

Centre de Recherche



Espace
Transports
Environnement
et Institutions Locales

Université Paris 12 – Institut d'Urbanisme de Paris – 61, avenue du Gal de Gaulle – 94 010 Créteil
Tél. : 01 41 78 48 26 - Fax. : 01 41 78 48 27 - labo-creteil@univ-paris12.fr
<http://www.univ-paris12.fr/~creteil/>

Impacts des trafics aériens sur la santé

*Etat des connaissances scientifiques
et recommandations pour l'action*

Guillaume Faburel (avec l'aide de Sarah Charre)

Rapport Final (Septembre 2008)

Sur commande de l'Association Ville et Aéroport

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	3
<i>Enjeux et contexte de l'étude</i>	3
<i>Objectifs et plan</i>	5
PARTIE 1.....	8
<i>EFFETS DES TRAFICS AÉRIENS ET DES FONCTIONNEMENTS AÉROPORTUAIRES</i>	8
<i>SUR LA SANTÉ DES POPULATIONS RIVERAINES</i>	8
<i>ETAT DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES.....</i>	8
2. LES EFFETS DU BRUIT (DES AVIONS) SUR LA SANTÉ PHYSIQUE : DES PREUVES DE PLUS EN PLUS TANGIBLES.....	9
2.1. <i>Bruit des transports, bruit des avions : des effets multiples (potentiels ou avérés).....</i>	10
2.2. <i>Les impacts sanitaires sur les enfants autour des aéroports : un groupe particulièrement vulnérable ...</i>	15
2.3. <i>Des incertitudes surmontables pour l'aide et la prise de décision.....</i>	18
3. GÊNE ET NUISANCES SONORES DUES AU BRUIT DES AVIONS : UNE IMPORTANCE ÉTABLIE, MAIS LA NÉCESSITÉ DE DÉMARCHES INTERDISCIPLINAIRES	22
3.1. <i>Les facteurs acoustiques et psycho-acoustiques de la gêne sonore : des limites explicatives grandissantes.....</i>	23
3.2. <i>Sciences humaines et sociales : des approches complémentaires pour ouvrir l'analyse aux contextes territoriaux d'exposition.....</i>	27
4. LES EFFETS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE DUE AUX TRAFICS AÉRIENS ET FONCTIONNEMENTS AÉROPORTUAIRES : ENTRE PRÉSOMPTIONS ET DÉMONSTRATIONS.....	33
4.1. <i>Les effets sanitaires de la pollution de l'air liée aux transports : des effets à court terme démontrés et à long terme plus incertains.....</i>	35
4.2. <i>Les effets sur les populations sensibles : de fortes présomptions concernant les enfants</i>	37
4.3. <i>Incertitudes persistantes pour les effets à long terme et manque de connaissances sur les pourtours aéroportuaires.....</i>	38

1. Introduction

Enjeux et contexte de l'étude

Sur les 40 dernières années, les impacts des activités humaines sur l'environnement (industrie, transport, agriculture, technologies...) se sont hissés aux rangs d'enjeux essentiels pour le devenir de nos sociétés. Ces impacts ont alors fait l'objet d'évaluations multiples, qui empruntent à ce jour des chemins variés: évaluations écologiques, économiques, sociales... Et c'est notamment sous l'égide de certaines d'entre elles que les manières de penser et d'agir se sont souvent orientées vers plus de prévention, de protection, de conservation... environnementales.

Dans ce thème multiple des impacts, les questions dites de santé environnementale, donc les évaluations puisant dans le registre sanitaire, occupent une place croissante, parfois même incontournable, dans les débats, concernant :

- tant des problèmes globaux de société (avec des controverses encore vives, apparues sur les 30 dernières années)
- que le futur a priori plus singulier de phénomènes et d'espaces circonscrits (ex : pourtours d'industries).

Il est vrai que les questions renvoyant à la santé font à ce jour l'objet d'une demande sociale importante d'informations, au premier chef sur les effets réels et/ou potentiels, physiologiques et/ou psychologiques, sur les populations pauvres et/ou riches, dans des contextes de cumuls ou non... Dès lors, en France, comme dans bien d'autre pays : des textes de loi plus ou moins anciens tentent, selon des modalités complémentaires, d'en réguler la survenue ; des agences d'objectifs et observatoires dédiés ont vu le jour ; des collectivités territoriales s'ouvrent à ces enjeux ; des fédérations associatives se mobilisent sur ces questions...

Dans ce registre de la santé environnementale, les effets des équipements dits impactants (usines, incinérateurs, infrastructures de transport...) focalisent une attention de plus en plus soutenue chez les donneurs d'ordre français, après que cette problématique ait fait l'objet de débats principalement dans le monde anglo-saxon. Pour preuve, plusieurs recherches expérimentales et études empiriques ont été menées pour renseigner les atteintes occasionnées par les pollutions et nuisances occasionnées par certains de ces équipements sur la santé des populations, particulièrement dans le domaine du bruit.

Toutefois, même si des zones d'ombre peuvent subsister dans les connaissances produites, invitant à soutenir les efforts de recherche, remarquons que certains de ces équipements, notamment dans le champ des transports, ont longtemps été quelque peu négligés par la production de recherches, d'études, d'observations... Et ce, même dans les pays où les questions de santé environnementale ont été tôt placées sur l'agenda politique (ex : la Health Impact Assessment - Etude d'Impacts Sanitaires – est obligatoire aux Etats-Unis depuis un Executive Order - eq. Directive ministérielle - de 1994).

C'est particulièrement le cas des trafics aériens et des fonctionnements aéroportuaires, singulièrement en France, même si, comme nous allons le voir, les initiatives évaluatives se multiplient depuis peu.

En fait :

- si la multiplication des tensions entre acteurs des aires aéroportuaires a placé, durablement selon nombre d'observateurs, la problématique des effets

environnementaux et territoriaux des trafics aériens et des fonctionnements aéroportuaires (positifs comme négatifs) au cœur des débats et argumentaires ;

- si la vigueur des questionnements en matière d'indicateurs d'état, d'impacts, de suivi... de ces effets atteste de cette orientation durable, vigueur qui répond un peu partout de la quête de compromis recherchés au nom du mot d'ordre que constitue le développement durable ;
- et si, par ailleurs, l'on dispose néanmoins aujourd'hui de signaux de plus en plus fiables et convergents concernant les impacts sanitaires, essentiellement du bruit, autour de plusieurs aéroports européens notamment (études RANCH, HYENA... *infra*) ;

... il aura fallu attendre ces deux dernières années pour que la France engage des travaux scientifiques d'envergure sur le thème de la santé environnementale autour d'aéroports, à la suite de quelques pas, toutefois à noter, initiés à la fin des années 1980 (travaux de Coblenz), et d'études plus récentes et descriptives (INSOMNIA en 2004) ou encore moins dédiés aux seules problématiques aéroportuaires (ETADAM en 2000), voire, pour reprendre les catégories d'analyse de l'OMS, à la suite d'enquêtes de gêne sonore (Vallet, Vincent, 2000 par exemple), gêne sonore que cette organisation place au cœur de la composante psychique des problèmes de santé (*infra*).

En fait, à ce jour, en France, trois enquêtes épidémiologiques sont soit possiblement programmées (ex : Etude DEBAT, à la demande de l'ACNUSA, sur plusieurs aéroports français), soit en cours de réalisation (ex : Etude SURVOL). Celle à ce jour la plus avancée (SURVOL), pilotée par l'Institut de Veille Sanitaire, porte sur les impacts sanitaires du bruit et de la pollution atmosphérique autour des trois premiers aéroports franciliens : Roissy CDG, Orly et Le Bourget. Au moment de la rédaction du rapport ici introduit, cette étude en était à la définition du protocole d'enquête, après que les membres du Comité scientifique aient globalement achevé la phase de caractérisation environnementale des zones d'études (périmètres acoustiques et de pollution atmosphérique).

Ici comme ailleurs, de telles initiatives font suite à la multiplication de recommandations internationales (Organisation Mondiale de la Santé par exemple) et d'autres, plus récemment nationales, à l'issue de rapports d'observation (ex : AFSSE, 2004), de colloques (Colloque Bruit et Santé à l'Assemblée Nationale en 2003 ; Colloque sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique par la Fondation Européenne pour des Territoires Durables, en 2005) et de recommandations officielles appuyées. Par exemple, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique reconnaissait en 2000 que « *le bruit au voisinage des zones aéroportuaires constitue un problème de santé publique* » et recommandait alors que des études épidémiologiques soient mises en œuvre, en particulier auprès des populations sensibles (enfants, personnes âgées, travailleurs postés). De même, concernant la pollution atmosphérique dans les pourtours aéroportuaires, « *il est donc légitime que des études épidémiologiques soient entreprises pour mettre en lumière les impacts éventuels sur la santé, comme cela a été le cas avec la circulation automobile urbaine* » (Giblin, in *Extrapol*, 2004, p. 5).

Ainsi en France, à relativement brève échéance, le fossé constaté entre la demande sociale, assez ancienne maintenant (fin des années 1990), en matière d'informations sur l'état précis de santé des populations domiciliées dans les pourtours aéroportuaires d'une part, et, de l'autre, l'état des connaissances empiriques en la matière, pourrait commencé à être comblé, suivant notamment en cela les démarches d'évaluation déjà réalisées ou à ce jour engagées autour d'aéroports étrangers.

Objectifs et plan

C'est dans ce contexte en évolution rapide, dont les traits premiers ont succinctement été dressés ci-dessus, que le Centre de Recherche Espace, Transport, Environnement et Institutions Locales (Université Paris XII) a reçu commande de l'association d'élus Ville et Aéroport pour :

- non seulement constituer un inventaire synthétique des connaissances scientifiques déjà disponibles en matière d'effets sur la santé des trafics aériens et fonctionnements aéroportuaires, sur la base première des recherches étrangères, et de quelques études françaises, déjà réalisées ;
- mais aussi rendre compte en détail des principales recommandations relayées par la littérature scientifique pour compléter, améliorer... les dispositifs d'actions existants dans et autour des principaux aéroports internationaux, en vue de mieux prendre en compte cette problématique sanitaire.

Ce document fait donc état, dans sa première partie, des connaissances étrangères et, plus modestement, françaises, disponibles à ce jour en matière d'effets sanitaires des trafics aériens et des fonctionnements aéroportuaires sur les populations, des moyens de les observer, des incertitudes parfois persistantes... pour l'action.

Nous rendons compte de ces différentes connaissances selon un ordre thématique qui témoigne non seulement de leur niveau de renseignement scientifique mais alors aussi, en amont de cette production de connaissances, de l'importance historique que ces effets revêtent dans les débats entre acteurs. Le bruit représente encore à ce jour le premier problème environnemental des fonctionnements aéroportuaires, apparue ostensiblement dès les années 60 aux Etats-Unis, et durant les années 1970 en Europe, avec dans le prolongement une ouverture progressive ces dix dernières années au thème de la pollution atmosphérique et de ses impacts (ex : Londres Heathrow). Cette tendance historique, à laquelle aucun aéroport ne déroge véritablement, justifie alors la structure de la première partie de ce rapport : les impacts sanitaires du bruit, puis ceux liés à la pollution atmosphérique.

Ici, pour information, mentionnons que cette tendance répond d'une autre, que nous avons renseignée dans d'autres écrits, et qui incarne bien aussi l'orientation fondamentale que connaissent tous les débats aéroportuaires observés à travers le monde (Francfort Rhin-Main, Amsterdam Schiphol, Los Angeles International Airport...) : le renseignement progressif de nombres d'effets, positifs comme négatifs, sur les territoires plus ou moins proches des plates-formes, sous l'angle économique, sociologique, géographique... (emplois, dessertes en transports, impacts immobiliers, nuisances et pollutions, effets des contraintes d'urbanisme, polarisation sociales...).

Dans le registre du bruit, premier temps de la 1^{ère} partie du rapport, nous avons volontairement distingué deux temps. Suivant en cela la définition donnée de longue date par l'OMS à la santé (« *Etat de bien-être à la fois physique, psychique et social* », 1948), le 1^{er} chapitre aborde les effets habituellement décrits comme physiques et physiologiques, à court et long termes, lorsque le 2^{ème} est dédié à la gêne et aux nuisances sonores, effet conçu par l'OMS comme aussi psychique et social.

Chacun des trois chapitres composant cette première partie (effets physiques et physiologiques du bruit, effets de gêne sonore, et effets sanitaires de la pollution atmosphérique) est construit de telle manière à livrer tour à tour l'état des connaissances stabilisées, les principaux enjeux socio-politiques impliqués par ces informations scientifiques (vols de nuit, impacts sur des populations fragiles...), puis les incertitudes encore parfois persistantes, ainsi que les méthodes susceptibles d'être mobilisées pour répondre aux besoins d'observations et d'évaluations, par nature interdisciplinaires.

Les différents états de l'art proposés ici sont le fruit d'une analyse de la littérature scientifique (articles de revues à comité de lecture, communications à des colloques internationaux, rapports de recherche...), institutionnelle (à vocation de survey : productions de l'OMS, de la DGAC...) et aéroportuaire (bilans environnementaux, rapports d'experts...). La littérature anglo-saxonne y est largement dominante et foisonnante. L'acoustique, la psycho-acoustique, la chimie de l'atmosphère, l'épidémiologie et l'économie sont peut-être, dans cet ordre, les disciplines les mieux représentées, avec toutefois, comme nous allons le voir, un appel de plus en plus insistant au sein de la littérature scientifique pour l'ouverture aux sciences humaines et sociales afin d'enrichir l'analyse des impacts, en situation précise d'exposition : géographie, psychologie, sociologie...

A chaque fois que de nécessaire, nous livrons des courtes synthèses des méthodes et résultats de recherches et études menées autour de certains aéroports, en insistant plus particulièrement, lorsque cela est possible, sur des cas franciliens. Au total, dans cette première partie, 11 recherches ou études sont décrites et référencées : 5 concernant les effets physiques et physiologiques du bruit, 4 concernant la gêne sonore, et, plus modestement, 2 relatives aux effets sanitaires de la pollution atmosphérique.

La réalisation de cet état des connaissances actualise ceux que nous avons pu mener dans un passé récent :

- en 2006, pour l'ACNUSA, la Direction de la Navigation Aérienne de la DGAC et Aéroports de Paris, sur la diversité des effets environnementaux et territoriaux des trafics aériens et des fonctionnements aéroportuaires (Faburel coord., Chatelain, Gobert, Lévy, Manola, Mikiki et Zegagh, 2006a) ;
- en 2007, pour le Collectif Santé et Nuisances Aériennes concernant les impacts sonores sur les enfants et leur scolarité (Charre et Faburel, 2007), et pour le Collectif d'associations Alerte Nuisances Aériennes sur les enjeux relatifs à la pollution atmosphérique dans les pourtours aéroportuaires et, dès lors, les propositions pour y faire face (Faburel, Charre, coll. Mikiki, 2007).

Dans la seconde partie, nous faisons d'abord état de manière synoptique des grands types de mesures en vigueur dans le monde pour observer, prévenir ou réguler la diversité des effets aéroportuaires sur les populations et les territoires proches. Nous réalisons une évaluation schématique des grandes catégories d'actions, selon leur objet (source ou réception), nature instrumentale (technique, réglementaire, économique-fiscale, communicationnelle...), historicité et effets parfois mesurés.

Puis, sur la base de cette typologie synthétique des grandes familles de mesures, cette seconde partie rend surtout compte ensuite, appuyée pour cela sur des cas d'études, des principales recommandations relayées par la littérature scientifique en vue de mieux insérer cette problématique de santé environnementale des populations survolées dans les politiques nationales et locales.

Sans déflorer le contenu de cette partie du rapport, mais sans grande surprise, la question de l'évaluation (concernant toutefois principalement des populations ciblées), son interdisciplinarité, et le thème des indicateurs (moins centrés sur les émissions et plus ouverts aux contextes d'exposition), représentent, le cœur des conseils prodigués par la recherche, tant de l'épidémiologie ou de la toxicologie pour ce qui concerne l'élucidation des effets sanitaires, que des sciences humaines et sociales, de plus en plus incitées à contribuer aux efforts de compréhension, pour ce qui concerne notamment l'usage d'indicateurs de suivi.

En outre, l'ouverture aux sciences humaines, sociales et politiques invite aussi :

- à des regards appuyés sur les enjeux de la diffusion de l'information (aux fins premières de mise en débat entre toutes les parties prenantes), donc aussi sur les enjeux de la participation des acteurs locaux à la construction des mesures (structures de dialogue, forums de débat commissions consultatives...),
- donc aussi à des évaluations des dispositifs d'action existants, notamment les mesures de protection progressivement mises en œuvre sur les 30 dernières années à travers le monde (organisation, coordination, portée...), mesures qui auront été rapidement présentées dans le premier chapitre de cette partie.

Ces deux autres inventaires (grands types de mesures et recommandations scientifiques pour l'action) proviennent essentiellement des observations que nous avons menées depuis maintenant 10 ans sur une quinzaine d'aéroports français et étrangers, le plus souvent de grande taille. En complément des états des connaissances scientifiques relatives aux effets (ci-dessus), ces travaux ont notamment visé l'exploration de 11 cas aéroportuaires étrangers (6 en Europe, 4 aux Etats-Unis et 1 en Australie), avec pour points d'entrée :

- l'observation, pour le CNRS, des conflits aéroportuaires aux Etats-Unis, et pour objectif de réaliser une évaluation de l'action menée par les pouvoirs publics américains face à cette conflictualité certes historique mais très vite accrue durant les années 90 (Faburel, 2003a, b et c ; 2004) ;
- l'examen, pour l'ACNUSA et la DGAC, ainsi que pour Eurocontrol, les Conseils généraux du Val-de-Marne, de l'Essonne ou encore de Seine-St-Denis, des expertises et indicateurs mis en œuvre pour évaluer les impacts et assurer le suivi des mesures prises, indicateurs nouvellement promus comme de développement durable (Faburel coord., Chatelain, Gobert, Lévy, Manola, Mikiki et Zegagh, 2006b ; Faburel, coll. Mikiki, 2007 ; Faburel et Charre, 2008) ;
- l'analyse, pour le CNRS ou ADP notamment, du fonctionnement des structures de dialogues, forums de débats, commissions consultatives... de plus en plus promus comme registre procédural (dit participatif) de la construction de l'action, accompagnées en cela d'une communication croissante d'informations aux riverains... (Faburel, Lévy, Rui, Dérubaix, 2007 ; Faburel, 2008).

Partie 1

Effets des trafics aériens et des fonctionnements aéroportuaires
sur la santé des populations riveraines

Etat des connaissances scientifiques

2. Les effets du bruit (des avions) sur la santé physique : des preuves de plus en plus tangibles

Les idées force à retenir de ce chapitre sur les effets du bruit des avions sur la santé

1. D'une manière générale (donc sans focalisation immédiate sur les pourtours aéroportuaires) : des effets démontrés d'assez longue date

=> Le bruit est partout a minima considéré comme un agent intrusif, qui réduit indéniablement la qualité du cadre environnemental (« agresseur environnemental ») ;

=> Il n'y a pas d'adaptation physiologique complète au bruit, même à long terme ;

=> A partir d'une exposition continue de 35 dB, des effets sur la santé et la qualité de vie peuvent se manifester, en perturbant chez certaines personnes des activités comme la concentration, le repos ou le sommeil ;

=> L'état de la connaissance scientifique souligne plus particulièrement les effets physiques et physiologiques sur certaines populations (enfants en bas âge, écoliers, personnes âgées ou fragiles, personnes exécutant des tâches cognitives complexes...).

2. Concernant les trafics aériens et les fonctionnements aéroportuaires : des preuves s'accumulent à l'étranger, des enjeux se dessinent, et des méconnaissances en France surmontables pour l'aide à la décision

=> Un sujet croissant de débat et de demande d'informations, autour d'au moins 8 aéroports de rang international à travers le monde ;

=> A l'étranger, des preuves s'accumulent pour démontrer l'existence d'effets sur la santé des populations riveraines (autour de 5 aéroports, en cumulé) ; en France, ce sont des signaux qui convergent, mais des études représentatives sont encore à mener ;

=> Deux enjeux toutefois ressortent assez clairement des travaux scientifiques étrangers, à la suite de résultats assez significatifs et consistants (Etudes HYENA et RANCH) : les vols de nuit engendrent des troubles du sommeil pouvant avoir des conséquences sanitaires importantes ; le bruit des trafics aériens affecte particulièrement la santé des enfants et leur scolarité.

=> Les quelques incertitudes persistantes sont d'ores et déjà surmontables pour l'aide et la prise de décision, avec toutefois : pour en limiter l'importance, des complémentarités disciplinaires à trouver pour l'épidémiologie (notamment avec les sciences humaines et sociales) ; et, pour périmétrer les actions de réduction de ces atteintes, la nécessité d'engager des travaux scientifiques représentatifs en France (Etudes SURVOL et DEBAT).

L'occurrence d'effets physiques du bruit en général n'est à ce jour plus mise en doute : effets directs à l'exemple des bourdonnements d'oreille (Kryter, 1983), d'impacts cardiovasculaires, ou encore sur le développement fœtal (Franssen *et al.*, 1997), donc du poids des nouveau-nés (Stansfeld, 2000)... ; et effets indirects, notamment par les troubles occasionnés pour le sommeil.

Toutefois, les conséquences sur la santé d'une exposition intense au bruit sont surtout le fait des activités professionnelles, voire dans des lieux de « pathologie acoustique », pour reprendre les termes de M. Periañez. Elles sont par exemple connues et quantifiées dans le milieu du travail. Il n'en est pas toujours de même lorsqu'il s'agit des bruits de l'environnement, notamment autour d'infrastructures de transport.

En fait, si plusieurs investigations sur les effets plus physiologiques du bruit ont été conduites, surtout ces dernières années, leur quantification précise et l'établissement de corrélations robustes avec les doses de bruit, selon les types de sources sonores, peuvent parfois demeurer fragiles. Cela exige la réalisation d'études épidémiologiques, devant tenir compte aussi de l'état de santé, de la psychologie (dépression, irritabilité...), de la trajectoire (sociale, résidentielle etc.) ... des populations cibles.

Néanmoins, le bruit est partout à minima considéré comme un agent intrusif, qui réduit indéniablement la qualité du cadre environnemental : un « *agresseur environnemental* » (Laroche *et al.*, 2003 ; Ordre des orthophonistes et audiologistes du Québec, 2005). C'est ce que l'état de la connaissance montre clairement, en soulignant plus particulièrement la vulnérabilité de certaines populations : enfants en bas âge, écoliers, personnes âgées ou fragiles (ex : avec des problèmes médicaux), personnes exécutant des tâches cognitives complexes... Et, des études principalement étrangères stipulent que les pourtours aéroportuaires en seraient particulièrement le siège.

2.1. Bruit des transports, bruit des avions : des effets multiples (potentiels ou avérés)

Nous privilégierons la catégorisation selon la nature des effets plutôt que selon la chronologie de leur survenue¹ (Griefahn, 2004). Concernant cette question de la survenue, précisons toutefois déjà deux faits qui ne sont plus discutés à ce jour dans le champ scientifique. Les études s'accordent sur le fait :

- qu'il n'y a pas d'adaptation physiologique complète au bruit, même à long terme (Ordre des orthophonistes et audiologistes du Québec, 2005) ;
- et que les effets les plus remarquables du bruit se rencontrent d'abord à des niveaux acoustiques élevés, mais aussi parfois à des niveaux faibles ; à partir d'une exposition continue de 35 dB, des effets sur la santé et la qualité de vie peuvent se manifester (Jong, 1993), en perturbant certaines activités comme la concentration, le repos ou le sommeil.

2.1.1. Les effets physiques et physiologiques du bruit des transports (et singulièrement des avions)

A l'étranger : des preuves qui s'accumulent

D'après des expériences menées pendant plusieurs années en laboratoire (Babisch, 2003), les effets physiques du bruit incluent des effets à court terme (tension artérielle, rythme cardiaque, vasoconstriction) ainsi que la libération d'hormones du stress (noradrénaline, adrénaline, cortisone), ayant un lien connu avec le risque cardiovasculaire à plus long terme (Muzet, 2002 ; Marneffe (de), 1997). Ce risque compromet l'intégrité fonctionnelle de plusieurs organes chez des individus présentant un terrain favorable (immunodépression, pression artérielle...), menace pouvant être accrue si la réaction du sujet face aux difficultés ou

¹ Effets primaires pendant les périodes d'exposition (perturbation de la communication, sommeil...), secondaires pendant et après l'exposition (ex : altération des performances), et effets à long terme (maladies chroniques, modification permanente du comportement...) fruit de la répétition des effets primaires et secondaires.

menaces perçues le mène à l'isolement social, l'agressivité, la consommation excessive d'aliments, d'alcool ou de médicaments (Mac Ewen, 1998).

Les effets plus psychiques du bruit incluent quant à eux la gêne (Chapitre 2), des modifications de comportement, tel l'évitement pour se soustraire au bruit..., la réduction de l'efficacité et des performances. Pour ce qui concerne la gêne, « *elle apparaît comme un médiateur dans la relation entre exposition au bruit et santé.* » (Camart, Lefranc, 2004, p. 4) : des liens entre gêne sonore ressentie et effets sur la santé ont pu être mis en lumière mais cette corrélation n'est significative que pour les individus ne souffrant d'aucune maladie chronique en début d'enquête (Gallacher, Babisch, Ising, 2003).

Les effets sur la productivité et les performances humaines dépendent quant à eux des activités mais aussi des caractéristiques temporelles des phénomènes sonores : on constate logiquement plus d'effets pour une activité exigeant une certaine concentration intellectuelle (ex : la lecture), et les hautes fréquences tout comme l'irrégularité d'évènements sonores (ex : les trafics aériens) sont plus perturbant, en comparaison notamment des sons continus. Le bruit contribue aussi à l'augmentation des comportements agressifs (American Academy of Pediatrics, 1997 ; OMS, 2000a), notamment chez des sujets déjà affaiblis psychologiquement (anxiété voire dépression névrotique) et/ou socialement dans leur vie quotidienne.

Ces effets plus psychiques passent en général par une interférence avec la communication et l'intelligibilité de la parole. L'échange verbal est altéré par le bruit et induit des difficultés de communication en raison d'un « *effet de masque qui se produit lorsque deux sons d'intensité différente sont émis* » (AFSSE, 2004, p. 181), donc d'une perte d'audibilité et de la création d'un stimulus de distraction (Lazarus, 1998). L'interférence fatigue et pourrait donc contribuer à augmenter le stress des individus sans que l'on puisse observer de phénomène d'habituation sur le long terme (Hellbrück *et al.*, 1995). Quelques instruments comme le *Speech Interference Level* développé aux Etats-Unis et appartenant aux méthodes agréées de calcul de l'intelligibilité de la parole tendent à renseigner ce phénomène.

Enfin, toujours dans ce registre plus psychique, le bruit est aussi incontestablement source d'anxiété, de stress émotionnel, de changements d'humeur, autant de manifestations qui grèvent la vie quotidienne et qui affaiblissent psychiquement les individus. Il favorise l'augmentation des conflits sociaux, les individus étant placés dans une situation de tension plus aiguë. Cependant, sans constituer une cause directe de troubles psychiques, il les accélérerait et les accentuerait, quand ils sont déjà présents ou simplement à l'état de latence (OMS, 2000b). Ainsi « *des études conduites en Angleterre (Tarnopolsky, 1980) et au Danemark indiquent-elles que l'exposition au bruit du trafic affecte le nombre de personnes admises dans des services psychiatriques* (AFSSE, 2004, p. 169), ces patients étant plus gênés par le bruit que l'ensemble de la population (Kryter, 1983, 1990).

Concernant les bruits d'avions, des recherches, plus récentes et en bien moins grand nombre, ont été menées à l'étranger autour des aéroports (depuis Knipschild et Oudshoorn, 1997 jusqu'à Stansfeld, Berglung *et al.*, 2005). Par exemple, les résultats d'une étude conduite autour de l'aéroport d'Amsterdam Schiphol, auprès de 11 800 personnes dans le but de tester le lien entre le bruit des avions et certains indicateurs de santé générale, suggèrent que le bruit a des impacts en terme de santé générale (« *poor général health status* »), avec une influence remarquée sur l'utilisation de somnifères et de médicaments contre les maladies cardiovasculaires (Franssen *et al.*, 2004 ; Franssen, Staatsen, 2002).

Des investigations sur les effets cardio-vasculaires (cardiopathie ischémique, infarctus du myocarde) d'une exposition chronique ont aussi été menées, sans qu'apparaissent des relations claires et irréfutables entre l'exposition et la réponse, car les facteurs de confusion sont nombreux et pas tous toujours contrôlables (masse corporelle, antécédents familiaux,

régime alimentaire...). Toutefois, les preuves commencent à s'accumuler (cf. travaux de Babisch, 1999 - 2005) et les résultats convergent vers la mise en évidence d'un risque accru. On trouve de plus en plus d'experts convaincus des effets du bruit des avions à court terme (tension artérielle modifiée, rythme cardiaque augmenté, hormones de stress sécrétées). Quant au long terme, ils affirment que des facteurs individuels (âge, poids, hérédité) et comportementaux (tabagisme, alimentation, alcool) interfèrent encore trop pour administrer une quelconque preuve.

En France : des signaux qui convergent, mais des études représentatives encore à mener

La France n'est pas en reste. Plusieurs études y ont été réalisées depuis le milieu des années 70, notamment par Coblentz autour des aéroports franciliens, notamment avec pour variable maîtresse la prescription/consommation de médicaments. Il est encore difficile de conclure à une liaison causale entre bruit et consommation de médicaments, et d'interpréter parfois les résultats. Trop de facteurs extérieurs perturbent les corrélations possibles.

Par exemple, une enquête longitudinale, pilotée par Coblentz (1988), a été menée sur un panel de 1 200 personnes, 400 étant situées à proximité de Roissy, 400 près d'Orly et 400 dans une zone témoin. Cette enquête concernait la période allant de 1973 à 1985. La consommation médicamenteuse était recensée grâce aux dossiers de la CNAM. Il a été noté aucune différence significative entre les zones de bruit et celle de non-bruit tant en termes de consultations, prescriptions qu'en termes de nombre de sujets hospitalisés (hors des accidents du travail) ou de durée moyenne d'hospitalisation. L'incidence du bruit sur le poids des nouveaux-nés avait aussi fait l'objet d'attention (1992) mais sans qu'il soit possible d'interpréter les résultats, trop de facteurs extérieurs venant perturber les corrélations possibles.

Toutefois, des différences d'état de santé entre les individus très exposés au bruit et ceux qui le sont moins ont depuis lors été mises en évidence autour de Roissy CDG. Une étude transversale (ETADAM, cf. Cohen, Mosnier, 1999 et Vallet, Cohen, 2000) sur des populations adultes, exposées ou non au bruit de l'aéroport de Roissy, a mis en évidence quelques différences de santé psychique entre les individus très exposés et ceux qui le sont moins. L'indicateur utilisé fut la prescription de médicaments à visée neuropsychiatrique. L'étude a choisi de recourir aux médecins généralistes exerçant dans différentes communes autour de Roissy - lesquelles ne subissent pas les mêmes niveaux d'exposition sonore - pour remplir avec 600 patients un questionnaire de santé. Ce dernier ne se focalisait pas sur le bruit des avions, mais sur la question du stress, d'où une prise en compte de toutes les sources possibles.

Dans les zones très exposées au bruit, il a été constaté une augmentation du nombre de prescription de tranquillisants, d'antidépresseurs ou de médicaments pour les nerfs ainsi qu'une hausse des signes d'angoisse. A l'inverse, la fréquence de prescription des médicaments à visée digestive et le nombre de cas d'hypertension artérielle ne sont pas apparus comme singuliers.

La même année, une autre étude sur la consommation de médicaments (Coblentz, 2000), de nouveau à partir des données obtenues auprès de la CNAM, fut effectuée selon le principe exposé / non exposé sur Roissy et Orly (1 000 personnes). Quatre communes de chaque aéroport ont été sélectionnées selon leur exposition au bruit (forte, moyenne, faible, multiple...). Les indicateurs utilisés ont été le nombre de consultations de médecins (généralistes et spécialistes), les prescriptions médicales, les accidents du travail et les arrêts maladies. Les résultats stipulent pour Orly (et non pour Roissy) que le nombre de consultations et de prescriptions est plus élevé (tests significatifs) dans les communes d'enquête que dans les espaces témoins (pas ou très peu exposés).

2.1.2. Les troubles du sommeil et l'enjeu des vols de nuit : des résultats significatifs

Bruit et troubles du sommeil en général

Dans la problématique aéroportuaire, la question des vols de nuit est particulièrement prégnante. Ce sujet fait l'objet de fortes revendications associatives, voire parfois d'élus, dans plusieurs aires aéroportuaires : demande de couvre-feu, modulation des trafics selon différentes plages horaires, déviation des trajectoires d'approche, interdiction d'utilisation de certains aéronefs... Dans nombre de cas, la justification avancée est d'ordre sanitaire, particulièrement les troubles associés au sommeil. Toutefois, peu de travaux renseignent précisément de tels troubles autour des aéroports (*infra*).

Pourtant, si certains documents provenant d'autorités établies estiment improbables les liens entre le bruit nocturne, les troubles du sommeil et les effets sur la santé (cf. Smith, Rich, 2002), plusieurs résultats de recherches scientifiques menées d'assez longue date sur la question indiquent des liens potentiels forts. Comme souligné par Porter *et al.* (2000), le bruit perçu la nuit est plus intrusif que celui entendu le jour (cité in Muzet, 2002b). Mais, ceci concerne au premier chef les bruits d'environnement. Dans ce cadre général, des effets immédiats (ou primaires), c'est-à-dire observés quelques secondes après l'exposition au bruit, et des effets secondaires, c'est-à-dire observés après le réveil et pouvant se prolonger, sont reconnus (Muzet, 2002b).

Au titre des effets primaires avérés, on trouve des difficultés d'endormissement, un sommeil plus léger, de nombreux éveils durant la nuit et aussi une arythmie cardiaque et des mouvements accrus du corps (Muzet, 2002a et b ; Marneffe (de), 1997). Porter des boules auriculaires la nuit, fermer les fenêtres en été, isoler son habitation, avoir des difficultés de communication (téléphone, télévision, musique) et un malaise psychologique général manifestent pratiquement de tels effets, de même dès lors que de se considérer comme bien plus sensible au bruit, avec des effets dits de « contagion » à d'autres moments de la journée, dans d'autres contextes d'exposition... Nous entrons alors dans la catégorie des effets secondaires.

Les effets secondaires, plus difficiles à évaluer du fait de la grande variabilité de leur latence d'apparition, correspondent à une mauvaise qualité subjective du sommeil, une somnolence diurne, un besoin de repos compensateur en journée, une diminution des performances le jour suivant la nuit perturbée (Muzet, 2002b ; Wilkinson & Campbell, 1884).

Les conséquences somatiques à long terme de ces troubles du sommeil sont encore sujettes à discussion et à recherche (WHO - Regional Office for Europe, 2004). Toutefois, si nous savons qu'un phénomène d'habituation peut être observé après quelques temps d'exposition nocturne au bruit, il reste toujours incomplet au niveau physiologique (AFSSE, 2004). En outre, la moindre qualité du sommeil, voire sa privation, sont fréquemment associées à un risque accru d'accidents et de blessures. La diminution du temps de sommeil étant considérée comme le problème essentiel (Mazet, 2002b, Schreckenber, Meis, 2006) en ce qu'elle peut être la cause d'une diminution des performances, d'altération de la motivation, de fatigue et ses effets de somnolence, qui peuvent quant à elles entraîner, de fait, un sentiment de frustration, d'anxiété et conduire à des conflits au travail (multiplication des erreurs, diminution de la vigilance, ralentissement intellectuel). « *A plus long terme, ces troubles de sommeil peuvent nuire à l'efficacité au travail, à l'apprentissage (surtout durant l'enfance), à la capacité de conduire...* » (ORS-IAURIF, 2005, p. 2).

Pour ce qui concernant maintenant l'ensemble de ces effets du bruit nocturne (primaires comme secondaires), il faut noter que la probabilité de réaction au bruit durant le sommeil est davantage déterminée par la différence entre le niveau sonore d'un événement isolé que par le niveau sonore équivalent total. Ici, des mesures électro-physiologiques (fréquence cardiaque, électro-encéphalographie...) ainsi qu'auto-évaluative (appréciation de la qualité du sommeil

par questionnaire) existent pour par exemple juger de ces réactions et de leur imputabilité aux bruits émergents.

Le cas du bruit des avions : des résultats étrangers probants

En ce qui concerne les bruits imputables aux trafics aériens la nuit, des recherches et/ou études, encore peu nombreuses et très récentes, identifient aussi assez clairement une relation entre bruit des avions et troubles du sommeil (Hume, 2003 ; Basner *et al.*, 2001, 2004).

L'une des plus robustes d'entre elles est sans conteste l'étude HYENA (*Hypertension and Exposure to Noise near Airports*). Ce travail visait à mesurer l'impact sur la tension artérielle et les maladies cardiovasculaires du bruit généré par les trafics aériens et la circulation routière induite auprès de plus de 4 800 personnes vivant depuis au moins 5 ans autour de 6 aéroports européens majeurs (Babisch *et al.*, 2005). Des effets sur la pression sanguine et l'hypertension y ont été démontrés. En effet, les résultats de cette étude indiquent clairement et de manière robuste un risque élevé d'hypertension liée principalement à une exposition au bruit des avions la nuit, mais également au trafic routier journalier. L'étude HYENA a également établi une relation entre le bruit des avions subit la nuit et une augmentation de la pression sanguine (Haralabidis *et al.*, 2008).

De même, au titre cette fois-ci des effets plus secondaires, une étude menée autour de l'aéroport de Schiphol sur 418 adultes a montré que des personnes exposées depuis longtemps à des niveaux de bruit relativement faible la nuit sont dès lors plus sensibles aux événements sonores que les personnes vivant dans des zones plus bruyantes (phénomènes de contagion, *supra*). D'autre part, l'exposition nocturne au bruit des avions à long terme est corrélée à la prévalence de la gêne due aux vols de nuit et au nombre de plaintes décrites comme liées aux effets du bruit des avions sur la santé (« *The prevalence of nighttime aircraft noise annoyance and number of health complaints were associated with long-term nighttime aircraft noise exposure* ») (Passchier-Vermeer *et al.*, 2002). Nous revenons longuement sur cette question de la gêne dans le Chapitre 2 de cette même partie.

En France, mais avec moins d'ambition scientifique, l'étude INSOMNIA (cf. Nérome, Bouée, Enjalbert, Lainey, 2004) s'est par exemple proposée d'apporter quelques éléments d'appréciation concernant l'affectation de la qualité du sommeil pour cause de bruit des avions autour de Roissy CDG. Cette étude, menée pour le compte d'une association de riverains de Roissy CDG (Advocnar) et du Collectif Santé Nuisances Aériennes, a été accomplie par des médecins de l'hôpital européen George Pompidou sur la question spécifique des perturbations du sommeil et des troubles anxio-dépressifs chez les personnes vivant sous les couloirs aériens. Elle a été réalisée selon une méthodologie Exposé / Non exposé auprès de 1 000 individus et à partir de questionnaires répondant aux normes internationales : un premier correspondant au *MOS Sleep* (pour juger de la durée et de la difficulté de l'endormissement, de la suffisance du sommeil...), un second répondant au profil de santé de Duke (mesure de la santé physique, mentale, sociale, de l'anxiété, de la dépression), un troisième plus général (*Global Health Questionnaire*).

Concrètement et très synthétiquement, ses résultats indiquent un impact sanitaire du bruit des avions sur le sommeil et la santé en général, impact plus marqué chez les hommes, les sujets âgés et les personnes qui habitent depuis plus de 10 ans dans les zones soumises au bruit.

2.2. Les impacts sanitaires sur les enfants autour des aéroports : un groupe particulièrement vulnérable

Les enfants, qui sont à une période critique du développement de l'organisme, ont une faible capacité à se protéger des agressions environnementales. A ce titre, ils sont considérés comme une catégorie de la population particulièrement vulnérable aux effets du bruit (Cohen *and al.*, 1981; Evans *and al.*, 1995 ; Evans, Maxwell, 1998 ; Haines *and al.*, 2002 ; AFSSE, 2004 ; CAREPS, DRASS Ile-de-France, 2005 ; OMS - UNECE, 2004). Cependant, les conséquences du bruit sur l'état de santé des enfants ont encore peu été étudiées, en France notamment. A l'étranger, malgré la persistance d'incertitudes, des études épidémiologiques indiquent des effets sérieux affectant le fonctionnement cardiovasculaire et hormonal, l'apprentissage scolaire, l'état psychologique et le comportement des enfants.

2.2.1. Les effets physiques du bruit des trafics aériens sur la santé des enfants

Chez les enfants exposés au bruit, on constate un taux d'hormones du stress et une tension artérielle élevés (Babisch, 2000 ; Muzet, 2002 ; Marneffe (de), 1997), et une corrélation statistique a pu être établie pour les pressions sanguines des enfants habitant dans des zones très bruyantes autour des grands aéroports (Cohen *et al.*, 1981 ; Hygge, 1993 ; Morell, 1998 ; Hygge *et al.*, 2002 ; Stansfeld *et al.*, 2003), comparés aux enfants non exposés.

Le bruit des avions semble en fait bien avoir une influence sur le système hormonal des enfants en lien avec le stress généré (AFSSE, 2004). Le stress, en réaction au bruit, est un élément déclencheur de modifications hormonales. Il peut notamment agir au niveau du taux de cortisol (hormone qui révèle une agression de l'organisme et des défenses immunitaires) (*op. cit.*). La présence d'hormones de stress a notamment été décelée en plus grande quantité chez des enfants soumis au bruit des avions (Evans, Bullinger, Hygges, 1998). Les résultats d'une étude conduite lors de l'ouverture du nouvel aéroport de Munich montrent que des enfants nouvellement exposés possèdent des taux élevés d'hormones liées au stress, lequel serait en relation à l'augmentation de la pression artérielle (Hygge, Evans, Bullinger, 1996). D'autre part, tout organisme soumis à une agression répétitive peut connaître une réduction de ses capacités immunitaires ainsi qu'une fragilité accrue de son organisme à diverses agressions. Ainsi, le bruit peut-il rendre des individus plus sensibles à d'autres nuisances au travers du stress qu'il génère.

Concernant maintenant les effets sur le système cardiovasculaire, causés notamment par les troubles du sommeil liés au bruit (modification de la tension artérielle et de la fréquence cardiaque, vasoconstriction...), ils sont assez méconnus chez les enfants. Cette population semble *a priori* moins sensible aux bruits nocturnes que les adultes dans la mesure où ils ne se plaignent pas de souffrir de troubles du sommeil et ils réagissent peu aux perturbations sonores une fois endormis (AFSSE, 2004). Cependant, cette moindre sensibilité ne serait qu'apparente car se plaindre dépend de la capacité à évaluer son propre état de santé. En fait, si les enfants ne se plaignent généralement pas du bruit, ils ne connaîtraient pas pour autant une adaptation physiologique, mais seulement une adaptation perceptive (Evans, Bullinger, Hygges, 1995 ; Haines *et al.*, 2001 ; Haines *et al.*, 2002). En outre, l'affectation du sommeil des enfants interviendrait à des niveaux d'exposition nocturne plus élevés que chez l'adulte (Stansfeld *et al.*, 2005).

En fait, quelques études se sont penchées sur les troubles du sommeil chez les enfants, mais leurs résultats demeurent divergents. Néanmoins, les organismes nationaux et internationaux de la santé indiquent que les enfants exposés au bruit durant leur sommeil ont plus de risques d'avoir des problèmes cardiovasculaires et d'hypertension sur le long terme (OMS-UNECE, 2004 ; AFSSE, 2004). Une augmentation de la pression sanguine a d'ailleurs été montrée chez

ceux vivant autour d'aéroports dans des zones très bruyantes (supérieur à 60 dB(A) exprimé en L_{den}) (Morelle, 1998 cité in AFSSE, 2004, Evans, Bullinger, Hygges, 1998 ; Hygge, Evans, Bullinger, 1996 ; Cohen, Evans, Krantz, Stokols, Kelly, 1981). L'OMS mentionne également que les risques de migraine sont 120 % supérieurs chez les enfants dont le sommeil est perturbé par le bruit par rapport à ceux qui dorment en toute tranquillité (Bonnefoy, Braubach, Moissonnier *et al.*, 2003).

Pour le long terme, des études épidémiologiques ne fournissent aucune conclusion définitive (hypertension, maladies cardio-vasculaires), les mécanismes biologiques à l'œuvre demeurant mal connus.

2.2.2. *L'altération des capacités intellectuelles des enfants soumis au bruit des trafics aériens*

Le cas des enfants occupe aussi plusieurs études portant sur l'attention, l'apprentissage de la lecture, la compréhension de ce qui est lu et la mémoire à long terme. Il en ressort principalement que l'apprentissage des acquis fondamentaux et le développement cognitif des élèves, notamment dans les tâches requérant la compréhension du langage (compréhension de la parole, réalisation de tâches complexes, apprentissage de la lecture) seraient impactées. Depuis 20 ans, des relations de cause à effet ont été identifiées (Green, Pasternack, 1982 ; Chen et Chen, 1993).

Le bruit des avions conduit d'abord à une altération de la compréhension de la parole et de l'acquisition du langage. Il provoque des interférences dans l'émission et la compréhension du discours de l'enseignant, ce qui empêche de bons apprentissages (FICAN, 2000 ; Stansfeld *et al.*, 2005). Les interruptions régulières perturbent d'autre part l'écoute et la reconnaissance auditive des enfants (Stansfeld *et al.*, 2005 ; Haines *et al.*, 2002), alors qu'en période d'apprentissage du vocabulaire et de la lecture, ils ont un besoin particulier de bonnes conditions d'écoute (AFSSE, 2004).

Une difficulté à réaliser des tâches complexes a également été mise en évidence. Les bruits environnants peuvent effectivement avoir une grande influence sur la manière dont l'information est traitée, retenue et mémorisée (Stansfeld *et al.*, 2005). Ainsi, les tâches complexes qui font appel à des capacités d'attention régulière et soutenue, de concentration, de motivation ainsi que de mémorisation sont particulièrement affectées par le bruit des avions. Il a aussi été montré que dans des situations exigeant de la persévérance (ex : réalisation de puzzle plusieurs fois de suite), les enfants exposés à un bruit chronique comme le passage d'avions manifestent moins de motivation que des enfants moins exposés (Matheson *et al.* cité in OMS-UNECE, 2004). Par ailleurs, apprendre dans un environnement sonore perturbé par des bruits imprévisibles et incontrôlables conduit les enfants à construire leur apprentissage avec un sentiment d'impuissance, dû à l'absence de maîtrise sur leur environnement [Cohen, 1980 cité in OMS-UNECE, 2004 ; FICAN, 2000 ; Haines *et al.*, 2001]. Ce sentiment étant susceptible d'influencer fortement en retour leur motivation.

En outre, des difficultés d'attention, de concentration et de mémorisation de messages complexes ont été relevées chez des élèves exposés. Les messages porteurs d'idées nouvelles, de vocabulaire inhabituel demandent effectivement plus d'efforts de concentration et nécessitent une mémorisation plus grande. Les passages d'aéronefs réduisent ces capacités par les incompréhensions régulières du message de l'enseignant qu'ils provoquent. L'attention serait plus particulièrement perturbée par des événements sonores de forte intensité comme l'atterrissage et le décollage des avions (Cohen *et al.*, 1981 ; Hygge, Evans, Bullinger, 1996 ; Evans, Bullinger, Hygge, 1998 ; Haines *et al.*, 2001 ; Haines *et al.*, 2002).

Surtout, la littérature scientifique fait unanimement état d'un retard dans l'apprentissage de la lecture chez les enfants exposés au bruit des avions à l'école. Ce phénomène s'explique par la correspondance qui existe entre lecture et langage. Lire dépend effectivement de la perception, de la mémoire et de la conscience des sonorités du langage, qui sont des processus facilement entravés par le bruit ambiant (Stansfeld *et al.*, 2005). Ainsi, dans une étude conduite autour de l'aéroport Heathrow de Londres auprès de 128 enfants de 9 ans soumis à des niveaux élevés de bruit d'avion (jusqu'à un survol toutes les 90 secondes avec un niveau sonore supérieur à 66 dB (A) exprimé en niveau moyen L_{Aeq}), le retard de lecture observé pouvait atteindre 6 mois (Haines *et al.*, 2001).

Le projet européen RANCH (*Road Traffic and Aircraft Exposure and Children's Cognition and Health : Exposure – Effect, Relationships and Combined Effects*) visait à élargir les champs d'investigation, s'intéressant aux effets de la multi-exposition (sources combinées, mixtes ou simultanées) via une étude transversale et internationale auprès d'enfants de 9-10 ans vivant autour de trois aéroports importants à Amsterdam, Madrid et Londres (Stansfeld, Berglung *et al.*, 2005 ; Clark, Stansfeld, Haines, Tamuno, Davies, van Kempen, Lopez-Barrio, 2005). Cette étude se concentrait sur l'exposition au bruit à l'école (sans prendre en compte l'exposition potentielle à leur domicile) et utilisait des techniques de mesures du bruit différentes selon les pays. RANCH a confirmé une corrélation linéaire entre bruit des avions et dommages sur la compréhension de la lecture, mais les troubles de mémoire se sont révélés moins significatifs pour l'exposition au bruit des avions que pour le bruit routier.

Précisons toutefois que les études conduites à ce jour semblent mettre en avant la réversibilité de ce retard lorsque l'exposition au bruit des avions cesse (OMS-UNECE, 2004 ; FICAN, 2000 ; Evans, Bullinger, Hygge, 1998). Les capacités de lecture et de mémorisation à long terme ne seraient donc pas altérées irrémédiablement. La réversibilité semble en fait dépendre en partie du stade d'apprentissage de la lecture dans lequel se trouve l'enfant (Hygge *et al.*, 2002 cité in OMS-UNECE, 2004) et de la durée d'exposition. D'ailleurs, si l'OMS admet que plus l'exposition est longue, plus graves sont les dommages, elle estime aussi ne pas disposer d'informations suffisantes pour pouvoir déterminer des valeurs guides spécifiques.

Ainsi a-t-il été principalement montré jusqu'à ce jour que, chez les enfants (et chez les travailleurs), le bruit des avions peut compromettre l'exécution de tâches cognitives (lecture, attention, résolution de problèmes, mémorisation) avec les conséquences prévisibles sur la performance scolaire (Haines *et al.*, 2002; Evans and Stecker, 2004; Stansfeld *et al.* 2005; Evans *et al.*, 1995). Le bruit affecte donc le développement cognitif des élèves et les écoles exposées au bruit ne sont pas considérées comme des contextes d'apprentissage appropriés et sains (Haines, Stansfeld, 2001).

2.2.3. Les effets psychologiques et sociologiques du bruit des trafics aériens sur les enfants scolarisés

Les effets psychologiques du bruit sur les enfants sont délicats à mesurer du fait de leur difficulté à évaluer et exprimer leur propre état de santé (OMS-UNECE, 2004). Sans une méthodologie normalisée d'évaluation, l'état de santé psychique est jugé difficilement mesurable (Haines, Stansfeld, 2001). Mais certaines analyses sont moins circonspectes, quelle que soit la population observée (cf. Hiramatsu et Yamamoto pour une étude de base militaire aérienne, 1997). Et, la plupart des études font d'ores et déjà état d'une gêne et d'un stress perçus, notables, face à une exposition chronique au bruit des avions (Stansfeld *et al.*, 2004 ; Evans, Bullinger, Hygge, 1998 ; Haines *et al.*, 2001). La gêne s'avère réelle chez les enfants exposés chroniquement au bruit des avions : ils expriment un désagrément significatif, et des ressentis cohérents avec ceux des adultes (irritation, colère, peur) (OMS-UNECE, 2004 ;

Stansfeld *et al.*, 2004 ; Haines *et al.*, 2002 ; Evans, Bullinger, Hygge, 1998 ; Hygge, Evans, Bullinger, 1996 ; Haines *et al.*, 2001). Le bruit des avions est d'ailleurs reconnu comme la nuisance environnementale la plus gênante pour les enfants par rapport aux autres bruits et charges environnementales des transports en général (Bullinger *et al.*, 1997 cité in OMS-UNECE, 2004).

La gêne dépend aussi de la capacité individuelle à connaître et exprimer les effets du bruit sur sa propre santé. Or, il est difficile d'évaluer ce phénomène chez les enfants car ils n'expriment pas de réaction de gêne au bruit comme peuvent le faire les adultes. Ils sont donc une population particulièrement vulnérable (AFSSE, 2004). Précisons que certains enfants sembleraient néanmoins mieux armés contre la gêne lorsqu'ils possèdent une forte capacité psychologique de récupération (OMS-UNECE, 2004 ; Stansfeld *et al.*, 2004), qui correspond à leur capacité à apprécier un environnement reconfortant, et à créer des sentiments plaisants.

En termes de santé psychique, les nuisances aériennes ne semblent pas générer de troubles chez les enfants : les études menées autour de l'aéroport d'Heathrow à Londres par exemple, n'en décèlent pas (Haines *et al.*, 2002 ; Haines *et al.*, 2001). Le bruit des avions ne serait pas non plus à l'origine de dépression ou d'anxiété chez les enfants. Cependant, si le bruit n'affecte pas directement l'équilibre psychique, il semble plutôt exacerber les troubles psychologiques existants (anxiété, introversion) ou des états d'esprit négatifs (irritabilité, contrariétés) (AFSSE, 2004). Par contre, l'exposition au bruit des avions est subjectivement stressante pour les enfants : chroniquement exposés, ils ont des niveaux de stress déclaré plus élevés (Haines *et al.*, 2001) et des états de détresse psychique ont même été révélés dans une étude conduite en 2003 (Haines & Brentnall, 2003 cité in AFSSE, 2004).

En outre, le bruit des avions a des effets les attitudes et le comportement social des enfants : il provoque des troubles de comportement en classe, particulièrement lorsque les tâches requises sont plus complexes et nécessitent une attention accrue (*supra*). Ainsi, des états plus marqués d'agressivité, d'irritabilité, de fatigue et d'agitation psychomotrice se manifestent chez des élèves exposés aux nuisances sonores aériennes (Moch cité in AFSSE, 2004 ; Hygge, Evans, Bullinger, 1996). Il a également été remarqué que les enfants exposés étaient significativement plus hyperactifs (AFSSE, 2004 ; Haines *et al.*, 2002). Ces troubles du comportement concourent à détériorer tout à la fois le climat social en classe, notamment par une recrudescence de conflits, de heurts ou de bagarres (Hygge, Evans, Bullinger, 1996 ; Haines *et al.*, 2001), et affectent la motivation d'apprendre, avec une baisse de la participation et un désintéressement accru.

Par-delà le seul bruit des avions, il a donc surtout été démontré à ce jour que, à l'école, un bruit élevé peut altérer les performances cognitives (Bistrup *et al.*, 2001), affaiblir la capacité mémorielle et l'apprentissage des savoirs élémentaires comme la lecture. Dès lors, les difficultés d'apprentissage liées au bruit des avions sont-elles couplées à des effets physiologiques qui peuvent agir durablement sur le bien-être des enfants et leur qualité de vie, d'autant plus que ces conséquences physiques peuvent être générées et accentuées par des réactions psychologiques comme la peur et le stress (AFSSE, 2004).

2.3. Des incertitudes surmontables pour l'aide et la prise de décision

Comme déjà suggéré, quelques incertitudes subsistent pour établir des relations directes ou indirectes de cause à effet, linéaire ou non : un différentiel persiste entre des résultats de laboratoires produits à partir de protocoles de recherche bien établis et les relevés sur le terrain, notamment pour ce qui concerne les effets sur le sommeil. Les paramètres qui peuvent induire une confusion sont difficiles à sérier dans le détail et avec exhaustivité, et

demanderaient que les pathologies personnelles et leur processus de développement soient mieux connus afin de déterminer plus systématiquement les liaisons statistiques.

Nombre de pouvoirs publics se sont longtemps abrités derrière de telles incertitudes persistantes, voire des controverses entre experts, pour retarder la mise à l'agenda politique de ce problème. La France a d'ailleurs avec cet argument, comme quelques autres pays, accusé un retard important dans la recherche sur de telles conséquences sanitaires. Les pouvoirs publics ont ainsi longtemps reproché aux recherches et études leur prétendu manque de significativité, jugeant les corrélations trop incertaines.

Pourtant, « (si) *une mesure chiffrée de l'exposition (est) difficile, (si) aucune méthode de mesure standardisée (n'est) disponible pour certains indicateurs sanitaires (ex. de santé mentale), (si) l'intervention des tiers-facteurs, ex. socio-économiques, pas toujours pris en compte dans les études, ne permettent pas de quantifier la totalité des effets sanitaires du bruit, (les résultats disponibles) offrent cependant des indications pour le développement de stratégies de prévention* » (Camart, Lefranc, 2004).

Ainsi, s'il est nécessaire de reconnaître les limites de certains travaux, il est aussi possible d'en retirer la partie la plus immédiatement exploitable : le sens qualitatif des effets pointés, et non toujours pleinement démontrés. La complexité des phénomènes n'est pas une justification suffisante à l'invalidation des résultats déjà produits. Les effets sanitaires du bruit, comme la gêne sonore (Chapitre 2), sont des phénomènes multidimensionnels et vouloir isoler et pondérer chaque paramètre pour commencer à agir s'apparente plus à une illusion mathématique, qu'à une entreprise scientifique de compréhension. Dès lors, loin d'être si contradictoires que cela, les avis d'experts s'étirent depuis « *l'évidence actuelle est suffisante* » (Passchier-Vermeer, 1993) jusqu'à « *rare sont les études rigoureusement contrôlées* » (Porter, 1998) en passant par « *certaines des liaisons causales entre bruit d'environnement et effets à long terme ne sont pas encore prouvées, ce qui rend alors plausible qu'un excès de bruit puisse contribuer à ces derniers* » (Griefahn, 2004).

De surcroît, au fil des années les études épidémiologiques ont amélioré leurs méthodologies, en corrigeant nombre des imperfections reconnues. Avec l'amélioration de la connaissance de certains phénomènes et de l'origine de plusieurs affections, les facteurs de confusion sont plus sérieusement relevés et neutralisés dans les traitements statistiques. D'ailleurs, de tels facteurs sont plutôt des paramètres effectifs de la réalité, plutôt que seulement des freins à la compréhension (Hollander, 2004, p. 40). Par exemple, puisqu'il tend à être démontré qu'une association étroite existe entre le statut socio-économique et la faible qualité de l'environnement (ayant fait naître la problématique des inégalités et de la justice environnementales aux abords des autoroutes, zones industrielles... cf. Partie 2), pourquoi vouloir considérer que le facteur « statut socio-économique » de l'individu infirmerait les résultats sur les effets du bruit sur sa santé ?

Pour se soustraire aux critiques, les méthodologies ont commencé à être affinées et des études se multiplient à ce jour. Comme les études RANCH et HYENA en attestent, deux types d'études se distinguent, selon des échelles de temps et d'espace : (1) les études longitudinales qui mesurent l'état de santé d'un (en l'occurrence plusieurs) sujet à un moment donné et puis plus tard à un moment t_{+1} ; (2) les études « exposé/non exposé » qui s'appuient quant à elles sur des données transversales, en appliquant un protocole à un groupe test observé dans des conditions « normales » et un groupe exposé.

Et la France n'est, depuis peu, plus en reste, notamment en ce qui concerne ce deuxième type de travaux. A ce jour, et singulièrement en Ile-de-France, 3 enquêtes épidémiologiques sont soit programmées, soit en cours de réalisation (cf. Introduction générale). Toutefois, comme

les critiques adressées à la psycho-acoustique pour la gêne (Chapitre 2), il faut peut-être aussi interroger les méthodes épidémiologiques.

Recourant à des énoncés, à une problématisation et à des protocoles de recherche dans lesquels l'administration de la preuve est hypothético-déductive, la dosimétrie fait partie intégrante de ces méthodes : diagnostics acoustiques, seuils d'évaluation, normes de respect. Sélectionner telles méthodes et/ou tels procédés de mesure implique donc toujours un choix normatif qu'il ne faut pas négliger. En outre, en privilégiant la dosimétrie par l'acoustique, les résultats auront beaucoup de difficultés à révéler précisément le poids de facteurs non acoustiques (ex : histoire sanitaire de l'individu). Le risque en général, et sanitaire en particulier, ne sont pas des phénomènes univoques, nécessairement calculables et répondant à une chaîne causale entièrement intelligible ; ils constituent aussi une construction sociale. Sans pour autant infirmer l'existence de relations fortes entre phénomènes sonores et impacts physiques (Smith *et al.*, 2002), il est donc essentiel de croiser les résultats obtenus avec d'autres approches, d'autres champs disciplinaires. Il ne faut pas uniquement adopter une approche dose sonore - effet physiologique pour comprendre les enjeux sanitaires de l'exposition au bruit. C'est, outre l'approfondissement épidémiologique, ce que la littérature recommande de plus en plus comme effort.

Appréhender dans toute leur amplitude les impacts humains des phénomènes sonores nécessite d'y inclure :

- certes plusieurs paramètres acoustiques (intensité, durée, variabilité, spectre... sonores) ;
- de poursuivre les efforts d'investigation et parfois de validation de l'occurrence d'effets physiques (résultats d'abord importés du champ des transports routiers avec des effets à court terme largement reconnus - tension artérielle modifiée, rythme cardiaque augmenté, stress sécrété ; et, concernant les avions en particulier, des effets sur le sommeil, sur les capacités d'apprentissage des enfants...) ;
- mais aussi de considérer que le ressenti du bruit intervient, donc que la cognition et ainsi que les seuils de tolérance, les réactions physiologiques... dépendent aussi de la psychologie des individus, de représentations sociales, de normes d'actions...

Cette recommandation se retrouve aussi d'assez longue date maintenant, et ce de manière vive, lorsqu'il s'agit d'un autre effet sanitaire du bruit des avions : la gêne sonore (autrement définie comme une nuisance importante pour les populations). L'Organisation Mondiale de la Santé, rappelons-le, inclus pleinement cette nuisance dans ses attributions, véritable composante de la définition qu'elle donne de la santé (pour rappel : « *Etat total de bien-être, à la fois physique, psychique et social* », Organisation Mondiale de la Santé, 1948).

Il est vrai que, non seulement, des liens entre gêne sonore ressentie et effets sur la santé ont pu être mis en lumière (*supra*), mais surtout que cette même gêne suscite directement de multiples désagréments, source d'insatisfactions et de mal-être. La gêne sonore, le plus souvent dénommée « nuisances » dans le monde social, et « bruit » dans le monde technique (alors même que ce ne sont généralement que les phénomènes sonores et leur métrologie qui y sont vraiment considérés), implique la santé psychologique et le bien-être social, donc mêle étroitement la physique des sons (acoustique), les perceptions, représentations ainsi que les réactions sociales induites.

Plus largement, il n'est plus discuté, en tout cas dans le monde scientifique, que les phénomènes d'environnement ont des conséquences tant sur la santé physique que sur le confort psychologique des populations (Lee, Fleming, 2002), et leur bien-être social.

Or, comme nombre d'enquêtes de gêne sonore réalisées sur les 20 dernières années en France et à l'étranger le rappellent, cette gêne représente à ce jour le premier des effets environnementaux des trafics aériens débattus entre acteurs. Même si, comme nous l'avons indiqué en introduction, le thème des impacts du bruit sur la santé des personnes et les débats aéroportuaires s'orientent rapidement vers les effets plus physiques (accompagnés de demandes d'observation et de suivi, par exemple des effets des vols de nuit ou encore, de plus en plus, sur la santé de populations fragiles), la gêne sonore occupe toujours une place centrale, comme en atteste de récentes initiatives évaluatives autour d'aéroports (ex : Francfort Rhin-Main).

Quelles sont dès lors les connaissances scientifiques à ce jour disponibles en la matière ?

3. Gêne et nuisances sonores dues au bruit des avions : une importance établie, mais la nécessité de démarches interdisciplinaires

Les idées force à retenir de ce chapitre sur la gêne et les nuisances sonores dues au bruit des avions

1. D'une manière générale : une gêne sonore très importante autour des aéroports

=> La gêne sonore est considérée par l'Organisation Mondiale de la Santé comme un problème de santé (Santé : « *Etat total de bien-être, à la fois physique, psychique et social* », OMS, 1948) ; il n'est plus discuté, en tout cas dans le monde scientifique, que les phénomènes d'environnement ont des conséquences tant sur la santé physique que sur le confort psychologique des populations, et leur bien-être social ;

=> Plus d'une 10^{aine} d'études d'envergure sont à recenser en Europe sur les 10 dernières années (Amsterdam Schiphol, Francfort Rhin-Main...), dont 2 en France, autour de Roissy CDG et d'Orly (sans compter une très tôt réalisée : années 1970) ;

=> Il en ressort globalement : un niveau très important de gêne sonore (en général 50 % des échantillons de populations riveraines enquêtées) voire croissant (mais trop rares études longitudinales, cf. ci-dessous), autour de nombre d'aéroports ; suivant en cela certainement aussi une sensibilité croissante au bruit en général, avec toutefois comme autre fait scientifique que, à même intensité sonore, le bruit des avions est plus gênant ; donc que ce bruit demeure donc la 1^{ère} source de déqualification environnementale autour des aéroports, et peut aussi avoir en retour des effets sur composante plus physique et physiologique de la santé.

2. Le manque de certains renseignements : la quête d'explications plus subtiles de ces données relatives à la gêne sonore

=> Des désagréments qui apparaissent à des intensités sonores de plus en plus faibles, voire de plus en plus déliées des niveaux sonores ; donc un grand nombre de facteurs explicatifs, acoustiques comme non-acoustiques ;

=> Avec, dès lors, la nécessité de compléter la psycho-acoustique avec d'autres approches psychologiques (cognitive), et d'autres apports disciplinaires (sociologiques, géographiques et de sciences politiques), qui ont déjà beaucoup travaillé particulièrement en France sur les ressentis et désagréments sonores ; et de mettre en place des évaluations régulières, longitudinales (ex : Düsseldorf) ;

=> Pour tendre vers une « équation » plus multidisciplinaire de l'explication de la gêne sonore, avec identification de nombreux facteurs non acoustiques, qui, cumulés, pèsent plus que les seules caractéristiques acoustiques des sons ;

=> Ces caractéristiques individuelles (psychologiques, socio-économiques...) et celles plus collectives (bien-être ou mal-être environnementaux, facteurs d'appartenance aux quartiers, communes, représentations sociales de l'action des compagnies aériennes et des pouvoirs publics...), à forte teneur territoriale, sont d'ores et déjà autant de ressources de compréhension que de leviers pour l'action.

Concernant cette composante spécifique de la santé (déjà entrevue précédemment), les experts sont là aussi assez formels : l'interdisciplinarité doit bien plus guider la production d'informations que celle produite à ce jour, y compris en France. Il est vrai que, cette fois-ci contrairement aux impacts physiologiques par exemple, cette gêne, souvent dite « subjective » dans les discours institutionnels, a fait l'objet d'un grand nombre de travaux d'enquête (ex : une dizaine d'enquêtes de gêne en Europe sur les 10 dernières années), pour certaines s'ouvrant à différentes approches disciplinaires.

Plusieurs sciences ont alors, selon leurs fondements conceptuels et appareillages méthodologiques, développé des mesures et démarches d'analyses. Et, si elles livrent en définitive des conceptions parfois fort différentes de ce qui fait gêne, des manières dont elle se manifeste..., celles-ci donnent à voir :

- un niveau de gêne sonore jugé important voire croissant, autour de nombre d'aéroports, en premier lieu autour de ceux ayant fait l'objet d'analyses de grande envergure spatiale, voire de (rares) études longitudinales ;
- des gênes qui apparaissent à des intensités sonores de plus en plus faibles, voire de plus en plus déliées des niveaux sonores ;
- donc un grand nombre de facteurs explicatifs, acoustiques comme non-acoustiques, complémentaires pour la compréhension des désagréments sonores.

En fait, comme nous le verrons, il est dorénavant admis scientifiquement (mais moins des autorités), que les caractéristiques physiques des sons n'expliquent que partiellement ressentis de gêne, sensibilités au bruit et réactions des populations exposées. Il paraît alors essentiel d'étudier ces acquis disciplinaires selon leurs apports respectifs à la compréhension des phénomènes en cause :

- depuis les démarches de la psycho-acoustique qui traversent encore à ce jour beaucoup l'aide à la décision technique et normative aux échelles (supra)nationales (ex : Directive Européenne de juin 2002 sur le bruit dans l'environnement),
- jusqu'à la sociologie, ou encore la géographie sociale et les sciences politiques, qui ont livré plus récemment d'autres grilles de lecture pour comprendre l'évolution de la sensibilité sociale aux nuisances sonores dues aux transports, et singulièrement des avions, à des échelles territoriales plus fines ;
- en passant par la psychologie cognitive qui, à la différence fondamentale du comportementalisme de la psycho-acoustique, traite des ressentis, affects, représentations... pour comprendre ce qui fait gêne dans le vécu individuel et aussi collectif (cognition sociale).

Cette présentation disciplinaire, peut-être moins conventionnelle, permet néanmoins selon nous de dresser progressivement la liste des facteurs explicatifs de la gêne sonore liée aux trafics aériens et aux fonctionnements aéroportuaires, suivant en cela ce qui a pu être fait dans un ouvrage dédié au bruit des transports en général (Faburel, Polack, Beaumont, 2007). Cette liste recense uniquement les facteurs validés par les différentes sciences dont ces connaissances émanent, à la suite des enquêtes menées, dont certaines sont résumées ci-dessous.

3.1. Les facteurs acoustiques et psycho-acoustiques de la gêne sonore : des limites explicatives grandissantes

3.1.1. Les facteurs traditionnels de la psycho-acoustique

L'approche traditionnelle de la gêne sonore a longtemps été celle de la psycho-acoustique. Cette dernière est le fruit de la rencontre entre l'acoustique et le courant comportementaliste de la psychologie. Elle cherche, selon le principe stimuli-réactions (doses-effets), à mettre les adaptations du système auditif, les réactions sensorielles et comportementales des individus en relation avec les attributs physiques des sons. Cette approche représente à ce jour la première source d'informations scientifiques pour les décideurs, singulièrement dans le monde de l'aérien. Les écrits anglo-saxons, allemands et néerlandais sont prépondérants dans ce domaine. Miedema, Job, Fidell, Fields, Finegold et Guski sont parmi les auteurs les plus cités et reconnus dans ce domaine. La France n'est pas en reste avec les travaux de M. Vallet et J. Lambert (Institut Nationale de Recherche sur les Transports et leur Sécurité - INRETS).

Les facteurs acoustiques

Certes, les recherches en psycho-acoustique disent souvent que le bruit est un facteur de qualité de vie, que la gêne représente une réaction psychologique globale, voire une « *synthèse des effets très variés du bruit sur la population riveraine* » (Vallet, 2002, p. 26), dans laquelle un grand nombre de facteurs non acoustiques interviennent (Lambert, 2001, p. 2). Toutefois, la gêne que la psycho-acoustique cherche à mesurer permet d'abord « *de valider les indices acoustiques d'exposition au bruit* » (Vallet, *ibid.*). La gêne considérée ici est donc essentiellement dépendante des paramètres physiques des sons. C'est la raison première pour laquelle elle sert d'étalon aux indices et seuils définis par voie légale, et que la psycho-acoustique développe une posture normative qui lui est spécifique dans le monde de la recherche, avec un écho évident et compréhensible dans les instances de décision à des échelles nationales et supranationales (Commission Européenne notamment).

Dans ce premier registre, celui des facteurs physiques du son, outre l'intensité (niveaux sonores) et les paramètres spectraux du bruit (Meunier, 2001, p. 30), d'autres caractéristiques du bruit jouent un rôle important et doivent également être prises en considération pour expliquer la gêne ressentie sous l'angle acoustique (Vallet, 2002, p. 29 ; Lambert, 2001, p. 4). Les facteurs liés à la fréquence des événements sonores ou encore les périodes d'exposition jour / nuit et la durée de cette exposition (Schreckenber, Guski, Schmaus, Moehler, Schuemer, 2004) sont aussi considérés de plus en plus comme explicatifs des manifestations comportementales en lien à l'exposition sonore, particulièrement lorsqu'elle découle des trafics aériens.

Selon cette approche d'abord physicaliste de la gêne (donc plus naturaliste que sociologique), les facteurs de situation acoustique jouent aussi un rôle important sur le degré de gêne observée (Canevet *et al.*, 2005, p. 32) : les caractéristiques physiques du bâti (relatives à la qualité de l'insonorisation) et morphologiques des lieux (éloignement par rapport à la source sonore, existence d'une façade au calme...), l'exposition à de multiples sources sonores (Nathanail, 2005 ; Vallet, 2002) ou la présence de bruits de fonds (Lambert, 2001, p. 4).

Les facteurs individuels

Il existe aussi, toujours selon la psycho-acoustique, des facteurs individuels de stress, en lien à l'acuité auditive et perceptive des personnes. Miedema et Vos évoquent par exemple la sensibilité au bruit en général comme facteur de stress potentiellement influant sur la gêne déclarée par rapport à une source précise. Son évaluation est généralement laissée à la discrétion des personnes interrogées, le plus souvent selon des échelles verbales auto-évaluatives de sensibilité (Miedema et Vos, 1999, p. 6).

Inégalement analysées dans les enquêtes réalisées, les caractéristiques socio-démographiques incluent (Lambert, 2001) l'âge, le niveau de revenu, le genre, le type d'habitat et le statut

d'occupation ainsi que, par exemple, l'influence d'un travail en rapport avec la source sonore (par exemple l'aviation) comme facteur modifiant la tolérance vis-à-vis du bruit. Les recherches menées concluent à leur influence, variable selon les contextes. Si ce rôle est isolément faible (Miedema et Vos, 1999, p. 3), ces caractéristiques peuvent cependant, une fois réunies, représenter un poids explicatif comparable à celui des facteurs physiques du bruit.

Il faut citer également, au titre des facteurs abordés par les psycho-acousticiens, les effets du bruit sur les comportements, que l'on considère tout à la fois comme des expressions de la gêne (ex : taux de personnes disant devoir modifier leurs comportements du fait du bruit) et, en retour, comme des facteurs influant sur la gêne ressentie. Ainsi, la perturbation des activités quotidiennes (conversations, écoute de la télévision ou de la radio, lecture, repos, sommeil...) peut être considérée comme un élément participant de la gêne déclarée, notamment comme facteur de stress (Vallet, 2002, p. 28 ; Lambert, 2001, p. 4). L'aspect intrusif du bruit est ici avancé, mais bien plus rarement étudié, notamment en France. Si le bruit survient lors d'une activité intellectuelle, l'impression d'une diminution des performances cognitives peut entraîner un sentiment de gêne, par exemple (Boyer, Bayssié, 2001).

Les dépositaires de la psycho-acoustique s'ouvrent progressivement à d'autres paramètres, moins physiques, socio-démographiques ou strictement comportementaux. Il est vrai que les facteurs recensés jusqu'ici n'expliquent pas la totalité de la gêne déclarée. On sait par exemple que les caractéristiques physiques des sons (ex : énergie acoustique) n'expliquent en général au mieux que 30 à 35 % de l'« équation » de la gêne sonore, particulièrement lorsqu'il s'agit du bruit des avions (explication souvent inférieure à 30 %).

3.1.2 Les facteurs sociaux et sociétaux de la gêne, vus par la psycho-acoustique

Les limites de la psycho-acoustique

Ces autres facteurs sont caractérisés par leurs dimensions psychologiques et sociologiques :

- certains aspects psychologiques (l'importance de l'effet mémoire sur la gêne, la signification attribuée au bruit et à sa source sonore...)
- et des facteurs plus sociologiques (les représentations de l'action des pouvoirs publics, l'image sociale de la source du bruit, les attentes vis-à-vis de l'évolution du bruit ainsi que des croyances d'effets, telle que la perte de valeur du bien immobilier...).

La psycho-acoustique rassemble plusieurs de ces facteurs sous la dénomination commode de facteurs cognitifs d'impuissance (dits « *helplessness* » en anglais : les gens sont gênés parce qu'ils ne peuvent rien faire pour améliorer leur situation), ou de facteurs d'attitude (sensibilité au bruit, peur de la source, incapacité à surmonter, à faire face au bruit...).

Toutefois, nombre de ces facteurs ne sont pas du ressort de la psycho-acoustique, et donc une part a priori non négligeable de l'explication de la gêne échappe à cette discipline (Torgue, 2005 ; Djokvucic *et al.*, 2004), qui se contente de l'observer sans toujours l'insérer pleinement dans les analyses explicatives. Il est vrai que l'influence de ces facteurs et alors la « *subjectivité variable* » des individus qu'elle amène (Aubrée, 2003, p. 108) sont difficilement observables par les méthodes qu'elle met le plus souvent en œuvre (ex : enquêtes par questionnaires fermés), et par les techniques statistiques mobilisées (ex : analyse multivariée).

La psycho-acoustique cherche donc en définitive à établir un lien direct entre des facteurs aisément objectivables et les niveaux de gêne recueillis par des questionnaires courts et

fermés, sur de larges échantillons, ceci à des fins de prédiction des réactions au bruit et de suivi des normes en vigueur. Il en résulte l'importance accordée aux données strictement techniques répondant de nomenclatures (statistiques) pré-définies : intensités sonores, localisation des logements, caractéristiques socio-démographiques des ménages...

Pour que leur rôle soit analysé, ces autres facteurs requièrent en fait des regards disciplinaires et appareillages méthodologiques complémentaires. Par exemple, l'introduction d'échelles verbales, nécessaires à la déclaration du niveau de gêne, constitue pour certains un risque non négligeable de biais d'observation, du fait notamment de l'imposition de catégories sémantiques préalables (ex : que signifie une gêne qualifiée de « moyenne » pour les répondants ?). Les apports d'autres disciplines soulignent la nécessité d'utiliser des méthodes différentes de recueil d'informations sur la gêne sonore pour éviter de tels biais. Et, les dépositaires de la psycho-acoustique eux-mêmes, en admettent la nécessité, sur la base des limites qu'ils rencontrent dans l'explication de la gêne.

Un cas symptomatique des limites rencontrées par l'évaluation conventionnelle de la gêne

Ce cas est incarné par l'enquête de gêne sonore menée par L'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité – INRETS à la fin des années 90 autour d'Orly et de Roissy (Vallet, Vincent, Olivier, 2000). Achevée en 2000 pour la DGAC et la Mission Bruit de l'ex MEDD (actuel MEEDDAT), cette étude, selon leurs auteurs, « *analyse notamment de façon [...] systématique les relations entre le niveau de gêne évalué sur une échelle en dix points et toute une série de facteurs individuels ou environnementaux (qualité de vie, effets sur la santé et les conduites quotidiennes)* ». Les résultats, basés à la fois sur une enquête d'opinions et une campagne de mesures acoustiques (ACOUSTB) confirment une nouvelle fois que la gêne est très variable, ne s'expliquant que très partiellement par les indices acoustiques en vigueur, ou à venir.

L'enquête d'opinions a été réalisée à l'automne 1998 auprès d'un échantillon représentatif de la population riveraine des deux premiers aéroports franciliens (près de 1 500 personnes). Les points d'enquête et de mesure ont été choisis en fonction de leur localisation géographique par rapport à l'aéroport et aux pistes. Des lieux ont été retenus dans l'emprise des PEB et des PGS, ainsi que dans des zones plus éloignées des plates-formes, à l'extérieur des courbes. Enfin, des critères concernant le type d'habitat dominant (rural / urbain, collectif / pavillonnaire, nouveau / ancien) ont été pris en compte. Quelques points ont été retenus afin d'analyser les cas d'exposition à plusieurs sources de bruit.

L'analyse montre que 48 % des personnes interrogées se disent assez gênées ou très gênées par le bruit des avions. Cette gêne s'exprime, dans la tradition comportementaliste, par la perturbation de comportements (difficultés à suivre une conversation, à écouter la radio ou la télévision, impossibilité d'ouvrir la fenêtre la nuit...).

Concernant les facteurs explicatifs, les coefficients de corrélation entre gêne et indices de bruit sont faibles, comparables à ceux obtenus dans des études similaires antérieures, et très voisins malgré différents indices acoustiques tels que le L_{DN} , le L_{den} ou le L_{eq} . Par ailleurs, il semble que des critères spécifiques à la période nocturne et des critères géographiques, tels que la localisation des habitations par rapport à l'axe de piste, permettent d'affiner l'évaluation de la gêne ressentie par les populations. Surtout, le niveau moyen de gêne augmente avec les représentations négatives liées au bruit des avions, à l'action des aéroports, aux effets des avions sur la santé ou à la dépréciation subjective des biens immobiliers. En outre, l'action des pouvoirs publics pour limiter les effets du bruit des avions est jugée (plutôt) insuffisante par environ la moitié des répondants.

Toutefois, du fait du très faible intérêt manifesté par les auteurs pour des facteurs plus psychosociologiques, ou encore géographiques, au moment du protocole d'enquête, nombre de facteurs potentiellement explicatifs de la gêne exprimée ont été négligés, pour faire de ce travail une simple mise à l'épreuve des indices acoustiques officiels. Par exemple, le poids explicatif de la sensibilité individuelle au bruit des avions n'a pas été approfondi, alors même que, par exemple, une méta-analyse menée entre différents aéroports internationaux (Amsterdam Schiphol, Sydney, Londres Heathrow), cherchant à évaluer le rôle de la sensibilité dans les réactions au bruit environnemental, a pu montrer que, généralement, la sensibilité au bruit a une influence sur la gêne, indépendamment du niveau d'exposition au bruit (...« *after adjustment for relevant confounders* ») (Kamp et al., 2004).

De plus en plus de chercheurs issus des sciences humaines et sociales tentent d'apporter des compléments à cette approche première proposée par la psycho-acoustique. Le fait que les bruits d'environnement aient des effets non auditifs bien plus importants et fréquents que les conséquences auditives serait, selon eux, la preuve de la nécessité de compléter l'approche dose sonore - réponse de gêne privilégiée par la psycho-acoustique.

Il est en outre vrai que les solutions opérationnelles découlant de ce type de lectures (doses-réponses), notamment les seuils et normes de bruit, les outils de gestion qui en découlent (PEB et PGS)... ne semblent pas apporter la totalité des fruits escomptés en termes de bien être environnemental. En ce qui concerne les aéroports, plus on s'en éloigne plus on devrait observer une diminution des niveaux de gêne et du nombre de plaintes. Or, ils ne diminuent pas en proportion alors même que, déjà faibles, les corrélations doses sonores - réponses de gêne se réduisent encore. Par ailleurs, les conflits entre acteurs des aires aéroportuaires ne s'apaisent pas en conséquence.

3.2. Sciences humaines et sociales : des approches complémentaires pour ouvrir l'analyse aux contextes territoriaux d'exposition

De nouvelles approches en sciences humaines et sociales ont alors progressivement vu le jour depuis 1970 suggérant que : la gêne est un objet bien plus complexe que ce que la seule relation dose-réponse donne à voir (Meunier, 2001, p. 30) ; et que cette complexité a des origines multiples, notamment le contexte personnel et collectif des riverains. Les effets de ce contexte sont une explication très probable des écarts constatés entre des phénomènes sonores mis en indices acoustiques et les réactions remarquées de gêne. Surtout, ces autres facteurs explicatifs ouvrent de nouvelles voies d'actions, jusqu'ici globalement négligées par les pouvoirs publics français.

3.2.1. Les apports de la psychologie et de la sociologie

Pour les psychologues cognitivistes Dubois, Gustavino et Raimbault par exemple, la gêne est une construction cognitive, résultant des stimulations sensorielles et des connaissances acquises par les sujets sur leur environnement et non pas seulement des propriétés intrinsèques (physiques ou autres) de ces stimulations. Pour la sociologie, c'est une construction sociale (Leroux, 2003, p. 6) mêlant à la fois différentes modalités d'expression (plaintes, stratégies personnelles, adaptations comportementales, revendications, etc.) et surtout différents facteurs qui renvoient aux contextes de vie (acoustiques, sociologiques, psychologiques, etc.). Enfin, pour la géographie sociale, c'est un construit territorial, articulant trois dimensions : certes physiques (ex : les phénomènes sonores liés aux activités sources) mais aussi politiques (ex : les relations entre acteurs sont inhérentes au ressenti de la gêne) et affectives (ex : le rapport identitaire des populations à leur lieu de vie).

Comme on le voit, les conceptions de la gêne peuvent être différentes, fortement dépendantes des construits des savoirs disciplinaires. Toutefois, certains apports sont devenus des acquis, acquis qui complètent de beaucoup la compréhension de la gêne. Et remarquons que la France n'est pas en reste dans le domaine.

Tout d'abord, certains psychologues comme A. Moch montrent que des facteurs individuels d'attentes, d'habitudes, de personnalité ou d'investissement affectif, ainsi que des facteurs de situation (degré de contrôle de la situation d'exposition, contexte culturel...) modifient considérablement le ressenti de gêne et sa déclaration. Mais, malgré des différences dans les approches, en termes de méthodes et de traitements statistiques notamment (plus qualitatifs), les termes sont parfois voisins de la psycho-acoustique (facteurs de situation, attitudes...), selon toutefois des importances relatives différentes dans les approches.

Surtout, Moser, Lévy-Leboyer et Naturel ont quant à eux tôt montré que les facteurs individuels (genre, âge, personnalité...) ne rendent que peu compte des gênes exprimées (Lévy-Leboyer et Moser, 1976 ; Lévy-Leboyer et Naturel, 1991). Dans ce domaine de la psychologie, des laboratoires ont alors développé des approches interactionnistes, visant à saisir les facteurs dynamiques entre les caractéristiques de l'environnement et les caractéristiques psychologiques des sujets dans la détermination à la fois de leurs comportements et attitudes, mais aussi des représentations qu'ils s'en font. Les significations et valeurs sociales du bruit sont, dans ce registre, des facteurs à explorer.

Par exemple, puisque le sens et les représentations des sons et de leur source influent beaucoup sur la gêne déclarée, la psycho-linguistique s'efforce « *d'identifier les catégories de bruit urbains pertinentes à la fois au niveau sensible individuel et au niveau des représentations collectives en mettant l'accent sur la signification donnée au(x) bruit(s)* » (Dubois, Gustavino et Raimbault, 2004, p. 49). La gêne ne peut donc être comprise que si l'on associe une valeur sémantique aux phénomènes acoustiques, ce qui fait appel à de multiples référents : des critères de temps, de lieu, et d'activité.

Dans ce registre sémantique, deux grandes catégories sont identifiées : les événements sonores permettant de repérer des sources et des agents ; des bruits de fond qui ne permettent de repérer aucun événement particulier. Lorsqu'une source est remarquable, les auditeurs amalgament le son et sa source. Ici, si la source est identifiée comme humaine (commerce, école...), le niveau sonore est intégré à la signification de l'activité, et le bruit est plus facilement toléré, voire associé à un jugement positif, par opposition avec les bruits de circulation routière par exemple, plus anoniques. Dès lors, ces derniers, et plus largement les bruits de fond, jugés en tant qu'objets sonores autonomes sont plus directement associés à des paramètres acoustiques tels que l'intensité. Quelle conséquence pour le bruit des avions : ils sont porteurs de bien plus de sens (négatifs ou positifs), donc les paramètres acoustiques ne leur sont que faiblement associés.

Par ailleurs, outre les représentations sociales du bruit, de ses producteurs... les significations octroyées et leur évolution dans le temps, les caractéristiques situationnelles, leur degré de normalité ressentie (i.e. leur acceptation) semblent avoir également une grande influence sur la gêne déclarée. La variation de la gêne est ainsi fonction de l'évaluation que l'individu fait de son environnement global et de son évolution. Or, cette évaluation découle en partie de son histoire personnelle (Lévy-Leboyer et Moser, *op.cit.*), de son passé sonore, de l'évaluation globale qu'il fournit de son habitat, de sa satisfaction résidentielle... Bref, d'autres facteurs de situation mais aussi des parcours individuels interviennent dans le désagrément généralement déclaré à domicile, toutes choses qui ne sont pas prises en compte dans les enquêtes psycho-acoustique.

Pour la sociologie urbaine et environnementale maintenant, les phénomènes sonores sont en général définis aussi positivement, comme pouvant aussi participer d'ambiances et donc de l'identité de lieux. Selon les tenants de cette analyse, et notamment les architectes-sociologues français, l'environnement sonore forge des ambiances qui conjuguent trois niveaux de perception : acoustique, sociale et psychologique. Ceci peut évoluer pour devenir « paysage sonore », patiente construction, fortement enracinée dans la vie sociale et culturelle des lieux (Torgue, 2005). Ce concept de paysage sonore, introduit par Schafer, rencontre de plus en plus d'échos dans le monde international du bruit (cf. Kihlman and Schulte-Fortkamp, in *Internoise Congress*, 2004).

Certes, cette position demeure de prime abord assez éloignée de l'objet avions et de ses conséquences sonores. Toutefois, à la suite de la confrontation de l'habitant avec ces nouvelles formes sonores, un questionnement est né, avec la recherche des éléments explicatifs du confort sonore. Selon ces acquis, le confort sonore, donc aussi son opposé (l'inconfort), s'explique par au moins deux familles de facteurs : la lisibilité auditive, soit la compréhension et la maîtrise de la source d'émission (cf. approches psycho-linguistiques) ; et la reconnaissance des sons d'autrui afin de permettre la coexistence interpersonnelle donc d'éviter des conflits (Torgue, 2005). La notion de gêne « *ne peut alors être considérée comme une variable mesurable et strictement objectivable mais comme une construction sociale complexe* » (Leroux, 2003, p. 6), faisant grandement appel aux représentations et interactions sociales. Ici, l'explication de la gêne liée au bruit des avions se nourrit des acquis de la sociologie.

3.2.2. *Les apports de la géographie et des sciences politiques*

Quant au champ de la géographie sociale, il cherche à ce jour à resituer la question du bruit des avions dans la problématique des effets environnementaux territorialisés des systèmes de transports. Il développe pour ce faire des approches puisant beaucoup dans la concrétude de certains effets au sein des tissus urbains (choix résidentiels des ménages et conséquences sur la valeur des logements ; revendications locales et oppositions aux projets...).

L'utilisation des méthodes d'analyse spatiale des nuisances sonores dans les pourtours aéroportuaires (ex : Systèmes d'Informations Géographiques) indique que ce n'est pas toujours au plus près des équipements que la gêne déclarée demeure la plus importante, renforçant alors la relativité explicative de l'acoustique. Surtout, la géographie sociale a montré le rôle de l'eco-sensibilité (Charlier, 2002) ou encore le poids du rapport identitaire au lieu, du sentiment d'appartenance locale dans les ressentis de gêne sonore, voire dans les choix résidentiels. Il en découle alors une lecture spatiale servant, de manière pré-opérationnelle, à définir les contours de nouveaux territoires, sur lesquels peuvent aussi être pensées des actions ciblées. Ici, le concept de territoire représente le creuset de la compréhension de certains effets de la gêne sonore sur les espaces, et des réactions que ces effets suscitent.

Le poids de l'attachement au territoire dans la gêne sonore a par exemple été montré autour d'Orly (Faburel, 2001 et 2003d). Ce travail, réalisé par le CRETEIL pour l'ADEME et le Conseil Général du Val-de-Marne, montre, à la suite d'une enquête par questionnaires menée auprès de 607 personnes habitant une des six communes de l'enquête menée en 1998 et 1999, que près de 50 % de l'échantillon se déclarent spontanément au minimum beaucoup gênés par le bruit des avions, confirmés par ceux obtenus sur cet aéroport par Vallet, Vincent et Olivier en 2000 (48 %). Si l'on ajoute les personnes se disant un peu dérangées, puis que l'on rapporte la totalité à la population mère, il y aurait 40 000 Val-de-Marnais se disant à différents degrés gênés par le bruit des avions à proximité de l'aéroport d'Orly.

En outre, sans grande surprise, ce travail confirme la faible corrélation (26 % en moyenne) entre la gêne exprimée et le niveau d'exposition sonore, et valide, sans nouveauté, le rôle sur la gêne déclarée de certains facteurs d'état socio-économiques tels qu'abordés de longue date par la psycho-acoustique (statut de propriétaire, type de logement : maison avec jardin), mais aussi, plus nouvellement, des pratiques du logement (temps de présence à domicile).

Surtout, puisque jusqu'ici, les résultats ne faisaient que confirmer d'autres acquis précédents, ce travail montre le poids explicatif des parcours résidentiels (ancienneté d'habitation ou l'antériorité résidentielle par rapport à l'essor du trafic dans les années 1980), et de certaines attitudes ou pratiques : l'ambition de déménager, un éloignement régulier (week-end et vacances), utilisation du transport aérien, usage du jardin... Enfin, l'intérêt porté aux enjeux liés à la gestion des nuisances sonores participe également de la gêne ressentie. Ce travail a ainsi statistiquement identifié le rôle de la connivence avec les associations, l'importance du sentiment d'abandon social, dans le ressenti du bruit.

Le croisement des résultats d'enquête relayés ci-dessus avec les discours livrés par les riverains d'Orly dans le cadre de groupes de discussion (*focus groups*) organisés à cet effet (Faburel, 2003d), montre que, d'un point de vue plus collectif, l'ancrage territorial constitué par l'appartenance à un réseau local de parents, le choix de rester dans la commune alors que les moyens financiers permettraient de déménager, l'intérêt pour l'histoire locale, pour le patrimoine de la commune, ainsi que la fréquentation des lieux de sociabilité (cafés, restaurants, etc.) nourrit un vécu commun du bruit des avions, au point de donner à voir un attachement au territoire. A l'inverse, les personnes se déclarant peu ou pas du tout gênées apparaissent plus mobiles (principalement des hommes sans enfants, locataires qui passent peu de temps à domicile) sans que leur faible niveau de gêne ne soit, là non plus, grandement relié aux phénomènes sonores.

Dans ce contexte d'attachement, le bruit des avions, et le trafic aérien en général, sont perçus comme une immixtion, voire une intrusion dans le rapport affectif au cadre de vie. Dès lors, plusieurs caractéristiques locales telles que l'histoire du développement territorial avant et après l'implantation de l'aéroport, ainsi que spatiales (prédominance d'un tissu résidentiel, manque de transports en commun...) pourraient techniquement servir à comprendre l'expression de la gêne sonore.

Une récente étude, plus ouverte à la science politique, prolonge encore ces efforts explicatifs (Bröer, 2006), notamment ceux portant sur le rôle de représentations de négligence politique dans le fondement de ces vécus sonores (Faburel, 2003d). Elle détaille la responsabilité de la définition politique même du problème que constitue le bruit des avions (réglementations en vigueur, mesures et évaluations mises en œuvre...), dans la déclaration de gêne sonore, et, plus logiquement encore, dans les comportements revendicatifs.

Ce travail, basé à la fois sur l'étude des politiques de lutte contre le bruit en vigueur autour d'Amsterdam Schiphol et Zurich Kloten (documents officiels, sites Internet, entretiens et observation participantes) et sur l'analyse de 89 entretiens semi-directifs, de 250 plaintes, de 148 articles dans la presse principale et de 29 *Public Enquiry Statements*, s'est principalement attaché à saisir l'influence de l'action publique sur la déclaration de gêne.

Il en ressort que les politiques et mesures de lutte contre le bruit ont une influence considérable sur les ressentis sonores, les déclarations de gêne et les comportements revendicatifs ("*policy is a defining feature of personal noise experience*", p. 2). Plus précisément, et c'est là l'apport premier de ce travail, Bröer montre un effet selon quatre modalités, alliant jugement sur les réglementations, sur les acteurs, sur les processus décisionnels et, au final, sur la définition même du problème.

Tout d'abord, en évaluant le bruit qu'elles subissent, les populations évaluent les politiques qui le réglementent. Plus précisément, et deuxièmement, la perception du bruit dépend des acteurs qui sont impliqués dans la résolution des problèmes. Par exemple, les personnes ajustent leur plainte (ex : intensité) à l'organisme qui les traite (*complaint agency*). Troisièmement, la contestation de l'action en vigueur et de la définition officielle du bruit s'inscrit à la fois en opposition à la politique du moment mais se construit également grâce aux marges de manœuvre que le processus décisionnel permet (notamment participative). Enfin, cette étude montre que la gêne est modulée par la définition officielle du bruit et de la gêne : les personnes s'estiment plus ou moins gênées selon l'acception même de la gêne défendue par les autorités.

En conclusion de ce deuxième chapitre, nous admettons que, bien plus que les effets physiologiques, la gêne due au bruit des transports, et singulièrement des avions, est étudiée depuis plusieurs décennies par diverses disciplines, et ce notamment en France où plusieurs enquêtes, particulièrement autour des aéroports franciliens, sont à recenser. Mais les approches acoustiques et psycho-acoustiques, qui irriguent encore beaucoup par leurs savoir-faire techniques et métrologiques le domaine opérationnel de l'action environnementale (principalement de l'Etat), ne suffisent plus à renseigner tous les aspects de la gêne.

Même si elles livrent des informations intéressantes sur les niveaux partout importants (en général 50 % des échantillons de populations riveraines enquêtées) et même parfois croissants de gêne sonore autour des aéroports. Même si elles peuvent encore être améliorées, par exemple par la prise en compte de la fréquence de survol dans les indices acoustiques. Elles ne parviennent plus seules à prévoir la réactivité des populations aux expositions sonores, particulièrement dans le domaine du bruit des avions. Il apparaît nécessaire de « *diriger la définition de la gêne non plus vers des indices acoustiques mais dans le domaine de la cognition* » (Boyer et Bayssié, 2001, p. 35).

Partout constatées, et d'assez longue date, ces déficiences ont provoqué l'ouverture lente et progressive de l'analyse de la gêne à d'autres champs disciplinaires, et donc à d'autres facteurs explicatifs, plus psychosociaux et socio-spatiaux. Des travaux émanant des sciences humaines et sociales ont à ce jour déjà contribué à ouvrir le champ des ressentis de nuisances et représentations de la gêne, des manifestations qui en découlent (opinions, pratiques, mobilisations). Bien moins utilisées par les donneurs d'ordre, ces disciplines permettent d'identifier de nombreux facteurs non acoustiques, qui, cumulés, pèsent plus que les seules caractéristiques acoustiques des sons. Et, ces caractéristiques individuelles (psychologiques, socio-économiques...) et celles plus collectives (bien-être ou mal-être environnementaux, facteurs d'appartenance aux quartiers, communes, représentations sociales de l'action des compagnies aériennes et des pouvoirs publics...), à forte teneur territoriale, sont d'ores et déjà autant de ressources de compréhension que de leviers pour l'action.

Voici, pour dernier exemple restitué ici, l'une des dernières enquêtes en date, réalisée dans les pourtours de l'aéroport de Francfort Rhin-Main. Ce travail met particulièrement bien en exergue cette multi-factorialité de la gêne, croisant des lectures disciplinaires complémentaires (Schreckenberget Meis, 2006).

Sur la base de l'administration d'un questionnaire à 2 312 résidents autour de l'aéroport, jusqu'à 40 km de l'emprise aéroportuaire, la gêne sonore a été mesurée selon les indicateurs standard, avec aussi pour but de tester plusieurs variables non acoustiques (Schreckenberget Meis, 2006). Il en ressort qu'à des niveaux sonores modérés (55 dB(A)), 50 % des habitants se déclarent gênés et à 65 dB(A), 30 % se déclarent très gênés. Surtout si les variables socio-démographiques sont très faiblement corrélées à la gêne, les réactions au bruit (gêne,

perturbation des activités etc.) ne sont qu'en partie expliquées par les niveaux sonores. A ce titre d'ailleurs, les auteurs estiment que le L_{den} a un pouvoir explicatif meilleur que le L_{max} et le NA (cf. Partie 3).

Parmi les domaines non acoustiques explicatifs, se trouvent (aussi assez loin de l'aéroport) : une sur-réaction au bruit lorsque l'environnement sonore change sans information préalable ; une attitude de défiance envers les autorités (cf. Bröer, *supra*) ; des attentes sociales en termes d'évolution de la situation. Ces dimensions renvoient à six facteurs, qui expliquent plus de 67 % de la gêne : peur (accidents) et attitude négatives à l'égard du trafic aérien (attentes négatives sur évolution de la situation, méfiance à l'égard des autorités...) ; sensibilité aux stressseurs environnementaux ; plaintes au sujet de l'état de santé ; satisfaction résidentielle et territoriale ; attitude positive à l'égard des développements régionaux liés à l'aéroport ; qualité de vie. Les auteurs indiquent en conclusion que la somme de ces facteurs non acoustiques permet mieux de prévoir la gêne que les niveaux acoustiques.

Dans le sillage, mais bien plus modestement comme on va le voir, de cette production de connaissances, d'abord historiquement centrée sur les nuisances et gêne sonores, puis bien plus modestement sur la multiplicité d'effets sanitaires du bruit des avions, y compris physiologiques, la problématique des impacts de la pollution atmosphérique sur la santé des populations riveraines est dorénavant aussi de plus en plus placée au cœur des débats entre acteurs, comme le montre ostensiblement le cas de Londres Heathrow, mais aussi avant, le cas de San Francisco International Airport par exemple.

Quels sont les faits et incertitudes scientifiques en la matière ?

4. Les effets sanitaires de la pollution atmosphérique due aux trafics aériens et fonctionnements aéroportuaires : entre présomptions et démonstrations

Les idées force à retenir de ce chapitre sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique due aux trafics aériens et fonctionnements aéroportuaires

1. D'une manière générale : une large méconnaissance autour des aéroports qui invite au lancement de travaux de recherche

=> Les effets sanitaires de la pollution atmosphérique liée aux trafics aériens et fonctionnement aéroportuaires constituent un thème de débat et un enjeu croissant autour de plusieurs plates-formes (ex : Londres Heathrow) ;

=> Pourtant, très rares sont les études et recherches scientifiques dédiées à ce thème (2 recensées, à l'étranger) ; avec dès lors la persistance de larges méconnaissances, auxquelles des documents officiels invitent à faire face rapidement ;

=> Il s'agirait de mieux apprécier l'imputabilité des contributions polluantes des trafics aériens dans l'aire géographique (ils pourraient représenter jusqu'à 10 % voire 20 %) ; et de mieux tenir compte de facteurs de contexte (certaines des spécificités de l'activité aérienne, exposition réelle des individus...) ;

=> Pour ce faire, la nécessité se fait jour de « décentraliser » les indicateurs, c'est-à-dire de réaliser des évaluations d'impacts sanitaires sur une population donnée, dans un lieu donné, pour fonder une fonction et alors un indicateur exposition / risque conçu dans ce contexte ;

=> Et dès lors, comme pour les effets livrés dans les deux chapitres précédents, la nécessité de compléter les seules relations doses – effets par des approches plus intégrées de panel (effets à court terme) et de cohorte (à long terme), usant de toutes les données déjà pertinentes, y compris socio-démographiques.

2. Toutefois, de fortes présomptions

=> Donc, à ce jour, les connaissances les plus stabilisées, essentiellement épidémiologiques, sont importées du monde routier ;

=> Il en ressort notamment que les effets à long terme, notamment cardio-vasculaires, demeurent très incertains, mais que même à des niveaux faibles, la pollution de l'air a d'autres effets mesurables sur la santé, donc que la santé individuelle est très sensible à de faibles doses ;

=> Or, certaines similitudes entre les concentrations liées aux trafics aériens et celles de certaines zones urbaines peuvent permettre d'estimer globalement les effets attendus dans les pourtours aéroportuaires ;

=> En fait, l'état des connaissances importées du monde routier indique aussi des relations causales concernant des effets à court terme, notamment respiratoires et pulmonaires, par exemple sur les enfants (asthme, bronchite aiguë et naissance prématurée) ;

=> Dès lors, sur certains aéroports, il existerait une association « *très probablement causale* » (Haut Comité Français de Santé Publique, 2000) à court terme entre pollution atmosphérique et santé ; et l'attention doit notamment être portée sur les groupes sensibles,

particulièrement sous l'angle respiratoire (riveraineté proche, les enfants et les personnels qui travaillent dans et autour des plates-formes).

Comme d'autres modes des transports, l'aérien est à l'origine d'importantes émissions, et ce de plusieurs polluants, même si, en volume, il est moins émetteur que le trafic routier, qui concentre quant à lui beaucoup d'efforts scientifiques de recherche. A ce jour, les émissions d'oxydes d'azote (NOx), particulièrement son dioxyde (NO2) et son dérivé photochimique l'ozone (O3), ainsi que les émissions de particules (PM), de dioxyde de soufre (SO2) et, dans une moindre mesure de monoxyde du carbone (CO) sont considérées comme les principaux polluants des trafics aériens émis dans l'air à l'échelle locale (Colvile *et al.*, 2001 ; CE Delft, 2000). Mais, l'impact de ces polluants dépend aussi de l'altitude de survols, de la distribution des approches... (cf. Airport Air Quality Symposium Berkeley Workshop, 2002 et 2003).

Ces polluants d'origine aérienne ont pour caractéristique première de se disperser beaucoup plus rapidement, avant d'arriver au sol (Colvile *et al.*, 2001). Toutefois, les rares études menées autour d'aéroports situés en dehors des zones résidentielles montrent aussi que, avec toute l'activité qu'il génère, l'aéroport peut être la source première de concentrations de polluants de proximité. Ces concentrations peuvent alors excéder certaines des normes en vigueur relatives à certains polluants (Yu *et al.*, 2004).

Ainsi, si le trafic routier dans et autour des aéroports est encore la source première de pollution atmosphérique, les trafics aériens peuvent représenter jusqu'à 10 % de la concentration de polluants autour d'un aéroport en région densément urbanisée (ex : Schiphol in Province of Noord-Holland, 2000), voire 20 % dans des espaces moins urbanisés (ex : Roissy CDG et Bourget, cf. Airparif, 2003). Et, ces concentrations pourraient continuer d'augmenter du fait de la hausse des trafics aériens, faisant des aéroports un contributeur croissant à la pollution locale de l'air. Cette pollution dépend pour beaucoup, outre les volumes consommés, de la composition du carburant et des conditions de leur combustion.

Concernant les effets de la pollution de l'air sur l'état sanitaire des populations, ils dépendent en premier lieu essentiellement du type de polluants, de leurs concentrations, de la durée d'exposition des populations... (DGAC, 2003) mais aussi, évidemment, de l'état de santé des populations exposées, avec ici une attention particulière à porter aux populations sensibles. Nous savons depuis peu que, à l'identique du bruit, même à des niveaux faibles, la pollution de l'air a des effets mesurables sur la santé. C'est d'ailleurs le tout premier fait ressortant des travaux scientifiques menés sur la question ces dernières années : alors que certains niveaux d'exposition pourraient tendre à baisser, il est montré que la santé individuelle est très sensible à de faibles doses. D'ailleurs, à partir de ce constat, l'Organisation Mondiale de la Santé (2003) indique que, toutes sources confondues, « *Trois millions de personnes meurent chaque année sous l'effet de la pollution atmosphérique, soit 5 % des décès annuels dans le monde* ».

Dès lors, depuis maintenant trois à cinq ans, les quelques données connues sur les émissions polluantes des trafics aériens sont à l'origine de préoccupations croissantes. Mais, compte tenu de la focalisation de la plupart des travaux empiriques en la matière depuis maintenant 15 ans sur les émissions d'origine routière, sans considération précise pour les pourtours aéroportuaires, les connaissances à ce jour les plus stabilisées, essentiellement épidémiologiques, sont importées du monde routier, à l'exception peut-être de travaux réalisés autour d'Amsterdam Schiphol et de l'aéroport d'Oakland aux Etats-Unis.

Néanmoins, les similitudes entre les concentrations liées aux trafics aériens et celles de certaines zones urbaines peuvent permettre d'estimer les effets attendus dans les pourtours

aéroportuaires à ceux effectivement évalués en milieu urbain (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique en France, 2006). En fait, comme nous allons le développer, l'état des connaissances importées du monde routier indique des relations causales concernant des effets à court terme, notamment respiratoires, par exemple sur des populations jugées fragiles (ex : enfants).

4.1. Les effets sanitaires de la pollution de l'air liée aux transports : des effets à court terme démontrés et à long terme plus incertains

Plusieurs études épidémiologiques ont, d'après l'OMS (WHO / UNECE-PEP, 2003), évalué et montré le rapport entre la pollution de l'air ambiant et les effets sanitaires chez les adultes, en utilisant des indicateurs de particules (PM10, PM2.5, particules fines, fumées noirs) ou des polluants gazeux (NO2, SO2, CO et O3) et ont recensé les catégories d'effets par polluant (cf. Colvile *et al.*, 2001). Conventionnellement, les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont classés en deux groupes : les effets à court terme et les effets à long terme.

4.1.1. Les effets à court terme : problèmes respiratoires et troubles cardio-vasculaires

Les effets à court terme sont définis comme des manifestations cliniques, fonctionnelles ou biologiques survenant dans des délais brefs, suite aux variations journalières des niveaux ambiants de pollution atmosphérique. Les problèmes respiratoires sont un indicateur souvent employé, généralement pour des raisons de disponibilité des données. Les polluants ayant des propriétés irritantes pour l'appareil respiratoire sont de différentes natures (gaz, particules). Les conséquences vont d'une baisse de la capacité respiratoire à une incidence sur la mortalité à plus ou moins long terme.

Pour le polluant d'origine transport ayant le plus d'implications sanitaires à l'échelle locale dans les villes des pays développés, c'est-à-dire le NO2 (et son dérivé photochimique O3), les conséquences sur les fonctions respiratoires et pulmonaires sont avérées (ex : toux chroniques, infections bronchitiques). Le CO lié aux transports a longtemps été présent à des niveaux suffisamment élevés pour accroître la probabilité d'occurrence des maladies cardiovasculaires. Et si l'introduction des pots catalytiques a, un temps, laissé croire que de tels effets allaient décliner en conséquence, de nouvelles techniques statistiques ont permis d'identifier l'occurrence d'effets à des niveaux beaucoup plus bas d'exposition. Plus largement, on sait depuis peu que même à des niveaux faibles, la pollution de l'air a des effets mesurables sur la santé, donc que la santé individuelle est très sensible à de faibles doses.

C'est aussi le cas des particules fines. Pour ces dernières, des analyses épidémiologiques (Pope *et al.*, 1995 et 2002), des analyses en laboratoire (Diaz-Sanchez *et al.*, 1997), validées par des dires d'experts, ont tôt montré qu'elles pourraient être à l'origine des hausses mesurables dans les manifestations des maladies cardiovasculaires et respiratoires, même à des niveaux faibles de pollution de l'air dans les villes occidentales. La plus grande sensibilité des patients à des maladies cardio-vasculaires apparaît nettement dans les études épidémiologiques portant sur la surmortalité en relation avec les fluctuations des niveaux de pollution, et sur les fréquences d'hospitalisations ou de consultations. Ici, une nouvelle fois, l'affinement des méthodes de traitement statistique a permis de détecter des effets dits « *à bas signaux* ».

Ici, plusieurs enquêtes transversales répétées sur des populations comparables ont mis en évidence une augmentation rapide de la prévalence du terrain atopique et de maladies allergiques respiratoires, notamment de l'asthme (Woolcock *et al.*, 1997). Les asthmatiques sont considérés comme dix fois plus sensibles que les sujets normaux (Haut Comité Français

de Santé Publique, 2000). Les travaux français pourraient à terme clarifier la question : augmentation durable de l'asthme, induction répétée des crises, bronchites avec mortalité respiratoire (Marano, 2005). En outre, il a été montré par le passé, par des études en laboratoire, que le SO₂ pouvait aussi être à l'origine de troubles respiratoires en cas d'exposition courte mais à des concentrations élevées, notamment chez les personnes souffrant d'asthme en particulier.

4.1.2. Les effets à long terme

Les effets à long terme peuvent représenter des affections ou pathologies survenant après une exposition chronique (plusieurs mois ou années) à la pollution atmosphérique (Chanel *et al.*, 2001). Ces effets sont étudiés au moyen d'études épidémiologiques, au protocole très différent. Les études de cohortes consistent par exemple en un suivi sanitaire d'une dizaine d'années d'un vaste échantillon de population, avec précisions sur leur exposition quotidienne, selon leurs activités, et leur mode de vie. Si ces effets restent mal connus car difficiles à évaluer :

- certaines études américaines, comparant les indices de mortalité de ville aux qualités d'air différentes, semblent cependant confirmer leur existence (cf. Marano, 2005) ;
- et surtout les études de cohortes se développant, il a été montré, en Ile-de-France par exemple, une liaison entre l'exposition chronique à la pollution particulaire et l'augmentation des risques de décès pour cause cardio-pulmonaire (Lefranc, 2005).

Aujourd'hui, il est admis qu'une exposition prolongée à des concentrations de polluants aurait une incidence sur la mortalité à long terme, par effets mutagènes et cancérigènes dus aux particules fines, benzène et divers autres composés aromatiques.

Il y a par ailleurs présomption de plus en plus forte de cancers dus à l'exposition aux hydrocarbures polycycliques aromatiques liée aux particules diesel (Perera, 1981 ; US EPA, 1990, 1993). Des études toxicologiques, réalisées aux Etats-Unis, au Canada, en Angleterre, en Suède, permettent d'aborder les différents effets de la pollution atmosphérique sur la santé sous ses aspects fondamentaux et aident alors à la compréhension des mécanismes généraux de toxicité. Les particules fines liées à l'usage du gazole sont ici considérées comme génératrices d'un des tous premiers problèmes en termes de santé (Marano, 2005). Mais, aucune étude expérimentale ne permet, seule, une conclusion définitive sur un impact précis et quantifiable sur la santé humaine. L'analyse épidémiologique doit venir compléter l'approche toxicologique (Haut Comité Français de Santé Publique, 2000).

Toujours en ce qui concerne les particules, nombre des données existantes ont en fait été compilées ces dernières années, pour relayer faisceaux de preuves (WHO 2003, 2004). L'un des enseignements majeurs est que les concentrations élevées de particules ont provoqué des dommages importants (AEA Technology Environment, 2005), qui subsisteront en Europe même après mise en œuvre de la législation existante, pour une projection en 2020.

Cette catégorie d'effets à long terme introduit aussi différemment la question de la pollution dite de fond, et sa perception par les populations. Ce sont indéniablement deux causes aux manques scientifiques persistants. La pollution de fond peut avoir des effets sur le long terme, tout en étant souvent peu perçue alors que celles liées à la pollution de proximité relèvent davantage des nuisances et sont plus facilement identifiées, car plus accessibles par la vue (fumée, opacité de l'air) ou par l'odorat. Sous cet angle aussi, des travaux restent à mener, puisque ce type de perception pourrait, comme le cas de la gêne sonore, interagir avec certains effets sanitaires de long terme.

4.2. Les effets sur les populations sensibles : de fortes présomptions concernant les enfants

Ces différents effets se manifestent principalement chez les personnes sensibles. Il s'agit d'une part des personnes déjà fragilisées par une maladie, telles que les insuffisants cardiaques ou respiratoires, les asthmatiques ou les personnes atteintes de bronchites chroniques. Il s'agit d'autre part des personnes âgées ou encore des enfants, pour qui la pollution peut entraver le développement de l'appareil respiratoire. Pour ces catégories de population, la pollution peut favoriser la survenue de maladies, en aggraver certaines et parfois même précipiter le décès. Une liste non exhaustive des catégories de personnes les plus fragiles face à la pollution atmosphérique urbaine peut être dressée :

- les enfants, car leurs poumons continuent de se former jusqu'à l'âge de 8 ans ;
- les femmes enceintes, qui transmettent une partie des polluants respirés à leurs enfants ;
- les personnes âgées, car les capacités respiratoires diminuent dès l'âge de 30 ans ;
- les asthmatiques, que leur maladie rend plus sensibles au pouvoir irritant des polluants ;
- les insuffisants respiratoires et cardiaques, dont la santé est déjà fragilisée ;
- les fumeurs, dont l'appareil respiratoire est déjà irrité par l'usage du tabac.

Du fait d'une sensibilité croissante (Brunekreef *et al.* 1997), quelques pays européens se sont lancés dans des projets de recherche visant à évaluer les effets sanitaires de la pollution générée par les transports sur les enfants. Une démarche, remarquable, de l'OMS et de l'Europe via le *Transport Health and the Environment Pan-European Program* (WHO / UNECE-PEP, 2003), inscrit dans le *CEHAPE-Children's Environment and Health Action Plan for Europe*, a associé des experts venant de six pays, afin d'avancer vers une évaluation intégrée des effets des transports sur la santé.

Il en ressort tout d'abord qu'il n'existe à ce jour que peu d'études en la matière. Toutefois, les quelques résultats disponibles suggèrent une relation entre la pollution de l'air et les multiples constats sanitaires. Même à des niveaux bas de concentration, il est prouvé que la pollution de l'air aggrave par exemple l'asthme des enfants (WHO / UNECE-PEP, 2003). Colville *et al.* (2004) rapportent d'ailleurs des chiffres indiquant que l'occurrence de l'asthme a considérablement augmenté pendant la seconde moitié du XX^{ème} siècle (Jarvis et Burney, 1998) dans plusieurs pays (Miyamoto, 1997 ; Ninan et Russell, 1992), en lien selon eux avec la dégradation de la qualité de l'air (Krishna et Chauhan, 1996). Toutefois, selon Holgate *et al.* (1995), des incertitudes demeurent sur l'imputabilité à la pollution dans cette prévalence.

Les résultats d'une autre étude (Bobak in WHO / UNECE-PEP, 2003, p. 100) indiquent que l'exposition à la pollution de l'air des nouveaux-nés et bébés induit une surmortalité pour cause respiratoire, surtout pour les enfants de moins d'un an. Une étude brésilienne (Saldiva, 1994 et Conceicao, 2001 in WHO / UNECE-PEP, 2003, p. 39) suggère un rapport positif entre l'exposition à la pollution de l'air et la mortalité respiratoire chez les enfants de moins de 5 ans. Mais, il n'existe pas d'études équivalentes en Europe.

Selon l'analyse des études épidémiologiques menée dans le cadre de l'OMS, les principaux effets identifiés sur la santé des enfants sont très nettement respiratoires (asthme et bronchite aiguë) et d'ordre pré-natal (naissances prématurées) (Desqueyroux, 2005, p. 15). Ces effets se résument en :

- une morbidité respiratoire (hausse des symptômes, hospitalisations, visites médicales, découplage de la fonction et développement pulmonaire) ;
- une morbidité non respiratoire (absentéisme à l'école, irritation des yeux, accélération du rythme cardiaque et, mais bien plus incertain, cancer) ;
- une mortalité (mortalité intra-utérine, mortalité des nourrissons et des enfants de moins de 5 ans) ;
- un problème en période de grossesse (retard intra-utérin, faible poids de naissance, naissance prématurée...).

Une nouvelle fois, comme pour les adultes, les rares études ayant porté sur la santé des enfants exposés à la pollution de l'air n'ont pas concerné les aires aéroportuaires.

4.3. Incertitudes persistantes pour les effets à long terme et manque de connaissances sur les pourtours aéroportuaires

4.3.1. Incertitudes scientifiques : la difficile identification des corrélations entre sources et effets

Parmi plusieurs difficultés et manques persistants, représentant sans conteste un frein pour l'aide à la décision, nous trouvons la nécessité d'isoler précisément les effets constatés, donc d'identifier finement les sources qui en sont responsables (tel mode de transport, tel type de trafics, telle période...). « *Il est très important de réfléchir (...) en termes beaucoup plus global d'une exposition à des pollutions multiples* » (Marano, 2005, p. 50). « *Les effets [sont] plus liés aux mélanges de tous les polluants* » (Lameloise, 2005, p. 16). « *On n'a pas de connaissance complète de la composition de la soupe qu'un individu va pouvoir respirer* » (Lefranc, 2005, p. 28). D'ailleurs, la difficulté du choix d'indicateur a notamment été discutée à l'occasion du travail de l'OMS mentionné ci-dessus. « *Nous nous sommes focalisés sur les particules et sur le NO₂ (...) Mais d'autres études sont faites en prenant en compte la distance par rapport aux voies et l'intensité du trafic* » (Desqueyroux, 2005, p. 13).

Cette connaissance instable sur les sources respectives impose des contraintes majeures à toute action. Weatherley et Timmis (2001) évoquent alors le manque de données sur l'exposition précise des individus, souvent évaluée très indirectement ; en outre, les expositions à l'intérieur des logements sont peu observées (Crump *et al.*, 1999) ; enfin, une gamme de polluants demande une mesure supplémentaire, incluant des métaux lourds, des substances organiques et les particules très fines. Il en résulte en partie les deux faits relayés plus haut : certaines relations dose-réponse sont incertaines (Janssen *et al.*, 1999), notamment en matière d'exposition-risque pour les particules et NO_x (cf. Lameloise, 2005,) ; et plusieurs effets à long terme demeurent peu connus (ex : mortalité).

Toutefois, bien d'autres causes d'incertitudes sont encore à recenser, par-delà la seule observation de la qualité de l'air. Elles confrontent les champs de l'étude et de la recherche à une chaîne intégrée d'une grande complexité : associations multiples de polluants et de causalités sanitaires, sociales, économiques...

La littérature indique alors, ici aussi, de plus en plus ostensiblement la nécessité de multiplier les démarches interdisciplinaires et de nouvelles recherches transversales notamment en milieu urbain plus ou moins exposé. Notamment, comme pour les effets sanitaires du bruit, elle invite à compléter l'épidémiologie avec des études toxicologiques et expérimentales en amont. En outre, concernant les enfants (WHO / UNECE-PEP, 2003), si des études épidémiologiques ont montré une liaison forte pour plusieurs effets, en particulier respiratoires, leur nombre est dit insuffisant pour en déduire des fonctions dose-réponse (en

Europe). Enfin, afin de répondre aux besoins de la *Health Impact Assessment* comme procédure en devenir d'évaluation d'impacts, par exemple menée à l'aéroport d'Oakland (Dowlin, 2004) ou encore à Amsterdam Schiphol (Franssen et Staatsen, 2002), les études ont besoin de porter plus avant attention sur les causalités et les effets sanitaires à long terme.

Il est vrai qu'il existe très peu d'études expérimentales ou cliniques concernant les effets à long terme de la pollution atmosphérique, par exemple sur les fonctions respiratoires. Les données de la littérature existante concernent essentiellement les effets à court terme des différents polluants actuellement mesurés en milieu urbain, souvent d'interprétation difficile chez les sujets ne présentant pas de maladie respiratoire préexistante ou chez des asthmatiques et des patients présentant une bronchopathie chronique obstructive (BPCO).

4.3.2. Effets autour des aéroports : des impacts potentiellement nombreux mais très peu évalués

Pour les impacts sanitaires de la pollution des trafics aériens et des fonctionnements aéroportuaires, des études demeurent nécessaires afin de déterminer de manière plus précise les liens existants, polluant par polluant, entre qualité de l'air et, au premier chef, infections respiratoires. Il est vrai que, même si des parallèles peuvent parfois être faits, les transferts et inférences des données scientifiques livrées sur les effets des autres sources de polluants demeurent risqués et pas toujours pertinents.

En fait, concernant les effets sanitaires de la pollution atmosphérique liée aux trafics aériens à proximité des grands aéroports, seules quelques rares initiatives remarquables sont à signaler : celle autour d'Amsterdam Schiphol où des effets respiratoires et cardiovasculaires ont été identifiés, attirant une nouvelle fois l'attention sur les impacts sur la santé des enfants (Staatsen *et al.*, 1994 ; Franssen *et al.* 1999 ; Franssen et Staatsen, 2002) ; et celle d'Oakland en Californie, où l'on parle aussi de menaces respiratoires, mais pas cancérogènes, pesant avant tout sur les personnels travaillant sur la plate-forme (Dowlin, 2004).

Plusieurs arguments plaident grandement en fait en faveur du lancement de tels travaux spécifiques. Outre la sensibilité sociale croissante à ce thème, dont par exemple témoignent les débats autour de Londres Heathrow depuis 8 ans, les baisses d'ores et déjà enregistrées et anticipées d'émissions du trafic routier, accompagnée d'une croissance rapide du secteur du transport aérien, devraient entraîner une croissance relative de la contribution des trafics aériens à la dégradation locale de la qualité de l'air au niveau du sol (Colvile *et al.*, 2001). Surtout, il existe une relation très probablement causale, à court terme, entre la pollution de l'air liée aux trafics aériens et l'état de santé des populations exposées, particulièrement celle des enfants (Haut Comité Français de Santé Publique, 2000). En effet :

- une relation croissante entre les niveaux d'exposition à la pollution atmosphérique et les risques sanitaires a déjà pu être observée concernant d'autres sources ;
- les quelques relations mises en lumière sont consistantes et robustes, quelles que soient les populations considérées, les conditions socio-économiques, géographiques et climatiques ;
- les différents protocoles d'étude utilisés pour d'autres sources permettent déjà un contrôle adéquat des principaux facteurs de confusion écologiques (caractéristiques des milieux) et individuels (parcours sanitaires) ;
- enfin, les délais constatés entre l'exposition à la pollution et l'effet sur la santé sont compatibles avec les données expérimentales disponibles.

Ce manque global concernant les trafics aériens tient, comme dit plus haut, d'abord à la difficulté de quantifier les contributions polluantes respectives des activités aéroportuaires et

des autres activités de l'aire géographique, notamment du trafic routier induit par l'activité, tant ces facteurs sont étroitement imbriqués (Momas et Blanchard, 2004). Ces contextes constituent une épreuve pour les méthodologies employées classiquement pour quantifier émissions et expositions (Marano, 2005).

Il s'agit alors, suivant en cela Colvile (*op. cit.*), de réaliser des mesures en tenant compte de certaines des spécificités de cette activité : altitude des émissions, pression atmosphérique plus basse, déficit d'autres sources anthropogéniques... De même, l'exposition réelle, en contexte, des individus ou de la population dans son ensemble n'est souvent pas connue et est alors estimée indirectement, ce qui laisse persister une incertitude sur les associations observées entre les variations journalières de pollution et les effets à court terme sur la santé (Janssen *et al.*, 1999). Ces facteurs de contexte doivent faire l'objet d'une attention particulière pour que l'on puisse en tirer des conclusions solides sur l'imputabilité des effets observés (Momas et Blanchard, 2004).

Pour ce faire, ici comme sur d'autres problématiques d'effets, de plus en plus de chercheurs insistent sur la nécessité de « décentraliser » les indicateurs, c'est-à-dire de réaliser des évaluations d'impacts sanitaires sur une population donnée, dans un lieu donné, pour fonder une fonction et alors un indicateur exposition / risque conçu pour cette population, à cet endroit et surtout à un moment de l'évolution de ce territoire (Marchessault, 2005). Les seuls transferts de résultats importés d'autres contextes créent des incertitudes largement décrites par la littérature, car, par exemple, ils ne prennent que difficilement en compte les conditions météorologiques du lieu et les caractéristiques sociales et sanitaires des populations.

Nous ne nous étendons pas ici sur cette problématique des indicateurs, leur robustesse scientifique et pertinence socio-environnementale. Elle motive des réflexions et initiatives récentes dans plusieurs cas aéroportuaires, et fera alors l'objet d'une rubrique dédiée dans la deuxième partie de ce rapport, centrée sur les recommandations pour l'action.

De plus, sur ces effets sanitaires aussi (cf. Chapitres 1 et 2), des auteurs, tels Wheatherley et Timmis (2001), soulignent qu'ils ont des facteurs multiples que les relations doses - effets ne peuvent là non plus suffire à décrire (par exemple : prise en compte de l'exposition intérieure aux logements, au bureau). Pour ce faire, ici comme ailleurs, il est de nouveau grandement recommandé de mener des approches plus intégrées de panel (effets à court terme) et de cohorte (à long terme), usant de toutes les données déjà pertinentes, y compris socio-démographiques (Medina et Segala, 2004).

Concernant les pourtours aéroportuaires, de nombreuses pistes restent donc encore à explorer et des méthodologies à affiner, et ce notamment en vue d'exploiter en toute sérénité les quelques résultats d'ores et déjà produits. Toutefois, sur certains aéroports, et, en l'état actuel des savoirs, il existe une association « *très probablement causale* » (Haut Comité Français de Santé Publique, 2000) à court terme entre pollution atmosphérique et santé, à la fois chez les adultes et les enfants. L'attention doit notamment être portée en priorité sur les groupes sensibles, notamment sous l'angle respiratoire : la riveraineté proche (Childers *et al.*, 2004, p.15), les enfants (à l'exemple des études sur le bruit, *supra*) et les personnels qui travaillent dans et autour des plates-formes (Pitarque *et al.* in Extrapol, 2004).

Accompagné en cela d'une demande sociale de plus en plus marquée, ceci a représenté une des motivations importantes de l'initiative prise par les services de l'Etat français pour mandater l'Institut de Veille Sanitaire dans le lancement (en 2007) et la conduite d'une grande étude épidémiologique autour de Roissy CDG, d'Orly, et du Bourget (SURVOL), initiative qui vise tant les effets du bruit des avions sur la santé, y compris la gêne (*supra*), que la ceux, probables, de la pollution atmosphérique liée aux trafics aériens et fonctionnements aéroportuaires.

Aussi, bien que démontrés dans d'autres contextes (ex : effets respiratoires à court terme, morbidité des enfants...), l'évaluation fine des effets sanitaires de la pollution atmosphérique autour des aéroports demeure globalement à réaliser, notamment, en amont, par l'estimation poussée de la part précise des émissions des trafics aériens et des activités de la seule plateforme dans les pourtours aéroportuaires. Ce que quelques travaux, en France notamment, ont déjà engagé (Airparif, 2003 et 2004).

Il s'agira d'apporter des éléments tangibles d'information à des débats aéroportuaires qui ne cessent de s'orienter toujours plus vers des considérations de santé environnementale. C'est l'objet des initiatives en cours en France, qui viendront sans doute se substituer à l'importation de connaissances depuis d'autres sources d'émissions de transport, connaissances qui indiquent néanmoins rappelons-le une probabilité assez assurée d'effets sanitaires potentiellement importants.