibilité au bruit, peur de la source, etc.)
- *Facteurs sociaux* : les styles de vie, l'image de la source de bruit, les attentes vis-à-vis de l'évolution du bruit, la confiance des individus face à l'action des pouvoirs publics envers la problématique.

En ce qui concerne les facteurs individuels, il est intéressant de se pencher sur la "transmission" de la réponse de gêne des parents aux enfants : deux études sur le sujet se contredisent (Dall'ava J. et Poggi D. in [29] et Stansfeld SA. et Haines MM. in [32]) donc il est difficile de se prononcer sur ce point.

L'enquête par questionnaires (1999) sur 1483 personnes réparties sur 36 communes autour d'Orly et de Roissy [31], a donné les résultats suivants :

**Tableau XIX : Proportions des réponses au questionnaire de l'enquête sur la gêne dans l'échantillon de riverains**

Réponse	Proportion
Très gênés	18 %
Assez gênés	30 %
Réduction du bruit d'avions est une priorité	28 %
Envisagent de déménager	44 %
En raison du bruit des avions	10,5 %
Difficulté pour suivre une conversation	51 %
Difficulté pour écouter la radio ou la télévision	49 %
Bruit empêche d'ouvrir la fenêtre la nuit	30 %

L'établissement de la gêne en fonction du bruit montre que le positionnement du logement par rapport à l'axe des pistes et des trajectoires aériennes, additionné de la distance du logement à l'aéroport, a une forte incidence sur la gêne : celle-ci s'élève lorsque les distances à l'axe des pistes et à l'aéroport diminuent.

L'action des pouvoirs publics pour limiter les effets du bruit des avions est jugée (plutôt) insuffisante par environ la moitié des répondants de l'enquête. L'aéroport de Lyon expérimente, dans ce sens, une solution innovante permettant de supprimer certaines fractions de la gêne telles que celles tenant à la crainte de la perte de valeur des biens immobiliers (sensibilisation à l'aviation...) : ces éléments ont été obtenus auprès de certains participants à la conférence internationale organisée par le conseil général du Val d'Oise les 1<sup>er</sup> et 2 juillet 2002. Aéroports De Paris (ADP) propose également des actions de ce type, à travers différentes expositions dans les maisons de l'environnement de la région parisienne.

#### *3.4.2.5.4 Son expression : la plainte*

##### ◆ **Mécanisme et traitement**

La gêne s'exprime essentiellement à travers une plainte que les riverains transmettent directement au gestionnaire de l'aéroport ou via une association. Constantin Dinville, responsable de la cellule "relations avec les riverains" d'ADP-Orly, indique recevoir des plaintes sous différentes formes (courrier postal ou électronique, appel téléphonique) et y répondre sur le même support que l'expéditeur de la plainte. Elle est formulée soit sous forme de questions, soit de constatations. La réponse apporte des informations générales (vulgarisation des techniques) puis des éléments nécessaires pour répondre aux questions. Lorsqu'il n'y a pas de question explicite, ADP essaie de renouer le dialogue en interrogeant le plaignant à la fin de sa réponse.

En ce qui concerne la provenance géographique des plaintes, il est constaté qu'il y a moins de plaintes des communes les plus touchées acoustiquement parlant. Cela s'explique par le niveau socioculturel. En effet le système actuel d'enregistrement de la plainte facilite sa

manifestation envers les autorités publiques pour les populations socioculturellement plus élevées (ce sujet est traité dans le paragraphe sur les populations précaires). On peut citer le phénomène de quérulence (tendance pathologique à rechercher des querelles) sociale généralisée autour des aéroports français et européens, qui concourent parfois à développer une sensibilité accrue au bruit des avions [29]. Ce phénomène est confirmé par le Docteur Nerome, dont l'association ne reçoit pas de plaintes des communes les plus proches de Roissy, mais uniquement des quartiers plus résidentiels avec un habitat en général plus individuel.

#### ◆ Paramètres influant sur la plainte

Les descripteurs qualitatifs présentés précédemment font partie de ces paramètres, mais certains sont vraiment cruciaux dans l'élaboration du processus de plainte contre l'environnement sonore aéroportuaire :

- *La sensibilité au bruit et l'attitude* : elles constituent une composante majeure de la réaction de gêne (par exemple : choix d'habiter dans la zone, en ayant conscience du caractère inéluctable du bruit des avions)
- *Le nombre de mouvements d'avions* : le Docteur Nerome souligne que l'été, avec des vols supplémentaires (activité touristique), l'association constate un nombre de plaintes maximum, expliqué par une gêne accrue, puisque le temps passé à l'extérieur est plus important, donc le niveau d'exposition sonore plus élevé.
- *La crainte du survol des avions* peut contribuer de façon notable à la disproportion pouvant exister entre la gêne exprimée et les niveaux mesurés desdits bruits d'avion [10]. Le Docteur Nerome indique ici le risque encouru par les riverains vivant sous les axes d'atterrissage et de décollage des avions : en effet, elle compare les 400 mouvements d'avions au fait que les individus situés en permanence sous les axes "prennent l'avion 400 fois par jour", et que de fait, ils sont plus exposés à un risque de crash.

#### 3.4.2.5.5 *Le coût social et économique de la gêne due au bruit*

Très peu de démarches scientifiques ont appréhendé les impacts du bruit sous un angle économique : G. Faburel [33] a analysé cet aspect qu'il ne faut pas négliger. En effet, les effets du bruit engendrent des coûts :

- ◆ Coûts médicaux liés à l'affection du confort sonore et de la santé des personnes soumises au bruit ; le "mal-vivre" a un coût sans aucun doute important dans les comptes de la Sécurité Sociale. La contribution du bruit dans la genèse des troubles cardiovasculaires ou des déficits immunitaires n'est pas appréhendable en termes économiques, mais les dépenses qu'il génère viennent s'ajouter aux coûts déjà très élevés dus aux maladies professionnelles reconnues [20].



- ◆ Coûts de protection des logements exposés non inclus dans les plans réglementaires,
- ◆ Coûts de requalification ou de redynamisation des espaces dont le fonctionnement est altéré par le bruit des transports aériens (exemple : déménagement de certaines catégories de population...) ; le docteur Muzet s'interroge : "Que penser de la construction d'habitats neufs dans des zones où, immanquablement, il se produira tôt ou tard un problème d'exposition au bruit ? Que penser des entorses faites au Plan Local d'Urbanisme (PLU, anciennement Plan d'Occupation des Sols ou POS) ?" [20].

La recherche récente dans ce domaine sur les alentours des deux grands aéroports parisiens a permis de révéler l'influence exercée par le bruit des avions sur la vie collective des riverains [33] et de se rendre compte que la réduction du bruit des avions a atteint le rang d'enjeu politique.

#### 3.4.2.6 Critiques sur les études de la bibliographie

Les chiffres tirés de la méta-analyse [1] font dire que le trafic routier est davantage étudié, mais le bruit de la route est moins corrélé avec les maladies cardiovasculaires que le bruit du trafic aérien.

Il apparaît donc vraiment nécessaire de poursuivre ces recherches et d'apporter d'autres preuves concernant ce lien. Néanmoins, il semble important de faire le point sur le caractère non-concluant de certaines études, point souligné dans la méta-analyse [1]. La plupart des études épidémiologiques sont des études transversales. La mesure du bruit est faite à un instant "t", or pour produire des effets persistants tels que les maladies ischémiques, le bruit doit être d'une certaine intensité et être présent pendant une période de temps conséquente. Par ailleurs, lors de l'investigation de maladies chroniques, de multiples facteurs tendent à faire pencher dans un sens ou dans l'autre, le degré du risque estimé du bruit sur l'effet sanitaire considéré. On peut citer les paramètres tels que :

- l'auto-sélection des personnes dans les études de population générale (n'importe quel sujet sensible peut avoir une mobilité importante hors de la zone polluée, ce qui dilue l'effet d'intérêt) et "the healthy-worker effect" (celui-ci peut quitter son emploi à cause d'un trouble cardiovasculaire ou à cause du bruit lui-même) dans les études en environnement de travail.
- la caractérisation souvent trop légère de l'exposition au bruit :
  - bruit au travail : le port de protections auditives est oublié.
  - bruit en population générale : l'exposition est souvent calculée (d'après la littérature il n'est pas possible de savoir si les modèles utilisés sont validés) ; de plus bien que l'exposition soit évaluée au domicile, le fait que les gens travaillent à l'extérieur de chez eux n'est pas pris en compte.

- le report des facteurs relatifs au bruit est incomplet : fluctuations des niveaux de bruit, durée de l'exposition, fréquence, bruit émergent ou continu.
- l'ajustement par rapport à la position des pièces de salon ou de chambres est rare (on pourrait s'affranchir de ces facteurs de mobilité si un dosimètre de bruit était porté par chaque personne ! Malheureusement, à ce jour, il ne semble pas que les résultats d'une éventuelle recherche technologique soient disponibles).
- l'ajustement sur l'indice de masse corporelle, le caractère fumeur ou non, la consommation d'alcool et les antécédents sanitaires familiaux.
- la pression sanguine n'est pas toujours mesurée par une méthode normalisée, et parfois une seule mesure est effectuée pour définir l'hypertension.
- la taille de l'échantillon des exposés est trop petite.
- 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 dans une étude de laboratoire, on constate l'existence d'une nette hypo-réactivité électro-encéphalographique de l'enfant et les seuils d'éveil sont chez lui de 10 dB(A) plus élevés en moyenne que chez les adultes. Les personnes âgées, elles, se plaignent davantage de leur environnement sonore nocturne. Elles possèdent une fragmentation naturelle de leur sommeil, qui accentue encore leur sensibilité aux bruits nocturnes, en les empêchant de retrouver rapidement le sommeil. Dans une population jeune, les hommes semblent plus sensibles au bruit ; cette différence s'inverse avec l'âge [10].

### **3.5 DEFINITION DE RELATIONS DOSE-EFFET**

Les effets non-auditifs sont des effets indirects et les différences interindividuelles de sensibilité sont importantes : selon le docteur Muzet ces deux raisons permettent de dire qu'il est difficile de décrire des relations dose-effet. Il est possible, dans une certaine mesure, de souligner l'augmentation de la réponse avec l'augmentation de l'intensité du phénomène, mais pour des mesures précises et pour certains effets. Pour tenter de synthétiser les dangers présentés précédemment, le tableau ci-dessous propose un récapitulatif des effets observés selon le niveau sonore.

**Tableau XX : Synthèse des éléments bibliographiques analysés observant une association entre niveau sonore et effets sanitaires**

Problème sanitaire	Niveau sonore en dB(A)	Type d'exposition	Type d'étude	Année d'évaluation
Dommages à la cochlée	LDN 40 (hautes fréquences) Lmax 86	population générale	cas/témoins	1995
<i>Troubles du sommeil</i>				
. Eveil	Lmax 55	population générale	expérimentale	1980
. Réaction EEG et modifications végétatives	Leq 35	population générale	expérimentale	1980
. Réduction du temps de sommeil	Lmax 45	population générale	expérimentale	1980
Infarctus du myocarde	Leq 51	population générale	cohorte transversale	1994 1993-94
Angine de poitrine	Leq 51	population générale	transversale	1976
<i>Hypertension artérielle</i>				
. clinique	Leq 55	professionnelle	cas/témoin	1993
	Leq 55	population générale	cas/témoin	1998
. conso. d'hypertenseurs	Leq 50	population générale	transversale	1980
Consultation d'un médecin	Leq 55	population générale	transversale	1976
Conso. médicaments pour problèmes cardiovasculaires	Leq 38	population générale	transversale	1976
Elévation de la pression artérielle	Leq 85 Leq 60	professionnelle population enfants	transversale cas/témoin	1980 2000
Elévation de la fréquence cardiaque	Leq 60	population enfants	cas/témoin	2000
Perturbation du système hormonal (cortisol)	Leq 60	population enfants	cas/témoin	2000
Consultation d'un psychologue	Leq 69	population générale	cas/témoin	1977
Hospitalisation psychiatrique	Leq 69	population générale	cas/témoin	1977
Atteinte des performances mentales et baisse de l'attention	Leq 70 Leq 63	professionnelle pop. enfants	cas/témoin cas/témoin	1983 2001
Gêne	Lmax 60	population générale	cas/témoin	1999

Le niveau sonore est renseigné par la valeur d'exposition la plus faible trouvée dans la littérature bibliographique citée dans ce mémoire.

### 3.6 EVALUATION DE L'EXPOSITION DES POPULATIONS

#### 3.6.1 La métrologie de l'événement sonore aéronautique

##### 3.6.1.1 Certification des aéronefs

Suivant le type d'appareil utilisé, on réduit ou on augmente le périmètre des nuisances, après avoir mesuré lors d'essais moteurs, l'énergie sonore émise par l'aéronef. L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) a donc réparti les avions en trois catégories, correspondant à des "chapitres" du document intitulé "annexe 16" à la Convention relative à

l'aviation civile internationale : les avions conçus avant la première norme OACI, que l'on qualifie d'avions non certifiés ; ceux d'un type conçu approximativement entre 1970 et 1977, que l'on qualifie d'avions "chapitre 2", et ceux, plus récents, certifiés suivant les normes du chapitre 3 que l'on qualifie d'avions "chapitre 3". Entre les deux premières générations, on a gagné une dizaine de décibels et huit entre la deuxième et la troisième.

L'amendement N°7 du 29 octobre 2001 applicable au 21 mars 2002 crée le "chapitre 4", élaborant ainsi un nouveau groupe d'aéronefs encore plus performants en termes de réduction d'énergie sonore émise. [34,35]

### 3.6.1.2 Les mesures réalisées par la DGAC

La mesure du bruit aéronautique concerne la mesure du bruit ambiant en continu (fréquence d'échantillonnage 0,5 à 1 seconde) puis la corrélation des événements aéronautiques avec les données de trafic aéronautique.

La recherche des sites d'observation est soumise à des contraintes de nature acoustique, à la qualité du site et au type de procédure de vol à étudier.

Le choix de la période de mesurage dépend de la fréquence d'apparition de la source (type de trafic) et de l'évolution du bruit résiduel, ainsi que de la nature de la gêne exprimée. Il existe un système de suivi permanent depuis le 1<sup>er</sup> juillet 1999. En ce qui concerne les plates-formes parisiennes, ADP dispose depuis 1992 d'un système qui permet de mesurer les nuisances phoniques et de veiller au respect des trajectoires au départ, appelé Suivi Opérationnel des Nuisances d'Avions et de leurs Trajectoires pour l'Environnement (SONATE).

### 3.6.2 La modélisation

Elle permet d'anticiper les problèmes de nuisances sonores et d'évaluer l'impact sur une zone géographique étendue. Les services techniques de la DGAC utilisent le modèle de calcul de bruit *Diapason* pour élaborer PEB et PGS. Le principe est le suivant ; le modèle contient [36] :

- un jeu de bases de données et performances d'avions,
- un outil de calcul de trajectoire,
- une équation de propagation acoustique,
- un outil de tracé de courbes de même niveau de bruit et de détermination de niveau de bruit en des points particuliers.

La modélisation prend en compte trois types de variables :

- la propagation du son dans l'air : il s'agit de la traduction des phénomènes d'atténuation ayant pour origine la divergence géométrique et l'absorption atmosphérique.
- l'effet de sol : c'est l'atténuation supplémentaire quand la propagation du rayon sonore est rasante.
- l'effet de masque : quand le point d'observation au sol n'est pas situé sur la trace de la trajectoire, le fuselage de l'appareil modifie le rayonnement sonore.

Le modèle possède des limites de validité qu'il convient de maîtriser : les écarts avec les niveaux réels mesurés doivent rester faibles et explicables. Le critère valable dans la mesure pour le bruit aéronautique reste l'émergence (cf. annexe 3) par rapport au bruit résiduel.

### 3.6.3 L'exposition des populations

#### 3.6.3.1 Le périmètre d'étude

Les PEB et PGS représentent des zones de niveau sonore connu, mais d'aires assez restreintes compte tenu des plaintes observées et des aires considérées dans la littérature. Certaines études indiquent leur aire d'étude mais la justification du choix n'est jamais signalée.

L'étude suédoise [17] réalisée autour de l'aéroport de Stockholm a considéré le périmètre d'étude d'exposition au bruit pour des valeurs de niveau moyen compris entre 50 et 65 dB(A)  $L_{eq}$  8h. Mais les auteurs précisent bien l'importance de la prise en compte du niveau sonore maximum : pour cela, ils considèrent un périmètre d'exposition compris entre 70 et 74 dB(A) en  $L_{max}$ .

Une étude de faisabilité sur les troubles cardiovasculaires relatifs au bruit d'avions dans le voisinage de l'aéroport de Schiphol [16] propose de s'intéresser aux personnes habitant dans une zone de 55 km sur 55 km autour de l'aéroport de Schiphol ; ce qui représente une population totale de 1,6 millions d'individus. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur l'évaluation de l'impact sanitaire de l'aéroport de Schiphol.

L'étude épidémiologique des troubles anxio-dépressifs autour de l'aéroport de Roissy [13] a recruté des médecins enquêteurs dans la zone à étudier : les personnes "exposées" sont celles qui ont consulté les médecins dont le cabinet est situé dans les zones bruyantes (à l'intérieur des contours de bruit tracés à partir de l'indice psychologique : cf. annexe 3B). Les personnes "non exposées" habitent dans des communes au Nord de Roissy, situées entre 15 et 25 km à la perpendiculaire de l'axe des pistes.

L'enquête sur la gêne due au bruit [31] a détaillé le nombre de personnes enquêtées par communes autour des aéroports de Roissy et d'Orly : le périmètre de l'enquête a donc pu

être déterminé. Autour de Roissy dont les pistes sont parallèles, la zone est un rectangle de 15 km (Nord-Sud) et de 50 km (Est-Ouest : 25 km de part et d'autre du site aéroportuaire) de côtés. Pour Orly dont les pistes s'entrecroisent, l'aire d'étude est formée par un rectangle de 10 km sur 30 km de côtés. Ce périmètre d'étude implique une prise en compte d'environ 1 million de personnes sur Roissy (densité 1400 habitants par km<sup>2</sup>) et 700 000 personnes sur Orly (densité 2100 habitants par km<sup>2</sup>).

Dans la majorité des cas, ce sont les territoires situés à l'aplomb et quelques kilomètres de part et d'autre des axes de décollage et d'atterrissage qui représentent le périmètre intéressant. Selon l'expérience des riverains de Roissy, la présidente de l'ADVOCNAR insiste sur le fait que l'essentiel est de tenir compte des communes situées dans l'axe des pistes, elle propose un rectangle autour des pistes de 8 km de large et 20 km de long de part et d'autre du seuil des pistes, zone qui recoupe l'origine des plaintes reçues par l'association. Bien entendu, le périmètre d'étude dépend de la "taille" de l'aéroport, c'est-à-dire de l'occupation au sol et du nombre de mouvements reliés à l'aéroport considéré.

Le critère de détermination des limites est souvent le niveau sonore, or on sait que l'oreille humaine détecte un changement minimal de 2 dB, donc pourquoi ne pas se baser sur cette valeur pour proposer une délimitation du périmètre, à partir de la valeur de 35 dB(A) recommandée par l'OMS à l'intérieur des habitations ? En effet, il est généralement difficile pour les riverains de comprendre la raison pour laquelle la limite du PGS est stoppée au milieu de la rue ? Pour cela des mesures ponctuelles sont nécessaires pour que les courbes isophones dessinées par les modèles soient au plus proche de la réalité au sol.

### 3.6.3.2 Le recensement des personnes dites sensibles

#### 3.6.3.2.1 *Les enfants*

Les enfants sont plus sensibles au stress environnemental que les adultes pour diverses raisons : capacités cognitives moindres pour comprendre les questions d'environnement et anticiper les "stresseurs", mécanismes d'adaptation beaucoup moins développés et corps en devenir donc plus fragile [23].

Les lieux de scolarisation des enfants sont multiples, mais permettent de connaître, de manière quasiment exhaustive, la population enfantine. On peut citer les principaux types d'organismes, sources de données :

- ❑ les mairies pour connaître les écoles primaires et maternelles,
- ❑ le conseil général pour les crèches,
- ❑ l'inspection académique pour les établissements d'enseignement secondaire (collèges et lycées),

- la Commission Départementale de l'Education Spéciale (CDES) pour les établissements médico-sociaux pour enfants handicapés.

Les dépistages effectués à l'entrée du Cours Préparatoire à l'école primaire peuvent participer à la connaissance de la population située dans la zone d'étude (notamment les surveillances auditives et le dépistage des troubles de l'apprentissage et du comportement).

Il est important de préciser que les enfants présentent une mobilité certaine : il faut garder en mémoire que les réactions seront différentes selon que l'enfant habite dans un lieu exposé au bruit d'avions et va à l'école dans une zone non ou moins exposée ; et vice versa. Ce paramètre vient s'ajouter à la sensibilité et aux autres facteurs de confusion. Pour connaître la population enfantine de manière plus générale, l'INSEE est une source de données intéressante.

Pour les recherches futures, il apparaît nécessaire de prendre en considération trois points clés **[25]** :

- Les mécanismes possibles des effets du bruit : le modèle psychologique théorique principal du stress environnemental, peut être appliqué pour expliquer les effets du bruit sur les performances et la santé de l'enfant.
- Les relations dose-réponse : en l'absence de ces données, il est difficile d'apporter des chiffres précis sur le nombre d'enfants qui étudient sous des niveaux sonores pouvant affecter défavorablement leur santé (pas de niveaux seuils). Cette question a été adressée au projet "RANCH" **[28]** (Road traffic and Aircraft Noise exposure and Children's cognition and Health) fondé par la commission européenne ; les actions et campagnes de mesures sont menées sur une durée de trois ans, depuis début 2001. L'équipe de recherche comprend cinq partenaires : l'Université de Londres (coordonnatrice) au Royaume-Uni, les Universités de Stockholm et Göteborg en Suède, l'Institut National de Santé Publique et d'Environnement (RIVM) de Bilthoven aux Pays-Bas et l'Institut d'Acoustique (CSIC) de Madrid en Espagne. La France n'est pas représentée dans ce programme de recherche, ce que l'on peut regretter.
- La définition de groupes d'enfants vulnérables et de différences individuelles : il semble évident que les enfants présentant des capacités plus faibles ou des difficultés d'apprentissage sont plus fragiles aux effets nocifs du bruit sur la performance cognitive **[25]**.

#### 3.6.3.2.2 *Les personnes âgées*

Le caractère de mobilité plus réduite des personnes âgées peut être avantageux (par rapport aux enfants) au niveau de la précision dans la caractérisation de l'exposition. Les

informations sur la localisation de ces personnes peuvent être obtenues auprès d'organismes tels que :

- l'INSEE en recherchant par tranche d'âge pour avoir connaissance de la démographie,
- le conseil général pour les maisons de retraites,
- le Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux (FINESS) des services déconcentrés du ministère de la Santé (établissements médico-sociaux, hôpitaux long séjour, etc.).

#### 3.6.3.2.3 *Les travailleurs de nuit*

Très peu d'études se sont intéressées aux perturbations du sommeil diurne. Néanmoins le bruit est considéré comme étant une cause majeure de réduction du temps de sommeil diurne. Nicolas A. et al. in [10] ont abordé le problème de la comparaison de la réactivité cardio-vasculaire au bruit entre le sommeil diurne et le sommeil nocturne. Les résultats montrent que l'augmentation de la réactivité végétative lors du sommeil paradoxal est compensée par une diminution de cette même réactivité lors du sommeil à ondes lentes (sommeil diurne). Les auteurs concluent qu'en situation réelle de vie, où le niveau de bruit est beaucoup plus élevé le jour que la nuit, le coût physiologique de l'exposition au bruit est probablement beaucoup plus important lors du sommeil de jour.

Il apparaît nécessaire de considérer les travailleurs de nuit permanents et les travailleurs postés (en alternance la nuit) comme constituant une population spécifique "à risque" en regard de leur exposition au bruit [10]. Quoiqu'il en soit, une large partie de ces personnes exposées au bruit des avions peut être intégrée dans le paragraphe suivant, car le travail de nuit est une situation fragile pour l'individu mais également pour son entourage.

#### 3.6.3.2.4 *Les populations précaires*

##### ❖ Définition

La précarité est un concept dont l'utilisation est très forte actuellement ; elle ne se limite pas à la seule pauvreté économique, mais résume plus généralement la situation sociale d'une personne.

Wresinski [37] donne la définition suivante : "la précarité est l'absence d'une ou de plusieurs des sécurités permettant aux personnes et familles d'assurer leurs responsabilités élémentaires et de jouir de leurs droits fondamentaux. L'insécurité qui en résulte peut être plus ou moins étendue et avoir des conséquences plus ou moins graves et définitives. Elle conduit le plus souvent à la grande pauvreté quand elle affecte plusieurs domaines de l'existence, qu'elle tend à se prolonger dans le temps et qu'elle devient persistante, qu'elle compromet gravement les chances de reconquérir ses droits et de réassurer ses responsabilités par soi-même dans un avenir prévisible".



#### ❖ Données bibliographiques

Les populations en situation de précarité vivent en général dans des zones proches de l'infrastructure aéroportuaire, en bout de piste où les niveaux d'énergie sonore sont les plus élevés. Les études de Field JM. in [23] suggèrent que les effets de multiples agents stressants ont une action combinée plus forte qu'une simple sommation des agressions. Ces agents peuvent inclure des facteurs d'agression physique (pollution de l'air, conditions vulnérables d'habitation), psychosociale (vie dans une zone surchargée en population, isolation sociale, crainte des crimes, perception d'un manque de contrôle sur l'environnement) et conditions matérielles hostiles (faibles revenus, chômage). Cela constitue vraiment une nouvelle voie de développement en matière de recherche sur le bruit car ces populations précaires demeurent très peu étudiées.

#### ❖ Points de vue des personnes interrogées

Pour les populations situées dans le voisinage très proche des aéroports, le risque d'effets sur la santé dus aux avions est accru, mais il intervient parmi d'autres variables caractérisant un état de santé déjà moins bon que celui de la population générale (le bruit de fond dans le logement est souvent plus élevé du fait de la moins bonne qualité de l'acoustique de l'habitat d'une part, et des nombreux bruits de voisinage dus à la promiscuité d'autre part).

Curieusement, les plaintes ne proviennent pas de ces zones fortement exposées, pourquoi ? (entretien A. Muzet et S. Nerome) Les explications sont multiples, mais il convient avant toute chose de considérer le support de la plainte. En effet, le moyen le plus utilisé, et sans doute le plus efficace, reste la forme écrite. Les demandes téléphoniques sont moins nombreuses, et ne laissent pas de traces ; sont-elles d'ailleurs comptabilisées ?

Néanmoins, la démarche de manifestation par plainte écrite demeure sélective car il s'agit d'un moyen de communication nécessitant un rapport à l'écrit maîtrisé. En général, les populations considérées comme précaires émettent une réticence certaine à l'égard de ce type de procédure, et ne savent par ailleurs pas à qui écrire. Le point de vue d'ADP est différent : le gestionnaire d'aéroport reconnaît aussi qu'il y a moins de plaintes en provenance des communes les plus touchées par le bruit, mais explique ce phénomène par le fait que ces populations vivent dans un environnement très bruyant (bruits de voisinage notamment) et qu'elles semblent être moins gênées par les avions. Par ailleurs, dans les zones à plus haut niveau socio-économique (à quelques dizaines de kilomètres de l'aéroport), les gens estiment avoir mis un prix suffisamment élevé dans leur habitation pour ne pas vivre sous les nuisances aéroportuaires : ainsi ADP explique pourquoi les plaintes proviennent de communes plus éloignées des axes aéroportuaires.

Il n'en demeure pas moins que ces classes défavorisées à la périphérie des villes sont véritablement démunies face au bruit que produit un avion. Du fait de leur situation, leurs

priorités sont autres que le bruit (préoccupations professionnelles, financières, familiales notamment). Ces populations sont très peu étudiées, en partie parce qu'elles ne répondent pas aux sollicitations habituelles comme les questionnaires. Cependant, même si une méthodologie adaptée est mise en place pour cette catégorie de population, il n'en reste pas moins difficile d'isoler l'impact du bruit par rapport aux nombreux autres facteurs ayant un effet sur l'état de santé des individus. Le passé individuel sanitaire est en particulier une composante importante parmi les effets décrits dans le paragraphe sur les dangers dus au bruit. En outre, cette classification terminologique de l'expression d'un malaise en "plainte" ne facilite pas les choses car, pour ces personnes, le fait de se plaindre serait admettre leur situation difficile ; le bruit représente donc un paramètre supplémentaire de leur état d'isolement et d'exclusion et accroît encore la vulnérabilité de leur terrain sanitaire.

### **3.7 CARACTERISATION DES RISQUES**

Le guide de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) [8] pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact propose cette étape au cours de l'évaluation, pour détailler l'estimation et le calcul des risques à partir des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). Dans le cas du bruit, l'établissement de relations entre une dose et un effet apparaît délicat ; il n'existe pas dans la littérature de méthodologie permettant de quantifier le risque dû au bruit, principalement parce que la part du bruit dans l'apparition d'une pathologie est difficile à distinguer parmi les autres facteurs. Néanmoins, il est indispensable d'appliquer les mesures compensatoires, avant tout, pour apporter une protection sanitaire au plus grand nombre de personnes (ce qui signifie les zones les plus densément peuplées, survolées par les avions).

### **3.8 LES MESURES DE REDUCTION DES NUISANCES SONORES PERCUES PAR LES POPULATIONS RIVERAINES**

Les mouvements de décollage/atterrissage produisent une quantité d'énergie sonore transmise au sol dont les riverains souffrent. Différents moyens existent pour limiter cet impact sur les personnes exposées au bruit.

#### **3.8.1 Les progrès techniques sur les moteurs d'avion**

Il existe de plus en plus de procédés permettant de réduire le bruit à la source, on peut en citer quelques-uns [38] :

- piégeage du bruit émis à l'intérieur du moteur (parois absorbantes),
- génération de "contre-bruits" de manière électronique, émis par des hauts-parleurs, sur la même fréquence mais en opposition de phase (neutralisation acoustique),
- recherche sur la propagation du bruit des turbines des réacteurs,

- recherche sur l'intégration des nacelles soutenant les moteurs dans la structure de l'avion.

Par ailleurs, l'incitation financière à l'utilisation d'avions moins bruyants est aussi une mesure favorable à la diminution de l'énergie sonore globale produite.

### **3.8.2 L'optimisation de l'utilisation du ciel**

Il s'agit de mesures fondamentales pour parvenir à réduire la véritable gêne des riverains :

- instauration d'un quota de mouvements d'avions, croisé au quota de bruit déjà existant,
- couvre-feu la nuit pour le respect du sommeil de chacun,
- mise en place d'un système d'enchères des créneaux d'atterrissage et décollage,
- planification cohérente des capacités du ciel : améliorer l'emport moyen par rapport à la taille de l'avion,
- respect des altitudes de vol, variation des couloirs et trajectoires,
- développement de l'intermodalité avec le Train à Grande Vitesse (TGV), notamment pour les moyennes distances (500 à 800 km).

Au niveau du Conseil de l'Union Européenne, le Comité des Représentants Permanents des Etats membres auprès de l'Union Européenne (COREPER) propose un "ciel unique européen" dont l'objectif est de renforcer les normes de sécurité actuelles et l'efficacité globale de la circulation aérienne, en assurant une croissance de la capacité répondant aux besoins des utilisateurs et en réduisant les retards. Pour cela il est demandé de concevoir, de gérer et de réglementer de manière harmonisée les éléments nécessaires pour y parvenir [39]. Il semblerait que la question la plus délicate soit celle de la place des militaires dans cet espace aérien. En ce qui concerne l'échéancier, le cadre réglementaire nécessaire au fonctionnement du ciel unique européen doit être opérationnel fin 2004. Il est proposé la création d'un "comité du ciel unique" pour assurer la mise en oeuvre des règlements spécifiques et réfléchir à la manière d'associer les pays tiers européens.

### **3.8.3 La protection au sol**

Les mesures de protection au sol sont de deux types :

- maîtrise de l'urbanisation : compatibilité des documents d'urbanisme avec les PEB et PGS, cohérence et mise à jour dans l'établissement de ces plans (avec l'adoption de l'indice Lden, la surface au sol des plans devrait être supérieure),
- insonorisation des bâtiments : aide financière plus importante, selon les revenus des familles.

Il est clair que ce système curatif n'apporte pas de réponse au problème du niveau sonore intérieur lorsque les fenêtres sont en position ouverte...Cependant, des actions d'information

transparentes et une recherche d'amélioration des solutions doivent être menées en concertation avec les collectivités locales et les associations (support de communication adapté, partage d'un vocabulaire commun, etc.).

### **3.9 PROPOSITIONS D'ETUDES ET DISCUSSION**

Suite à l'analyse des données bibliographiques sur les effets sanitaires du bruit des avions, il semble opportun de proposer de nouvelles études, d'un type déterminé, avec des objectifs précis. En effet, il n'existe pas d'analyse sur l'état sanitaire (en particulier les effets sanitaires terminaux tels que les troubles du système cardio-vasculaire) des populations vivant à proximité des aéroports français. L'aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle se prête bien aux enquêtes et études épidémiologiques, d'une part parce la population touchée est importante (puissance statistique nécessaire), et d'autre part car il y a un besoin de connaissance de l'état sanitaire au voisinage de l'aéroport le plus important en nombre de mouvements. Selon les objectifs que l'on se fixe, on distingue plusieurs types d'études :

❑ **Mettre en évidence une relation de causalité ou une association.**

L'étude de cohorte exposés/non exposés, avec définition des paramètres à suivre et des moments d'évaluation, peut permettre d'étudier la relation entre exposition au bruit et pathologies à long terme. Elle nécessite du temps et des moyens financiers conséquents, mais reste la plus efficace par rapport aux autres types d'études. Dans un contexte d'urgence, il est plus approprié de développer une étude cas/témoins, plus rapide, mais plus sujette aux biais.

❑ **Proposer une surveillance épidémiologique de la population.**

Il s'agit dans ce cas de mesurer individuellement des effets sanitaires et des facteurs de risque associés, pour déceler les différences entre groupes de population, exposés et non exposés, aux nuisances sonores aéroportuaires. L'implication des médecins et des établissements hospitaliers peut être un moyen pour déceler des pathologies liées en partie à l'exposition au bruit (pathologies décrites dans l'identification des dangers).

❑ **Suivre l'évolution des prévalences des maladies ciblées dans l'identification des dangers.**

Des études transversales répétées menées au sein de zones exposées et non exposées permettent de répondre à ce type d'objectif. Il est important de prendre soin d'ajuster sur les variables à l'origine de biais (tel que décrit dans la partie 3.4.2.6 sur les critiques d'études).

❑ **Evaluer l'exposition au bruit de différentes zones aux alentours des couloirs aériens.**

Lors de difficulté ou d'impossibilité à mesurer l'exposition individuelle aux facteurs environnementaux (utilisation de données agrégées et non individuelles), on peut envisager

d'effectuer une étude écologique. Dans le cas du bruit, on utilisera une étude écologique géographique, où l'unité d'observation est un groupe de personnes appartenant à une zone géographique définie (la commune par exemple). La littérature sur le sujet de ce travail propose plus précisément des études semi-écologiques, sans doute pour la raison suivante : la mesure du bruit se fait au niveau collectif et les résultats (effets sanitaires) sont donnés par individu.

Dans notre cas, la mesure des nuisances sonores subies par les populations est soumise à certaines contraintes pour être au plus proche de la réalité sonore ressentie par les riverains : il est important de prendre en compte, entre autres, la fréquence des mouvements d'aéronefs, le niveau sonore maximum et le niveau de bruit ambiant sans le passage d'avions pour pouvoir caractériser l'émergence.

La mise en place d'un groupe d'experts pour la réalisation de ce type d'étude épidémiologique est souvent assez longue, c'est pourquoi il faut définir des priorités d'actions pour satisfaire au mieux les riverains d'aéroports dans un futur proche. Aujourd'hui, il semblerait que les troubles du sommeil constituent les nuisances les plus importantes (le Docteur Nerome de l'ADVOCNAR le souligne dans ses propos) : une étude sur les vols de nuit et la consommation de somnifères par exemple serait intéressante, notamment parce qu'il est annoncé de nouvelles mesures de restriction de vols nocturnes par les pouvoirs publics. En outre, comme la saison semble avoir une influence forte sur l'état sanitaire général des populations exposées, une proposition serait d'utiliser la même population l'été que l'hiver, en lui affectant les résultats de la saison hivernale comme témoin de l'été, sur la consommation de psychotropes par exemple.

---

# Conclusion

---

Ce travail s'inscrit comme réponse à la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996, rendant obligatoire l'évaluation des effets sur la santé humaine dans les études d'impact pour tout projet d'aménagement. L'exploitation d'une zone aéroportuaire provoque un certain nombre de nuisances dont le bruit. Il n'est pas nouveau que les nuisances sonores mobilisent les riverains d'aéroport, mais désormais, celles-ci doivent faire l'objet d'une analyse approfondie lors de tout nouveau projet, dans le but d'évaluer son impact sur les populations avoisinantes.

En effet, même si les études de la littérature dans ce domaine ne sont pas toujours concordantes sur une association positive entre niveau de bruit et effets sur la santé, l'identification des dangers permet de mettre en évidence des menaces potentielles inquiétantes pour la santé des personnes exposées de manière chronique au bruit des avions dont les mouvements d'approche et de décollage s'effectuent à des distances relativement faibles des habitations. La gêne constitue l'expression principale de plainte envers le bruit ; toutefois, certains effets sanitaires sont bien décrits et il convient d'insister particulièrement sur les troubles du sommeil (vols de nuit) et la surcharge du système nerveux exprimé par l'organisme au travers de réactions de stress, elles-mêmes à l'origine de conséquences physiopathologiques non négligeables : hypertension, troubles de l'apprentissage, modification du système hormonal notamment. Les études sont moins documentées sur l'infarctus du myocarde, l'angine de poitrine et les répercussions psychiatriques. L'estimation de la relation dose-réponse dans le domaine du bruit est délicate essentiellement à cause des difficultés d'évaluation précise de l'exposition et des différences interindividuelles considérables ; de plus, la bibliographie scientifique dans ce domaine reste peu abondante. Si d'autres études sur des pathologies particulières étaient développées, elles permettraient d'attribuer, comme pour une substance, une dose de bruit reçue pendant une période donnée, à un risque de pathologie.

L'étude de l'évaluation de l'exposition humaine a mis en évidence les difficultés de mesure du bruit d'une part, et de définition de l'aire d'étude d'autre part. En outre, la détermination des personnes sensibles au sein de la zone considérée (enfants, personnes âgées, travailleurs de nuit, populations vivant dans la précarité) revêt son caractère fondamental lorsque l'on sait combien la sensibilité constitue un facteur déterminant dans les effets du bruit sur la santé.

A l'heure où l'on dresse les premiers constats de la réorganisation des couloirs en Ile-de-France, où le débat sur l'opportunité ou non du troisième aéroport et de son emplacement est relancé et où de nouvelles mesures sont annoncées pour lutter contre le trafic nocturne, les riverains des grandes plates-formes parisiennes restent dans l'expectative d'un soulagement éventuel et d'un cadre de vie plus supportable. Le contenu de ce mémoire apporte des éléments pouvant diminuer les oppositions et soutenir scientifiquement certains arguments énoncés par les relais associatifs. Il n'en demeure pas moins qu'une étude épidémiologique (étudiant notamment les effets sanitaires) paraît nécessaire autour du premier aéroport européen qu'est Roissy-Charles-de-Gaulle (en nombre de mouvements). Il est capital "d'utiliser" pleinement l'expérience des recherches antérieures en tenant compte des multiples paramètres potentiellement sources de biais. Une étude de cohorte semble la plus adaptée, pour se prémunir des nombreux autres facteurs interagissant avec le bruit. Ce type d'étude nécessite une période de temps importante ; c'est pourquoi en l'état actuel des connaissances sur les réactions des populations riveraines, il convient d'appliquer les mesures dites compensatoires (et de maîtriser leur contrôle) permettant de réduire le bruit perçu par les personnes vivant à proximité des axes de décollage et d'atterrissage des aéronefs.

Par ailleurs, et tel que le proposent nos voisins hollandais du RIVM, une surveillance des troubles du sommeil et des autres effets sanitaires semble appropriée (enquêtes questionnaires) pour évaluer l'évolution de l'état de santé par rapport à la mise en oeuvre de mesures. Les populations en situation de détresse sociale requièrent une attention particulière en ce qui concerne la "méthodologie d'approche" : trop peu d'études se penchent sur l'analyse de leurs réactions car les mécanismes influençant leur comportement sont complexes. Il pourrait être intéressant de proposer une étude sur les points sanitaires terminaux (angine de poitrine, infarctus du myocarde et les autres), à l'échelle européenne à travers les programmes de recherche qui sont déjà en place entre différents pays.

La question de la faisabilité d'une évaluation d'impact sanitaire trouve donc quelques réponses dans ce travail, mais il apparaît difficile de réaliser une caractérisation précise des risques et dans les règles de l'art ; le bruit est un facteur qui doit être traité différemment des autres substances toxiques et pollutions environnementales. Il semble important d'insister sur la prise en compte de l'avis de la DGS dans le processus de décision, face à des aménagements aéroportuaires dont les conséquences sur la santé des populations ne sont pas négligeables. Dans l'immédiat, il est primordial de s'attacher à assurer un développement socio-économique, tout en maintenant une qualité de vie acceptable aux riverains d'aéroports : cette problématique est une application simple du concept de développement durable, mettant en jeu un tissu d'acteurs conséquent et des enjeux économiques colossaux.

---

# Sommaire des annexes

---

ANNEXE 1 : ANNEXE DE LA CIRCULAIRE DGS 2001-185 DU 11 AVRIL 2001.....	55
ANNEXE 2 : NOTIONS DE PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE.....	57
ANNEXE 3 : CARACTÉRISTIQUES DU SOMMEIL.....	59
ANNEXE 4 : PRÉCISIONS TECHNIQUES SUR L'ACTIVITÉ AÉRONAUTIQUE.....	61
ANNEXE 5 : QUELQUES PRÉCISIONS MÉDICALES .....	63
ANNEXE 6 : GUIDE D'ENTRETIEN GÉNÉRAL.....	66
ANNEXE 7 : LISTE DES PERSONNES RENCONTRÉES DURANT LE MÉMOIRE.....	69



## **Annexe 1 : Annexe de la circulaire DGS 2001-185 du 11 avril 2001**

### **Domaine d'utilisation de la présente annexe :**

Afin de vérifier si tous les éléments indispensables à l'évaluation des risques sont présents dans les études des effets sur la santé des populations d'un projet d'installation ou d'aménagement soumis à autorisation, vous trouverez ci-dessous une liste des points qui doivent obligatoirement être traités dans les documents qui vous sont soumis. S'ils n'y figurent pas, la DDASS ne pourra donner une suite à l'examen du dossier, ou exprimer un avis favorable. S'ils y figurent, la DDASS pourra alors réaliser l'analyse approfondie de l'étude des effets sanitaires, en s'appuyant sur le guide de l'InVS.

### **1. Présentation**

- Existe-t-il un volet sanitaire individualisé sous la forme d'un chapitre spécifique dans l'étude d'impact ? Dans le cas contraire, les effets sur la santé sont-ils abordés dans des chapitres thématiques (eau, air, sols, transports, déchets, etc.) et synthétisés dans un chapitre spécifique ?

### **2. Etat initial du site**

- Les sources de contamination déjà présentes dans la zone pouvant être touchée par le projet sont-elles décrites (substances émises, voies d'exposition, variabilité, etc.) ?
- Une description socio-démographique de la population concernée est-elle réalisée ? Les sources de données sanitaires locales, si elles existent (registres des cancers, réseaux sentinelles, études épidémiologiques, etc.), sont-elles recensées ?
- La description géographique localise-t-elle les lieux et les milieux d'exposition de la population (habitat, commerces, terrains récréatifs, voies de passage, autres infrastructures, etc.) ?

### **3. Identification des dangers**

- Existe-t-il un recensement des agents chimiques, biologiques et physiques pouvant être émis dans l'environnement du fait du projet (en fonctionnement normal et en cas de dysfonctionnement) ? Les agents sont-ils recensés, notamment dans les matières premières ainsi que dans les produits finis ou formés au cours du procédé de fabrication ?
- Les critères de sélection des agents étudiés sont-ils définis ?
- Les effets de ces substances sur la santé de l'homme sont-ils décrits (notamment au moyen d'une recherche bibliographique actualisée) qualitativement (types d'atteintes, mécanismes biologiques en lien avec les voies d'exposition) et quantitativement (relation

entre les doses et/ou les fréquences d'exposition et les effets compte tenu des voies d'exposition) ?

#### **4. Evaluation de l'exposition des populations**

- Les scénarios d'exposition de la population sont-ils décrits en tenant compte du fonctionnement normal de l'installation ou de l'aménagement et en cas de dysfonctionnement ?
- La nature, le volume et le devenir dans les différents compartiments environnementaux des agents générés par l'installation ou l'aménagement sont-ils détaillés ?
- Trouve-t-on dans le dossier une description des populations exposées actuelles (dans la zone concernée par les expositions, cf. « état initial »), ou futures (documents d'aménagements consultés, projections démographiques). Les sous-groupes particuliers sont-ils mentionnés (crèches, écoles, maisons de retraite, établissements de santé, centres sportifs, etc.) ? Les « habitudes » des populations et les usages sensibles à proximité de l'installation sont-ils décrits (alimentation en eau potable, baignades, zones agricoles, puits, jardins potagers, etc.) ?

#### **5. Conclusion**

- Le dossier présente-t-il une caractérisation des risques avec une discussion critique des principales conclusions ?
- Dans le cas contraire, l'absence d'une telle caractérisation est-elle justifiée (insuffisance des connaissances, difficultés de mesure de l'exposition, etc.) ? L'exploitant propose-t-il des modalités de surveillance sanitaire pour pallier cette absence ?

## Annexe 2 : notions de physiologie de l'oreille

L'oreille est l'organe périphérique de l'audition. Elle est composée de trois éléments principaux [2,5] :

- ◆ L'oreille externe composée du pavillon et du conduit auditif externe fermé par le tympan. Elle a pour but d'amplifier la pression sonore et de favoriser sa localisation. Le conduit auditif externe est un résonateur de fréquence propre ; l'orientation du conduit aide à préciser l'origine de faisceau sonore. L'onde acoustique se déplace le long du conduit jusqu'à ce qu'elle rencontre la membrane du tympan, qui se met alors à osciller sous l'effet des fluctuations de l'onde.
- ◆ L'oreille moyenne est constituée de la caisse tympanique, ouverte sur le rhino-pharynx par la trompe d'Eustache qui assure l'aération, et des trois osselets : le marteau, l'enclume et l'étrier. La semelle de l'étrier que l'on nomme "fenêtre ovale" permet de multiplier la pression par 20 car sa surface est beaucoup plus petite que celle du tympan.
- ◆ L'oreille interne : les vibrations de la fenêtre ovale mettent en mouvement, à leur tour, le milieu liquide ainsi que les organes contenus à l'intérieur de la cochlée. La **cochlée**, aussi appelée "limaçon", est une cavité spiralée qui ressemble à une coquille d'escargot. Elle est partagée en deux rampes par le **canal cochléaire** (rampe vestibulaire et rampe tympanique)

Le canal cochléaire est formé de trois parois, à l'intérieur desquelles se trouve un liquide : l'endolymphe. La paroi basilaire de ce canal est plus épaisse car elle renferme l'organe sensoriel récepteur auditif, dit "organe de Corti". Cet organe de Corti comprend environ 15 000 cellules ciliées extrêmement sensibles se déployant sur quatre rangées : trois rangées de cellules ciliées externes et une de cellules ciliées internes.

Lorsque la fenêtre ovale vibre, la membrane basilaire vibre également. Cette vibration est ressentie comme un fléchissement des cils sensoriels. Si le fléchissement est suffisant, il génère des impulsions nerveuses dans les cellules ciliées, ce qui crée un stimulus auditif.

Les sons de basse fréquence provoquent une vibration maximale de la membrane basilaire. A proximité de la fenêtre ovale, les cellules ciliées sont sensibles aux fréquences élevées. Alors que les sons aigus sont perçus à la base de la cochlée, les sons graves sont perçus à son extrémité.

### La réponse du système nerveux

La voie auditive relie l'oreille interne et le cerveau. Elle est composée de fibres nerveuses qui transmettent les impulsions nerveuses de l'oreille au cerveau (nerfs afférents) et inversement (nerfs efférents). Le système afférent est particulièrement important pour les effets du bruit à

l'extérieur de l'oreille. Il est relié à différents niveaux de traitement neuronal à plusieurs systèmes physiologiques (notamment la région cervicale appelée noyau amygdalien).

Le signal acoustique, d'abord mécanique dans l'oreille, puis électrique dans le cerveau, va se diviser et emprunter des voies nerveuses non spécifiques [13] : à chaque relais entre deux neurones, une partie du signal utilise une voie latérale ; l'une d'elle parvient à un noyau réticulé, qui va alerter le système activateur ascendant, qui à son tour pourra exciter des organes différents comme le cœur et le système cardio-vasculaire, ou bien augmenter le niveau d'activation du système nerveux, favorisant l'attention de la personne.

En ce qui concerne le bruit, très souvent dans l'environnement de notre société moderne, il n'apporte pas de message utile pour l'adaptation de l'homme : les acousticiens et les psychologues disent de la même façon que les sons ne portent pas de signal, c'est seulement du bruit. Ce bruit non porteur de message, de sens ou de signal, donc sans utilité fonctionnelle, est à l'origine de certains effets auditifs et non-auditifs. Il va être la raison de l'apparition de stress chez les personnes exposées au bruit et sensibles à cette entrée sensorielle dans l'organisme.

## **Annexe 3 : Caractéristiques du sommeil [5]**

De manière à pouvoir comparer les enregistrements de sommeil, une classification internationale des "stades" de sommeil (classification de Rechtschaffen et Kales) a été établie. Elle est basée sur l'enregistrement simultané (enregistrement "polygraphique") de divers paramètres : électroencéphalographies (EEG), mouvements oculaires (EOG) et activité des muscles de la houppe du menton (EMG).

### **a) L'éveil (niveau 0)**

Les yeux sont ouverts, l'activité EEG est rapide, microvoltée. L'EOG montre la présence de mouvements oculaires rapides, fonction de l'environnement et de l'activité. L'activité musculaire (EMG) est retrouvée dans l'ensemble des groupes musculaires, elle est la base de la réactivité motrice.

### **b) Le stade 1 du sommeil**

C'est un stade de transition entre l'éveil et le "vrai" sommeil. L'EEG est constitué d'un rythme moins continu et d'amplitude plus faible. L'EOG est caractéristique car, outre la disparition des mouvements oculaires rapides, il montre la présence de mouvements oculaires lents, des mouvements de balancement des globes oculaires d'un côté et de l'autre de l'orbite, sans saccades. L'activité musculaire des groupes de la houppe du menton persiste.

### **c) Le stade 2**

Des éléments caractéristiques apparaissant sur l'EEG permettent de le définir. Il s'agit d'une part, d'ondes biphasiques, de grande amplitude, et d'autre part, de fuseaux rapides peu amples. L'EOG ne traduit aucune activité oculomotrice. L'activité musculaire est en général présente, mais moins importante que pendant les phases précédentes.

### **d) Les stades de sommeil lent profond : stades 3 et 4**

Ils sont ainsi appelés car le tracé de l'EEG est fait d'ondes lentes, de grande amplitude qui, pour le stade 3, représentent moins de 50% du temps et, pour le stade 4, plus de 50% du temps. Les deux stades sont souvent regroupés en sommeil lent profond. L'activité musculaire est le plus souvent absente ou très peu intense, tandis qu'il n'y a pas de mouvements oculaires.

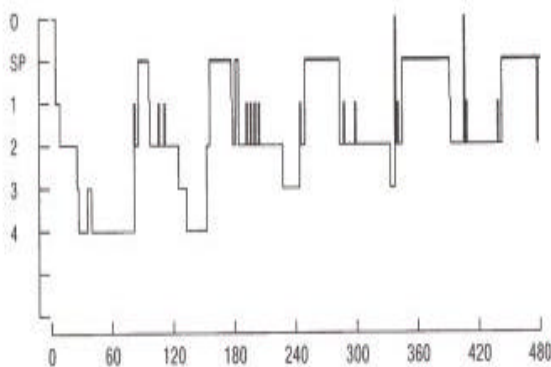
### e) Le sommeil avec mouvements oculaires rapides (sommeil paradoxal ou SP)

L'EEG redevient comparable, avec quelques différences, à celui du stade 1 de sommeil. C'est un tracé peu volté, fait d'ondes rapides. L'EOG révèle la présence, bien que des périodes de quiescence oculaire existent, de nombreux mouvements soit isolés, comparables à ceux enregistrés à l'éveil, soit groupés en bouffées.

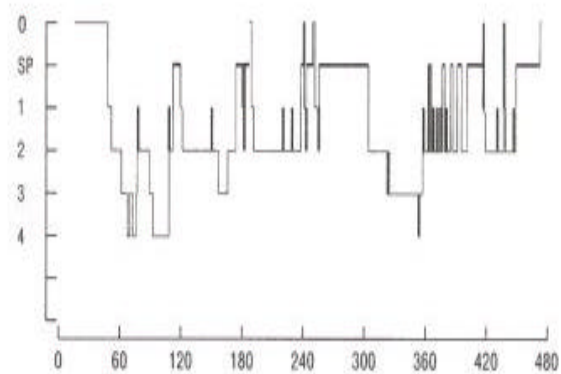
L'activité musculaire est absente. Cette atonie (perte du tonus musculaire), qui est la règle, est en contraste avec l'EEG et la présence de mouvements oculaires.

Ces cinq points représentent donc les critères polygraphiques minima pour définir les stades de sommeil. Il est bien évident que les transitions entre ces stades ne sont que rarement brutales ; c'est progressivement que vont disparaître les critères d'un stade et apparaître ceux d'un autre.

Les figures ci-dessous présentent l'évolution des stades de sommeil au cours d'une nuit perturbée et d'une autre modérément perturbée par le bruit.



**Figure A**



**Figure B**

**A** : Hypnogramme d'une nuit de huit heures de sommeil (soit 480 minutes) non perturbée : succession des différents stades de sommeil en fonction de l'avancement de la nuit.

**B** : Hypnogramme d'une nuit modérément perturbée par le bruit : succession des stades de sommeil durant une nuit de 480 minutes.

L'endormissement est sensiblement plus long dans le cas de la nuit perturbée. Le sommeil à ondes lentes est fragmenté en début de nuit et une séquence importante de ce sommeil survient lors de la deuxième moitié de la nuit. Les phases de sommeil paradoxal sont irrégulières et souvent interrompues par des éveils ou des retours en stades 1 et 2, contribuant ainsi à une forte instabilité du sommeil.

## **Annexe 4 : Précisions techniques sur l'activité aéronautique**

### **A. Les mouvements d'aéronefs à proximité d'aérodrome**

Il s'avère que la phase d'atterrissage est généralement considérée comme la plus gênante pour les populations riveraines. L'atterrissage aux instruments (ILS), normalisée par l'OACI, est le système de guidage radioélectrique mondialement utilisé pour effectuer des approches de précision qui permettent l'atterrissage des avions y compris dans de très mauvaises conditions de visibilité [24]. Or pour des raisons impérieuses de sécurité (limitation de la vitesse de l'appareil...) une pente de 3° a été retenue comme maximum. Cet angle correspond à une pente de 5,24%, ce qui explique en partie qu'en phase d'approche, les zones de bruit demeurent importantes, même avec les avions les plus modernes.

### **B. Les indices aéronautiques [34, 35]**

Les unités et les calculs décrivant la gêne sonore aéronautique sont perçus comme très complexes. En effet, dans le domaine de l'aérien, il s'agit de sources sonores complexes, (les aéronefs : structure, motorisation, traînées) et de phénomènes de propagation du son compliqués par la distance, le relief, la météorologie... Les explications qui suivent permettent de mieux comprendre l'utilisation de ces outils.

#### ***Utilisation de l'unité décibel A d'énergie sonore***

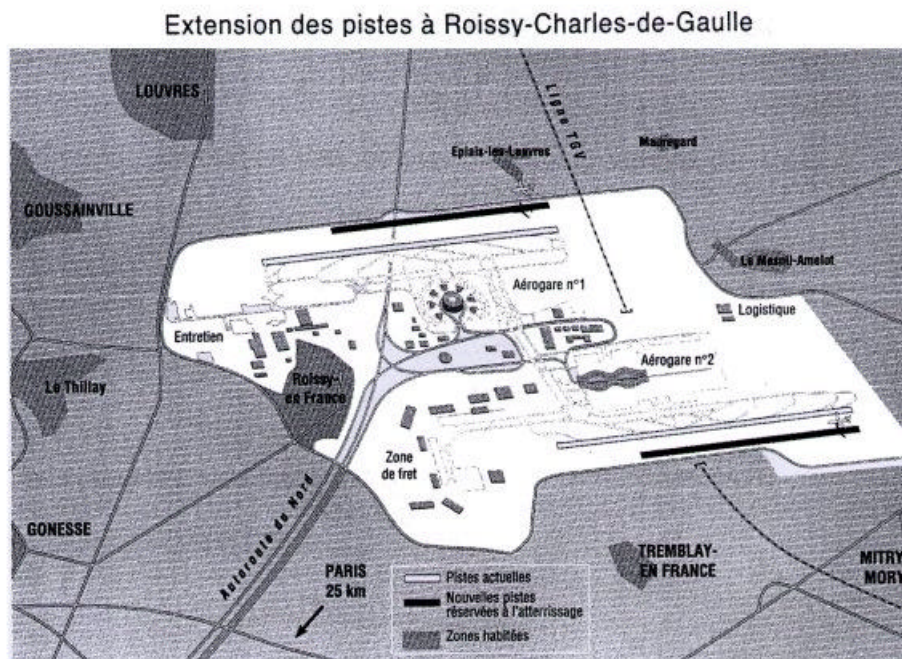
- Emergence : différence entre les niveaux de pression continus équivalents pondérés A du bruit ambiant et du bruit résiduel
- LAeq (t1, t2) : Niveau continu équivalent pondéré A de t1 à t2.
- LAmax : Niveau de crête pondéré A
- Indices fractiles (statistiques) : niveau dépassé pendant un pourcentage de temps donné (exemple : L10 = niveau sonore pendant 10% du temps d'observation)
- Lden (Level Day Evening and Night) : il remplace définitivement l'indice psychologique au 1<sup>er</sup> novembre 2002. Il intègre une pondération entre des périodes de nuit (10), de jour (0) et de soirée (5) ; c'est l'indice adopté par la commission européenne.
- Ldn : même type que le Lden, sans période de soirée.
- SEL (Sound Exposure Level) : niveau qui, s'il était constant pendant 1 seconde, véhiculerait la même énergie que le niveau fluctuant correspondant au passage réel de l'avion. Pour calculer le SEL, on ne considère pas exactement la durée de passage de l'avion, mais la durée pendant laquelle le bruit d'avion est compris entre son niveau maximum et son niveau maximum moins 10 dB. Pour connaître l'énergie véhiculée par

un passage d'avion, le SEL suffit alors que le Leq-événement suppose que l'on connaisse en outre la durée de passage de l'avion. C'est pourquoi c'est le SEL qui est utilisé comme descripteur d'événement dans le domaine aéronautique.

**Utilisation de l'unité EPNdB (Effected Perceived Noise Decibel) :** unité de base pour la certification des avions à réaction, qui se caractérise par une forte pondération des fréquences moyennes à élevées fortement génératrices de gêne.

- IP (Indice Psophique) : indice prenant en compte pour un point donné au sol au voisinage d'un aérodrome le PNL (Perceived Noise Level) maximal engendré par le passage de chaque aéronef, le nombre de mouvements sur 24 heures (base : trafic journalier moyen) et la période d'émission (un vol de nuit vaut dix vols de jour).
- PNL : niveau de bruit perçu exprimé en PNdB ; caractérise le niveau de sensation de gêne en fonction du spectre et du niveau sonore (indicateur de type psycho-acoustique).
- PNLT : PNL auquel est rajouté un terme lié à la présence de sons purs (sifflants) dans le bruit.
- EPNL (Effective Perceived Noise Level) : Niveau effectif de bruit perçu exprimé en EPNdB. C'est le niveau de bruit correspondant au PNLT maximum d'un événement sonore auquel est rajouté un terme lié à la durée de ce bruit.

### **C. Organisation Schématique des pistes de l'aéroport de Roissy** (echo-bruit novembre 1997)





## **Annexe 5 : quelques précisions médicales**

### **1. La mesure de la pression artérielle [40]**

A chaque contraction, le cœur éjecte une quantité de sang. Il a été évalué qu'en une heure le cœur déplace une masse de sang égale à trois fois le poids du corps. La méthode courante en pratique clinique consiste à mesurer au manomètre la contre pression exercée sur une artère par un brassard gonflable tout en auscultant l'artère. L'enregistrement graphique direct de la pression artérielle avec un manomètre montre des oscillations périodiques synchrones avec le cycle cardiaque. La pression varie à chaque cycle cardiaque entre une valeur minimale d'environ 10 kPa (80 mmHg), la pression diastolique, et une valeur maximale d'environ 16 kPa (120 mmHg), la pression systolique.

#### ***Principe de la mesure : utilisation du sphygmomanomètre (tensiomètre) et du stéthoscope***

Le sphygmomanomètre est constitué d'un brassard gonflable relié à une poire et à un manomètre gradué en millimètre de mercure qui mesure la pression dans le brassard. La poire de gonflage est munie d'une valve permettant à l'air du brassard de s'évacuer. Le stéthoscope sert à détecter le pouls artériel.

Il s'agit d'abord d'amener la pression du brassard (PB) à une valeur supérieure à la pression systolique pour bloquer la circulation artérielle dans le bras. On laisse ensuite la pression du brassard diminuer progressivement jusqu'à la valeur limite à partir de laquelle la pression artérielle est suffisante pour laisser de nouveau passer le sang dans l'artère. C'est la pression systolique (PS).

En poursuivant le dégonflage, on amène la pression du brassard à une valeur à partir de laquelle il n'y a plus d'obstacle au flux artériel. C'est la pression diastolique (PD).

PB > PS : absence de bruits

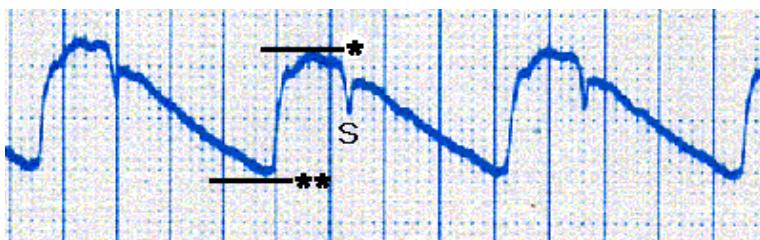
PB = PS : apparition des bruits

PD < PB < PS : les bruits augmentent d'intensité puis s'atténuent

PB = PD : disparition des bruits.

## Enregistrement manométrique de la pression artérielle

\* : pression systolique ; \*\* : pression diastolique ; S : accident dû à la fermeture des valvules sigmoïdes.



Le stéthoscope permet d'identifier les deux moments clés de la mesure en écoutant le pouls de l'artère brachiale. Lorsque le brassard est gonflé au-dessus de la pression systolique, on n'entend rien puisque le sang ne passe pas. En dégonflant lentement le brassard, on commence à détecter le pouls artériel dès que l'on passe en dessous de la pression systolique car désormais le sang recommence à circuler et se fait entendre à chaque systole. Le brassard continuant à se dégonfler, on n'entend plus le pouls artériel dès que l'on passe en dessous de la pression diastolique.

La pression artérielle s'exprime donc par deux valeurs.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs communément trouvées pour des sujets en bonne santé :

### Valeurs de pression artérielle de sujets en bonne santé

Tranche d'âge 20-24 ans	Pression minimum en mm de Hg	Pression maximum en mm de Hg
Hommes	60-80	105-140
Femmes	60-85	100-130

## 2. Définition de l'hypertension artérielle

On parle d'hypertension lorsque la pression artérielle est supérieure ou égale à 140/90 mm de mercure (pression systolique/diastolique). Dans le langage courant on dit alors : "14/9 de pression artérielle". La mesure doit être réalisée après au moins cinq minutes de repos, en position assise ou allongée. Il est nécessaire de renouveler les mesures au cours d'une même consultation et lors de consultations successives (à un mois d'intervalle) avant de porter le diagnostic d'hypertension.

### **3. Les hormones du système endocrinien perturbées par la réaction de stress due au bruit [3]**

Adrénaline / noradrénaline : hormones élaborées et sécrétées par la partie médullaire des glandes surrénales. Mises en jeu de façon rapide en réponse à divers types d'agressions, ce sont des hormones qui modifient de façon importante le fonctionnement de plusieurs systèmes physiologiques. Il s'agit de neurotransmetteurs.

Cortisol : l'un des chefs de file des glucocorticoïdes, jouant un rôle aussi bien dans les mécanismes de défense de l'organisme que dans le métabolisme des glucides.

La sécrétion de cortisol varie avec le nyctémère (maximale le matin, minimale le soir) et est placée sous l'influence de la corticotrophine hypophysaire dont la sécrétion est elle-même réglée par le niveau de la cortisolémie selon un mécanisme de rétrocontrôle négatif.

Corticoïdes (ou corticostéroïdes) : hormones élaborées et sécrétées par la partie externe des glandes surrénales. Elles constituent deux groupes d'hormones : les *minéralocorticoïdes* qui agissent sur la rétention d'eau par l'organisme, et les *glucocorticoïdes* qui jouent notamment un rôle dans la protection de l'organisme.

## **Annexe 6 : Guide d'entretien général - questionnaire** **servant de base à l'échange**

Destinataire :

Demandeur : Jeanne Faliu, étudiante à l'Ecole Nationale de la Santé Publique en formation d'Ingénieur du Génie SANitaire (niveau Bac + 6), titulaire du diplôme de l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Limoges, spécialité "Eau & Environnement", option "gestion des environnements de la santé".

Le sujet du stage effectué est : *la faisabilité d'une évaluation d'impact sanitaire des avions en vol (nuisance sonore = gêne la plus importante).*

Ce sujet s'inscrit en réponse à l'évolution de la réglementation en matière d'étude d'impact, notamment l'obligation d'un volet sanitaire dans les dossiers. Les infrastructures de transport aérien sont un type d'infrastructure devant répondre à cette réglementation.

Ce que j'ai déjà fait durant la première période du mémoire :

### **Bibliographie**

- déplacement au CIDB
- déplacement à l'INRETS Lyon-Bron
- documentation disponible à la DGS (Guy Béchu)
- recherche Medline (bruit, aéroport, santé) > déplacement éventuel dans une fac de médecine parisienne développée en santé publique

### **Rencontres**

...

- 1) Pouvez-vous me préciser votre domaine d'activité au sein de votre structure ?

### **Partie 1 : le bruit des avions et la santé**

- 2) En ce qui concerne les effets auditifs du bruit des avions en population générale, j'ai trouvé peu de documentation, qu'en pensez-vous ? (une étude chinoise a évalué les fonctions cochléaires, qu'en pensez-vous...)
- 3) Les effets non-auditifs sont par contre plus nombreux et divers, dans l'état actuel des connaissances, est-il légitime de tenter de définir des relations dose-effet ?

- 4) Comment caractériser un trouble du sommeil lié aux passages d'avions ? Quelles en sont les conséquences directes et indirectes en fonction du niveau sonore subi ?
- 5) Par rapport à l'hypertension et aux maladies cardio-vasculaires, comment quantifier l'attribution du bruit pour les causes de la pathologie ? Existe-t-il un seuil et une durée d'exposition minimum ?
- 6) Certaines fréquences sont-elles plus mauvaises que d'autres ? Dans une étude médicale de Besançon il est démontré l'influence du bruit sur l'évolution négative des tumeurs animales, est-ce transposable à l'homme ?
- 7) En ce qui concerne les effets comportementaux, la gêne constitue l'impact majeur sur les populations riveraines d'aéroports, comment appréhender le fait qu'elle peut contribuer à enclencher l'apparition d'effets sanitaires plus sérieux (même s'il l'on considère la gêne comme un problème de santé) ?

## **Partie 2 : la structure de la personne interrogée**

- 8) Concernant les indices de bruit de transport aérien, le Lden est-il définitivement adopté ? L'indice psychologique semble ne plus être utilisé...(particularité française > alignement sur l'Europe ?)
- 9) Quelle est la position de votre structure par rapport aux autres indices tels que les indices de corrélation entre gêne et exposition au bruit ?
- 10) Avant l'implantation de toute infrastructure nouvelle aéroportuaire, savez-vous si des mesures de bruit sont effectuées pour connaître le "point de départ" du niveau sonore ? Si oui, quelle est l'aire d'étude envisagée (que nous pourrions transposer pour l'évaluation de l'impact sanitaire du bruit dans le dossier d'étude d'impact) ?
- 11) Avez-vous essayé de rechercher des zones "témoins" en termes de doses de bruit reçues par rapport à la zone qui se plaint davantage des avions ? Que pensez-vous du zonage actuel au niveau PGS et PEB ?
- 12) Recevez-vous des plaintes ? Si oui, comment sont-elles gérées (orientées vers d'autres organismes ...) ?

- 13) Dans quels contextes et dans quels buts les modèles de dispersion sont-ils utilisés ? Quels sont les principaux critères pris en compte (climatologie, météo...) ?
- 14) Quelle est la position de votre structure par rapport aux associations de riverains ? Le débat sur le troisième aéroport semble relancé, qu'en pensez-vous ?
- 15) En termes de réduction des nuisances sonores, quels sont les souhaits de votre structure ? Les capacités sur les aéroports français sont plutôt basses, quelle est la politique envers les gestionnaires d'aéroports et les compagnies aériennes ? Existe-t-il une incitation à la limitation du nombre de mouvements (exemple Paris-Marseille toutes les demi-heures > intermodalité avec les lignes TGV existantes) ?
- 16) Pourquoi ne pas imaginer de faire "tourner" les couloirs pour ne pas gêner sans cesse les mêmes populations ? Pourquoi ne pas fermer les aéroports la nuit (au fret nocturne notamment) ?
- 17) Quel est le poids de la santé dans les décisions de votre organisme ? Pour quelles raisons ?

### **Partie 3 : Validation de la biblio sur les dangers**

- 18) Quelle est votre opinion sur la bibliographie ?
- 19) Existe-t-il des études ou publications récentes sur le sujet ? Quelle est l'évolution des recherches dans ce domaine ?
- 20) Quelles personnes vous semblent indispensables à rencontrer pour avoir une vue d'ensemble des points de vue ? Pouvez-vous me conseiller le nom d'un sociologue sur le thème ?
- 21) Quel est votre point de vue sur l'ensemble des nuisances provoquées par la présence d'un aéroport sur son voisinage (pollution lumineuse, ondes radars, odeurs de kérosène, ...) Voyez-vous d'autres sources de danger pour la population autour d'une zone aéroportuaire ?

## **Annexe 7 : liste des personnes rencontrées durant le mémoire**

Le domaine des nuisances sonores aériennes englobe un très grand nombre d'acteurs, d'établissements et d'organismes différents. Le tableau ci-dessous dresse la liste des personnes interrogées pour recueillir un panel de points de vue sur le sujet :

<b><i>Personne rencontrée</i></b>	<b><i>Fonction dans l'organisme</i></b>	<b><i>Date de la rencontre</i></b>
<b>Guy Béchu</b>	Spécialiste du bruit à la DGS, adjoint au chef de bureau SD7C (bâtiment, bruit et milieu de travail).	3 mai 2002
<b>Michel Rumeau</b>	Responsable de la section acoustique du Laboratoire Central de la Préfecture de Police.	5 juin 2002
<b>Laurent Galindou</b>	Subdivision environnement des Services Techniques des Bases Aériennes de la DGAC.	10 juin 2002
<b>Stéphane Auzilleau</b>	Mission bruit, transports aériens Direction de la Prévention de la Pollution et des Risques au Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.	12 juin 2002
<b>Alain Muzet</b>	Médecin, Directeur du Centre d'Etudes de Physiologie Appliquée du CNRS de Strasbourg et membre de l'ACNUSA.	13 juin 2002
<b>Simone Nerome</b>	Présidente de l'ADVOCNAR et praticien hospitalier à l'hôpital de Montmorency.	17 juin 2002
<b>Constantin Dinville</b>	Responsable du service des relations avec les riverains chez ADP Orly.	18 juin 2002
<b>Dominique Collin</b>	Responsable du service acoustique de SNECMA moteurs	2 juillet 2002 au colloque "transport aérien et développement durable"

---

# Bibliographie

---

1. Van Kempen E. et al. The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease : a meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*. 2002 ; 110 (3) : 307-317.
2. Organisation Mondiale de la Santé - Bureau régional de l'Europe. *Bruit et santé*. 2000 ; Volume 36.
3. Dictionnaire terminologique : [http://www.granddictionnaire.com/\\_fs\\_global\\_01.htm](http://www.granddictionnaire.com/_fs_global_01.htm) visité en juillet et août 2002.
4. Medline : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi> visité en mai 2002.
5. Ministère des Affaires Sociales, de la Santé et de la Ville. *Les effets du bruit sur la santé*. 1998 ; 131 p.
6. Le sénat : <http://www.senat.fr/rap/198-204/198-2041.html> visité le 24 juin 2002.
7. Ministère de l'environnement : <http://www.environnement.gouv.fr/dossiers/bruit/aviation.htm> visité le 15 mai 2002.
8. InVS. *Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact*. 2000.
9. Chen TJ, Chen SS et al. Auditory effects of aircraft noise on people living near an airport. *Archives on Environmental Health*. 1997 ; 52(1) : 45-50.
10. Muzet A. Les effets du bruit sur le sommeil. *Acoustique & Techniques*. 2002 ; 28 :13-19.
11. Association UFCNA : <http://www.ufcna.com/nuisances02.html> visité le 27 mai 2002.
12. Fidell S. et al. Effects in sleep disturbance of changes in aircraft noise near three airports. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000 ; 107(5), Pt. 1.
13. Vallet M. et Cohen JM. *Etudes épidémiologiques des troubles anxio-dépressifs autour des aéroports*. 2000 ; INRETS rapport LTE N°2008.
14. INRS. *Effets cardio-vasculaires du bruit*. Cahiers de notes documentaires. 1986 ; 122 : 37-44.
15. INRS. *Effets non traumatiques du bruit sur la santé, la sécurité et l'efficacité de l'homme au travail*. Cahiers de notes documentaires. 1994 ; 154 :69-97.
16. Schram HE. et al. Feasibility study on cardiovascular disorders related to aircraft noise in the vicinity of Schiphol Airport, RIVM report. 2001 ; 61 p.
17. Rosenlund M. et al. Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise. *Occup. Environ. Med.* 2001 ; 58 : 769-773.
18. Lang T. et Fouriaud C. *Exposition professionnelle au bruit et hypertension artérielle*. Groupe d'Epidémiologie et de Recherche Clinique & INSERM U 194 ; APSAT.



19. Evans GW. et al. Community noise exposure and stress in children. *Journal of Acoustical Society of America*. 2001 ; 109 (3) : 1023-1027.
20. Muzet A. *Le bruit*. Dominos Flammarion. 1999 ; 122 p.
21. Lalande NM. et al. Is occupational noise exposure during pregnancy a risk factor of damage to the auditory system of the fetus ? *American Journal of Industrial Medicine*. 1986 ; 10 : 427-435.
22. Ising H. et al. Health effects and traffic noise. *Int Arch Occup Environ Health*. 1980 ; 47 : 179-190.
23. Stansfeld S.A. The non-auditory health effects of noise exposure. *Acoustique & Techniques*. 2002 ; 28 : 5-12.
24. Gualazzi J.P. *Le bruit dans la ville*. Avis et rapports du conseil économique et social, les éditions des Journaux Officiels. 1998.
25. Haines M. M et Stansfeld SA. The effects of environmental noise on school children : summary of effects and review of intervention studies. *Acoustique & Techniques*. 2002 ; 28 : 34-39.
26. Haines M. M. The West London schools study : the effects of chronic aircraft noise exposure on child health. *Psychological Medicine*. 2001 ; 31 : 1385-1396.
27. Haines M. M. Multilevel modelling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow Airport London. *J. Epidemiol. Community Health*. 2002 ; 56 : 139-144.
28. Projet RANCH : [http : //www.ranchproject.org](http://www.ranchproject.org) visité le 10 juillet 2002.
29. Vallet M. La gêne due au bruit autour des aéroports. *Acoustique & Techniques*. 2002 ; 28 : 26-33.
30. Vallet M. et al. La gêne due au bruit des avions autour des aéroports. Tome 2 Indicateurs acoustiques de la gêne. 2000 ; Rapport LTE n°2009, INRETS. 45 p.
31. Vallet M. et al. La gêne due au bruit des avions autour des aéroports. Tome 1 Analyse de la gêne. 2000 ; Rapport LTE n°9920, INRETS. 126 p.
32. Haines M. M. Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychological medicine*. 2001 ; 31 : 265-277.
33. Faburel G. Le coût social de la gêne due au bruit des avions. *Echo Bruit*. 2001 ; 97 : 51-55.
34. Services techniques de la navigation aérienne : [http://www.stna.dgac.fr/actualites/revues/revue58/58pgarticle1/nuisance\\_2.html](http://www.stna.dgac.fr/actualites/revues/revue58/58pgarticle1/nuisance_2.html) visité le 30 avril 2002.
35. Services spéciaux des bases aériennes [http://www.ssbases.equipement.gouv.fr/bruit/Evaluation\\_gene.htm](http://www.ssbases.equipement.gouv.fr/bruit/Evaluation_gene.htm) visité le 31 juillet 2002.
36. Direction générale de l'aviation civile : [http //www.dgac.fr/html/actu\\_gd/couloir3/DPAerien\\_s.pdf](http://www.dgac.fr/html/actu_gd/couloir3/DPAerien_s.pdf) visité le 30 avril 2002.

37. Wresinski J. Grande pauvreté et précarité économique et sociale. Paris Journal Officiel 1987.
38. Mortgat B. Nuisances sonores aéroportuaires, les voies techniques d'amélioration. Environnement & Technique. 2001 ; 211 : 30-35.
39. COREPER. Ciel unique européen - Etat d'avancement des travaux / lignes directrices. Conseil de l'Union Européenne. 2002 ; dossier interinstitutionnel 2001/0060 (COD).
40. Université de médecine de Jussieu : [http : //www.snv.jussieu.fr/bmedia/ATP/pressio.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/ATP/pressio.htm) visité le 4 juillet 2002.
41. L'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité : [http://www.inrets.fr/centre\\_de\\_doc/centre\\_doc.html](http://www.inrets.fr/centre_de_doc/centre_doc.html) visité le 7 mai 2002.
42. Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit : <http://www.cidb.org/euroframe.html> visité le 13 mai 2002.
43. L'Institut national de la santé publique et de l'environnement néerlandais RIVM : [http : //www.rivm.nl/index\\_en.html](http://www.rivm.nl/index_en.html) visité le 14 mai 2002.