

DOSSIER

Environnement / *Environmental issues*

■ **LES NUISANCES SONORES ENGENDRÉES PAR LE TRAFIC AÉRIEN**

NOISE ANNOYANCE CAUSED BY AIR TRAFFIC

Michel Vallet

■ **LES NUISANCES SONORES ENGENDRÉES PAR LES TRAINS À GRANDE VITESSE**

NOISE ANNOYANCE CAUSED BY HIGH-SPEED TRAINS

Jacques Lambert

■ **L'ATTITUDE DES AÉROPORTS FACE À LA PROBLÉMATIQUE DE L'ENVIRONNEMENT**

HOW AIRPORTS ARE COPING WITH ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Hans Peter Staffelbach



études & documents
studies & reports

Edité par l'Institut du Transport Aérien / *Published by the Institute of Air Transport*
Directeur de la publication : **Jacques PAVAUX**

Rédaction / *Editorial Staff* : **Jacques PAVAUX, Hélène MEYER, Jean-Luc LESAGE**

PAO / *Desktop publishing* : **Françoise MARIEL, Mathilde PEREZ**

Imprimerie nouvelle - 45800 SAINT JEAN DE BRAYE - France

Reproduction interdite / All rights reserved.

© ITA - Paris

Dépôt légal : 3^e trimestre 1992.

ISSN 1011-615X

SOMMAIRE CONTENTS

AVANT-PROPOS / FOREWORD	V
LES NUISANCES SONORES ENGENDRÉES PAR LE TRAFIC AÉRIEN NOISE ANNOYANCE CAUSED BY AIR TRAFFIC	1
Michel Vallet Directeur de recherche, Laboratoire Énergie Nuisances, INRETS	
I. Indices d'exposition au bruit au voisinage des aéroports <i>Noise exposure indices for airport environments</i>	6
II. Les effets du bruit des avions sur les populations <i>Effects of aircraft noise on the community</i>	10
III. Les moyens de réduction du bruit <i>Ways of reducing noise</i>	29
IV. Conclusions <i>Conclusions</i>	35
LES NUISANCES SONORES ENGENDRÉES PAR LES TRAINS À GRANDE VITESSE NOISE ANNOYANCE CAUSED BY HIGH-SPEED TRAINS	39
Jacques Lambert Directeur de recherche, Laboratoire Énergie Nuisances, INRETS	
I. Réseau ferroviaire européen et nuisances sonores : Quelles craintes pour l'avenir ? <i>The European rail network and noise annoyance: What are the concerns for the future?</i>	41
II. Principales caractéristiques du bruit émis par les TGV <i>Principal characteristics of the noise emitted by high-speed trains</i>	42
III. Impact du bruit ferroviaire <i>Impact of railway noise</i>	44
IV. Synthèse et perspectives <i>Synthesis and outlook</i>	48
L'ATTITUDE DES AÉROPORTS FACE À LA PROBLÉMATIQUE DE L'ENVIRONNEMENT HOW AIRPORTS ARE COPING WITH ENVIRONMENTAL PROBLEMS	57
Hans Peter Staffelbach Directeur de l'aéroport de Zurich Director Zurich Airport	

AVANT-PROPOS

FOREWORD

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation croissante des pouvoirs publics, notamment dans le domaine des transports. Les grands aéroports d'Europe ont presque tous manifesté leur souci de contribuer à la protection de la nature et à la réduction du bruit. Les constructeurs de moteurs d'avion ont mis au point des réacteurs nouveaux dont les performances acoustiques apportent aujourd'hui une réduction considérable du niveau de bruit à la source par rapport aux moteurs des premiers jets commerciaux. A elle seule, l'augmentation du taux de dilution des réacteurs durant les trente dernières années a permis de réduire les niveaux de bruit de près de 30 décibels - ce qui est considérable -, sans parler de la réduction concomitante de la surface exposée au bruit pendant les procédures de décollage ou d'atterrissage.

Mais la gêne due au bruit prend en Europe un aspect particulier avec l'introduction des trains à grande vitesse. Ce nouveau mode de transport va concurrencer l'avion, mais il entraînera aussi une gêne pour les riverains des voies nouvelles dont le réseau s'étendra bientôt à toute l'Europe. Aussi, les décideurs ne peuvent-ils ignorer, dans leurs choix d'infrastructures nouvelles, cet

Protection of the environment, notably in the area of transport, is of growing concern to public authorities. Almost all the airports in Europe have demonstrated their desire to join in the effort to protect the environment and to reduce noise. Aircraft engine manufacturers have developed new equipment whose acoustical performance is far superior to that of the engines that powered the early commercial jet airliners. Improvements in the dilution rate of jet engines over the last thirty years have alone decreased noise levels at the source by nearly 30 decibels, which is considerable, while great progress has also been made in reducing the areas exposed to noise during takeoffs and landings.

But now the introduction of high-speed trains is bringing another dimension to the problem of noise annoyance in Europe. This new competitor of air transport is also going to be a cause of annoyance for everyone living near the new rail lines in the network that will soon extend across all of Europe. Therefore, those responsible for making the decisions concerning new infrastructures cannot ignore this external effect, i.e., the annoyance resulting from the noise generated by trains and airplanes.

effet externe que constitue la gêne engendrée par le bruit des trains ou des avions.

Cependant les bruits produits par l'un et l'autre de ces deux modes de transport ne sont pas de même nature (notamment les fréquences émises), par ailleurs, les zones exposées et donc les populations touchées ne sont pas les mêmes, enfin, les effets physiologiques sont aussi différents. C'est pourquoi il est très difficile, voire impossible, de répondre simplement à la question : l'avion est-il plus bruyant que le train à grande vitesse ou est-ce le contraire ?

C'est la raison pour laquelle l'ITA a choisi de publier un dossier sur ce problème complexe afin d'apporter le maximum d'éléments au débat. Les articles qu'il contient ont été élaborés à partir des données expérimentales les plus récentes. J'espère qu'il contribuera à faire mieux connaître les données scientifiques relatives aux conséquences du bruit engendré par l'avion d'une part et par le train à grande vitesse d'autre part.

Jacques PAVAUX
Directeur Général de l'ITA

These two transport modes do not, however, produce the same type of noise (in particular with respect to the frequencies emitted); the areas exposed, and thus the populations affected, are not the same either; and, finally, the physiological effects are different. It is therefore difficult, if not impossible, to give a simple answer to the question: are airplanes noisier than high-speed trains, or is it the contrary?

This is the reason that ITA has chosen to publish a dossier on this complex problem to bring as much information as possible to the debate. The articles which follow were written using the most recent experimental findings. I hope this dossier will be helpful in familiarizing readers with the scientific data relating to the consequences of the noise generated by airplanes and high-speed trains.

Jacques PAVAUX
Director General, ITA

Les nuisances sonores engendrées par le trafic aérien

Noise annoyance caused by air traffic

Michel VALLET

Directeur de recherche, Laboratoire Énergie Nuisances, INRETS

La politique de gestion du bruit des avions et des aéroports semble devoir évoluer dans les années proches entre deux grandes tendances, a priori contradictoires ; l'une est liée au courant général de déréglementation, l'autre relève de l'harmonisation des réglementations européennes au sein de la Communauté européenne.

Les aéroports satisfont la demande des voyageurs, ils procurent des emplois, ils sont un maillon important pour le fret de marchandises mais ils causent aussi des perturbations de l'environnement aux habitants riverains ou proches.

De l'avis même des exploitants d'aéroports (J.Y. Valin, ADP) : «*les nuisances phoniques générées autour des aéroports constituent un souci majeur pour les responsables aéroportuaires et se répercutent au niveau du transport aérien à la fois par des limitations dans l'utilisation des aéroports et des coûts accrus pour la collectivité aéronautique. Le développement des aéroports est de plus en plus tributaire de leur acceptation par leur environnement et dépend d'un équilibre souvent fragile, et tranché*

Noise abatement policies for aircraft and airports will be influenced in the coming years by two general and seemingly contradictory developments: the movement toward deregulation and the harmonization of regulations within the European Community.

Airports satisfy travelers' needs, provide jobs, and form an important link in the freight transport network, but they are also a source of environmental disturbance for people who live near them.

Airport operators themselves are quick to acknowledge this fact. "Noise annoyance around airports is a major concern for airport officials with repercussions on air transport in terms both of restrictions on airport utilization and of increased costs for the aviation sector. The development of an airport is more and more dependent on its being accepted by the community and on an often fragile and politically-divided balance between the economic growth it generates for the region and the annoyance it creates for the people living around it. Airports are also points of congestion in the air transport system as a

à un niveau politique, entre le développement économique généré par l'aéroport dans sa région et les nuisances subies par leurs riverains. Les aéroports apparaissent par ailleurs comme les maillons saturants de l'ensemble du transport aérien dans les pays les plus développés. Les nuisances phoniques deviennent en fait l'élément critique de la capacité du transport aérien».

Ces nuisances phoniques dépendent du bruit émis par les appareils et de leur nombre, le trafic étant lui-même soumis à un grand nombre de facteurs, à la fois économiques, d'aménagement ou technologiques. Une récente liste dressée par Large montre la fragilité de certains aspects. Ce recensement britannique compte les neuf points suivants :

- les tarifs : compétitivité et rabais,
- les réseaux entre grandes villes,
- les conglomérats d'opérateurs,
- la capacité des aéroports,
- les revenus indirects (ventes hors-taxes),
- l'aviation d'affaires et son expansion,
- la concurrence intermodale,
- l'acheminement du fret,
- la position des pays de l'AELE.

On peut noter que le premier thème de la liste est déjà discutable, puisque le prix du carburant va augmenter. La conséquence pour la lutte contre le bruit est néanmoins la même, à savoir que les ressources seront probablement moindres, bien qu'en France depuis 1987, le problème des nuisances relève des aéroports et non plus des compagnies.

L'activité aérienne fait subir des nuisances plus ou moins fortes à 5,6 % de la population française exposée au bruit - un tiers de la population totale - (Maurin-Lambert 1986) mais la question du bruit est très étudiée et concerne :

- le bruit émis par les appareils,
- l'implantation et l'exploitation des aéroports,
- l'aménagement du territoire autour des plates-formes,
- le zonage et la réglementation acoustique pour la protection des riverains.

whole in the most developed countries. Noise annoyance is in fact becoming a critical element in air transport capacity" (J.Y. Valin, ADP).

Noise annoyance is a function of the level of noise emitted by aircraft and their number, with traffic itself being dependent on a large number of economic, developmental, and technological factors. A list of nine such factors was drawn up recently by Large in Great Britain. Many of them, we note, are highly subject to variation.

- *air fares: competition and discounts;*
- *city pairs served;*
- *operator conglomerates: Euro-companies;*
- *capacity;*
- *indirect revenues (duty-free sales);*
- *business air travel growth;*
- *surface competition;*
- *cargo;*
- *position of EFTA States.*

The very first item on the list, for example, is uncertain, since the price of fuel is going to rise. The impact on the battle against noise is, however, the same: resources will probably be more limited, although in France, since 1987, noise annoyance is a problem for the airports and not the airlines.

Aviation activities cause varying degrees of annoyance for 5.6% of the French population exposed to noise, which is one-third of the total population (Maurin-Lambert, 1986). The problem of noise is being studied extensively with respect to:

- *noise emitted by aircraft;*
- *the siting and operation of airports;*
- *development around airports;*
- *zoning and noise regulations to protect people living in the vicinity of airports.*

The last point will be dealt with in this article by an examination of the noise ratings used in defining regulations.

Ce dernier point sera développé par l'examen des indices acoustiques utilisés dans la réglementation.

LES RÉGLEMENTATIONS CONCERNANT LE BRUIT ÉMIS PAR LES AÉRONEFS

La première démarche en matière de protection contre le bruit est la réduction des émissions, qui fait pour les avions l'objet d'une réglementation, comme pour les voitures, mais en évolution plus lente, compte tenu de la durée de vie élevée des avions.

La deuxième édition (1988) de l'annexe 16 des normes pour la protection de l'environnement, publiée par l'OACI, donne à la fois l'historique et l'état actuel de la réglementation. L'Annexe 16 a été adoptée en 1971, suite aux travaux préparatoires de 1966 (Londres), 1967 (Montréal), 1968 (Buenos Aires). Cette réglementation est en évolution constante, quant à la précision des méthodes, ou l'introduction de nouvelles normes concernant par exemple les avions à hélices d'une masse maximale de 9000 kg.

Les niveaux maximaux de bruit des avions sont fixés pour les avions du Chapitre 2 (demande de certificat pour le prototype acceptée avant le 6.10.1977) :

- de 108 EPNdB pour une masse maxi de 272 t
- à 102 EPNdB pour une masse de 34 t, mesurés au point de mesure latérale et à l'approche.

Les niveaux maximaux pour les avions du Chapitre 3 (certifiés depuis le 6.10.1974) sont plus sévères :

- au point de mesure latéral : de 103 EPNdB si la masse est ≥ 400 tonnes, à 94 EPNdB si la masse est ≥ 35 tonnes ;
- au point de survol au décollage : de 101 à 89 EPNdB pour les avions mono- et bimoteurs ; de 104 EPNdB pour les trimoteurs à 106 EPNdB pour les quadrimoteurs.

AIRCRAFT NOISE EMISSION REGULATIONS

The first step in protecting against noise pollution is reducing noise emissions, which, in the case of aircraft, involves regulations like those for automobiles, though such regulations evolve more slowly because of the long life span of aircraft.

The second edition (1988) of ICAO Annex 16, which lays down noise standards for the protection of the environment, gives both the history and present status of the regulation. Annex 16 was adopted in 1971 following preparatory work done in 1966 (London), 1967 (Montreal), and 1968 (Buenos Aires). This regulation is constantly changing as the accuracy of the evaluation methods improves and new standards, for example, those applying to propeller-driven aircraft not exceeding 9,000 kg, are introduced.

The maximum noise levels for Chapter 2 aircraft (application for certification of airworthiness for the prototype accepted before 6.10.1974):

- *at lateral and approach noise measurement points: from 108 EPNdB for aircraft with a maximum takeoff weight of 272 tonnes or over down to 102 EPNdB at 34 tonnes.*

The maximum levels for Chapter 3 aircraft (certification granted since 6.10.1974) are lower:

- *at lateral and approach noise measurement points: from 103 EPNdB for aircraft of 400 tonnes and over down to 94 EPNdB for aircraft of 35 tonnes;*

- *at the flyover measurement point: from 101 to 89 EPNdB for single- and twin-engine aircraft; from 104 EPNdB for three-engine aircraft to 106 EPNdB for four-engine aircraft.*

EPNdB is the unit of measure for EPNL, the

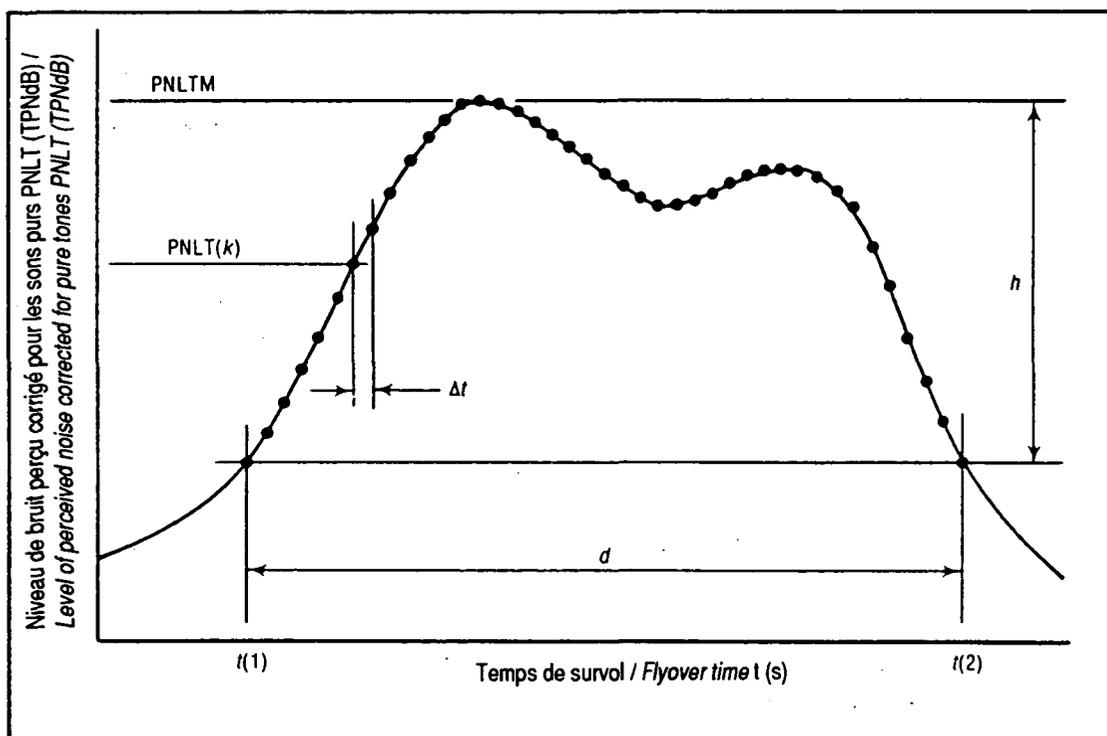
L'unité EPNdB sert à mesurer l'EPNL, qui est le niveau effectif de bruit perçu et choisi pour représenter l'expression numérique des effets subjectifs du bruit des avions sur l'être humain. Il faut mesurer trois propriétés physiques de la pression acoustique : le niveau, la distribution des fréquences et les variations dans le temps. Il est nécessaire de mesurer les niveaux dans chacune des 24 bandes de tiers d'octave du bruit, pour chaque intervalle de 0,5 sec., lors du passage de l'avion. La méthode complète est décrite dans l'appendice 1 de l'Annexe 16 OACI, en dix pages très denses.

On retiendra qu'il faut effectuer une correction de spectre et une correction de durée. Par convention, les valeurs t et Δt de la durée d sont de 0,5 et 10 secondes (cf. figure 1).

effective perceived noise level, which is used to give quantitative expression to the subjective effects of aircraft noise on humans. Three physical properties of sound must be measured: the level, the frequency range, and the variations over time. This requires measuring the levels in each of 24 one-third octave bands for each 0.5-second interval during the passage of an aircraft. The description of the complete method fills ten very dense pages in Appendix 1 of ICAO Annex 16.

It will be noted that a spectrum correction and a duration correction must be made. By convention, the values of t and Δt of the duration d are 0.5 and 10 seconds (see Figure 1).

Figure 1
Exemple de variation du niveau de bruit perçu corrigé pour les sons purs en fonction du temps de survol de l'avion
Example of the variation in the perceived noise level corrected for pure tones as a function of the duration of the flyover



L'adoption des limites et leur application effective a donné lieu à un calendrier assez étalé et chaque autorité s'est prononcée sur ces normes, que ce soit les pays membres de l'OACI, la CEE ou la CEAC (Commission Européenne de l'Aviation Civile). La France, membre de l'OACI et de la CEE, applique les directives (voir Encadré).

The timetable for the adoption and actual application of the limits is quite long, and each authority, including the Member States of the ICAO, the EEC, and the ECAC (European Civil Aviation Conference), has stated its position on the standards. France, which is a member of the ICAO and the EEC, is implementing the directives (see box).

OACI	CEE (Conseil)
1971 Adoption des normes acoustiques de certification.	1979 Obligation aux pays membres d'adopter les normes OACI.
1973 Amendement concernant les avions subsoniques à réaction, selon le poids.	Adoption de la restriction de l'usage d'avions non certifiés (après la CEAC).
1975 Second amendement. Application à tous les avions à réaction indépendamment de leur poids.	1983 Directive. Intégration des amendements OACI (1981) + interdiction des avions non certifiés. Délai de grâce au 31.12.1989.
1978 Prise en compte du nombre de moteurs.	Non adopté par la CEE.
1981 Distinction entre l'émission des moteurs d'avions et la protection de l'environnement.	1988 Proposition. Nouvelle restriction au 1.11.1990.
1981 Introduction des hélicoptères dans le champ des limitations du bruit.	
1988 Introduction d'un chapitre sur les petits avions à hélices (masse < 9000 kg).	

ICAO	EEC (Council)
1971 Adoption of acoustical standards for certification.	1979 Member States are obliged to adopt the ICAO Standards.
1973 Amendment concerning subsonic jet aircraft, establishing standards according to weight.	Adoption of the restriction on the use of non-certificated aircraft (following the ECAC).
1975 Second amendment. Application to all jet aircraft regardless of their weight.	1983 Directive. Integration of the ICAO amendments (1981) + the prohibition of non-certificated aircraft. Grace period expiring 31.12.1989.
1978 Number of engines is taken into account.	Not adopted by EEC.
1981 Distinction between aircraft engine emissions and protection of the environment.	1988 Proposal. New restriction on 1.11.1990.
1981 Noise restrictions are extended to helicopters.	
1988 Inclusion of a chapter on small, propeller-driven aircraft (weight < 9000 kg).	

Les effets économiques de la certification, de plus en plus sévères, préoccupent déjà certaines compagnies d'Afrique et d'Amérique latine qui ne peuvent investir dans des avions du Chapitre 2 et qui ne peuvent pas non plus acheter des systèmes de silencieux pour les avions du Chapitre 3 (non certifiés). Selon Bonneau⁽²⁾ «*les nouvelles normes de bruit risquent d'entraîner la cessation de certaines activités, voire la disparition des compagnies aériennes incapables financièrement d'acquérir des avions passant les normes*». On se demande alors par qui et comment seront assurés les services qu'elles effectuaient ? Plus directe est la demande de l'IATA de repousser *sine die* l'application des normes sur le bruit.

INDICES D'EXPOSITION AU BRUIT AU VOISINAGE DES AÉROPORTS

Parallèlement aux efforts techniques pour réduire le bruit des aéronefs, c'est-à-dire le bruit à la source, les pouvoirs publics ont conçu un zonage acoustique autour des aéroports. Dès 1962, les Britanniques ont travaillé cette question et proposé un indice acoustique utilisable pour la délimitation des différentes zones et qui montre une bonne liaison avec la gêne des populations riveraines. L'indice NNI (*Noise and Number Index*) considère le bruit de crête des passages d'avions et leur nombre. Il s'écrit :

$$\text{NNI} = 10 \log \left\{ \sum (1/M) [10^{L_{\text{PNI}}/10}] \right\} + 15 \log N - 80$$

où L_{PNI} est le niveau de bruit maximal perçu lors du passage d'un avion i et N est le nombre total de passages pendant la période d'évaluation (période de jour de 12 heures dans certains États, de 24 heures dans d'autres). Dans certains États qui utilisent cet indice, N est limité au nombre de passages pour lesquels la valeur de L_{PNI} dépasse un certain seuil.

En France on utilise l'indice psychologique IP d'exposition au bruit lors d'une journée moyenne ;

$$\text{IP} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{LD_i/10} + 10 \sum_{j=1}^p 10^{LN_j/10} \right] - 32$$

où LD_i est le niveau maximal en PNdB du bruit perçu au passage du i ème avion pendant la

The economic effects of increasingly strict certification standards are already worrying African and Latin American air carriers that cannot afford to invest in Chapter 3 aircraft or to buy hushkitting systems for their Chapter 2 aircraft. According to Bonneau⁽²⁾, "the new noise standards may well lead to the suspension of some services and even to the disappearance of airlines that are financially unable to acquire aircraft that meet the standards." If that is true, one must then ask how and by whom the services they were offering will be operated in the future. IATA has addressed this issue directly by requesting that enforcement of the noise standards be postponed sine die.

NOISE EXPOSURE INDICES FOR AIRPORT ENVIRONMENTS

Along with the search to find technological means to reduce aircraft noise—i.e., the noise at the source—have come efforts by public authorities to develop systems of acoustical zoning around airports. The British have been working on this problem since 1962 and have proposed a noise exposure index which shows good correlation with the annoyance experienced by inhabitants of the airport area and which can be used to define the boundaries of acoustical zones. The NNI (Noise and Number Index) takes into consideration the peak noise of passing aircraft and the number of passages. It is written:

$$\text{NNI} = 10 \log \left\{ \sum (1/M) [10^{L_{\text{PNI}}/10}] \right\} + 15 \log N - 80$$

where L_{PNI} is the maximum perceived noise level during the passage of an aircraft i and N is the total number of passages during the measurement period (a daytime period of 12 hours in some countries and 24 hours in others). Some countries using this index limit N to the number of passages for which the value of L_{PNI} exceeds a certain threshold.

In France, noise exposure during an average day is given by the psychologic index:

$$\text{IP} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{LD_i/10} + 10 \sum_{j=1}^p 10^{LN_j/10} \right] - 32$$

période de jour (entre 6 heures et 22 heures (jour), LN_i le niveau maximal au passage du j ème avion pendant la période de nuit (entre 22 heures et 6 heures), n et p le nombre de mouvements respectivement de jour et de nuit. Le trafic de nuit étant considéré comme dix fois plus gênant que celui de jour, il est pondéré par un facteur 10.

D'autres indices intègrent la mesure de l'énergie acoustique pendant une durée déterminée de la journée, tel LDN ou les indices dérivés du Leq , comme en Autriche ou en Allemagne.

La détermination, par le calcul, de IP suppose de connaître :

- le trafic en nombre de mouvements et par type d'appareil,
- les niveaux de bruit des avions à la source,
- les trajectoires,
- les lois de propagation du son dans l'air.

Les publications de l'OACI (1988) et du STNA (Service Technique de la Navigation Aérienne français (1987) donnent les détails des méthodes de calcul. Les formules permettent aussi d'effectuer des projections en fonction de diverses hypothèses techniques ou économiques. En France, les opérations de construction d'habitations ou autres bâtiments sont déterminées par zone :

- la zone A : $IP \geq 96$
- la zone B : $89 \leq IP < 96$
- la zone C : $84 \leq IP < 89$
- la zone D : $IP < 84$

La destination de ces zones est précisée par des textes (lois, décrets, circulaires) rappelés dans la circulaire du 19 janvier 1988, que l'on reprendra plus loin.

Dans les différents pays où le bruit des avions et des aéroports donne lieu à des politiques de protection de l'environnement, on comprend à partir de ce qui vient d'être examiné qu'il existe à la fois des descripteurs de bruit, utilisés pour caractériser le bruit émis par un seul avion, et

where LD_i is the maximum perceived noise level in PNdB of an aircraft i during the day period (between 6 a.m. and 10 p.m.) and LN_j the maximum noise of an aircraft j during the night period (between 10 p.m. and 6 a.m.); n and p are the number of aircraft movements respectively during the day and the night periods. Since nighttime traffic is considered to be ten times as disturbing as daytime traffic, it is weighted by a factor of 10.

Other indices integrate a measure of acoustical energy for a specific period during the day. These include the DNL and the indices derived from the L_{eq} that are used in Austria and Germany.

Calculating the psophic index assumes a knowledge of:

- the traffic in terms of the number of aircraft movements and type of aircraft;
- the noise levels of the aircraft at the source;
- the flight paths;
- the laws of sound propagation in the atmosphere.

Publications of the ICAO (1988) and of the STNA (Service Technique de la Navigation Aérienne Français; 1987) give details of the method of calculation. The formulas can also be used to make projections according to various technical and economic hypotheses. Where residential housing and other buildings may be constructed is determined by zone:

- zone A : $IP \geq 96$
- zone B : $89 \leq IP < 96$
- zone C : $84 \leq IP < 89$
- zone D : $IP < 84$

The type of construction allowed in each zone is set forth in various laws, decrees, and circulaires, all of which are cited in the circulaire of 19 January 1988, to which we will return later.

In countries where aircraft and airport noise has given rise to environmental protection policies, there are, as we have seen, both noise standards to evaluate the noise emitted

des indices d'exposition au bruit produit par tous les mouvements d'avions autour de l'aéroport. A cette première série de données relevant de la physique acoustique s'ajoute une seconde série de connaissances concernant les effets des bruits d'avions sur l'homme et la société. La question que se posent tous les gestionnaires du bruit des aéroports est la correspondance entre les indices acoustiques et les effets du bruit sur l'homme. On présente ci-dessous les indices utilisés dans différents pays. Il existe deux catégories de descripteurs :

1) ceux qui ne retiennent que le niveau maximum de bruit produit au cours du passage de l'avion dans AL_{max} en dB(A), quelquefois DL_{max} en dB(D), PNL_{max} en PNdB. On accepte les approximations par les relations

$$PNL = DL + 7 \text{ ou } PNL = AL + 12$$

et $TPNdB$ (le niveau de bruit perçu corrigé pour les sons purs $TPNL$ est calculé à partir de PNL avec des corrections pour tenir compte des irrégularités spectrales qui se produisent à un instant donné) ;

2) ceux qui intègrent aussi la durée de l'événement «survol de l'avion», fondés sur une mesure d'énergie acoustique, dont L_{AE} le niveau d'exposition au bruit (ou $SEL = \text{Sound Exposure Level}$) en dB(A) et $EPNL$ (niveau effectif de bruit perçu, s'établit à partir de PNL et $TPNL$ avec des corrections pour la durée du survol) en $EPNdB$. Ce $EPNL$ est aussi utilisé pour la certification acoustique des avions.

Quant aux indices d'exposition au bruit des avions utilisés dans divers pays, nous en citons quelques-uns dans le tableau 1, en mentionnant aussi le descripteur utilisé pour le calcul de l'indice, la période d'exposition considérée si différente de 24 heures et les pondérations éventuelles pour la soirée et la nuit. Certains indices (DNL , $CNEL$, Q , etc.), sont fondés directement ou indirectement sur le niveau sonore équivalent Leq (niveau du bruit constant et continu de même contenu énergétique que l'ensemble des bruits fluctuants pendant la période

by a single aircraft and noise exposure indices to measure the noise produced by all the aircraft movements at an airport. In addition to this first set of data relating to the physical characteristics of noise there is a second set of data concerning the effects of aircraft noise on individuals and the community. The question that everyone involved in controlling airport noise must ask is what the relationship is between noise indices and the effects of noise on human beings. Presented below are the indices used in various countries. There are two categories of sound level indices:

1) those which consider only the maximum level of noise produced during the passage of the aircraft, such as the A-weighted L_{max} in dB(A), the D-weighted L_{max} in dB(D), and the PNL_{max} in PNdB. Approximations using the relationships

$$PNL = DL + 7 \text{ or } PNL = AL + 12$$

are accepted, and $PNLT$ (the noise level for pure tones in $TPNdB$) is calculated using PNL , corrected to allow for spectral irregularities occurring at a given moment;

2) and those which also integrate the duration of the flyover based on a measure of acoustical energy, including the L_{AE} (or SEL , the Sound Exposure Level) in dB(A), and $EPNL$ (Effective Perceived Noise Level, which is determined using PNL and $TPNL$ with correction for the duration of the flyover) and expressed in $EPNdB$. The $EPNL$ is also used for the acoustical certification of aircraft.

We have listed some of the aircraft noise exposure indices used in the various countries in Table 1, indicating the sound level index used to calculate the noise exposure index, the period of exposure if other than 24 hours, and the weighting for daytime and nighttime operations in the cases where this is done. These indices (DNL , $CNEL$, Q , etc.) are based either directly or indirectly on the equivalent noise level, L_{eq} (a constant and continuous noise level with the same continuous energy as the totality of fluctuating noises during the

Tableau 1 / Table 1
Indices d'exposition au bruit des avions de plusieurs pays
Aircraft noise exposure indices in several countries

Les descripteurs ALmax en dB(A) et PNLmax en PNdB donnent le niveau maximum du bruit perçu au cours du passage de l'avion, alors que les descripteurs SEL en dB(A) et EPNL en EPNdB intègrent aussi la durée de ce passage. Sont également indiquées la valeur de n placé devant logN (N représente généralement le nombre moyen de passages d'avions par jour, calculé de manière variable selon les pays), ainsi que les pondérations éventuelles (nombre de décibels que l'on ajoute aux valeurs mesurées ou calculées) pour la soirée et la nuit. / *The noise ratings ALmax in dB(A) and PNLmax in PNdB give the maximum perceived noise level during the passage of an aircraft, while the ratings SEL in dB(A) and EPNL in EPNdB also take into account the duration of the passage. Also indicated are the values of n placed before logN (N generally represents the average number of aircraft passages per day, calculated in various ways depending on the country), as well as the weightings (the number of decibels added to the measured or calculated values) for evening and nighttime.*

ANEF = Australian Noise Exposure Forecast

Q = Störindex

DNL = Day-Night Sound Level

DENL = Day-Evening-Night Sound Level = EFN = EBN

CNEL = Community Noise Equivalent Level

WECPNL = Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level

lp = Indice psophique

B = Total Noise Load

NNI = Noise and Number Index

Etat State	Indice Index	Descripteur Noise rating	nlogN n	Pondération de soirée et nuit Weighting for evening and night	
				Soirée (19-22 h) Evening (19-22h) dB	Nuit (22-07 h) Night (22-07h) dB
Australia	ANEF	EPNL	10	+6	+6
Austria	Q	ALmax	13.3	0	+10 a
California	CNEL	SEL	10	+4.8	+10
Denmark	DNEL	SEL	10	+5	+10
Finland	WECPNL	EPNL	10	+5	+10
France	lp	PNLmax	10	0	+10 a
Italy	WECPNL	EPNL	10	0	+10
Japan	WECPNL	ALmax	10	+4.8	+10
Norway	EFN	SEL	10	+5	+10
Netherlands	B	ALmax	20	voir/see b	voir/see b
Germany	Q	ALmax	13.3	0	+9.3 a, c
United Kingdom	NNI	PNLmax	15	voir/see d	voir/see d
Switzerland	NNI	PNLmax	15	voir/see e	voir/see e
Sweden	FBN	SEL	10	+5	+10
USA	DNL	SEL	10	0	+10

Source : M. House (voir éléments bibliographiques / *Supplemental Bibliography*, p. 37).

- a. Dans ces pays, la période de nuit va de 22 h à 06 h.
In these countries, the nighttime period is 22 to 06 h.
- b. Dans ce cas, on tient compte de neuf périodes (avec diverses pondérations) par nyctémère (24 h).
In this case, nine periods (with various weightings) are analyzed over a 24-hour, daytime-nighttime period.
- c. Si Q de jour (06 h à 22 h) + 2,3 dB(A) est plus élevée, c'est cette dernière valeur qui est retenue.
- c) *If the daytime Q (06-22h) + 2.3 dB(A) is greater, then this is the value that is used.*
- d. La période d'exposition considérée pour le calcul de l'indice va de 06 h à 18 h.
The exposure period used to calculate the index is 06 to 18h.
- e. La période d'exposition considérée pour le calcul de l'indice va de 06 h à 22 h.
The exposure period used to calculate the index is 06 to 18h.

considérée) généralement en dB(A), d'autres sur la moyenne des valeurs maximales du descripteur et le nombre de survols N pendant la période donnée (le tout pondéré de façon différente selon les pays) comme c'est le cas de l'indice NNI utilisé en Suisse (et au Royaume-Uni) :

$$NNI = PNL_{max} - 80 + 15 \log N$$

où PNL_{max} représente la valeur moyenne des maxima de niveau de bruit perçu (PNL_{max}) de 6 à 22 h et N le nombre de mouvements d'aéronefs, pour lesquels PNL_{max} est supérieur à 80 PNdB, pendant une année de 6 à 22 h, divisé par 365. On peut, par ailleurs, établir des relations approximatives entre tous ces indices des divers pays.

LES EFFETS DU BRUIT DES AVIONS SUR LES POPULATIONS

◆ Effets sur le système auditif

Les bruits de forte intensité, à partir d'un niveau de 85 dB(A), selon leur nature et leur durée, peuvent provoquer chez les personnes exposées un déplacement temporaire (TTS), voire permanent (NIPTS), du seuil d'audibilité.

Des auteurs allemands suggèrent qu'il existerait un risque modéré de pertes auditives pour la population exposée aux vols à basse altitude d'avions militaires, car l'analyse acoustique à laquelle ils ont procédé laisse apparaître des niveaux de crête allant jusqu'à 125 dB, une concentration de l'énergie entre 1000 et 2000 Hz (rangée la plus sensible de l'oreille) et le caractère impulsif de ces bruits.

En résumé, on peut dire que les risques de pertes auditives dues au bruit de l'aviation commerciale civile chez les riverains d'aéroports ou les élèves d'écoles exposées à ce bruit (des programmes d'isolation phonique de ces écoles ont été conduits à maints endroits) sont actuellement très réduits.

period considered), generally expressed in dB(A); other indices take the median of the maximum perceived noise levels and the number of flyovers N during a given period (which is then weighted differently depending on the country). This is the case for the Noise and Number Index used in Switzerland and the United Kingdom, expressed by the equation:

$$NNI = PNL_{max} - 80 + 15 \log N$$

where PNL is the median value of the perceived noise level between 6h00 and 22h00 and N is the number of flights between 6h00 and 22h00 during a year for which PNL_{max} is higher than 80 PNdB divided by 365. It is possible, moreover, to establish approximate relationships among all the indices of the various countries.

EFFECTS OF AIRCRAFT NOISE ON THE COMMUNITY

◆ Effects on hearing

Noises of strong intensity in excess of 85 dB(A) can, depending on their nature and duration, produce a temporary (TTS) or even permanent (NIPTS) shift in the auditory threshold.

German authors suggest that there is a moderate risk of hearing loss for persons exposed to low-altitude flights of military aircraft, because acoustical analyses they have conducted indicate peak noise levels as high as 125 dB, concentrations of energy between 1,000 and 2,000 Hz (the ear's most sensitive range), and noise of an impulsive type.

It is safe to say, however, that commercial aircraft now pose only a very small risk of hearing loss for people living near an airport or for students in schools exposed to such noise (in many places, schools have been provided with noise insulation).

◆ **Effets sur l'intelligibilité de la parole ou sur un signal sonore utile**

L'effet de masque du bruit des avions sur la parole (ou sur un signal sonore utile) est l'une des causes majeures de la gêne qu'on attribue à cette nuisance. En effet, la perturbation d'activités de loisir telles que l'écoute de la radio/télévision, de la musique et de la conversation, entraîne frustration et irritation. De plus, la qualité de la communication orale est extrêmement importante à l'école, dans les bureaux, en milieu industriel et aussi à l'intérieur des cabines de pilotage des avions.

Plusieurs méthodes ont donc été développées pour évaluer l'intelligibilité de la parole en présence de bruits déterminés. Les plus importantes sont : l'Articulation Index «AI» (méthode la plus précise, tenant compte des fréquences de 250 à 7000 Hz, divisées en 20 bandes), le Speech Interference Level «SIL» (on prend généralement la moyenne arithmétique des niveaux sonores des quatre bandes d'octaves centrées à 500, 1000, 2000 et 4000 Hz) et l'échelle en dB(A) qui est la plus simple. En présence d'un bruit ambiant de niveau sonore élevé, on a tendance à parler plus fort (ce qui entraîne une augmentation de la proportion des fréquences élevées qui interviennent dans l'intelligibilité de la parole) mais cet ajustement automatique de la sonorité vocale devient rapidement insuffisant.

La figure 2 indique l'effort vocal à fournir, en plein air (ou en conditions de «champ libre»), en fonction de la distance du parleur à l'auditeur et du niveau (constant) du bruit ambiant, ainsi que la qualité de la communication orale (facile, difficile ou impossible). On peut donner l'intelligibilité des phrases, pour une voix normale, à l'intérieur d'un local fermé (type salon ou chambre à coucher), en fonction d'un bruit permanent de niveau constant, valable pour une distance de plus d'un mètre entre le parleur et l'auditeur. Toutes autres conditions étant égales, on obtient un meilleur pourcentage d'intelligibilité avec des phrases qu'avec des

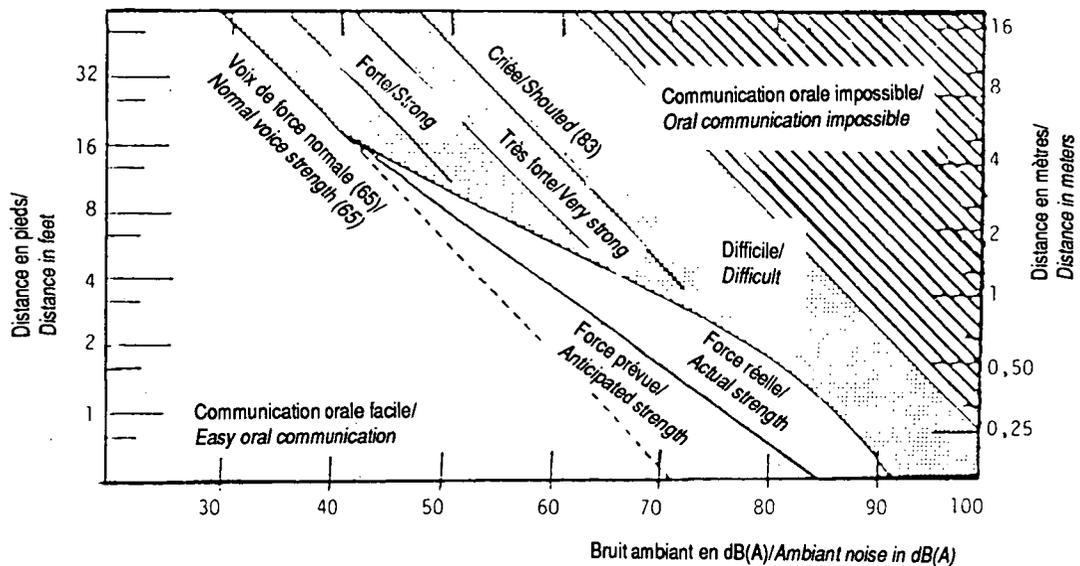
◆ **Effects on the intelligibility of speech or of a meaningful audio signal**

Interference with speech (or a meaningful audio signal) is one of the major disturbances attributed to aircraft noise. Indeed, interference with leisure activities, such as conversation or listening to the radio, television, or music, leads to frustration and irritation. Moreover, oral communication is extremely important in school, in the office, or in the factory, as well as in the cockpit of aircraft.

Several methods have therefore been developed to measure the intelligibility of speech in the presence of specific noises. The most important are: the Articulation Index "AI" (the most precise method, which analyzes frequencies from 250 to 7,000 Hz, divided into twenty bands), the Speech Interference Level "SIL" (which generally takes the arithmetical average of the sound levels of four octave bands centered on 500, 1 000, 2 000, and 4 000 Hz), and the dB(A) scale, which is the simplest. When the ambient noise level is high, a person tends to speak louder, meaning that there is a larger proportion of high frequencies in his speech. However, this automatic adjustment of the speaking volume quickly becomes inadequate to compensate for the interference.

Figure 2 shows the vocal effort that must be supplied outdoors (or in "open field" conditions) in relation to the distance between the speaker and the listener and to a constant level of ambient noise, as well as to the quality of the oral communication (easy, difficult, or impossible). Speech intelligibility can be expressed for a normal voice in a closed area (such as a living room or bedroom) in relation to a continual noise of constant intensity for distances of more than one meter between speaker and listener. Under equivalent conditions, the intelligibility percentage is higher for phrases than for isolated known words (because of the redundancy of

Figure 2
Effort vocal à fournir pour une communication acceptable
Vocal effort needed for acceptable oral communication



Source : Rabinowitz.

*en plein air, en fonction de la distance parleur-auditeur et du niveau de bruit ambiant. / outdoors as a function of the distance between speaker and listener a constant level of ambient noise in dB(A).

mots connus isolés (à cause de la redondance du langage), et avec des mots connus isolés qu'avec des logatomes (mots polysyllabiques dépourvus de sens).

On dispose aussi des droites de régression donnant le pourcentage de mots polysyllabiques (tests d'intelligibilité) ou de logatomes (test d'articulation) justes en fonction du niveau Leq en dB(A) de trois types de bruits (musique, avions, circulation routière) émis séparément pendant la dictée de ces mots ou logatomes, chez une centaine d'élèves d'un cycle d'orientation (13 à 16 ans). Le bruit des avions est plus masquant, dans ce cas, que celui de la circulation routière.

◆ Effets sur le sommeil

La perturbation du sommeil par les stressseurs environnementaux, le bruit en particulier, touche de plus en plus de personnes et devient un problème majeur.

language) and for isolated known words than for logatoms (meaningless polysyllables).

There are also linear regressions of the percentages of recognized polysyllables (intelligibility tests) and of logatoms (articulation tests) as a function of Leq in dB(A) for three types of noise (music, aircraft, road traffic) emitted separately during the dictation of these words or logatoms. The tests were performed on a group of some one hundred students (aged 13 to 16), and they show that aircraft noise causes more interference than road traffic noise.

◆ Effects on sleep

Sleep disturbance caused by stress-producing agents in the environment, and in particular noise, is a problem for increasing numbers of people.

Le sommeil comporte normalement une succession de cycles composés chacun de plusieurs stades : stades I et II (sommeil léger, la détente musculaire n'est pas encore parfaite), stades III et IV (sommeil profond, activité corticale plus lente que pour les stades I et II) suivis, après un bref retour au stade II, du sommeil paradoxal (période de rêve caractérisée par des ondes EEG rapides et des mouvements des yeux), ce dernier réapparaissant toutes les 90 minutes environ (durée d'un cycle) à tous les âges. A chaque cycle successif, la durée du sommeil paradoxal va en augmentant, celle du sommeil profond (stades III et IV) en diminuant. Au cours d'une nuit de sommeil normal non perturbé, se produisent aussi des éveils spontanés dont le nombre et la durée croissent très nettement avec l'âge. De plus, on observe que la durée du sommeil profond diminue progressivement avec l'âge, avec souvent disparition complète du stade IV.

Les effets du bruit sur le sommeil peuvent être classés en trois catégories :

a) les effets directs observés pendant le sommeil comportant des altérations à court ou à long terme de l'électro-encéphalogramme (réveils, réactions 0 : c'est-à-dire des réactions transitoires sans changement de stade), des mouvements corporels ainsi que des réactions (cardiovasculaires et autres) du système nerveux autonome ;

b) la diminution de la durée totale du sommeil profond ou du sommeil paradoxal, etc. ;

c) les post-effets observés le lendemain se traduisant par des détériorations de la performance, de l'humeur et du jugement subjectif quant à la qualité du sommeil nocturne.

Les stades I et II (sommeil léger) sont les plus sensibles au bruit avec des seuils d'éveil de l'ordre de 35 à 50 dB(A), suivis du sommeil paradoxal dont le seuil est plus élevé sauf si le stimulus sonore a une signification, et finalement des stades III et IV (sommeil profond), les moins sensibles au bruit avec un seuil d'éveil de l'ordre de 50 à 80 dB(A). Le sommeil des personnes âgées sera donc plus perturbé par le bruit

Sleep is normally made up of a series of cycles, each of which is composed of several stages: stages I and II (light sleep, muscles are not yet fully relaxed), stages III and IV (deep sleep, cortical activity is slower than in stages I and II), followed, after a brief return to stage II, by paradoxical sleep (a dream stage characterized by fast EEG waves and rapid eye movement). This last stage reoccurs approximately every 90 minutes (the duration of a cycle) at all ages. In each successive cycle, the duration of paradoxical sleep increases, while that of deep sleep (stages III and IV) decreases. During a night of normal, undisturbed sleep, there are periods of spontaneous wakefulness whose number and duration increase greatly with age. Also, the duration of deep sleep diminishes progressively with age, with stage IV often disappearing completely.

The effects of noise on sleep fall into three categories:

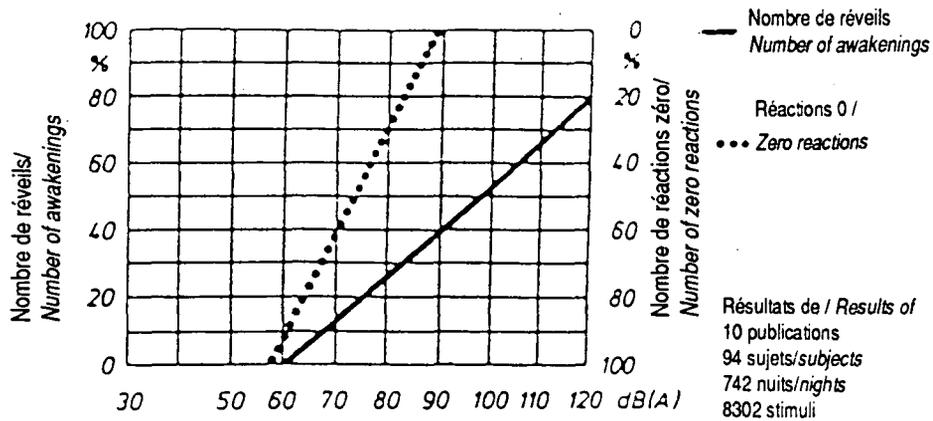
a) direct effects observed during sleep, including short- or long-term alteration of EEG (awakenings, zero reactions: that is, transient reactions with no stage change), body movements and reactions of the autonomic nervous system (cardiovascular and others);

b) a decrease in the total duration of deep sleep or profound sleep, etc.;

c) the aftereffects on the following day, which include poorer performance, mood change, and the individual's subjective judgment with respect to the quality of sleep during the night.

Stages I and II (light sleep) are the most sensitive to noise, with arousal thresholds of about 35 to 50 dB(A), followed by paradoxical sleep, for which the threshold is higher unless the sound stimulus is meaningful, and finally stages III and IV (deep sleep), where sensitivity to noise is the lowest, with an arousal threshold of about 50 to 80 dB(A). The sleep of older persons will thus be more

Figure 3
Pourcentage respectivement de réveils et de réactions 0 dus au bruit exprimé en dB(A)
Percentage of awakenings and zero reactions due to noise expressed in dB(A)



Réactions 0 : réactions mineures sans changement de stade du sommeil/
 Zero reactions: minor reactions with no change of sleep stage

Source : B. Griefahn.

que celui des jeunes adultes ou des enfants. Les recherches ont aussi montré que les réveils dus au bruit sont plus fréquents au cours du sommeil léger (stades I et II) qu'au cours du sommeil profond (III et IV) et que le sommeil paradoxal donne lieu à plus de réactions 0 que les autres stades (I à IV).

La figure 3 résultant d'une synthèse de dix publications, donne le nombre respectivement de réveils et de réactions 0, en fonction du niveau de bruit en dB(A).

La figure 4, établie à partir des données d'un grand nombre d'études en laboratoire, indique le pourcentage respectivement de réveils et de réactions avec changement de stade, en fonction du niveau de crête du bruit en dB(A).

Quant aux réactions végétatives, elles apparaissent à l'état de sommeil à des niveaux de bruit plus bas qu'à l'état de veille. Dans des études en laboratoire, on constate que si la gêne subjective et les variations EEG semblent disparaître au bout de 2-3 nuits de sommeil perturbé par le bruit, les réponses cardio-vasculaires et vasomotrices persistent même au bout de 15

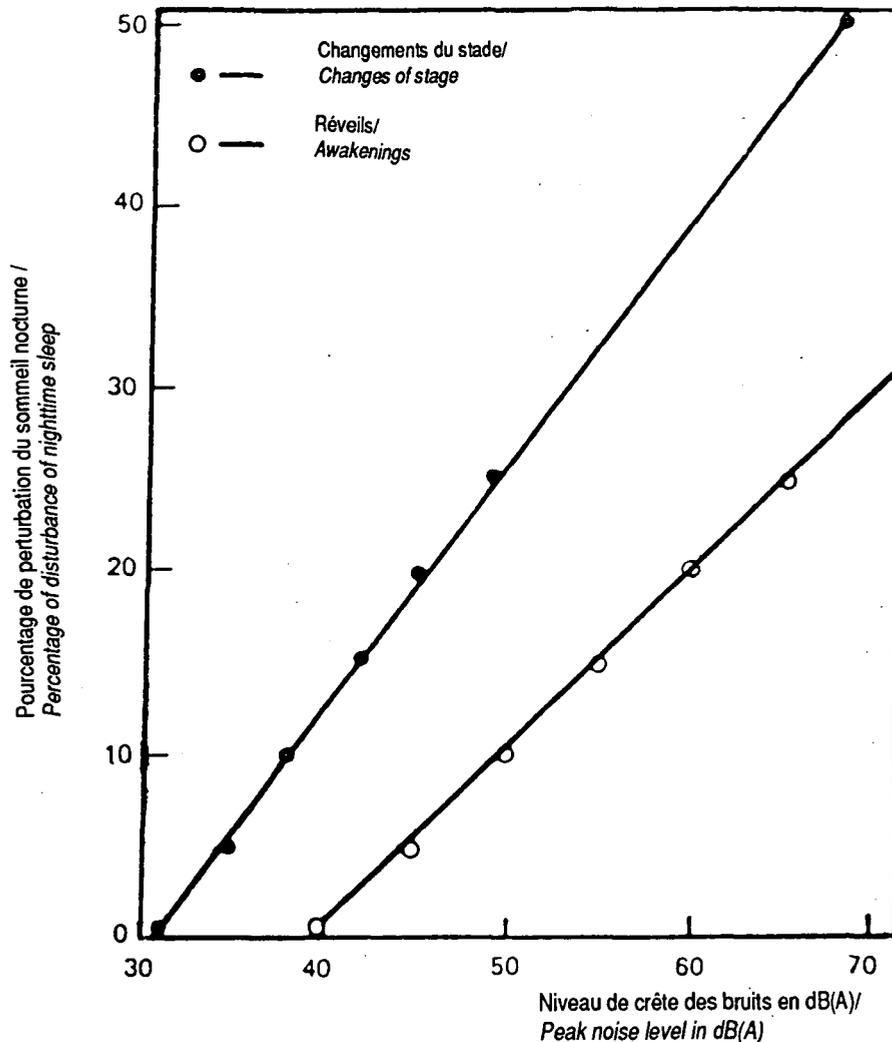
susceptible to noise disturbance than that of young adults or children. Research has also shown that awakenings caused by noise are more frequent during light sleep (stages I and II) than during deep sleep (stages III and IV) and that, in paradoxical sleep, zero reaction is more prevalent than in stages I to IV.

Figure 3, which is a synthesis of ten publications, gives the respective number of awakenings and zero reactions as a function of the noise level in dB(A).

Figure 4, which is based on data from a large number of laboratory studies, indicates the percentages of awakenings and stage changes as a function of peak noise level in dB(A).

Reactions in basic physiological functions occur at lower noise levels in the state of sleep than they do in the state of wakefulness. It has been observed in laboratory studies that, although subjective disturbance and EEG variations seem to disappear after two or three

Figure 4
**Pourcentage respectivement de réveils et de changements du stade du sommeil
 en fonction du niveau de crête en dB(A) des bruits**
 (moyennes des résultats de nombreuses études en laboratoire)
*Percentage of awakenings and sleep stage changes
 as a function of peak noise level in dB(A)*
 (averages of the results of numerous laboratory studies)



Source : M. Vallet

nuits de sommeil perturbé par cette nuisance. Ces effets végétatifs pendant le sommeil surviennent à partir d'environ 50 dB(A) chez les enfants, 55 dB(A) chez les personnes âgées et 60 dB(A) chez les jeunes adultes, la réactivité cardiaque étant plus forte chez les enfants que chez les personnes âgées.

nights of exposure to a noise stimulus, cardiac and vasomotor responses persist even after 15 nights of disturbed sleep. These basic physiological responses during sleep begin to occur at a level of about 50 dB(A) for children, 55 dB(A) for old people, and 60 dB(A) for young adults.

Chez les dormeurs à domicile, il n'y a qu'une habitude partielle au bruit en ce qui concerne les variations des paramètres physiologiques (EEG, etc.) qui définissent les divers stades de sommeil, et une adaptation encore moindre en ce qui concerne la réactivité cardiaque. Il semblerait aussi que le seuil d'éveil au bruit des avions soit plus bas à domicile qu'en laboratoire. La diminution de la durée du sommeil profond sous l'effet du bruit se manifeste généralement chez les jeunes, alors que chez les personnes âgées, c'est plutôt la durée du sommeil paradoxal qui décroît. On pense que le sommeil profond sert à la restauration métabolique de l'organisme, tandis que le sommeil paradoxal serait nécessaire à la réparation, la réorganisation et la formation de nouvelles connexions dans le cortex cérébral (engrammation de l'information récente).

Comme le sommeil devient de plus en plus léger en cours de nuit, et qu'en même temps l'acuité auditive s'améliore, on note, en laboratoire également, que des stimulations sonores appliquées d'une façon aléatoire au cours de la nuit, provoquent chez les dormeurs davantage de réveils et de changements de stades dans la dernière partie de la nuit que dans la première. Cela justifierait l'interdiction imposée aux avions de décoller ou d'atterrir entre 24 et 05-06h, la période la plus sensible étant probablement de 02-03 à 06-07 h. Mais n'oublions pas qu'entre 21 et 24 h, le bruit peut aussi empêcher ou retarder l'endormissement.

Bien que l'on n'ait pas pu encore établir une relation mathématique (dose-effet) pour prédire les perturbations du sommeil par le bruit (une des raisons serait que le cerveau est capable d'intégrer la signification des divers stimuli sonores même pendant le sommeil et de réagir en conséquence), les études mentionnées suggèrent que le bruit ne devrait pas dépasser un niveau sonore équivalent L_{eq} de 35 dB(A) à l'intérieur des chambres à coucher, avec des niveaux de crête inférieurs à 50 dB(A), si l'on désire préserver la qualité du sommeil. De plus, certains auteurs pensent que l'émergence des crêtes par rapport au bruit de fond pourrait

When subjects sleep at home, there is only partial habituation to the noise with respect to the physiological parameters (EEG, etc.) which characterize the various stages of sleep, and an even smaller degree of adaptation with respect to cardiac response. It would also appear that the arousal threshold for aircraft noise is lower at home than in the laboratory. For young people, it is generally the duration of deep sleep that is shortened by noise, while, for old people, it tends to be the duration of paradoxical sleep.

It is thought that deep sleep serves to restore the metabolic functions of the organism, while paradoxical sleep is necessary to repair, reorganize, and form new connections in the cerebral cortex (recording of recent information).

Laboratory studies have also shown that, since sleep becomes progressively lighter during the night while hearing becomes more acute, randomly-applied noise stimuli cause more awakenings and sleep stage changes in the later part of the night than the earlier part. This would suggest that aircraft should not be allowed to take off and land between 24h00 and 05-06h00, with the most critical period probably being from 02-03h00 to 06-07h00. It must not be forgotten, however, that noise occurring between 21h00 and 24h00 can also prevent or delay falling asleep.

Although no mathematical relationship (dose-effect) has yet been established to predict the degree of sleep disturbance caused by noise (one of the reasons being that the brain is capable of integrating the significance of diverse sound stimuli even during sleep and of reacting accordingly), the studies cited suggest that the level of noise should not exceed an L_{eq} of 35 dB(A) in the bedroom with peak levels below 50 dB(A) in order to maintain satisfactory sleep quality. In addition, some authors think that the relationship of noise peaks to background noise may have some significance in this context. Others

revêtir une certaine importance dans ce contexte. D'autres suggèrent qu'une forte charge de bruit diurne se répercuterait (post-effets) sur le sommeil nocturne, même non perturbé, subséquent.

◆ **Autres effets non-auditifs du bruit des avions**

• *Effets végétatifs et sur la santé*

Des études concernant les effets de stimuli sonores sur diverses réactions végétatives (rythmes cardiaque et respiratoire, vasomotricité périphérique, température cutanée, péristaltisme des organes digestifs, activité bioélectrique du cerveau, etc.) ont été effectuées surtout en laboratoire, mais aussi auprès de riverains d'aéroports. Ces effets se manifestent à partir de 70-75 dB(A) à l'état de veille et de 45 à 50 dB(A) à l'état de sommeil, et leur amplitude (accélération du rythme cardiaque, vasoconstriction des vaisseaux périphériques, etc.) croît avec l'élévation du niveau du bruit. Ces réactions sont plus faibles chez les personnes âgées que chez les jeunes ; elles se produisent à des seuils plus bas chez les malades hospitalisés que chez les personnes en bonne santé. Quant aux personnes très sensibles au bruit, on observe chez elles une plus grande fréquence des réactions végétatives au bruit (mesurées par les modifications du rythme cardiaque) que chez les individus peu sensibles ; par contre, l'amplitude de la réponse est similaire chez ces deux groupes. Rappelons qu'il n'y a pas d'habituation à ces réactions cardio-vasculaires et vasomotrices provoquées par le bruit et qu'elles se manifestent même plus fortement chez les enfants que chez les adultes. Une étude réalisée à Los Angeles dans des écoles soumises au bruit des avions et dans des écoles calmes, ferait ressortir que la pression artérielle (systolique et diastolique) serait un peu plus élevée chez les élèves exposés au bruit que chez ceux qui ne le sont pas.

Des chercheurs ont aussi examiné les variations des concentrations sanguine, sérique ou

suggest that high levels of daytime noise have an effect on sleep during the following night, even if it is undisturbed.

◆ **Other non-auditory effects of aircraft noise**

• *Effects on physiological functions and health*

Studies on the effects of noise stimuli on various physiological responses (heart and breathing rates, peripheral vasoconstriction, skin temperature, peristalsis of the digestive organs, bioelectrical activity of the brain, etc.) have been conducted primarily in the laboratory, but some studies have also been done on populations living in the vicinity of an airport. These effects begin to appear at 70 to 75 dB(A) in the state of wakefulness and at 45 to 50 dB(A) in the state of sleep, and their amplitude (acceleration of the heart rate, peripheral vasoconstriction, etc.) increases as the level of noise rises. These responses are less pronounced in old people than in young people, and they occur at lower thresholds for hospital patients than for people in good health. As for people who are very sensitive to noise, they are observed to have more frequent physiological response to noise (as measured by changes in heart rate) than do individuals who are not very sensitive to noise; however, the amplitude of the response is similar for the two groups.

It will be recalled that there is no habituation to noise as far as these cardiovascular and vasomotor responses are concerned and that they are more intense in children than in adults. A study conducted in Los Angeles in schools subjected to aircraft noise and schools that were not indicated that students exposed to the noise had slightly higher blood pressure (systolic and diastolic) than those who were not.

Researchers have also investigated the

urinaire, sous l'effet du stress dû au bruit, de certains composants biochimiques tels que les catécholamines, le cortisol, l'ACTH, etc. Une étude récente sur 25 volontaires (âgés de 21 à 42 ans) soumis à un bruit d'avion atteignant rapidement un niveau maximal de 105 dB(A) persistant pendant trois secondes (supposé simuler le bruit produit par un avion militaire volant à basse altitude) a conduit dans tous les cas à une augmentation de la concentration sanguine en ACTH (dosages avant et immédiatement après l'exposition), du cholestérol total, et à une diminution de la concentration des triglycérides sériques.

On a cherché depuis longtemps à déterminer si, chez une population habitant dans une zone à niveau de bruit des avions élevé, comparée à une population résidant dans une zone relativement calme, on constatait une augmentation respectivement du taux d'admission dans les hôpitaux psychiatriques, du nombre de visites médicales, de la fréquence des maladies cardiovasculaires (et de l'hypertension) et de la consommation de divers types de médicaments.

Certains auteurs trouvent une augmentation du taux d'admission dans les hôpitaux psychiatriques et du nombre de visites médicales, alors que d'autres considèrent que les différences éventuellement constatées entre les deux populations ne sont pas significatives. Ils estiment tous néanmoins que le bruit peut conduire à une aggravation des maladies psychiques (surtout névroses) préexistantes. En effet, la gêne croît avec le niveau de bruit et c'est chez les personnes les plus gênées que l'on rencontre le plus fréquemment des problèmes psychiques. Là encore la sensibilité au bruit intervient, car le pourcentage de personnes fortement gênées est nettement plus élevé chez les individus très sensibles au bruit que chez ceux qui le sont peu. Certains auteurs relient cette forte sensibilité au bruit à certains traits de personnalité (anxiété, caractère névrosé, etc.), d'autres pensent que cette forte sensibilité au bruit dénoterait aussi une vulnérabilité plus grande à d'autres stressseurs environnementaux qui pourraient causer des troubles psychiques plus importants

variations in the concentrations of biochemical components such as catecholamines, cortisol, and ACTH in blood cells, serum, and urine under the effect of stress due to noise. A recent study conducted on 25 volunteers (aged 21 to 42), who were subjected to an aircraft noise that was rapidly increased to and then held at a maximum level of 105 dB(A) for a period of three seconds (supposed to simulate the noise produced by a low-flying military aircraft) led in all cases to an increase in the levels of ACTH (measured before and immediately after exposure to the noise) and total cholesterol in the blood and to a decrease in serum triglycerides.

Much research has been done to determine whether populations living in areas with high levels of aircraft noise have higher rates of admission to psychiatric hospitals, visit the doctor more often, show a greater frequency of cardiovascular illness (and high blood pressure), and consume more medicaments than populations living in relatively quiet areas do.

Some authors note a higher rate of admission to psychiatric hospitals and more medical consultations, while others view the differences observed between the two populations as insignificant. They do believe, however, that noise can aggravate preexisting psychological (and especially neurotic) illness. The disturbance does in fact increase with the noise level, and psychological problems are most often encountered among persons who are most disturbed by it. Here again, sensitivity to noise is a factor, since the percentage of persons who are very disturbed is much higher among individuals who are very sensitive to noise than among those who are not. Some authors draw a connection between this strong sensitivity to noise and certain personality traits (anxiety, neurosis, etc.), while others think that this strong sensitivity to noise also denotes a greater vulnerability to other factors of stress in the environment that would cause more serious psychological problems than noise would.

que ne le ferait le bruit. Quant à la consommation de médicaments, trois études au moins font ressortir une augmentation de celle-ci dans les zones où le bruit des avions est élevé par rapport à des zones calmes, tout au moins en ce qui concerne les somnifères et les tranquillisants, alors que d'autres recherches amènent à la conclusion qu'il n'y a pas de différence dans ce contexte entre les deux types de zones. On n'a pas mis en évidence de manière nette des relations entre niveau d'exposition des riverains au bruit des moyens de transport et maladies cardio-vasculaires, mais uniquement avec certains facteurs de risque de celles-ci. Des recherches suggèrent que dans les zones de bruit des avions élevé, on constaterait plus de naissances prématurées, que les nouveau-nés auraient un poids plus faible, une stature plus petite et présenteraient davantage de malformations que dans des zones calmes ; mais d'autres études contredisent ces résultats ou indiquent que la stature plus faible à la naissance n'avait pas eu de conséquences sur le développement ultérieur de ces enfants. Tout cela montre qu'il est difficile d'estimer les effets à long terme du bruit sur la santé et que de nombreuses études sont encore nécessaires dans ce domaine.

• *Effets sur le comportement social*

L'intérêt des chercheurs pour analyser les effets du bruit sur les relations interpersonnelles est relativement récent. Le bruit altérerait le climat social, que ce soit au travail ou à la maison. Il augmenterait le nombre de conflits (au travail et même à domicile), serait à l'origine d'une agressivité accrue et conduirait surtout à une diminution de la sensibilité et de l'intérêt qu'on manifeste normalement à l'égard d'autrui. Plusieurs travaux ont d'ailleurs montré que la tendance à porter de l'aide à autrui ou à une personne en difficulté était nettement diminuée pendant que les individus étaient exposés à un bruit fort (par exemple dans une rue bruyante par rapport à une rue tranquille) ou tout juste après.

Le contexte social et cognitif dans lequel se trouve une personne exposée à un bruit de forte intensité jouerait donc aussi un rôle sur les effets

As for the consumption of medicaments, at least three studies indicate that consumption is greater in areas with high levels of aircraft noise than in quieter areas, at least with respect to sleeping pills and tranquilizers. Other research, however, points to the conclusion that there is no difference between the two areas in this respect. No clear-cut connection has been established between the degree of exposure to transport noise and cardiovascular illness, though some relation to certain risk factors for such illness is seen. Research suggests that, in areas with high levels of aircraft noise, more premature births are recorded and new-born babies tend to weigh less, to be smaller in stature, and to be more likely to have birth defects; other studies contradict these conclusions or claim that the smaller stature at birth has no consequences for the subsequent growth of these children.

All of this shows that it is difficult to gauge the long-term effects of noise on health and that many more studies need to be done in this area.

• *Effects on social behavior*

The interest shown by researchers in analyzing the effects of noise on interpersonal relationships is relatively recent. Noise is thought to be harmful to the social climate, whether it be at work or in the home. It may increase the number of conflicts (at work and even at home), heighten aggressiveness, and, above all, diminish the normal sensitivity to and interest in other people. Several studies have also revealed that the inclination to help others or give assistance to someone in difficulty was sharply diminished when or just after individuals were exposed to loud noise (for example, in a noisy street as opposed to a quiet one).

The social and cognitive context in which a person is exposed to a noise of high intensity will also influence the effects this annoyance will have on his behavior and health.

que cette nuisance aura sur son comportement et sa santé.

• *Effets sur la performance, surtout dans les écoles*

Les effets du bruit sur la performance ont été étudiés depuis plus d'un demi-siècle et ont fait l'objet de nombreux articles. Notons simplement ici que le bruit, par son effet de masque, va altérer la performance de tâches impliquant la perception de signaux auditifs (parole ou autres signaux sonores utiles). Lorsque les tâches ne comportent pas de signaux auditifs, le bruit pourra ou non modifier la performance. Lorsque des modifications de la performance se produisent, elles dépendent alors essentiellement de la nature et de l'intensité du bruit, de la nature de la tâche (amélioration pour des tâches simples et monotones, dégradation pour des tâches intellectuelles ou de précision), des caractéristiques des sujets et même du moment de la journée ainsi que du sexe.

Plusieurs études ont été réalisées sur les effets du bruit des avions dans des écoles situées dans le voisinage de grands aéroports civils. Celui-ci provoque une perturbation de la communication orale car les maîtres cessent de parler au moment du passage des avions ou doivent élever fortement la voix, ce qui peut leur occasionner une fatigue vocale. Quant aux élèves, on observe chez eux une distraction plus grande, une moins bonne discrimination auditive, un retard (pouvant aller jusqu'à une année) dans la faculté de lecture de textes et certains troubles du comportement, lorsqu'on les compare à leurs camarades d'écoles calmes.

Malgré les inconvénients de garder les fenêtres fermées, il semble que la situation s'améliore lorsqu'on procède à une isolation phonique convenable de l'école exposée. On a aussi relevé que le bruit à domicile pouvait interférer avec le développement cognitif normal des enfants en bas âge. Tous ces problèmes ainsi que les effets non auditifs du bruit sur le développement de l'enfant ont été passés en revue récemment dans la littérature.

• *Effects on performance, especially in school*

The effects of noise on performance have been studied for over half a century and dealt with in many articles. We will note here merely that noise, because of its masking effect, is detrimental to the performance of tasks involving the perception of audio signals (speech or other meaningful audio signals). When the tasks do not involve audio signals, noise may or may not alter performance. When performance is modified, the modification will depend essentially on the nature and intensity of the noise, the nature of the task (improved performance in the case of simple and monotonous tasks, lowered performance in the case of intellectual or precision tasks), the character and sex of the subjects and even the time of day.

Several studies have been conducted on the effects of aircraft noise on schools located in the vicinity of large civil airports. Such noise disturbs oral communication because teachers stop speaking or raise their voice when aircraft fly over, which can result in vocal fatigue. As for the students, they tend to be more distracted, to have poorer auditory discrimination, to lag as much as a year behind in reading ability, and to show more behavioral problems in comparison with students in quiet schools.

Despite the drawbacks of keeping the windows closed, it does appear that the situation improves when the exposed school has adequate noise insulation. It has also been noted that noise in the home may interfere with the normal cognitive development of very young children. All of these problems as well as the non-auditory effects of noise on child development have been discussed recently in the literature.

◆ *La gêne due au bruit des avions*

L'évaluation des effets du bruit des avions se fait fréquemment par la gêne subjective qu'il provoque, surtout chez la population riveraine des aéroports. De nombreuses études ont été faites pour essayer de caractériser, mesurer et contrôler la gêne environnementale, particulièrement celle engendrée par le bruit, et plusieurs publications faisant le point sur ce sujet ont paru ces dernières années. Alors que la gêne, notion difficile à définir, représente une réaction subjective globale au bruit, les effets immédiats de celui-ci consistent dans la perturbation de diverses activités (certaines échelles de gêne en tiennent compte). On distingue une gêne subjective et une gêne comportementale.

De nombreuses enquêtes psycho-sociologiques (plus de 140 ont été recensées) ont été effectuées auprès des riverains des aéroports pour mettre en relation le degré de gêne ressentie par la population avec le niveau de leur exposition à ce type de bruit. Les indices de bruit sont validés parce qu'ils sont généralement bien corrélés avec la gêne moyenne de la population (mais non avec la gêne individuelle), et sont utilisés pour établir les valeurs limites d'exposition au bruit des avions et par voie de conséquence pour réglementer l'aménagement du territoire (zones de bruit) dans le voisinage des aéroports. L'importance de l'évaluation de la gêne réside aussi dans ses liens possibles avec les maladies psychiques, le stress, les effets sur la santé, etc.

• *Les enquêtes «gêne et bruit»*

Dans le tableau 2, figurent les données relatives à quelques enquêtes sur le bruit des avions effectuées auprès de riverains de plusieurs aéroports dans dix pays. Certaines de ces enquêtes ont servi de base pour le choix de l'indice de bruit mis en vigueur dans la plupart de ces pays. Quel que soit l'indice de bruit utilisé, la corrélation entre celui-ci et la gêne de groupe est excellente (on peut atteindre plus de 0,9), alors qu'elle est plutôt faible avec la gêne individuelle. Dans ce dernier cas, la corrélation n'est que de

◆ *Annoyance due to aircraft noise*

The effects of aircraft noise are frequently assessed in terms of the subjective annoyance that it causes, especially in the population living near airports. Many studies have been done to try to describe, measure, and control environmental annoyance, and notably that produced by noise, and numerous publications dealing with this subject have appeared in recent years. Although annoyance, which is a difficult notion to define, is a global subjective response to noise, the immediate effect of the noise is to disturb various activities (certain scales of annoyance take these into account). Subjective annoyance can be distinguished from behavioral annoyance.

Numerous psycho-sociological surveys (more than 140 have been counted) have been conducted on people living near airports to try to establish a relationship between the degree of annoyance experienced by the population and the level of their exposure to this type of noise. Noise indices are considered valid because they generally have a high correlation with the average annoyance of the population (though not with individual annoyance). They are used to determine the maximum recommended values for exposure to aircraft noise and, as a consequence, to regulate the development (by means of noise zones) of the areas around airports. Assessing annoyance is also important because of the possible relationship to mental illness, stress, and health in general.

• *"Annoyance and noise" surveys*

Table 2 gives data from several surveys on aircraft noise conducted among groups of people living near airports in ten countries. In many cases, these surveys served as the basis for choosing the noise exposure index that would be used in the respective countries. Regardless of the noise index used, the correlation between it and the annoyance of the group is excellent (it can be as high as 0.9). The correlation with individual response,

Tableau 2 / Table 2
Quelques enquêtes relatives aux effets du bruit des avions
chez les riverains de divers aéroports
Some surveys on the effects of aircraft noise
on populations living near various airports

Pays <i>Country</i>	Auteur <i>Author</i>	Enquête année <i>Survey year</i>	Échantillon n <i>Sample n</i>	Corrélations gêne-indice de bruit <i>Annoyance - exposure index correlations</i>	
				individuelle <i>individual</i>	de groupe <i>group</i>
Australia	Hede	1982	3575	0.36	0.84
Australia	Bullen	1985	624	0.58	
Belgium	Jonckheer	1988	677		0.99
Canada	Hall	1980	673		0.73
France	Josse	1968	2000	0.53	0.91
France	Vallet	1986	570		0.63
Netherlands	Kosten	1967	992		0.95
Netherlands	Bitter	1980	376	1.07	0.68
Netherlands	de Jong	1986	581	0.30	
Germany	Rohrmann	1974	660	0.56	
United Kingdom	McKennell	1963	1731	0.46	0.99
United Kingdom	MIL	1971	4699	0.40	
Sweden	Rylander	1972	2900		0.78
Switzerland	Grandjean	1974	3939	0.56	0.91
USA	TRACOR	1971	3950	0.37	
USA	Borsky	1983	942	0.58	
USA	Schomer	1983	231		0.89

Avec indication chaque fois du pays, du premier auteur (ou de l'institut) du rapport ou de la publication et de l'année de parution (de même que la référence), de la grandeur de l'échantillon (n = nombre de sujets), ainsi que des corrélations établies entre respectivement gêne individuelle et gêne de groupe ensemble de sujets et l'indice d'exposition au bruit des avions (= indice bruit) utilisé (voir aussi tableau 1). / *Indicated are: the country, the primary author (or the institute) of the report or publication and the year if appeared (along with the reference number), the size of the sample (n = number of subjects), and the correlations established between, respectively, individual annoyance and group annoyance and the aircraft noise exposure index (= noise index) used (see also Table 1).*

0,6 au maximum, c'est-à-dire que le bruit n'explique au mieux que 36 % de la variance (de la gêne) et que de nombreux autres facteurs interviennent dans cette réaction individuelle au bruit des avions.

Les variables de nature affective qui semblent intervenir dans la gêne individuelle sont les suivantes : le sentiment de pouvoir ou non con-

however, is rather weak — the maximum is only 0.6 — meaning that noise explains at best only 36% of the variance in the annoyance and that numerous other factors influence individual response to aircraft noise.

Nonacoustical variables that seem to be important in determining individual annoyance are the following: whether or not

trôler le bruit, le jugement sur l'importance et la valeur de l'activité produisant le bruit, l'activité de l'individu au moment où il entend le bruit, l'attitude face à l'environnement en général, la sensibilité propre au bruit (très, moyennement ou peu sensible), la conviction que le bruit des avions peut affecter la santé, ainsi que la peur associée à l'événement sonore (par exemple, la peur que l'avion ne s'écrase).

Les chercheurs ont aussi identifié des variables physiques qui peuvent exercer une influence sur la gêne : le type de milieu (le bruit est plus gênant en milieu rural qu'en milieu urbain), le moment de la journée où le bruit se produit (le bruit semble plus gênant en soirée que pendant le jour), la saison, la prévisibilité du bruit (des bruits prévisibles sont moins stressants que des bruits imprévisibles), le contrôle éventuel sur la source de bruit (une personne qui n'en a pas le contrôle est plus gênée) et la durée d'exposition au bruit (rien ne permet d'affirmer que la gêne décroisse après une longue exposition au bruit, il arrive même quelquefois que l'on note une augmentation de la gêne). Les variables démographiques habituelles (âge, sexe, etc.) semblent n'avoir, considérées séparément, que peu d'influence sur la gêne.

Une synthèse relative à onze enquêtes (sur les bruits des moyens de transport) dans plusieurs pays, publiée en 1978 par Schultz, montre que le pourcentage de personnes très gênées est corrélé dans tous les cas à l'indice DNL ou «LDN» (il s'agit du niveau sonore équivalent L_{eq} sur 24 h, avec pondération de 10 dB pour la période nocturne de 22 à 7 h) d'une façon à peu près constante et suggère que la courbe moyenne qui en résulte permet de prédire la gêne de la population due aux moyens de transport ; ce travail a été passablement critiqué par la suite et a même donné lieu à des controverses.

Ceci nous amène à la question de savoir si le bruit des différents moyens de transport (avions, trafic routier, trains) à niveau sonore équivalent L_{eq} identique, provoque ou non le même degré de gêne. Malgré quelques contradictions dans

the individual feels he can control the noise; how important and valuable the activity producing the noise is judged to be; what the individual is doing at the moment he hears the noise; his attitude with respect to the environment in general; his specific sensitivity (acute, average, or slight) to noise, his belief that noise has an effect on health, and fear associated with the sound event (for example, fear that the airplane will crash).

Researchers have also identified physical variables that can exercise an influence on annoyance: the milieu (noise is generally more annoying in a rural than in an urban area), the time of day the noise is produced (noise seems to be more annoying in the evening than during the day), the season, the predictability of the noise (predictable noises are less stressful than unpredictable ones), control over the source of the noise (a person who does not have any experiences more annoyance than one who does), and the duration of exposure to the noise (nothing indicates that annoyance diminishes after long exposure to the noise; sometimes, indeed, an increase in annoyance is observed). The usual demographic variables (age, sex, etc.), when considered separately, seem to have little relation to annoyance.

A synthesis of 11 surveys conducted in several countries on transport-related noise that was published in 1978 by Schultz shows that the percentage of persons who are highly annoyed has a virtually constant correlation in all cases with the DNL or L_{dn} indice (this is the equivalent sound level L_{eq} over a 24-hour period with a weighting of 10 dB for the nighttime period from 22h00 to 07h00). He suggests that the average of these curves can be used to predict community annoyance due to transport noise of all kinds. This work has received a fair amount of criticism and has indeed been a source of controversy.

This leads us to the question as to whether the noise produced by the various modes of transport (airplane, automobile, train), assuming identical equivalent sound levels

la littérature à ce sujet, la réponse semble être négative, avec une majorité d'études indiquant que le bruit des avions serait plus gênant que celui du trafic routier urbain, qui serait à son tour plus gênant que celui des trains (mais pas en ce qui concerne les effets sur l'intelligibilité de la parole).

Parmi les diverses variables individuelles de nature affective déjà énumérées, la sensibilité au bruit et l'attitude envers la source de bruit semblent être parmi les plus importantes et expliqueraient à elles seules une part de la variance (de la réaction au bruit proche de celle - 20 à 30 % - attribuée au bruit). Quant à l'attitude envers la source de bruit, elle peut se manifester quelquefois assez nettement chez les riverains des aéroports : ceux qui y travaillent, ou dont le commerce en dépend, sont moins enclins que les autres à trouver le bruit des avions insupportable.

• Évolution

La répétition d'enquêtes (de contrôle) menées autour des mêmes aéroports en Grande-Bretagne (Heathrow, etc.), en France (Orly) et aux Pays-Bas (Schiphol) au bout de 10-20 ans, n'a pas permis de déceler des différences significatives du degré de gêne des riverains en fonction de l'indice de bruit et suggère que les anciens résultats demeurent toujours valables.

Toutefois, l'étude anglaise effectuée dans le périmètre des aéroports de Heathrow et de Gatwick a fait apparaître que Leq (niveau sonore équivalent) en dB(A) était mieux corrélé à la gêne que l'indice NNI en vigueur dans ce pays, et que le pourcentage de personnes très gênées augmente plus fortement mais de façon à peu près linéaire à partir d'une valeur de Leq (24 h) de 57 dB(A) environ, comme le montre la figure 5. Les auteurs indiquent qu'une valeur de Leq (24 h) de 55 dB(A) correspondrait au seuil de la gêne et qu'une valeur de 70 dB(A) provoquerait une forte gêne chez les deux tiers des riverains exposés. L'indice NNI, utilisé en Suisse également, suscite de nombreuses critiques (il ne prend pas en compte les survols dont

Leq , causes the same degree of annoyance. Although there are some indications to the contrary in the literature, the answer seems to be no, with a majority of studies pointing to the conclusion that aircraft noise is more annoying than urban road traffic noise, which, in turn, is more annoying than train noise (though not with respect to the effect on speech intelligibility).

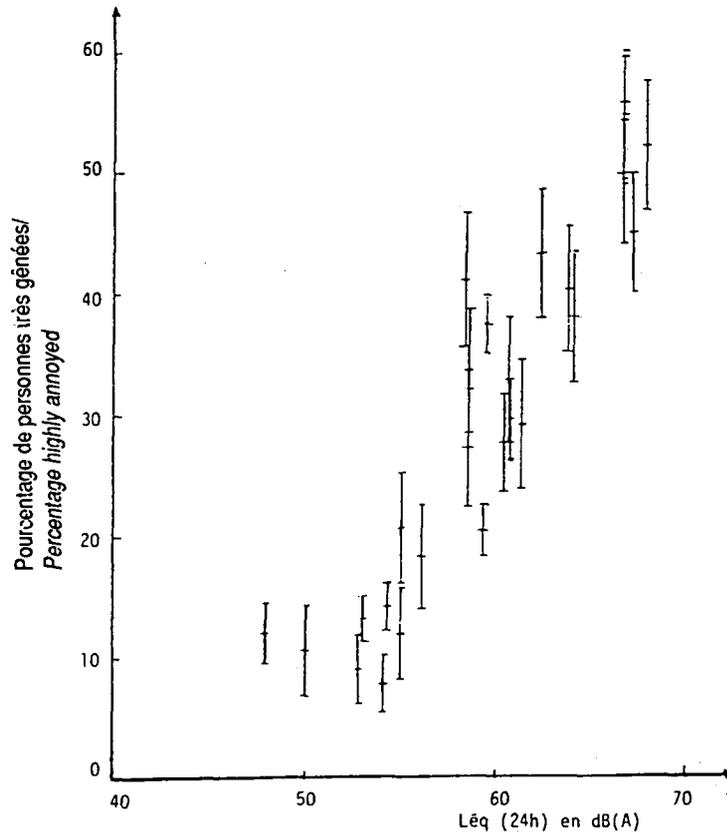
Among the nonacoustical variables already listed, sensitivity to noise and attitude toward the source of the noise seem to be among the most important factors determining annoyance, with these possibly accounting for nearly as large a part of the variance in the response to the noise as the noise itself, i.e., 20 to 30%. Attitude toward the source of the noise is sometimes seen quite clearly to affect the response of people living near an airport: people who work at the airport or whose business depends on it are less likely than others to find aircraft noise unbearable.

• Evolution

New control surveys conducted around the same airports in Great Britain (Heathrow, etc.), in France (Orly), and in the Netherlands (Schiphol) after a 10- to 20-year interval have not revealed any significant differences in the degree of annoyance experienced by surrounding residents in terms of the noise exposure index, suggesting that the earlier results are still valid.

The studies done in England around the airports of Heathrow and Gatwick do indicate, however, that Leq (equivalent sound level) in dB(A) gives a better correlation with annoyance than the Noise and Number Index (NNI) used in that country and that the percentage of persons who are highly annoyed rises sharply but more or less linearly from a value of Leq (24 hours) of about 57 dB(A), as is shown in Figure 5. The authors indicate that a value of Leq (24 hours) of 55 dB(A) would correspond to an annoyance threshold and that a value of 70 dB(A) would provoke a high degree of annoyance among

Figure 5
Pourcentage (ajusté) de personnes très gênées par le bruit des avions
(avec bandes de confiance correspondant à ± 1 écart-type)
en fonction du Leq (24 h) en dB(A) (moyenne d'une semaine)
Percentage (adjusted) of persons highly annoyed by aircraft noise
(with a margin of sampling error of ± 1)
as a function of Leq (24h) in Db(A) (average for one week)



Source : Rabinowitz

le niveau de bruit perçu PNL est inférieur à 80 PNdB, etc.), et va être remplacé très probablement au Royaume-Uni par Leq ou un indice fondé sur Leq.

Une étude de la Commission des Communautés Européennes sur le bruit des avions menée conjointement en Grande-Bretagne, en France et aux Pays-Bas, a également établi que Leq (sur 24 h) était tout aussi bien relié à la gêne de la population exposée que les indices nationaux de ces pays (tableau 1) et que, de plus, une échelle simple de gêne (beaucoup, assez, peu ou pas du tout gênant, ou de 0 à 10) est préfé-

two-thirds of the residents exposed to the noise. The NNI, which is also used in Switzerland, has elicited numerous criticisms (for example, it does not take account of flyovers when the perceived noise level PNL is under 80 PNdB), and it will quite probably be replaced in the United Kingdom by Leq or an index based on Leq. A study of the Commission of the European Communities carried out simultaneously in Great Britain, France, and the Netherlands has also established that Leq (24 hours) is just as effective a measure of annoyance as the national indices used in these countries and

nable à des échelles de gêne plus complexes (qui prennent aussi en compte la perturbation de certaines activités) comme celles de Gutman (fréquemment utilisées en Grande-Bretagne). Il semble donc que l'on s'achemine lentement sur le plan international, malgré quelques réticences, vers un indice commun fondé sur Leq et qui serait éventuellement pondéré de manières différentes par les divers pays.

• *Pondérations pour les périodes nocturnes de l'indice de bruit*

La question de savoir s'il fallait pondérer les niveaux du bruit survenant à des périodes différentes du jour (nyctémère) s'est posée depuis quarante ans environ et a fait l'objet de nombreuses recherches. En effet, des activités telles que la communication orale et le sommeil sont très sensibles au bruit (figure 4) et il était donc nécessaire de mieux protéger la population au moment où ces activités sont importantes, c'est-à-dire en soirée (conversation, écoute de la radio/télévision, etc.) et surtout la nuit (sommeil).

Le tableau 1 montre que de telles pondérations ont été effectivement introduites dans le calcul de l'indice de bruit de divers pays, à savoir +6 à +10 dB environ pour la période de nuit (22 à 06 ou 22 à 07 h) et de 0 à +6 dB environ pour la soirée (19 à 22 h). Si les auteurs de ces études sont d'accord en ce qui concerne la nécessité d'une pondération pour ces périodes, certains estimant même qu'elle devrait être supérieure pour la soirée, ils ne le sont pas quant à l'ampleur à donner à cette pondération.

Par exemple, la pondération utilisée en France (chaque vol de 22 à 06 h est multiplié par dix) donne de meilleurs résultats à Roissy, où la proportion des riverains gênés durant la nuit est mieux corrélée qu'à Orly avec le nombre moyen des mouvements pondérés.

Les données de nombreuses enquêtes ont été analysées et les résultats font ressortir l'impossibilité à l'heure actuelle de fixer sur des

that, moreover, a simple annoyance scale (highly, moderately, slightly, or not at all annoyed) is preferable to more complex scales (which also take into account the disturbance of certain activities) such as the Gutman scale frequently used in Great Britain. It therefore seems that, despite some reticence, the movement is toward a common, internationally-adopted scale based on Leq which could be weighted differently in the various countries.

• *Weighting the noise index for nighttime periods*

The question as to whether it is necessary to weight noise levels according to the period of the day (nighttime and daytime) in which the noise occurs was first asked about forty years ago and has been the subject of numerous studies. Indeed, activities such as oral communication and sleep are very sensitive to noise (Figure 4), and it is thus necessary to give the population more protection from noise at the times people tend to be engaged in these activities, i.e., in the evening (conversation, listening to the radio or television, etc.) and above all at night (sleep).

Table 1 shows that such weighting has in fact been introduced in the calculation of the noise index in various countries, the values being about +6 to +10 dB for the nighttime period (22h00 to 06 or 07h00) and about 0 to +6 dB for the evening (19h00 to 22h00). Although the authors of these studies all concur that there is a need for weighting, with some even thinking that it should be higher for the evening, they are not in agreement with respect to the values of the weighting. For example, the weighting used in France (each flight between 22h00 and 06h00 is multiplied by ten) gives better results at Roissy, where there is a higher correlation between the proportion of residents disturbed during the night and the weighted average of aircraft movements than there is at Orly.

Data from numerous studies have been analyzed, and the results indicate that solid,

bases scientifiques solides une valeur unique et universelle tant à la pondération de soirée qu'à celle de nuit. Il est néanmoins nécessaire de maintenir ces pondérations, en les ajustant au besoin, afin de mieux protéger ces périodes correspondant à des activités de détente (en soirée) et de sommeil (la nuit). Dans le contexte du sommeil, il semble que le bruit des avions soit le plus perturbant aux heures d'endormissement et aux heures matinales précédant le réveil. Nous examinerons plus loin, avec plus de détails, les effets du bruit des avions sur l'intelligibilité de la parole ainsi que sur le sommeil.

• Influence du bruit résiduel de fond sur la gêne due au bruit des avions

Les modèles résultant d'études en laboratoire ou sur le terrain pour estimer la gêne due à des sources multiples de bruit simultanées ne sont pas encore tout à fait satisfaisants. Ici, nous nous limiterons à la gêne provoquée par le bruit des avions en présence d'autres sources, la circulation routière en particulier.

Une étude australienne conduite auprès de plusieurs aéroports montre que l'unique courbe qui croisse en fonction du NEF est celle qui représente la gêne due au bruit des avions et que seul le bruit du trafic routier peut être plus gênant que le bruit des avions, mais uniquement lorsque ce dernier est faible (NEF inférieur à 20 ou Leq inférieur à 55 dB(A) environ). Une étude déjà citée de la CEE conduite simultanément en Grande-Bretagne, en France et aux Pays-Bas, indique qu'en présence de bruit de la circulation routière (bruit résiduel fort ou faible), la proportion de personnes gênées par le bruit des avions peut être prévue par Leq (24 h) de celui-ci (faible influence du bruit résiduel surtout lorsque le bruit des avions est moyen ou fort), alors que la gêne subjective globale correspondrait à peu près à Leq (24 h) total (donnant ainsi du poids à un bruit résiduel fort lorsque celui des avions est faible). Mais l'étude française nuance un peu ces résultats, en suggérant qu'ils ne s'appliquent pas forcément à la perturbation de certaines activités (conversation, écoute de la radio/télévision,

scientific bases for setting a single, universal value for weighting evening and nighttime traffic do not exist at the present time. It is nevertheless important to continue to apply these weightings, adjusting them whenever necessary, in order to better protect these periods of leisure activity and sleep. With regard to sleep, it appears that aircraft noise is more disturbing in the hours one is going to sleep and in the morning hours just prior to awakening. Later on, we will examine in greater detail the effects of aircraft noise on speech intelligibility and on sleep.

• Influence of background noise on annoyance caused by aircraft noise

The models developed from laboratory studies and studies in the field to assess the annoyance caused by multiple, simultaneous sources of noise are not yet entirely satisfactory. We will limit ourselves here to a consideration of the annoyance provoked by aircraft noise when other sources of noise, and in particular road traffic, are present.

An Australian study carried out at several airports shows that the only curve that slopes upward as a function of NEF is the one representing annoyance due to aircraft noise and that only road traffic noise can be more annoying than aircraft noise, though this is only true when the aircraft noise is very weak (NEF under about 20 dB(A) or Leq under about 55 dB(A)). The previously-cited EEC study that was conducted simultaneously in Great Britain, France, and the Netherlands indicates that, in the presence of road traffic noise (loud or weak background noise), the percentage of persons disturbed by the aircraft noise is given by the Leq (24 hrs) of the aircraft noise (weak influence of the background noise, especially when the aircraft noise is moderate to loud), while global subjective annoyance is given approximately by the total Leq (24 hrs) (thus giving weight to a loud residual noise when the aircraft noise is weak). The French study qualifies these

etc.) lorsque le bruit des avions n'est pas très élevé et que le bruit résiduel (circulation routière) est fort.

Ce problème de l'exposition simultanée à plusieurs sources de bruit pourrait revêtir une grande importance, particulièrement dans l'élaboration des politiques de lutte contre le bruit, et devrait être mieux élucidé.

• *Conclusion :*
les limites des indices acoustiques

En ne prenant en compte que les bruits de mouvements d'avion, les indices actuellement utilisés négligent un certain nombre de sources de bruit ; celles-ci peuvent apparaître négligeables au regard de la puissance émise par un avion en survol. Mais ces sources secondaires contribuent à remplir les périodes de silence relatif entre deux mouvements d'avions, ce qui se traduit notamment par la réception de bruits graves, à une certaine distance des pistes ou des hangars.

Les indices ne prennent pas en compte :

- les survols peu bruyants (PNL < 80 PNdB) dans NNI,
- le bruit de roulage des avions,
- le bruit au point fixe avant décollage,
- le bruit des essais des moteurs, malgré des efforts très coûteux pour insonoriser les hangars,
- le bruit du trafic routier ou ferroviaire induit.

Ces sources secondaires ne sont pas considérées pour les autres modes de transport. Le train et la voie ferrée notamment, sont considérés comme un couloir bruyant sans sources annexes aux extrémités.

Pour la prise en compte des sources secondaires et pour caractériser au plus près le niveau de bruit, il conviendrait alors d'utiliser l'indice Leq. Cependant, les événements bruyants secondaires n'étant guère prévisibles, on ne peut pas établir une prévision des effets de telle ou telle

results slightly, however, by suggesting that they do not necessarily apply to the disturbance of certain activities (conversation, listening to radio or television, etc.) when the level of aircraft noise is not very high and the background noise (road traffic) is great. This problem of simultaneous exposure to several sources of noise could prove to be of great importance, especially in the formulation of anti-noise policies, and should be studied more thoroughly.

• *Conclusion:*
The limitations of noise indices

By taking into account only the noise of aircraft movements, the indices in use today ignore a number of other noise sources. The noise generated by these sources may appear to be negligible in comparison with that produced by an aircraft in flight, but these secondary sources tend to fill the periods of relative silence between two aircraft movements, notably in the form of low-pitched noise heard at a distance from the runways and hangars.

The indices do not take into account:

- *low-noise flyovers (PNL < 80 PNdB) in the NNI;*
- *the noise made by taxiing aircraft;*
- *engine run-up noise before takeoff;*
- *the noise from engine tests, in spite of the very costly efforts made to sound-proof hangars;*
- *the additional noise from road and rail traffic.*

Secondary sources are not taken into account in noise assessments of the other modes of transport either. The train and the railway tracks, for example, are considered to form a noise-generating corridor without additional sources of noise at the ends.

To include these secondary sources in the evaluation and to determine as precisely as possible the level of noise, the Leq index would thus be the most appropriate one to use. Secondary noise events are not, however, highly predictable, so it is not possible to predict the effects of such and such

action, à court terme, ni les niveaux de bruit à moyen terme.

Autres observations sur les indices de bruit : les critères d'homologation des aéronefs sont internationaux mais les indices destinés à évaluer l'impact du bruit d'avion autour des aéroports sont de responsabilité locale. On peut ainsi décompter dans le monde 57 méthodes d'évaluation différentes. Plus que leur diversité, ces méthodes présentent l'inconvénient d'être peu compréhensibles pour les non spécialistes. Le brouillard technique correspondant n'est pas favorable à la communication. Une formule adaptée à une meilleure communication consiste à se fonder sur l'«empreinte» acoustique du décollage ou/et de l'atterrissage d'un avion : cf. figure 6. La surface - et la population résidente incluse - pour lesquelles les niveaux de bruit dépassent telle limite L_s constituent une méthode d'évaluation simple.

Il reste cependant aux spécialistes à déterminer les limites L_s pour lesquelles beaucoup pensent que le dB(A), unité acoustique utilisée pour les autres trafics, serait tout à fait satisfaisante. Une tâche plus complexe est de combiner les empreintes des divers avions et mouvements d'avions. En attendant, l'empreinte acoustique permet aisément de comparer des aéronefs. La figure 6 montre ainsi les progrès acoustiques considérables dus à l'Airbus dont la surface d'empreinte atterrissage et décollage est de l'ordre du dixième de celle du B.727-200.

LES MOYENS DE RÉDUCTION DU BRUIT

Les actions possibles sont finalement nombreuses :

- la réduction du bruit à la source : c'est le domaine de la certification des avions relevant de l'OACI,
- la régulation du trafic : sa dispersion dans le temps et dans l'espace,
- la définition de trajectoires dont l'impact sur la population est minimisé,

an action in the short term or the levels of noise in the medium term.

Other observations on the noise indices: aircraft certification criteria are international, but the indices used to assess the impact of aircraft noise around airports are determined locally. Fifty-seven different methods of evaluation are in use around the world. Besides their diversity, these methods have the additional drawback of being difficult for the layman to understand. The resulting technical haze is not favorable to communication. One approach that does make noise assessments easier to understand relies on the acoustical "imprint" of the takeoff and/or landing of an aircraft (see Figure 6). The area and the population for which the levels of noise exceed a certain threshold L_s provides a simple method of evaluation.

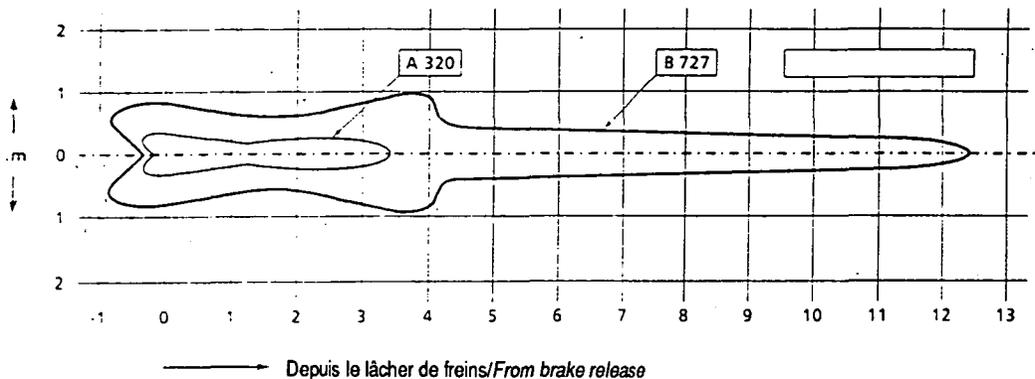
It is still up to the specialists, however, to determine the values of L_s . As for the unit of measure, many believe the dB(A), the acoustical unit used for other types of traffic, would be perfectly satisfactory. A more complex task is to combine the imprints of the various aircraft and aircraft movements. In the meantime, the acoustical imprint allows easy comparison of aircraft. Figure 8 shows the substantial progress in acoustical performance made by Airbus, whose A320-200 has an imprint at takeoff and landing that is one-tenth as large as that of the B-727-200.

WAYS OF REDUCING NOISE

There are, finally, numerous possibilities for action.

- *reduction of noise at the source: this is the domain of aircraft certification under the authority of ICAO;*
- *traffic regulation: dispersion of traffic in time and space;*
- *definition of flight paths to minimize the impact on the population;*

Figure 6
Contour de bruit au décollage
Isophone 85 dB(A)
Contour of noise at takeoff
Isophone 85 dB(A)



Avion Aircraft	Moteur Engine	Surface d'empreinte Imprint area
A320-200 B.727-200	CFM-56-5 JT 8D-15	1,55 km ² 14,25 km ²

Sources : STNA/DGAC.

- l'isolation acoustique des bâtiments,
- la politique d'urbanisme et le zonage acoustique.

L'efficacité de ces moyens doit être mesurable et pour cela on utilise des indicateurs acoustiques.

◆ *Conflicts et indemnisation des riverains*

Les riverains des aéroports de Nice et d'Orly ont intenté des actions en justice pour obtenir réparation des préjudices subis du fait du bruit des avions. La commune de Villeneuve-le-Roi a obtenu gain de cause en 1977, en 1982 les riverains d'Orly, puis ceux de Roissy en 1986.

Pendant cette période de procédure, les Pouvoirs Publics ont mis en place un système original de taxe parafiscale, défini par le Décret du 13.2.1973. Aéroports de Paris perçoit une taxe sur tous les passagers d'Orly et de Roissy. Les

- *noise insulation for buildings;*
- *urban planning and acoustical zoning policies.*

The effectiveness of these actions must be measured, and acoustical indicators are available for this purpose.

◆ *Disputes and indemnisation of residents*

Residents around the airports of Nice and Orly took legal action to obtain damages for the prejudice caused them by aircraft noise. In 1977, the commune of Villeneuve-le-Roi won its suit, as did residents in the vicinity of Orly in 1982 and of Roissy in 1986.

While these cases were being heard, the government introduced an original system of taxation with the decree of 13 February 1973. By virtue of this decree, Aéroports de Paris was allowed to levy a tax on all passengers at Orly and Roissy. The large sums collected

sommes importantes collectées ont été utilisées au rachat entre 1973 et 1986 de pavillons très exposés (396), à l'insonorisation des logements (510) et des équipements publics (129). La commission GABOLDE créée en 1984 orientait l'usage des fonds et émettait des suggestions. On trouvera dans le rapport préparé pour l'OCDE par Barraqué (1988) un historique plus complet.

L'année 1987 marque un tournant dans ce système d'indemnisation. Le Conseil d'État donne raison le 6 février 1987 aux compagnies aériennes qui se sont retournées contre Aéroports de Paris, disant que les avions dérangent les riverains en raison de l'implantation même de l'aéroport et des consignes du contrôle aérien.

Par son arrêt du 13 novembre 1987, le Conseil d'État a supprimé la redevance, qui avait remplacé la taxe parafiscale (Décret du 11.1.84) parce qu'elle ne représente pas une rémunération pour service rendu. L'indemnisation des riverains est donc suspendue depuis cette date.

◆ *L'urbanisme et le zonage acoustique autour des aéroports*

Les avions sont mobiles et les réglementations d'urbanisme, concernant le sol, n'ont de sens que lorsqu'on maîtrise bien la régulation du trafic. La répartition du trafic dans le temps, mais surtout dans l'espace, renvoie toujours au choix entre une action de concentration du trafic et donc des nuisances, accompagnée de mesures énergiques, et une action d'étalement des nuisances. Un progrès très notable a été obtenu grâce à la définition de trajectoires à impact réduit. Cette politique suppose qu'il existe autour de la plate-forme des trouées d'espace non construit ; ce n'est le cas ni à Orly ni au Bourget, mais cela s'est révélé très positif à Roissy.

Après plusieurs années de conflit, les riverains ont obtenu :

- un relèvement du palier de prise en charge de la trajectoire par les systèmes automatiques de guidage et un accroissement des pentes de

were used to buy 396 houses that were highly-exposed to noise and to put noise insulation in 510 dwellings and 129 public facilities between 1973 and 1986. The GABOLDE commission, set up in 1984, oversaw the use of the funds and made recommendations. A more complete account of this program can be found in the report prepared for the OECD by Barraqué (1988).

The year 1987 marked a turning point in this system of indemnisation. On 6 February 1987, the state council (Conseil d'Etat) ruled in favor of the airlines in an action they had brought against Aéroports de Paris, in which they contended that aircraft disturbed airport-area residents because of the location of the airport itself and air traffic control regulations.

With its judgment of 13 November 1987, the Conseil d'Etat abolished the passenger fee that had replaced the original tax (Decree of 11 January 1984) on the grounds that it was not payment for a service rendered. Since that date, there has been no further indemnisation of airport-area residents.

◆ *Urban planning and acoustical zoning around airports*

Aircraft are mobile, and land-use regulations only make sense when there is adequate control over the flow of air traffic. Decisions concerning the distribution of traffic over time and, above all, in the airspace always come down to a choice between concentrating the traffic and, therefore, the disturbance by imposing certain restrictions and spreading out the traffic and disturbance. Great progress has been made by defining low-impact flight paths. Such a policy assumes that there are gaps around the airport where no building construction has occurred. This is not the case at either Orly or Le Bourget, but there are such areas at Roissy.

After several years of conflict, residents succeeded in obtaining the following measures:

- *the altitude at which the automatic guidance system takes control of the approach was raised and the slope of descent increased,*

Tableau 3 / Table 3
Population nationale exposée au bruit des avions
 (Pays sélectionnés, début des années 80)
National population exposed to aircraft noise
 (Countries selected in the early 1980s)

Pays Country		Niveau sonore en Leq [dB(A)] Sound level in Leq [dB(A)]				
		Bruit des avions Aircraft noise				
		≥ 55	≥ 60	≥ 65d	≥ 70	≥ 75
USA	b)	9.0	4.2	2.0	0.4	0.1
Japan	a)	3.0	1.0	0.5	0.2	0.1
Austria	a)	-	-	-	-	-
Belgium	a)	-	-	-	-	-
Denmark	b)	2.5	1.1	0.5	0.2	-
France	a)	-	-	-	0.2	-
Germany	a)	-	-	1.0	-	0.2
Greece	b)	-	-	-	-	-
Netherlands	a)	0.3	0.2	0.1	-	-
Norway	b)	5.0	3.0	1.0	0.5	0.3
Spain	a)	-	-	-	-	-
Sweden	b)	6.0	1.7	0.5	0.1	-
Switzerland	a)	6.0	1.7	0.5	0.1	-
United Kingdom	a)	-	-	-	-	-

Source : OCDE / OECD.

a) Leq de jour (6 h à 22 h ou 8 h à 20 h) ; b) Leq sur 24 heures ; c) 67 dB(A) pour l'Allemagne. /
 a) Daytime Leq (6 to 22h or 8 to 20h); b) Leq over 24 hours; d) 67 dB(A) for Germany.

descente, l'ensemble permettant de réduire les zones de bruit; cette action demandée par les collectivités locales a été bien reçue par les pilotes, malgré la faible coopération des contrôleurs aériens, très soucieux de sécurité ;

- un relevé des trajectoires effectuées par rapport aux trajectoires souhaitées, qui montre des dispersions importantes. Néanmoins, ces modifications des trajectoires ont divisé par quatre la population exposée.

thus reducing the area subjected to noise; this action, which was requested by the local communities, was welcomed by pilots, though there was reluctance among air traffic controllers, who were concerned about the possible impact on safety;

- a comparison of the flight paths actually performed with the desired flight paths, which revealed large discrepancies. Subsequent changes in the flight paths reduced the number of people exposed to noise by three-quarters.

Tableau 4 / Table 4
Répartition de la population riveraine des aéroports parisiens
 (1988)
Populations living near Paris airports (1988)

Zones	Nombre d'habitants /		Number of inhabitants	
	Orly	CDG	Le Bourget	Aérodromes secondaires Secondary airfields
A	5 800	10	210	10
B	27 200	120	190	490
C	42 000	20 500	7 300	6 500
Complémentaire <i>Additional</i>	200 000			
Total	275 000	20 630	7 700	7 000

Note : Il s'agit essentiellement des habitations riveraines des aéroports. Cependant on commence à se préoccuper du bruit "en route", dans les milieux de la recherche. /
 Nota: These are populations living near the airports. However, researchers are beginning to look into the problem of en route noise as well.

Des textes réglementaires et législatifs ont appliqué des contraintes d'urbanisme aux zones exposées au bruit des aéronefs. Les conditions de construction aux abords des aérodromes ont fait l'objet, en 1977, d'une directive d'aménagement national (décret n° 77.1066 du 22 septembre 1977, complétée par décret n° 81.533 du 12 mai 1981). Les limitations apportées à la construction dans les différentes zones et les modalités d'établissement des plans d'exposition au bruit (PEB) ont été fixées en termes détaillés par la circulaire n° 81.75 du 13 août 1981.

Dans les secteurs non urbanisés de la zone A, c'est-à-dire à l'intérieur de la courbe isosophaïque 96, ne sont autorisés que les constructions d'habitation et les équipements nécessaires à l'activité aéronautique, ainsi que les équipements publics indispensables aux populations existantes. En zone B et dans les secteurs déjà urbanisés de la zone A entre 96 et

Regulations and laws set restrictions on land use in the areas exposed to aircraft noise. Regulations on building construction in the vicinity of airports were contained in a 1977 directive on national development (decree n° 77.1066 of 22 September 1977, followed by decree n° 81 533 of 12 May 1981). Restrictions on construction in the various zones and the procedures for establishing noise exposure plans were laid out in detail in circulaire n° 81.75 of 13 August 1981.

In the undeveloped areas of zone A, i.e., inside noise exposure contour 96, only buildings and facilities required for aviation activities and public services essential to existing populations may be constructed. In zone B and in the already-developed sectors of zone A between 96 and 89, buildings needed for individual, commercial, or agricultural activities may be constructed. In zone C (up to 89), the construction of

89, sont en outre autorisés les logements de fonction nécessaires aux activités individuelles, commerciales ou agricoles. En zone C (antérieure à 89) sont en outre admises les constructions individuelles non groupées situées dans les secteurs déjà urbanisés et les opérations de rénovation des quartiers ou de réhabilitation de l'habitat existant, dès lors qu'elles n'entraînent qu'un faible accroissement de la capacité d'accueil d'habitants exposés aux nuisances.

La loi n° 85.696 du 11 juillet 1985 relative à l'urbanisme au voisinage des aérodromes, édictée dans le cadre de l'article L.111.1.1. du Code de l'Urbanisme, a réaffirmé l'objectif d'intérêt national de maîtrise de l'urbanisation autour des aérodromes. Les documents d'urbanisme, et notamment les plans d'occupation des sols, doivent être compatibles avec les règles d'urbanisme qu'elle institue dans les différentes zones des plans d'exposition au bruit ; ces règles sont de plus opposables aux autorisations d'utilisation du sol. La loi prévoit une procédure d'élaboration des PEB tournée vers le public : consultation des communes, de la commission consultative de l'environnement, quand elle existe, et soumission à enquête publique du projet de PEB. A l'issue de cette procédure, le PEB est approuvé et annexé aux plans d'occupation des sols concernés.

La définition des zones du PEB a été précisée par le décret prévu aux articles L 147-3 et 4 du Code de l'Urbanisme. Celle des zones A et B demeure inchangée. Par contre, la valeur de l'indice psophique définissant la courbe extérieure limite de la zone C pourra être choisie par le Préfet, Commissaire de la République du département où se trouve l'aérodrome entre les valeurs 84 et 78. Cela concerne 802 communes.

On notera que les maires étant désormais responsables de l'urbanisme, on peut se demander quelle sera leur attitude vis-à-vis de la construction de logements dans la zone C. On ne sait pas encore si la préférence va à des constructions industrielles ou bien à accepter des maisons ou immeubles collectifs, dont l'isolation est soi-

individual ungrouped buildings is allowed in already-developed areas, as is the renovation or rehabilitation of existing dwellings as long as this produces only a small increase in the housing capacity exposed to noise.

Law n° 85.696 of 11 July 1985 relating to urban planning in the vicinity of airports, established in the framework of Article L.111.1.1 of the Urban Planning Code, reaffirmed the national interest of controlling development around airports. Urban planning documents, and notably land use plans, must be compatible with the regulations contained in this law governing development in the zones of the noise exposure plan. These regulations can, moreover, serve to invalidate land use permits. The law sets forth a procedure for drawing up these noise exposure plans which includes public participation: consultation with the communities and the consultative environmental commission, when there is one, and submission of the proposed noise exposure plan for public inquiry. When this procedure is completed, the noise exposure plan is approved and appended to the relevant land use plans.

The definitions of the zones in the noise exposure plan are given in the decree provided in Articles L 147-3 and -4 of the Urban Planning Code. Those for zones A and B remain unchanged. On the other hand, the psophic index for the external boundary of zone C can be set by the Préfet of the department in which the airfield is located, between the values of 84 and 78. This affects 802 communities.

Since mayors now have responsibility for urban planning, there is a question as to what their attitude will be toward residential construction in zone C. It is not yet clear whether they will tend to prefer the construction of industrial facilities or whether they will allow single-family and multiple-family dwellings to be built provided they have adequate noise insulation. In each of the

gnée ; en effet dans chacune des zones, les possibilités de constructions nouvelles sont restreintes, en particulier, la construction d'habitations en zone A ou B est interdite, et des normes minimales d'isolation acoustique doivent être respectées (voir tableau 5).

Depuis la circulaire du 19.1.88, toutes ces dispositions sont encore améliorées :

- le PEB est élaboré selon une procédure consultative élargie,
- les commissions consultatives de l'environnement des aérodromes sont institutionnalisées,
- les situations particulières de certains aérodromes sont prises en compte,
- la limite inférieure de la zone C peut descendre jusqu'à 75.

CONCLUSIONS

Pendant la dernière décennie, l'accroissement constant du trafic aérien a été compensé, pour ce qui est de la production du bruit, par l'amélioration acoustique des avions de ligne ainsi que par l'accroissement de leur capacité qui a limité la multiplication des mouvements. Cette situation favorable ne va pas se prolonger et la gêne des riverains d'aéroports pourra constituer un sérieux obstacle à l'expansion des aéroports et aux mouvements d'avions. Les problèmes les plus difficiles seront probablement soulevés par la croissance du fret aérien et les perspectives de décollages pendant la nuit. Quant à la pollution de l'air, elle constitue une contrainte croissante et déjà déterminante pour la conception d'éventuels nouveaux avions supersoniques.

zones there are restrictions on what may be built: in particular, the construction of residential housing in zones A and B is prohibited and minimal noise insulation standards must be respected (see table 5).

These procedures and regulations were modified by the circulaire of 19 January 1988:

- *noise exposure plans are to be developed and approved through a broadened consultative procedure;*
- *the consultative environmental commissions for airfields are institutionalized;*
- *the special circumstances of certain airfields are to be taken into account;*
- *the lower limit for zone C is set at 75.*

CONCLUSIONS

As far as the problem of noise emission is concerned, the continual growth in air traffic during the last decade has been counterbalanced by improvements in the acoustical characteristics of airliners as well as by the introduction of higher-capacity airliners, which has slowed the rise in aircraft movements. This favorable situation is not going to last, and the annoyance experienced by people living in the vicinity of airports may pose a serious obstacle to the expansion of these facilities and of aircraft movements. The most difficult problems will probably result from the growth in airfreight traffic and the consequent increase in nighttime operations. Air pollution is becoming an increasingly important constraint and is already a decisive influence on the design of future supersonic airliners.

(1) J.Y. Valin, 1989, «Les conséquences des nuisances phoniques au niveau des aéroports. Le cas de l'Aéroport de Paris».

(2) B. Bonneau, 1988, «Normes de bruit : les lois du silence ou la raison des plus puissants». Interavia - 9 - 817-820, 1988.

(1) J.Y. Valin, 1989, «Les conséquences des nuisances phoniques au niveau des aéroports. Le cas de l'Aéroport de Paris».

(2) B. Bonneau, 1988, «Normes de bruit : les lois du silence ou la raison des plus puissants». Interavia - 9 - 817-820, 1988.

Tableau 5 / Table 5
Valeurs minimales de l'isolation acoustique des bâtiments en France
Minimum acoustical insulation values for buildings in France

Zones	A	B	C	Proche de la zone C Near zone C
Habitations nécessaires à l'activité aéronautique Buildings <i>used for airline and airport activities</i>	42 dB(A) (1)	35 dB(A) (1)	35 dB(A) (2)	30 dB(A) (2)
Logements individuels et collectifs Residential <i>single-family and multiple-family dwellings</i>	exclus <i>excluded</i>	exclus <i>excluded</i>	35 dB(A) individuel seulement <i>single-family only</i>	30 dB(A) (2)
Locaux d'enseignement et de soins, logements de fonction des zones d'activités spécialisées Schools <i>and health-care facilities, company housing for employees in the zones of specialized activities</i>	(3) 47 dB(A) (1)	(4) 40 dB(A) (1)	35 dB(A)	30 dB(A)
Locaux à usage de bureaux ou recevant du public <i>Offices and other buildings open to the public</i>	42 dB(A) (1)	35 B(A) (2)	30 dB(A) (2)	
Établissements recevant du public, nécessaires à l'activité aéronautique dans l'emprise de l'aérodrome. Entrepôts et ateliers industriels et commerciaux Establishments <i>open to the public that are essential to aviation activities at the airport. Industrial and commercial warehouses and workshops</i>	Étude particulière <i>Special study required</i>			

Source : DGAC - STNA

(1) Sauf étude particulière. / Unless a special study has been done.

(2) Une étude particulière est souhaitable pour les grands immeubles. / A special study desirable in the case of large buildings.

(3) Exceptionnellement admis sauf logements de fonction des zones d'activités. / Permitted in special cases except for company housing.

(4) Exceptionnellement admis. / Permitted in special cases.

ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES COMPLÉMENTAIRES
SUPPLEMENTAL BIBLIOGRAPHY

Barraque B.- Les politiques de lutte contre le bruit. Le cas de la France. Rapport à l'OCDE. 1988.

Griefahn B.- Präventivmedizinische Vorschläge für den nachtlischen Schallschutz, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 37, pp. 7-14, 1990.

Guide du bruit aéronautique. Ministère des transports, STBA-STNA, 94 p., 1987.

House M.- Measurement and prediction of aircraft noise, in Transportation Noise, Reference book, P. Nelson ed, Butterworths. London 1987.

OACI.- Méthode recommandée pour le calcul des courbes de niveau de bruit au voisinage des aéroports. Circulaire 205, Montréal, Canada, 33 p., 1988.

OACI.- Protection de l'environnement. Annexe 16, Bruit des aéronefs, 2^e édition. Montréal, Canada, 125 p., 1988.

Rabinowitz J.- Synthesis of Social surveys on noise annoyance. J. Acoust. Soc. Am. 64. pp. 377-405. 1978.

Vallet M.- Sleep Disturbance, in Transportation Noise, Reference book, P. Nelson ed., Butterworths. London, 1987.

Les nuisances sonores engendrées par les trains à grande vitesse

Noise annoyance caused to high-speed trains

J. LAMBERT

Directeur de recherche, Laboratoire Énergie Nuisances, INRETS

RÉSEAU FERROVIAIRE EUROPÉEN ET NUISANCES SONORES : QUELLES CRAINTES POUR L'AVENIR ?

Il est devenu un lieu commun de dire que le Train à Grande Vitesse va devenir dans le futur proche un moyen rapide de transport de masse.

Limité actuellement à la ligne Paris Sud-Est et Paris Atlantique, le réseau européen va très rapidement se développer (réf.1), tant au Sud de l'Europe (ligne Madrid-Cordoue-Séville en 1992, ligne Florence-Rome), qu'au Nord (ligne Hanovre-Würzburg, Mannheim-Stuttgart en 1991, Transmanche en 1994, Paris-Bruxelles-Cologne-Amsterdam en 1996).

De multiples liaisons sont donc envisagées à travers l'Europe; seules les ambitions nationales et le franchissement de certains obstacles tant politiques qu'économiques viendront ralentir ou accélérer la réalisation de ce réseau. Au total c'est sur un gigantesque maillage de 30 000 km que devraient circuler, d'ici à 2015, les Trains à Grande Vitesse. On rêve même déjà d'un Paris-Constantinople en 9h10 contre 67h35 en 1889 ! (réf.2).

THE EUROPEAN RAIL NETWORK AND NOISE ANNOYANCE: WHAT ARE THE CONCERNS FOR THE FUTURE?

It is now generally accepted that high-speed trains are going to become a means of mass transport in the near future.

Limited at the present time to the TGV Sud-Est and TGV Atlantique lines in France, the European network is going to expand rapidly (1) in both southern Europe (a Madrid-Cordoba-Sevilla line in 1992 and a Florence-Rome line) and northern Europe (Hanover-Würzburg and Mannheim-Stuttgart lines in 1991, a trans-Channel line in 1994, and a Paris-Brussels-Amsterdam line in 1996).

Numerous connections are planned across Europe, and only nationalistic ambitions and the need to overcome certain political and economic obstacles will influence the speed at which this network is constructed. All together, 30,000 km of track will make up this immense high-speed train network by 2015. There are already dreams of traveling from Paris to Istanbul in 9h10, compared with 67h35 in 1889 (2)!

Cette généralisation de la grande vitesse ferroviaire dans la CEE met inévitablement à l'ordre du jour le problème des nuisances sonores engendrées par ce nouveau mode de transport, eu égard à sa technologie et à son mode d'exploitation. C'est d'ailleurs la nuisance la plus perceptible et la plus dénoncée par les riverains⁽¹⁾. Sa prise en compte dans les projets de construction de lignes nouvelles mérite le plus grand soin dans la mesure où, dans des situations de forte opposition de la part des populations riveraines, le coût de construction de la nouvelle voie peut augmenter jusqu'à 40 % compte tenu des protections acoustiques à mettre en place (réf.3).

Deux facteurs risquent à terme d'accroître l'impact de ce type de matériel sur la qualité de l'environnement sonore des riverains situés à proximité des voies :

- Les TGV vont circuler à des vitesses de plus en plus élevées : la vitesse de croisière de référence se situera bientôt aux alentours de 350 km/h (TGV de 3^e génération, ETR500 italien notamment), voire 400 km/h, contre 300 km/h actuellement par le TGV Atlantique (vitesse de pointe). Qu'en sera-t-il des émissions sonores lorsque ces vitesses seront atteintes ?

- La circulation des TGV s'étendra petit à petit à une partie de la nuit, ce qui permettra aux usagers de relier rapidement n'importe quelle grande capitale européenne mais risque d'accroître la gêne des riverains particulièrement sensible durant cette période (effets probables sur le sommeil) .

L'objet de cet article est donc d'apporter des éléments de réponses à ces craintes à la lumière des informations les plus récentes disponibles dans ce domaine.

(1) L'implantation d'une nouvelle infrastructure de Train à Grande Vitesse engendre bien d'autres conséquences sur l'environnement. Elles sont brièvement analysées dans l'annexe 1.

The prospect of the generalized use of high-speed trains in the EEC inevitably raises the problem of the noise annoyance produced by this new mode of transport with respect to its specific technology and operational characteristics. Noise is, indeed, the most perceptible annoyance and the one most often mentioned by people living along the railway lines. Careful attention must be given to this problem when new lines are constructed, since, in situations where there is strong opposition from the community, the cost of building a new line can go up by as much as 40% because of the need to provide acoustical protection (3).*

Two factors may ultimately increase the impact of this type of train on the noise environment of people living near the tracks:

- high-speed trains are going to be running at ever faster speeds. The typical cruising speed will soon be around 350 km/hr (for the third-generation TGV and the Italian ETR 500, for example) or even 400 km/hr, compared with 300 km/hr (the peak speed of the TGV Atlantique) today. What will noise emissions be like at these speeds?

- high-speed train operations will gradually be extended into the nighttime. This will give travelers rapid, easy connections between all of Europe's major cities, but it may also create disturbance during a period when people are especially sensitive to noise, with probable effects on sleep.

The purpose of this article is therefore to provide a partial response to such concerns by considering some of the most recent information available on this subject.

* The construction of a new infrastructure for the high-speed trains has many other consequences for the environment. They are briefly described in Annex 1.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT ÉMIS PAR LES TGV

La grande vitesse ferroviaire implique l'utilisation de la traction électrique ou de la sustentation magnétique. Dans le premier mode de traction, la première source de bruit provient du contact roue-rail (bruit de roulement): il augmente de 9 dB(A) environ si on double la vitesse du train; vient ensuite, en particulier aux vitesses élevées, le bruit aérodynamique. Dans le deuxième mode, l'essentiel du bruit est d'origine aérodynamique.

A l'heure actuelle, cinq systèmes ferroviaires à grande vitesse sont soit en exploitation soit en phase de développement ou au stade expérimental:

- le Shinkansen au Japon (depuis 1964) (réf.4);
- le TGV français (TGV SE, TGV A, Trans-Manche Super Train);
- l'ICE allemand (Inter City Express);
- le Transrapid allemand (à sustentation magnétique) (TR06 puis TR07);
- l'ETR italien (ETR 450 puis ETR 500 après 1990) (réf.5).

Les niveaux sonores des matériels français et allemands apparaissent dans la figure 1, élaborée à partir des références 6 à 10.

Pour les trains circulant sur des rails (TGV et ICE notamment), les niveaux sonores maximum sont très proches; ils se situent aux alentours de 83 dB(A) pour les faibles vitesses que l'on rencontre notamment dans la traversée des agglomérations situées en zone péri-urbaine, 92 dB(A) dans les conditions actuelles d'exploitation en rase campagne, et dépassent légèrement les 100 dB(A) pour une vitesse de 400 km/h.

Pour ce qui concerne le train à sustentation magnétique (en version expérimentale), et en comparaison avec le cas précédent, les niveaux semblent être inférieurs de 6 à 8 dB (A). Des mesures en cours permettront de mieux préciser ces écarts.

PRINCIPAL CHARACTERISTICS OF THE NOISE EMITTED BY HIGH-SPEED TRAINS

High-speed trains rely on electrical traction or magnetic levitation technology. With electrical traction, the primary source of noise is the contact between the wheel and the rail (rolling noise). It increases by about 9 dB(A) when the speed of the train doubles. Second in importance is aerodynamic noise, which is produced at high speeds especially. This is the principal type of noise emitted by maglev trains.

At the present time, five high-speed rail systems are either in operation, under development, or being tested:

- *the Shinkansen in Japan (since 1964) (4);*
- *the TGV in France (TGV Sud-Est, TGV Atlantique, Trans-Channel Super Train);*
- *the ICE (InterCity Express) in Germany;*
- *the Transrapid (maglev technology, TR06 followed by TR07), also in Germany;*
- *the ETR (ETR 450 and, since 1990, the ETR 500) in Italy (5).*

The sound levels of the French and German trains are shown in Graph 1 below (6 -10).

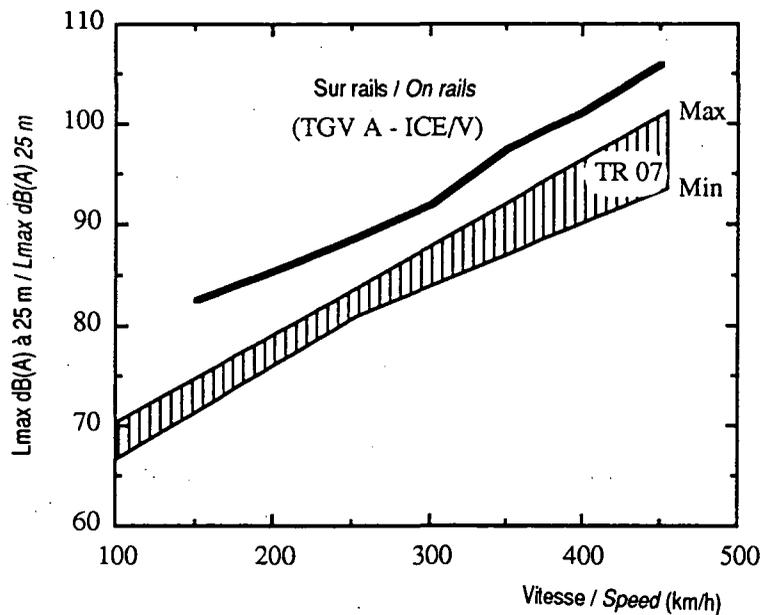
For the trains that run on rails (notably the TGV and ICE), the maximum sound levels are very close: they range from about 83 dB(A) during the low-speed crossing of towns in the urban periphery to 92 dB(A) in the countryside under current operating conditions; at a speed of 400 km/hr, they rise to slightly more than 100 dB(A).

By comparison, sound levels for the magnetic levitation train (experimental version) seem to be 6 to 8 dB(A) lower. Measurements being done at the present time will give a more precise idea of the differences.

La comparaison entre les niveaux sonores des différents trains à grande vitesse doit être appréciée avec grande prudence car les méthodes de mesure du bruit (situation du micro par exemple), la composition des matériels mesurés (nombre de rames) et le stade de développement du matériel (série, expérimental) présentent des différences non négligeables qui ont une influence sur les résultats de mesure.

Great caution must be taken in comparing the sound levels of the various high-speed trains, since the noise measurement techniques (the position of the microphone, for example), the composition of the sample (the number of trains), and the stage of development of the equipment (production or experimental) introduce significant differences that will have an influence on the measurement results.

Figure 1
Niveaux de bruit des trains à grande vitesse
Noise levels of high-speed trains



En plus du niveau de bruit maximum du train, deux autres paramètres importants sont à prendre en compte pour évaluer l'impact physique du bruit :

- La durée d'exposition : par exemple, lors du passage du TGV Atlantique (rame simple), un niveau de bruit supérieur à 70 dB(A) peut être entendu pendant 8 à 9 secondes par un observateur situé à 25 mètres de la voie, mais seulement pendant 4 à 5 secondes pour un niveau dépassant 80 dB(A) et environ 1,5 secondes pour un niveau dépassant 90 dB(A).

Besides the maximum noise level of the train, two other important parameters must be taken into consideration in assessing the physical impact of noise:

- The duration of exposure: for example, during the passage of the TGV Atlantique (a single train set), a noise level of over 70 dB(A) can be heard for 8 to 9 seconds by an observer who is 25 meters from the track; for a noise level in excess of 80 dB(A), however, the duration is only 4 to 5 seconds and in excess of 90 dB(A) only about 1.5 seconds. At the

A l'heure actuelle, en période de pointe, le trafic ferroviaire sur la ligne Paris-Sud Est n'entraîne qu'environ 3 minutes de bruit par heure, pour un potentiel d'environ 7000 voyageurs (réf.11).

- La distance entre la voie et l'habitation: compte tenu d'une diminution des niveaux sonores de 3 à 6 dB(A) chaque fois que la distance par rapport à la voie double, on considère que la zone de nuisances sonores s'étend sur une largeur moyenne comprise entre 800 mètres et 1 km lors du passage d'un train circulant à 350 km/h. Il faut ainsi se placer à au moins 3 km de la voie pour ne pas entendre le bruit du train, c'est-à-dire n'être exposé qu'au bruit de fond particulièrement faible, il est vrai, en zone rurale [L90 = 30 dB(A)] (réf.12).

Compte tenu de ces deux types de paramètres, il est possible de préciser les durées d'exposition au bruit en fonction de la distance à la voie. L'exemple figurant dans le tableau 1 concerne le TGV Sud-Est (rame double circulant à 250 km/h).

present time, the rail traffic during peak periods on the Paris-Sud Est line produces only about 3 minutes of noise per hour while transporting a potential 7,000 passengers (11);

- The distance between the track and the dwelling: since noise levels decrease by 3 to 6 dB(A) each time the distance from the track doubles, noise annoyance will extend over an area 800 to 1,000 meters wide on the average during the passage of a train traveling at 350 km/hr. Therefore, one must be at least 3 km from the track in order not to hear the noise of the train, or, more precisely, to be exposed only to a very faint background noise in a rural area [L90 = 30 dB(A)] (12).

On the basis of these two parameters, it is possible to calculate the duration of noise exposure as a function of the distance from the track. The example given in Table 1 is for the TGV Sud-Est (a double train set traveling at 250 km/hr).

Tableau 1 / Table 1
Durées d'exposition au bruit du TGV SE (à partir de mesures INRETS)
Duration of noise exposure for the TGV Sud-Est (based on INRETS measurements)

Distance à la voie <i>Distance from the track</i>	Durée d'exposition (en sec.) au-dessus d'un seuil de bruit <i>Duration of exposure (in sec.) above a noise threshold</i>			L max dB(A)
	> 70 dB(A)	> 80 dB(A)	> 90 dB(A)	
50 m	11.5	9	6.5	97
100 m	11	8.5	6	94
200 m	10	8	0	90

Cet impact est évidemment moindre si des protections acoustiques sont mises en place le long de la voie. A 25 mètres de la voie, on peut atteindre des diminutions de 8 à 12 dB(A) sur le L max suivant la hauteur de l'écran et la vitesse du train. Les durées d'exposition sont également réduites : 6,5 s pour $L > 70$ dB(A), 2,2 s pour $L > 80$ dB(A), 0 s pour $L > 90$ dB(A) dans le cas du TGV Atlantique évoqué précédemment.

IMPACT DU BRUIT FERROVIAIRE

◆ Populations concernées

Comparativement au bruit de la route, le bruit ferroviaire touche peu de personnes. En France, par exemple, on estime à 550 000 (soit 1 % de la population nationale), le nombre de personnes citant cette source de bruit comme nuisance majeure ressentie à domicile dont 60% (330 000 personnes) sont assez ou très gênées (réf.13).

L'exposition au bruit ferroviaire est aussi un bon indicateur d'impact. Le tableau 2 ci-après indique, pour quelques pays européens, la répartition des populations exposées à leur domicile au bruit de train en fonction des niveaux sonores en façade d'habitation (réf. 14).

The impact is obviously lessened if acoustical barriers have been set up along the track. At 25 meters from the track, the value of Lmax can be reduced by 8 to 12 dB(A) depending on the height of the screen and the speed of the train. The exposure durations are also shortened: 6.5 sec for $L > 70$ dB(A), 2.2 sec for $L > 80$ dB(A), 0 sec for $L > 90$ dB(A) in the case of the TGV Atlantique referred to above.

IMPACT OF RAILWAY NOISE

◆ The populations affected

Compared to road traffic noise, the noise generated by trains affects a small share of the population. In France, for example, the number of persons who cite noise from this source as a major annoyance in the home is placed at 550,000 (or 1% of the population), with 60% of them (330,000 persons) describing it as moderately or highly annoying (13).

Exposure to train noise is also a good indicator of impact. Table 2 gives a breakdown of the populations exposed to train noise in their home in relation to the noise level at the façade of the dwelling (14).

Tableau 2 / Table 2

Exemples d'exposition diurne au bruit des trains en Europe (en % de la population)
Examples of daytime exposure to train noise in Europe (% of the population)

Pays Country	Population exposée à un niveau de bruit dépassant Population exposed to a noise level exceeding			
	55 dB(A)	60 dB(A)	65 dB(A)	70 dB(A)
Germany	13	5	1.7	
France	1.4	0.8	0.4	0.15
Netherlands	6.0	0.2	0.6	
Switzerland	23.4	11	5.9	1

Si, globalement, la situation de la France et des Pays-Bas semble relativement satisfaisante, en revanche celle de la RFA et surtout celle de la Suisse est assez préoccupante car une partie non négligeable de la population est touchée, notamment au-delà du seuil de 65 dB(A), niveau moyen de jour qu'il serait souhaitable de ne pas dépasser, eu égard à la gêne provoquée par cette source de bruit.

◆ *Impact sur les populations*

Les modalités d'impact les plus importantes du bruit de train sont (réf. 15) :

- la gêne psychologique ;
- la perturbation de la communication parlée ;
- les effets sur le sommeil ;
- les effets sur la santé.

• *Gêne exprimée*

Malgré la variabilité interindividuelle des niveaux de gêne liée à la sensibilité personnelle aux bruits et à l'attitude vis-à-vis de la source de bruit, le niveau moyen de gêne d'une population est corrélé de façon significative avec le niveau de bruit ambiant. Le pourcentage de gens gênés par le bruit croît régulièrement avec la dose de bruit reçu (voir graphique 2 ci-après) (réf. 16).

Il est généralement admis un «bonus-rail» de 4 à 5 dB(A) par rapport au bruit routier, c'est-à-dire qu'un même niveau de gêne est atteint pour un niveau de bruit de jour supérieur de 4 à 5 dB(A). Ce bonus rail n'existe pas pour le bruit des gares (de triage en particulier).

Cette meilleure acceptation des bruits de train s'explique par plusieurs facteurs : l'image favorable des trains qui renvoie principalement à son utilité sociale, le phénomène d'habituation favorisé par la stabilité de la signature sonore, la faible impulsivité de la plupart des bruits de train.

Cette accoutumance est en fait assez relative car les perturbations du système végétatif et de l'intelligibilité ne sont pas susceptibles d'habituation.

While the situation in France and the Netherlands appears, on the whole, to be relatively satisfactory, in Germany and, above all, in Switzerland there is cause for concern, since a significant portion of the population is exposed to noise above the 65 dB(A) threshold, the average daytime level which, it is thought, should not be exceeded with respect to the annoyance provoked by this source of noise.

◆ *Impact on the community*

The most important ways in which train noise has an impact are (15):

- *psychological disturbance;*
- *interference with oral communication;*
- *effects on sleep;*
- *effects on health.*

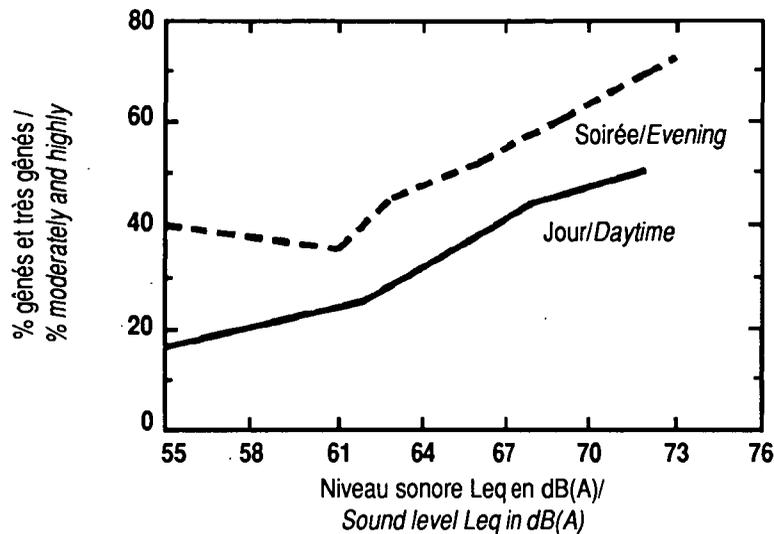
• *Expressed annoyance*

Although the level of annoyance varies from one individual to another because of personal sensitivity to noise and attitude toward the source of the noise, there is a significant correlation between the average level of annoyance experienced by the community and the ambient noise level. The percentage of people annoyed by noise increases steadily with the amount of noise they are exposed to (see Graph 2 below) (16).

A "rail bonus" of 4 to 5 dB(A) is generally found when comparisons are made with road traffic noise: i.e., the daytime train noise level will need to be 4 to 5 dB(A) higher than the road traffic noise level to produce an equivalent level of annoyance. This rail bonus does not apply to noise at the station (and switching yards in particular).

The greater tolerance of train noise is explained by several factors: the favorable image trains have, which is due chiefly to their social utility; a phenomenon of habituation, which is enhanced by the stability of their sound signature, and the low impulsiveness of most train noises.

Figure 2
Évolution de la gêne de jour et de soirée
Variation in annoyance during the daytime and evening



En RFA, un bonus moyen de 5 dB(A) a également été mis en évidence. Il résulte en fait d'un compromis entre un bonus nul concernant l'effet du bruit sur la communication, de 10 dB(A) pour la gêne de nuit, de 3 à 5 dB(A) pour la gêne de jour (réf.17).

• *Perturbations de la communication parlée*

Ces perturbations sont ressenties au cours des conversations, pendant l'écoute de la télévision et de la radio, et pendant l'usage du téléphone. Des exemples figurent dans le graphique 3 ci-contre (réf. 18).

Le bruit des trains est plus gênant, masque davantage la parole que le bruit routier. Par rapport à ce type de perturbation, le bonus rail, évoqué précédemment, n'existe pas.

• *Effets sur le sommeil*

Le bruit provoque: un allongement des délais d'endormissement, des éveils en cours de nuit, le raccourcissement de certains stades de sommeil, la dégradation de la qualité du sommeil.

This habituation is, in fact, quite relative, since the disturbance of basic physiological functions and interference with speech intelligibility are not affected by habitual exposure to noise.

In Germany, a rail bonus of 5 dB(A) has been calculated. This value has in fact been arrived at by averaging bonuses of zero for the effect of the noise on communication, 10 dB(A) for nighttime annoyance, and 3 to 5 dB(A) for daytime annoyance (17).

• *Interference with oral communication*

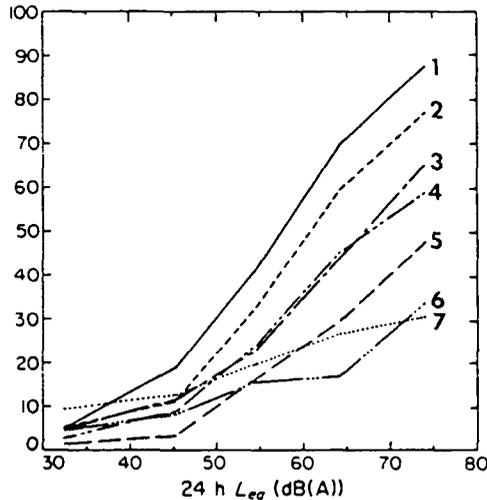
This interference is experienced during conversations, while listening to the television or radio, or while speaking on the telephone. Some examples are shown in Graph 3 below (18).

Train noise interferes more with speech and is more disturbing than road traffic noise. The "rail bonus" mentioned earlier does not exist as far as this type of disturbance is concerned.

• *Effects on sleep*

Noise lengthens the time it takes to get to

Figure 3
Riverains (en %) perturbés par les bruits de trains pendant certaines activités
Percentage of residents disturbed by train noise during certain activities



1. Interrompus ou obligés de parler fort dans le jardin.
Interrupted or obliged to speak louder in the garden.
2. Écotent difficilement la télévision fenêtres ouvertes.
Difficulty hearing the television with the windows open.
3. Gênés dans les conversations fenêtres ouvertes.
Disturbed during conversations with the windows open.
4. Interférence pendant l'écoute de la radio ou de la télévision.
Interference while listening to the radio or television.
5. Interférence avec les conversations.
Interference with conversation.
6. Sursaut.
Startled by the noise.
7. Éveil ou interférence pendant le sommeil.
Awakening or interference with sleep.

On constate des éveils pour des niveaux de bruit de pic supérieurs à 52 dB(A) à l'intérieur des chambres (soit environ 75 dB(A) en façade d'habitation). Cet effet de niveau de pic dépend aussi du niveau de bruit de fond et donc de l'émergence et de la durée d'exposition à un passage isolé. Ainsi, en site calme (zone rurale par exemple), à bas bruit de fond, l'émergence interrèagit avec le niveau de pic; en site bruyant (zone urbaine par exemple), à bruit de fond élevé, c'est la durée du bruit qui interrèagit avec le niveau de pic.

• Effets sur la santé

Outre les effets sur le sommeil évoqués dans le paragraphe précédent, le bruit ferroviaire provoque des effets sur le système cardiovasculaire et sur l'état physiologique.

L'étude des types de réactions permet de conclure à une certaine habitude physiologique du même ordre pour tous les types de train. Des réactions physiologiques ont été mises en évidence auprès de l'ensemble des riverains du train rapide Shinkansen au Japon pour des niveaux $L_{eq} > 80$ dB(A). Pour des

sleep, causes awakening during the night, shortens certain sleep stages, and impairs the quality of sleep.

Awakenings are observed for peak noise levels over 52 dB(A) in the bedroom (about 75 dB(A) at the façade). The effect of peak noise also depends on the level of background noise and thus on the rise time and duration of the noise of a passing train. In a calm area (the country, for example) where the level of background noise is low, the rise time has a greater influence on peak noise impact; in a noisy area (a city, for example) where the level of background noise is high, the duration of the noise is a more important factor in determining the effect of peak noise.

• Effects on health

Besides the effects on sleep described in the preceding paragraph, train noise has effects on the cardiovascular system and on other physiological functions.

Studies on the types of reactions lead to the conclusion that there is some physiological habituation for all kinds of trains. Physiological

niveaux inférieurs compris entre 70 et 80 dB(A), des effets ont également été mis en évidence mais concernent seulement les populations dont l'état de santé était précaire.

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

Le bruit est de très loin la première nuisance d'environnement ressentie par les riverains de voies ferrées. En France, il est considéré dans plus de 70 % des cas comme la première source de gêne ; 45 % des riverains le considèrent comme assez ou très gênant.

Il n'est donc pas très étonnant que le bruit apparaisse actuellement comme un des obstacles au développement des réseaux TGV en Europe, malgré les progrès technologiques réalisés sur ces matériels : à vitesse identique, les TGV sont moins bruyants que les trains classiques. Mais aux très grandes vitesses envisagées pour les prochaines années (350 km/h et au-delà), les niveaux sonores atteignent, à 25 mètres de la voie, les 100 dB(A), ce qui, en soirée notamment, reste encore très gênant même pour des riverains éloignés de plusieurs centaines de mètres .

Des mesures de protection (type écran ou isolation de façade) sont et seront donc nécessaires dans les sites sensibles. Mais le choix de l'indice acoustique représentatif de la gêne des riverains et celui de la valeur du seuil à ne pas dépasser restent à ce jour encore très discutés. En France, par exemple, il est recommandé de ne pas dépasser en moyenne 65 dB(A)(Leq) en façade d'habitation sur la période 8h-20h, ce qui peut se révéler insuffisant au cours de périodes plus sensibles, comme la soirée, où l'effet du bruit de train sur la communication n'est pas pris en compte de façon satisfaisante par l'indice Leq ; de plus, cet indice n'est pas très bien compris et donc mal accepté par les populations riveraines. Un indice de «masque» semble plus pertinent pour cette période.

reactions were observed in all residents living along the Shinkansen high-speed train line in Japan for values of $Leq > 80$ dB(A). For lower levels between 70 and 80 dB(A), effects have also been noted, but only in individuals who were not in good health.

SYNTHESIS AND OUTLOOK

Noise is by far the leading environmental annoyance affecting people living along railway lines. In France, 70% of this population cites it as the primary source of annoyance; 45% of these residents say it is moderately or highly annoying.

Therefore, it is not very surprising that noise is now appearing as one of the obstacles to the development of high-speed train networks in Europe in spite of the technological advances that have been made in the equipment: at equivalent speeds, high-speed trains are not as noisy as conventional trains. But at the very high speeds envisaged for the coming years (350 km/hr and higher), sound levels at 25 meters from the track reach some 100 dB(A), which is extremely annoying, especially in the evening, even for people living several hundred meters away.

Protective measures (screens or noise insulation for building façades) are and will continue to be necessary in sensitive areas. But the choice of noise exposure index to measure the annoyance caused the community and of an annoyance threshold value which should not be exceeded are still subjects of intense debate. In France, for example, it is recommended that the noise level not exceed an average 65 dB(A) at the façade of dwellings during the 8-20h period. This value may not be low enough during more sensitive periods, such as the evening, since the effect of train noise on communication is not adequately taken into account by the Leq index. Moreover, this index is not very well understood by the community and is thus poorly accepted. An interference or "masking"

En Allemagne, la législation impose de ne pas dépasser 54 dB(A)(Leq) pour la période nocturne.

Aux Pays-Bas, il existe trois seuils : pour la période diurne, il est recommandé de ne pas dépasser 60 dB(A) (Leq 7h-19h), en soirée, 55 dB(A) (Leq 19h-23h), la nuit, 50 dB(A) (Leq 23h-7h).

La limite diurne se situe donc entre 60 et 65 dB(A) ; celle de nuit entre 50 et 55 dB(A). D'autres pays (Royaume-Uni par exemple) souhaiteraient compléter ces recommandations par un niveau maximum (Lmax) à ne pas dépasser, en l'occurrence 80 dB(A) (réf. 19).

Aussi, devant cette mosaïque de législations nationales, un effort d'harmonisation européenne des indices de bruit ferroviaire semble à terme indispensable. En tout état de cause, elle déterminera de façon décisive des efforts financiers qu'il conviendra de fournir pour protéger efficacement du bruit les riverains des voies du futur réseau européen de trains à grande vitesse.

index would seem to be more appropriate as a forecast of annoyance for this period. In Germany, legislation places a maximum limit on Leq of 54 dB(A) during the nighttime.

In the Netherlands, there are three thresholds: in the daytime, the recommended limit is 60 dB(A) (Leq 7h-19h), in the evening, 55 dB(A) (Leq 19h-23), and at night, 50 dB(A) (Leq 23h-7h).

The daytime limit thus falls between 60 and 65 dB(A) and the nighttime limit between 50 and 55 dB(A). Other countries (the United Kingdom, for example) would like to add to these recommendations by setting a maximum level (Lmax) that must not be exceeded, in their case 80 dB(A) (ref. 19).

In view of the patchwork of national laws, an effort to harmonize rail noise indices in Europe would seem to be ultimately indispensable. In any event, such harmonization will be key to determining what financial efforts must be made to provide adequate noise protection for the populations living along the railway lines in the future European high-speed train network.

REFERENCES / REFERENCIAS

- 1 - D. Vincent (1985). Grande vitesse ferroviaire dans la Communauté européenne. Revue Transports, n° 310, 12.1985.
- 2 - Sur les rails du XXI siècle, in «La vie quotidienne en 2015», Science et vie n° 172, 09.1990.
- 3 - J. G. Walker (1990). A European high-speed railway network: the noise implications. Proceedings of Inter-noise 90, Gothenburg, Sweden, 13-15.08.1990.
- 4 - Y. Okumura and K. Kuno (1990). Changes of the Shinkansen super express railway noise since the opening in 1964. Applied Acoustics 30 (1990) 15-28.
- 5 - E. Cardini et M. Cavagnaro (1985). Italie, chemin de fer et grande vitesse. Revue Transports, n°310, 12.1985.
- 6 - B. Mauclair (1990). Noise generated by high speed trains. Proceedings of Inter-noise 90, Gothenburg, Sweden, 13-15.08.1990.
- 7 - R. L Wayson and W. Bowlby (1989). Noise and air pollution of high speed rail systems. Journal of Transportation Engineering, Vol. 115, n°1, 01.1989.
- 8 - Carl E. Hanson (1990). High speed rail system noise assessment. TRB Annual Meeting, 7-11.01.1990, Washington, D.C.
- 9 - W. F. King (1990). The components of wayside noise generated by highspeed tracked vehicles. Proceedings of Inter-noise 90, Gothenburg, Sweden, 13-15.08.1990.
- 10 - B. Barsikow (1990). The importance of aerodynamic noise for tracked vehicles at speeds up to 500 km/h. Proceedings of Inter-noise 90, Gothenburg, Sweden, 13-15.08.1990.
- 11 - B. Mauclair (1989). Les aspects du bruit ferroviaire
Améliorations récentes sur le matériel. Journée INRETS « Evaluation de la gêne due aux bruits ferroviaires», Bron, 20.01.1989.
- 12 - W. de Graaf (1989). Noise impact from high speed trains. 8° Symposium FASE' 89 «Acustica Ambiental», Zaragoza, 04.1989.
- 13 - M. Maurin, J. Lambert. et A. Alauzet (1988). Enquête nationale sur le bruit des transports en France. Rapport de recherche INRETS n°7 1, 1988.
- 14 - J. Lambert (1989). Exposition des français au bruit ferroviaire Situation actuelle et prospective 2010. Journée INRETS « Evaluation de la gêne due aux bruits ferroviaires», Bron, 20.01.1989.
- 15 - G. Pachiaudi et M. Vernet (1984). Le bruit des trains - Aspects physiques et psychologiques. Note d'informations IRT n° 33, 12.1984.

16 - C. Signolles et M. Vernet (1989). Enquête sur la gêne due aux bruits ferroviaires - Résultats opérationnels. Journée INRETS « Evaluation de la gêne due aux bruits ferroviaires », Bron, 20.01.1989.

17 - U. Molher (1985). Die unterschiedliche Lastigkeit von Schienen-und Strassenverkehrslarm innerhalb und ausserhalb von Wohngebauten. Planungsburo OBERMEYER, Munchen, 04.1985.

18 - J. M. Field's and J. W. Walker (1982). The response to railway noise in residential areas in Great Britain. *Journal of Sound and Vibration* (1 982), 85 (2), 1 77 -255 .

19 - Technica Consulting Scientists & Engineers (1990): Railway noise standards - Let's get them right. Technical Document 1373/RPT/1 prepared for Kent Country Council, 02.1990.

20 - B. Gérardin (1990). Survey sur les conséquences de l'implantation des infrastructures sur l'environnement - Le cas du TGV nord. Projet de coopération interrégionale sur le transport à grande vitesse et le développement régional. INRETS, 06.1990.

ANNEXE 1

AUTRES IMPACTS DES TRAINS A GRANDE VITESSE SUR L'ENVIRONNEMENT

Outre le bruit, la construction d'une nouvelle ligne de train à grande vitesse engendre un grand nombre d'impacts sur l'environnement (réf. 20).

Trois grandes catégories d'impacts peuvent être retenues:

- l'espace;
- la cadre bâti;
- la géologie, l'hydrologie.

I - Impact sur l'espace

Cet impact touche d'une part l'activité agricole, d'autre part les paysages et les milieux naturels.

• L'agriculture

Trois types de conséquences peuvent être recensés: a) l'effet de coupure des unités fonctionnelles (ponction de terrains à haute valeur agronomique) et des cheminements, b) les effets de substitution liés aux expropriations sur l'emprise de l'ouvrage, c) les modifications du milieu physique. Un tracé peut ainsi créer des «délaissés», c'est-à-dire des zones peu exploitables, en particulier lorsque le tracé ferroviaire se trouve à moins de 50 mètres d'une autre infrastructure (autoroute par exemple). De plus, il provoque un nouveau remembrement dans des zones qui, en France notamment, ont déjà été restructurées il y a une vingtaine d'années.

De clôture à clôture, la largeur d'une ligne TGV n'est que d'une quarantaine de mètres. L'emprise totale sur le terrain, notamment les terres agricoles, est assez réduite (non compris les délaissés évoqués plus haut). Pour la ligne nouvelle Paris-Lyon, elle représente moins que la superficie de l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle. En RFA, l'emprise par kilomètre est de 3,5 hectares pour une nouvelle voie ferrée contre 9 hectares pour une autoroute.

• Les paysages

Deux types d'effets sont à prendre en considération: les effets de coupure visuelle (effet de coupure lié au remblai, effet de déblai en zone vallonnée, effet de lisière en milieu forestier, effet lié aux franchissements d'infrastructures) et les transformations du paysage induites par le projet (restructuration agricole, réaménagement des délaissés, restructuration urbaine).

• **Les milieux naturels**

Lors de la période de travaux, des conséquences sur la flore et la faune (rupture des circulations des grands animaux par exemple) peuvent apparaître ainsi qu'une pollution des eaux de ruissellement et une destruction de biotopes. Pendant la période d'exploitation, la perturbation principale provient de la disparition et de la coupure des biotopes. Enfin, le défrichage partiel des forêts peut conduire à terme à une fragilisation du milieu dont les conséquences sont particulièrement redoutables lors de tempêtes.

II - Impact sur le bâti

En plus des nuisances sonores, d'autres effets négatifs sur le bâti peuvent être recensés lors de l'implantation d'une nouvelle infrastructure de train à grande vitesse: la destruction de bâtiments (y compris des monuments classés et des sites archéologiques), les vibrations transmises par les traverses et le ballast, les effets de souffle (pour une personne placée à 7,5 mètres de la voie, ils sont en fait inférieurs à ceux d'un vent de 10 m/s soit 36 km/h lors du passage d'une rame TGV à 300 km/h).

III - Impact sur la géologie-géotechnique, l'hydrogéologie et l'hydrologie

L'utilisation des déblais pour équilibrer les remblais ainsi que la construction de la plate-forme ferroviaire nécessitent souvent l'utilisation de matériaux extérieurs et donc l'ouverture ou l'extension de carrières. Cette question, très peu souvent traitée, est d'importance pour la protection de l'environnement.

Le risque de pollution des eaux est surtout sensible pendant la réalisation des travaux, notamment dans les zones de terrassement. En période d'exploitation ces risques sont très réduits et se limitent au problème de l'usage des herbicides lors de l'entretien de la voie.

ANNEX 1

Other effects of high-speed trains on the environment

The construction of a new high-speed rail line has many effects on the environment besides noise (20).

Impact is felt in three general areas:

- the spatial environment;
- buildings;
- geological and hydrological phenomena.

I - Impact on the spatial environment

This category includes the effects on agricultural activities and on the landscape and natural milieu.

• *Agriculture*

Three types of consequences may be observed: a) the division of functional units (the splitting up of valuable agricultural land) and the cutting of paths and roads; b) effects of substitution related to the expropriations needed for the rail line right of way; c) modifications of the physical environment. The path of a rail line can create "fragments" of land, i.e. areas that are virtually impossible to cultivate, in particular when the right of way is within 50 meters of another infrastructure (a motorway, for example). In addition, land must be restructured in areas which, in France in particular, already underwent a similar process about twenty years ago.

From one fence to the other, the width of a TGV line is only about 40 meters. The total amount of land it occupies (not counting the "fragments" mentioned above), and notably agricultural land, is relatively small. The right of way for the new Paris-Lyon line is smaller in area than the Roissy Charles de Gaulle Airport. In Germany, one kilometer of railway line takes up 3.5 hectares of land, compared with 9 hectares for a motorway.

• *The landscape*

Two types of effects must be taken into consideration: first, visual degradation caused by land fills and excavation in hilly terrain, the cutting of forests, or construction needed to cross other infrastructures and, second, alterations of the landscape resulting from the project (restructuring of farm land, use of isolated land "fragments," urban restructuring).

• *The natural environment*

During the period of construction, there may be consequences for vegetation and wild life (blocking of trails used by larger animals, for example) as well as pollution of run-off water and a destruction of biotopes. Once the line is in operation, the chief disturbance is the breaking up or disappearance of biotopes. Finally, partial deforestation can eventually make the milieu fragile, with particularly serious consequences when there are storms.

II - Impact on buildings

In addition to noise annoyance, the construction of a new high-speed train infrastructure can also have negative effects on buildings. It may be necessary to destroy buildings (including historical monuments and archeological sites) during the construction of the line, while vibration transmitted by the ties and ballast present an ongoing threat to nearby buildings, as does wind produced by passing trains (although, for a person standing 7.5 meters from the track, the effect of a TGV going by at 300 km/hr is less than that of wind blowing at 10 m/sec, i.e., 36 km/hr).

III - Impact on geological, hydrogeological, and hydrological phenomena

The need for landfill as well as the construction of the railway roadbed often requires that materials be brought from elsewhere and thus to the opening or extension of quarries. Though not often treated, this matter is of importance for the protection of the environment.

The risk of water pollution is greatest during the construction phase, notably in the areas of excavation. Once the line is in operation, this type of risk is very small and related only to the use of herbicides in the maintenance of the track.

L'attitude des aéroports face à la problématique de l'environnement

How airports are coping with environmental problems

Hans Peter STAFFELBACH

Directeur de l'aéroport de Zurich

Director Zurich Airport

C'est en 1983 que l'Assemblée Fédérale - le Parlement suisse - a adopté la loi de sauvegarde de l'environnement. Ce texte a pour objet la protection des personnes, de la faune et de la flore contre les dégradations de l'environnement dues aux activités polluantes. Il prévoit en outre des mesures préventives devant limiter les effets de la pollution. Cette loi se base sur le principe du pollueur-payeur : quiconque est déclaré responsable d'un acte générateur de pollution de l'environnement devra supporter les frais que celui-ci occasionne. Elle fournit par ailleurs le cadre juridique à l'intérieur duquel un ensemble d'ordonnances traitent de façon spécifique des différents aspects de la problématique de l'environnement.

En principe, ces ordonnances sont toutes rédigées sur le même modèle : elles fixent toutes des limites légales aux émissions et immixtions, et exposent les obligations des parties responsables. Il faut par ailleurs rappeler que ce sont les Cantons qui sont responsables de l'application des lois votées au niveau fédéral (bien que ce principe souffre quelques exceptions).

In 1983 the Swiss Parliament, the so-called Federal Assembly passed the law relating to the protection of the environment. The purposes of this law are to protect humans, animals and plants against harmful effects and to limit such effects by preventive measures. The law follows the principle of causality: anyone polluting the environment should bear the costs. This law provides a framework, within which a series of ordinances deal specifically with the various aspects of the environment.

In principle these ordinances are all alike: they give limits for emissions and immissions and describe the duties of the responsible parties. Another important point: in general, the canton has to enforce the law passed by federal legislation (although there are some exceptions).

UNE EXPÉRIENCE MENÉE DANS LE CANTON DE ZURICH

L'une des ordonnances les plus importantes est celle qui vise la préservation de la qualité de l'air. En vertu de cette ordonnance, les Cantons ont l'obligation de prendre des mesures limitant l'émission dans l'air de substances polluantes. Pour assumer ses obligations, le Canton de Zurich, qui est, par ailleurs, le propriétaire et l'exploitant de l'aéroport de la ville de Zurich, a mis au point, en 1989, un Programme de préservation de la qualité de l'air. Le défi qui se pose s'adresse donc également au monde de l'aviation : il s'agit d'élaborer, avec d'autres instances, un ensemble de mesures permettant de réduire les émissions de substances nocives. L'aéroport de Zurich vient en outre de publier «*Umweltbilanz*», une étude relative à la pollution de l'environnement. Ce texte doit servir de base aux discussions ultérieures.

Cette étude est la toute première à démontrer l'influence qu'un complexe du type d'un aéroport international exerce sur son environnement immédiat, par le biais de l'ensemble des activités qu'il abrite.

◆ Motivation de l'étude

En 1989, l'expansion des installations de l'aéroport de Zurich destinées au fret a fait l'objet de nombreux débats. Étant donné que c'est le Canton de Zurich qui est le propriétaire et l'exploitant de l'aéroport de cette ville, les crédits de financement de l'expansion ne pouvaient être approuvés que par le Parlement du Canton ou, selon leur montant, par référendum public organisé auprès des électeurs. Comme condition préalable à toute nouvelle expansion, le Parlement du Canton a alors enjoint l'exécutif de mener une enquête sur la pollution de l'environnement due aux activités de l'aéroport et de déposer à ce propos un plan directeur dans les deux ans. Ce que l'exécutif accepta. Un bureau de génie environnemental s'est dès lors attaqué au projet.

SURVEY OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY THE AIRPORT OF ZURICH

One important ordinance relates to the protection of the air. According to this, the cantons are required to take steps to limit emissions of air pollutants. The Canton of Zurich, which (at the same time) owns and operates the airport, did so with its "air programme" in 1989. Thus aviation is also being challenged along with others to find ways of reducing emissions of hazardous substances. The airport of Zurich has recently published a survey of environmental pollution called "Umweltbilanz" which is supposed to be the basis for further discussions.

For the first time ever, this survey shows how a unit like an international airport with all its activities, influences the surrounding environment.

◆ Purpose of the study

In 1989, the expansion of the freight facilities at Zurich airport was the subject of much discussion. Since the canton of Zurich owns and operates the airport, credit for financing an expansion can only be approved by the parliament or, depending on the amount by a public referendum of the voters. As a condition for any further expansion, the cantonal parliament then ordered the executive authorities to carry out a survey of environmental pollution and present a masterplan within two years. This was accepted and an office for environmental engineering started working on the project.

This survey was to quantify the impact on the environment and to compare emissions and immissions to any limits set up by federal or cantonal laws relating to the protection of the environment. Furthermore it had to show up possible measures to achieve these goals.

L'objectif de l'étude était de quantifier l'impact sur l'environnement et de comparer les émissions et immixtions effectives aux limites fixées par les législations, fédérales ou cantonales, en matière de sauvegarde de l'environnement. Il s'agissait en outre de proposer des mesures permettant d'atteindre cet objectif.

Il faut savoir qu'à nos yeux, le plan directeur n'est pas un plan de construction, mais plutôt un ensemble de lignes directrices pour l'extension dans l'espace des installations aéroportuaires, par ailleurs inévitable afin de pouvoir absorber la croissance du trafic. L'expansion se fera par étapes dans les seuls cas où elle sera prouvée nécessaire. Le système de pistes d'envol ne subira aucune modification, mais on prévoit la mise en place d'un double système de pistes de roulement, la construction de deux docks supplémentaires, d'une nouvelle aérogare et des installations nécessaires au traitement du fret.

◆ *Les échelles de valeurs*

Un sujet qui a recueilli un intérêt particulier regroupe les préoccupations suivantes : la pollution de l'air, la pollution de l'eau, le bruit et les déchets. Afin de fournir une image plus détaillée de la réalité, les activités qu'abrite l'aéroport ont été divisées en plusieurs groupes : le trafic aérien, l'assistance, le trafic côté ville, le chargement, le déchargement et l'entretien des appareils et enfin les activités de catering/restauration.

Une échelle importante est l'échelle du temps. Celle-ci s'étend entre 1989 et les années 2005-2010, période durant laquelle le plan directeur sera réalisé. Les chiffres du trafic de l'aéroport de Zurich pour cette période, apparaissent dans le tableau ci-contre.

Le plan directeur se fonde sur des estimations réalisées à partir des données de 1990.

Quant aux paramètres spatiaux, ils ont été choisis de façon à permettre une évaluation exhaustive des émissions. Les kilomètres parcourus

It is important to know that the masterplan according to our understanding is not a construction plan but a spatial guideline for necessary extensions of airport facilities to cope with increasing traffic. Any expansion will be made step by step and only when needed. Based on an unchanged runway-system, a double taxiway-system, as well as two more docks, a new terminal and appropriate facilities for cargo-handling are being planned.

◆ *The scaling*

The environmental aspects of Air, Noise, Water and Waste have been of special interest among others. To get a more detailed picture, the activities at the airport have been divided into the components air traffic, handling, landside traffic, supply and discharge, maintenance and catering/restaurants.

An important scale is time. One point of time is the year 1989 and the second point is at the time that the masterplan is completed (2005-2010). These two points of time are characterised by the specific traffic figures for Zurich.

Trafic de l'aéroport de Zurich / Traffic of Zurich airport

	1989	Plan directeur/ Masterplan
Vols réguliers et non réguliers/ Scheduled & non scheduled flights	163 000	250 000
Passagers / Passengers	12 000 000	23 000 000
Fret / Freight	335 000 t.	750 000 t.

The figures for the Masterplan are based on forecasts made in 1990.

The spatial parameters have been chosen to provide a complete assessment of emissions. The kilometers driven by the

rus côté ville ont toujours été calculés jusqu'à la destination finale, même si celle-ci se trouve à l'étranger. Le cycle LTO (*Landing and Take-Off cycle* - cycle d'atterrissage et de décollage), défini à l'échelle internationale, a été retenu pour le calcul des émissions dues au trafic aérien. En ce qui concerne les autres activités, c'est la zone occupée par l'aéroport qui a servi de base de calcul. Pour la comparaison, deux périmètres ont été retenus : d'une part, un périmètre régional, d'environ 9 km sur 12, à l'intérieur duquel les émissions sont en fait considérées comme des immixtions ; d'autre part, le périmètre du Canton de Zurich, que recouvre en grande partie le cycle LTO et qui fait office de base de comparaison requise par le programme de préservation de la qualité de l'air.

◆ Résultats

Il faut savoir que les résultats de cette étude (résumés sur les graphiques p. 61 et p. 63) se basent sur un scénario «catastrophe», dans lequel la croissance attendue du trafic aérien devient réalité sans s'accompagner de nouvelles contre-mesures. Les seules améliorations qui interviennent sont relatives à l'évaluation de mesures dont la décision a déjà été prise ou qui sont déjà appliquées dans les faits. Aucune autre mesure dont l'application est possible ou imaginable n'a été prise en considération.

Afin de fournir une description de la pollution de l'air, les taux d'émission suivants ont été calculés : oxyde d'azote, hydrocarbures, oxyde de carbone et, en vue de l'évaluation de l'«effet de serre», le taux de gaz carbonique. Au sein du périmètre régional, on s'attend aux évolutions suivantes : les émissions d'oxyde d'azote augmenteront de 35 %, passant de 790 tonnes/an à 1065 tonnes/an, et celles de CO² de 46 %, passant de 250 000 à 365 000 tonnes/an.

Par contre, le CO diminuera quant à lui de 14 %, passant de 1310 à 1130 tonnes/an. Les hydrocarbures diminueront sensiblement eux aussi, passant de 760 à 375 tonnes/an, soit une chute de 50 %.

landside traffic have always been calculated to the final destination, even when the destination is abroad. The internationally defined LTO-cycle has been taken to determine the emissions of the air traffic. For other activities, the airport area serves as a base. Two perimeters have been chosen for comparative reasons: a regional perimeter, an area of about 9x12 km, where emissions turn effective as immissions and the area of the canton of Zurich, which is largely covered by the LTO-cycle and serves as a base for comparisons asked for in the air-programme.

◆ The results

The results (presented on the charts p. 61 and 63) are clearly based on a "worst-case"-scenario with the forecast traffic increase and no additional counter-measures taken. The only improvements that have been taken into account are those relative to measures that have already been decided or implemented. Potential or conceivable measures have not been considered.

To describe air pollution, the emissions of nitrogen oxide, hydrocarbons, carbon monoxide and, in consideration of the "green-house effect", carbon dioxide have been calculated. The emission is shown in the regional area: the NO_x will increase by 35% from 790 t/year to 1065 t/year. An increase will also occur with the CO₂ by 46% from 250 000 t to 365 000 t/year. On the other hand, the CO will decrease by 14% from 1310 t to 1130 t/year. Also the HC will markedly decrease by 50% from 760 to 375 t/year.

A closer look at the NO_x and HC, both responsible for the formation of ozone and the summer smog, shows that now 60%, or without counter-measures up to 80% of the NO_x is caused by air traffic. Where NO_x is decreasing, it is largely due to the

ÉVOLUTION DES NIVEAUX DE BRUIT / EVOLUTION OF NOISE LEVELS

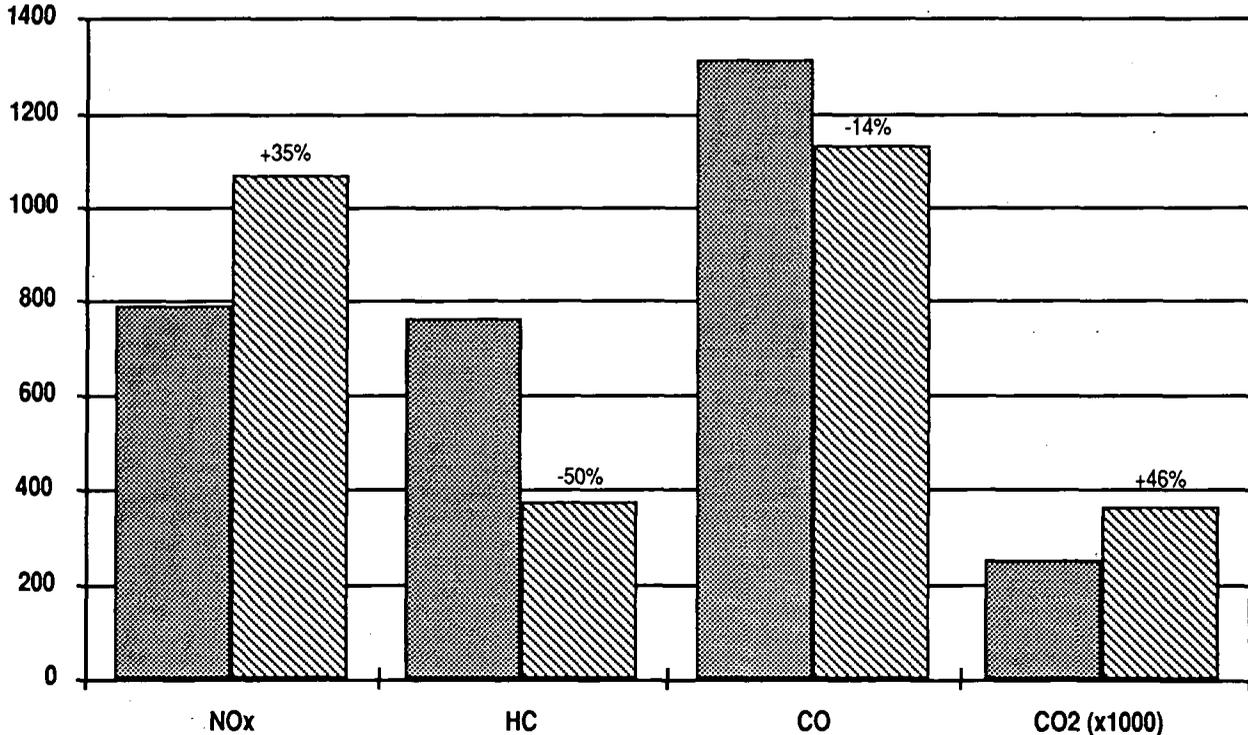
Année Year	Niveaux de bruit à Rümlang** Noise levels at Rümlang**				Niveaux de bruit à Opfikon** Noise levels at Opfikon**			
	Décollages Take-off	LEN dB(A)	Leq16	NNI	Décollages Take-off	LEN dB(A)	Leq16	NNI
1979	140	95	77	59	19	97	70	49
1989	160	90	73	55	31	95	69	49
2000	250	86	72*	54	45	90	68*	47
2010	270	84	71*	52	50	89	68*	47

* $Leq = 0.655 NNI + 36.9$

** Localités des environs de l'aéroport (Rümlang est la plus éloignée) / Communities in the vicinity of the airport (Rümlang is the farthest away).

ÉMISSIONS / EMISSIONS

tonnes/an, périmètre régional / tons/year Regional Perimeter



NOx = oxyde d'azote / nitrogen-oxide
 HC = hydrocarbures / hydrocarbons
 CO = monoxyde de carbone / carbon-monoxide
 CO2 = bioxyde de carbone / carbon-dioxide

1989 Plan directeur / Masterplan

Si l'on examine de plus près les résultats relatifs aux émissions d'oxyde d'azote et d'hydrocarbures, deux causes génératrices d'ozone et, l'été, de smog, on note qu'actuellement, 60 % des émissions d'oxyde d'azote sont dues au trafic aérien. Là où aucune contre-mesure n'est adoptée, ce taux peut atteindre 80 %. Les diminutions des émissions d'oxyde d'azote remarquées çà et là sont principalement dues à l'efficacité des convertisseurs catalytiques. Quant à la diminution des émissions d'hydrocarbures, elles sont à mettre à l'actif de l'amélioration des moteurs des aéronefs et des techniques d'entretien de ceux-ci.

La pollution de l'air impose à l'environnement des contraintes non négligeables. Ainsi, l'immixtion de NO², pourtant limitée à 30 µg/m³ en moyenne par an, se situe généralement entre 40 et 70 µg/m³. La contribution de l'aéroport à ce phénomène a été estimée à environ 2-11 µg/m³ dans le rayon de 2 km qui l'entoure. Et si le scénario du plan directeur se révèle exact, ce taux passera à 8-14 µg/m³.

Un autre grand sujet de préoccupation est le problème du bruit. Cela fait maintenant plus de vingt ans que l'aéroport de Zurich mène une politique systématique de contrôle du bruit sur la base des indices de bruit NNI et Leq. Le tableau de la page 61 révèle que les désagréments dus au bruit n'ont cessé de diminuer, malgré le nombre croissant de vols. A l'avenir, le niveau de bruit restera toutefois relativement constant. Ce qui signifie, en d'autres termes, que la réduction du bruit que permettent les nouveaux moteurs, plus silencieux, sera compensée par la croissance du trafic aérien.

◆ **Conséquences**

Les résultats de cette étude ont déçu non seulement les détracteurs de l'aéroport de Zurich, mais aussi les instances gouvernementales du Canton, et, à vrai dire, les autorités de l'aéroport elles-mêmes. L'un des enseignements que l'on retiendra dès lors de cette étude est qu'il est impératif d'améliorer la situation actuelle. C'est la raison pour laquelle le gouvernement a pris la

effectiveness of catalytic converters. The reduction of HC is due to improved aircraft engines and the improvements in the maintenance.

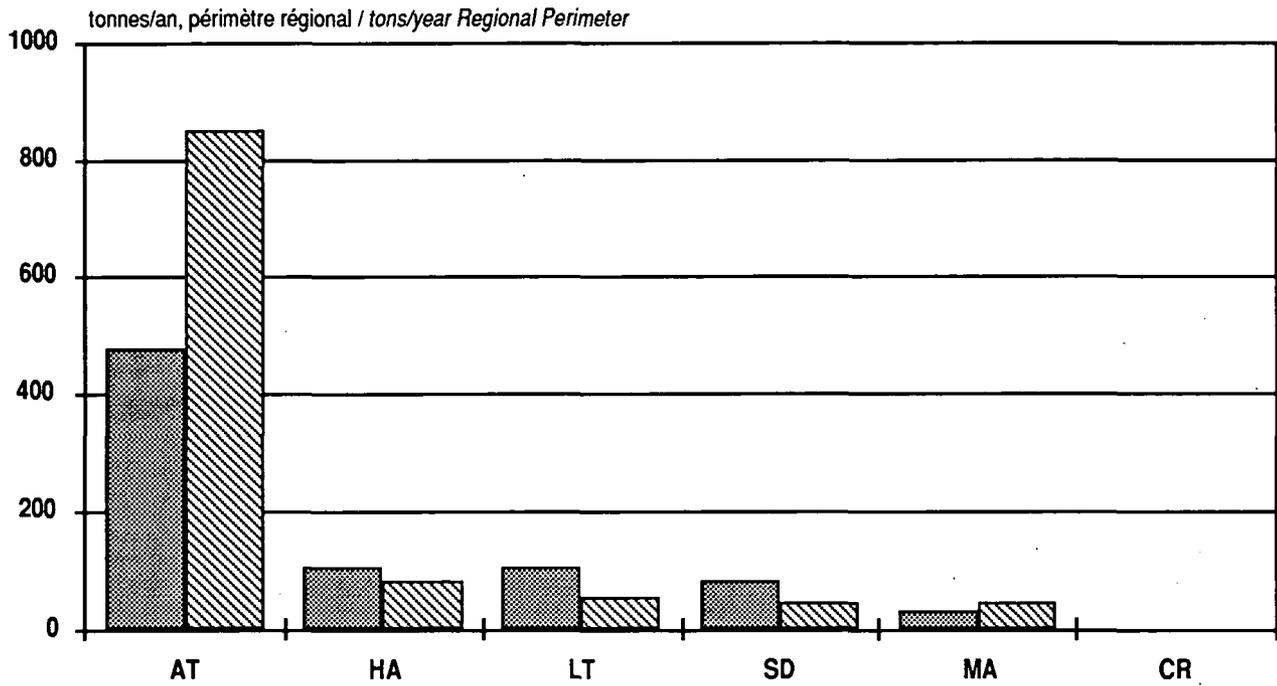
The air pollution is quite a stress on the environment: the immission of NO₂, which is limited to 30 µg/m³ yearly average, is most of the time between 40 and 70 µg/m³. The contribution of the airport has been estimated to be about 2-11 µg/m³ within a 2 km radius around the airport. This value will increase up to 8-14 µg/m³ according to the scenario of the masterplan.

Another topic causing more trouble is noise. For over 20 years noise-monitoring has systematically been carried out at Zurich airport based on the noise indices NNI and Leq. The table (p. 61) shows that noise disturbance has been reduced continually despite the increasing number of flights. In the future, however, the noise level will remain more or less constant. In other words noise abatement by new and quiet engines will be balanced out by the growth in air traffic.

◆ **Consequences**

Not only airport opponents but also the Cantonal Government and we ourselves were sobered by these results. It has been shown that improvements are absolutely necessary. For this reason, the government decided not to take notice of the masterplan, but first of all to ask for a study of measures to reduce emissions. In coordination with specialists for the "air programme", proposals mentioned in the survey, as well as other possible measures are now being evaluated in terms of economic costs and ecological benefits. This study will be handed over to the government in fall. At that time political authorities will have to take further decisions.

ÉMISSIONS D'OXYDE D'AZOTE (NOx) / NOx EMISSIONS



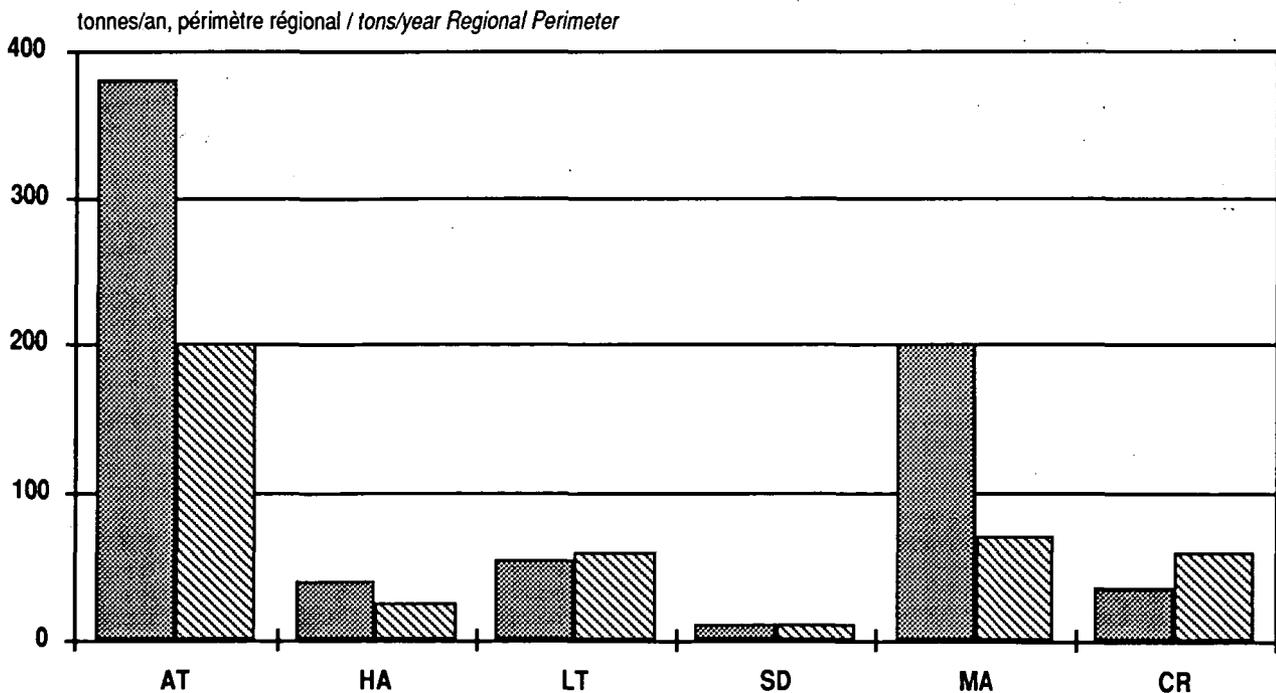
AT : trafic aérien / Air Traffic
 HA : services d'escale / Handling
 LT : trafic côté ville / Landside Traffic

SD : chargement/déchargement / Supply/Discharge
 MA : maintenance / Maintenance
 CR : catering-restauration

1989

Plan directeur / Masterplan

ÉMISSIONS D'HYDROCARBURES (HC) / HC EMISSIONS



décision de passer outre au plan directeur, et a préféré commander en priorité une étude des mesures susceptibles de réduire les émissions. C'est ainsi qu'à l'heure actuelle, on procède, en collaboration avec des experts travaillant au «programme de préservation de la qualité de l'air», à une évaluation en termes de coût économique et de bienfaits pour l'environnement des propositions inscrites dans cette étude ainsi que d'autres mesures qui pourraient être prises. Cette étude sera remise entre les mains des instances gouvernementales à l'automne, période à laquelle les autorités politiques auront à prendre de nouvelles décisions.

L'imposition de restrictions aux mouvements d'aéronefs engendrerait non seulement des problèmes économiques et opérationnels de nature complexe, mais affecterait surtout les accords bilatéraux (ils sont plus de cent) de transport aérien dont l'Administration fédérale assume à elle seule la responsabilité. Il est clair, en tout cas, que l'imposition d'un plafond aux mouvements s'effectuant sur le plus grand aéroport international de Suisse, celui de Zurich, qui gère par ailleurs une part élevée du trafic européen, irait à l'encontre des efforts que la Fédération déploie pour promouvoir la participation de la Suisse au marché européen libéralisé.

A limitation of aircraft movements would not only cause complex economic and operational problems, but mainly affect the more than 100 bilateral air transport agreements for which only the Federal Administration is responsible. In any case, an upper limit for movements at Switzerland's most important intercontinental airport with its high share of European traffic would clearly be contrary to the efforts of the Federation aiming at our country's participation in the liberalised European market.

Collection «ITA études & documents»

List of "ITA studies & reports"

Déjà parus / *Published to date* :

- . **Volume 1** Les pays de l'ASEAN dans le transport aérien international - 86/1
The Place of ASEAN in International Air Transport - 86/1
par/by Jacques GUERIN
- . **Volume 2** Bi/quadriréacteurs, étude comparative - 86/2
Twin/Four-Engined Jets, a Comparative Study - 86/2
par/by Louis DRESSE
- . **Volume 3** La cinquième liberté: droit, stratégies et pratiques (1944-1986) - 87/1
The Fifth Freedom: Legal Aspects, Strategies and Practices - 87/1
par/by Patrick LEFEBVRE
- . **Volume 4** Les redevances aéroportuaires en Europe - 87/2
Airport Charges in Europe - 87/2
par/by Christian ASSAILLY
- . **Volume 5** Les liaisons long et moyen-courriers au départ des métropoles
(hors série) régionales européennes - 87/3
(Actes de la journée d'étude organisée le 24 novembre 1987 par l'ITA)
- . **Volume 6** Tourisme international en Europe: le Portugal - 87/4
International Tourism in Europe: Portugal - 87/4
par/by François VELLAS
- . **Volume 7** Tableau de bord 1987 - 87/5
World Air Transport Data Guide 1987 - 87/5
- . **Volume 8** Les installations fixes dans le traitement de l'avion au sol (1^{ère} partie) - 88/1
Fixed Aircraft Ground Servicing Facilities (Part I) - 88/1
par/by Nathalie GAYET
- . **Volume 9** Les installations fixes dans le traitement de l'avion au sol (2^e partie) - 88/2
Fixed Aircraft Ground Servicing Facilities (Part II) - 88/2
par/by Nathalie GAYET
- . **Volume 10** La privatisation des compagnies nationales européennes - 88/3 - ÉPUISÉ
Privatization of European National Airlines - 88/3 - OUT OF PRINT
par/by Lucien RAPP & François VELLAS
- . **Volume 11** La libéralisation du transport aérien dans la CEE: LE POINT DE VUE DES PAYS VOISINS - 88/4
(hors série / *supp. issue*)
Air Transport Liberalization in the EEC: THE VIEWPOINT OF NEIGHBOURING COUNTRIES - 88/4
(Actes du colloque / *Symposium proceedings* - Marrakech)
- Volume 12** Tableau de bord 1988 - 88/5
World Air Transport Data Guide 1988 - 88/5

- . **Volume 13** Productivité des aéroports: les facteurs explicatifs - 89/1
Airport Productivity: an Analytical Study - 89/1
par/by Christian ASSAILLY
- . **Volume 14** Les redevances aéroportuaires en Europe (2^e édition) - 89/2
Airport Charges in Europe (2nd edition) - 89/2
par/by Christian ASSAILLY, Didier LAUNEZ
- . **Volume 15** Le transport aérien en Chine - 89/3
Air Transport in China - 89/3
par/by Florence INZERILLI
- . **Volume 16** Utilisation annuelle moyenne des avions de transport en 1987 - 89/4
Transport aircraft average annual utilization in 1987- 89/4
- . **Volume 17** Transport aérien : 1 000 JOURS POUR FAIRE L'EUROPE ? - 89/5
Air transport: 1,000 DAYS TO GET EUROPE OFF THE GROUND? - 89/5
(Actes du colloque / *Symposium proceedings* - Dubrovnik)
- . **Volume 18** Les SIR (Systèmes informatisés de réservation) - 90/1
The CRSs (Computer Reservation Systems) - 90/1
par/by Barry HUMPHREYS
- . **Volume 19** Euroderegulation as seen by Asia - 90/2
(*special issue*) (ITA/PIA Conference - Pakistan)
- . **Volume 20** L'Afrique face à la libéralisation réglementaire du transport aérien - 90/3
Africa and the Liberalization of the Air Transport Regulatory System - 90/3
par/by Bernard NSANG
- . **Volume 21** Tableau de bord du transport aérien dans le monde - 90/4
World Air Transport Data Guide - 90/4
- . **Volume 22** Les compagnies charter européennes : Stratégies pour les années 90 - 91/1
European Charter Airlines : strategies for the 1990s - 91/1
par/by Daniel BELET & Laurence COLOMB de DAUNANT
- . **Volume 23** Concurrence et efficacité. Quelle politique européenne de transport aérien ?
Pour quels objectifs et quelle efficacité ? 91/2
Competition and efficiency. Which Policy for which Objectives for European Air Transport? - 91/2
par/by Jacques VILLIERS
- . **Volume 24** L'interconnexion des réseaux de transport en Europe - 92/1
Interconnection of Transport Networks in Europe - 92/1
par/by Jean VARLET
- . **Volume 25** Tableau de bord du transport aérien dans le monde - 91/4
World Air Transport Data Guide - 91/4