

Erscheinungswahrscheinlichkeit eines einem gegebenen Spitzenwert beigemessenen lokalen Effekts.

Daraus schliesst man, dass zwei akustische Grössen festgestellt werden müssen, um Schlafänderungen zu betrachten: und zwar zuerst den Energiewert im Zimmer, dessen Komfortschwellwert 35 dB(A) in der Nacht ist, und zweitens den kleinsten Spitzenwert, der 50 dB(A) nicht überschreiten muss.

Summary

Sleep Disturbance by Noise

This contribution is a state-of-the-art of recent knowledge regarding effects from environmental noise on sleep and proposes acoustic thresholds likely to help public authorities in setting up regulations. It recalls physiological sleep aspects and the cyclic organization of the various stages; then it examines noise effects, principally those arising from road traffic, planes and trains.

Such effects are firstly considered as changes in sleep organization during night. It is noted that laboratory and home experiments lead to the same conclusions: duration of deep sleep is appreciably reduced for younger people, while the dream phase is disturbed for older people. These disturbances are associated with an average energetic level L_{eq} . Then partial effects are investigated, either electro-encephalographic or cardiac; these effects are more especially associated with isolated acoustic phenomena and determined from the noise peak level. Other variables, e.g. back noise, phenomena number per period, intervall between two noises, have an effect on probability of a local phenomenon which can be connected to a given peak level.

The conclusion is that two acoustic values must be retained for considering sleep disturbances: the first one is the energetic level inside the room, with a comfort threshold of 35 dB(A) by night, and the second one is the lowest peak level which should not exceed 50 dB(A).

Conception et méthodologies en acoustique environnementale

M. Levental et J.-Cl. Landry¹

1. Introduction

L'approche que nous donnons à la problématique de la protection contre le bruit est pragmatique: elle remet en cause à chaque instant les aspects normatifs que l'on inflige à notre cadre de vie. La philosophie qui s'en dégage s'est précisée au cours du temps, au fur et à mesure que nous avons été confrontés aux divers problèmes du trafic, des activités industrielles, artisanales et artistiques, des collectivités et de l'habitat.

En fait, ce ne sont pas tant les problèmes d'émission et de réception du bruit qui sont complexes, mais plutôt ceux de l'interface entre les sources et les récepteurs: la plupart des phénomènes y sont complexes.

Fort souvent, il est fait appel à la valeur normative, ou normalisée. C'est dire qu'on juge d'un problème d'impact en ne se préoccupant que de la conformité ou non à des références qui tiennent plus d'un domaine légal et réglementaire que d'un souci scientifique. Toute valeur supérieure à la norme admise devrait être corrigée, mais toute valeur inférieure impliquerait l'augmentation autorisée des niveaux sonores jusqu'à atteindre la norme! A cela s'ajoute la constatation que, dans l'environnement, il n'est possible d'appliquer une même échelle d'évaluation qu'à des situations semblables.

Notre thèse est qu'il n'est pas possible d'appliquer des valeurs normatives sans définir auparavant de manière

précise leur domaine d'utilisation, les conditions dans lesquelles elles ont été définies et leurs limitations. En conséquence, il n'est pas possible de mesurer un niveau sonore brut et de l'utiliser seul, par rapport à la norme. Par exemple, le bruit de fond permet de juger de l'impact d'une source sur l'environnement acoustique. La perturbation du bruit de fond par une source de bruit donnée doit être faible, voire imperceptible.

Nous distinguons donc trois niveaux d'approche:

1. Un niveau brut est fixé, par exemple pour une exposition de huit heures par jour à plus de 90 dB(A), comme étant inadmissible. Il y a là un risque réel. Les mesures de protection sont des mesures provisionnelles.
2. Le domaine de la dynamique des sons et des bruits, qui a pour corrolaire immédiat l'utilisation de la notion de niveaux statistiques de pression acoustique.
3. L'analyse spectrale qui permet l'approche physique de la qualité acoustique.

2. Répartition des tâches au niveau de la République et Canton de Genève

2.1 Répartition des tâches en matière de lutte et de protection contre le bruit au niveau de l'Etat de Genève [7]

Le service de toxicologie industrielle, d'analyse de l'air et de protection contre le bruit (STIAB) est confronté au problème de la mesure des immissions en général.

La brigade antibruit a pour mission principale de contrôler les émissions sonores des véhicules à moteur. La lutte contre le bruit du trafic aérien est menée par

¹ Institut d'hygiène, Service de toxicologie industrielle, d'analyse de l'air et de protection contre le bruit, avenue Sainte-Clotilde 23, case postale 109, 1211 Genève 4.

l'Aéroport de Genève-Cointrin. Elle concerne le bruit émis par les avions lors de leur approche ou de leur décollage, ainsi que le bruit émis au sol. L'aménagement des zones aéroportuaires afin de diminuer l'impact du bruit du trafic aérien sur le voisinage de l'aéroport est une des tâches prioritaires. Les études de modélisation de propagation du bruit et des mesures à l'immission sont effectuées par le STIAB.

En ce qui concerne les transports ferroviaires, seuls les CFF sont compétents.

Au niveau des industries, du commerce, de l'artisanat et de l'agriculture, l'Office cantonal de l'inspection et des relations du travail (OCIRT) et le STIAB interviennent, le premier systématiquement à l'intérieur des entreprises, le second sur mandats de l'OCIRT, pour les problèmes de voisinage.

Le domaine de la construction et du génie civil relève du seul service de l'inspection des chantiers, qui, outre des problèmes de bruit, s'occupe de leur sécurité.

Le domaine de l'habitat est caractérisé par deux types d'actions:

- au niveau des collectivités, d'une part et
- au niveau du bâtiment proprement dit, d'autre part.

La police, la gendarmerie et plus particulièrement la brigade antibruit interviennent pour les problèmes généraux d'excès de bruit des collectivités.

Le département militaire se préoccupe des places de tir, le STIAB intervient en qualité d'expert pour des problèmes d'aménagement.

Quant aux bruits propres au bâtiment, installations de chauffage et de ventilation, ascenseurs, écoulements, et aux bruits propres aux logements, le service de sécurité et salubrité du département des travaux publics intervient en tant qu'autorité et le STIAB en tant qu'expert ayant objectivé les nuisances.

2.2 Conception générale de la protection contre le bruit

L'organigramme du traitement conceptuel de la protection contre les sons, infrasons et vibrations est donné dans la figure 1. Deux domaines sont considérés, les émissions et les immissions.

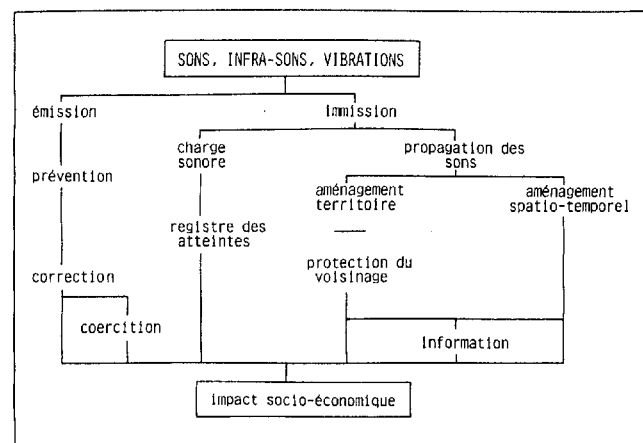


Fig. 1. Concept de la protection contre le bruit

Le domaine des émissions comprend la prévention, les mesures de correction et les moyens de coercition. L'émission des sons est un aspect immédiat, mesurable et susceptible de corrections prises en fonction de normes définies plus ou moins arbitrairement en rapport avec le but recherché. C'est là que se situe l'origine de l'action de la plupart des services luttant contre le bruit.

Un aspect plus général concerne l'immission des sons sur un territoire, soit plus étendu, soit regroupant une fraction de population n'étant pas directement impliquée dans les phénomènes d'émission, en fonction d'impératifs économiques, géographiques et sociaux; d'où d'importantes études systématiques tenant compte de la *nécessité des émissions* d'une part, et de la *réalité des immissions* d'autre part. Les problèmes d'immission sont moins facilement maîtrisables que les problèmes d'émission. Leur étude implique une intégration poussée des différents paramètres, tenant compte de situations limites peu apparentes. La propagation des vibrations, des infrasons, des sons, ou la définition de niveaux sonores relatifs, tolérables à long terme par l'organisme humain, ou l'étude de l'implantation de sources sonores au sein d'une collectivité en relation avec une politique d'aménagement du territoire, doivent être fondées scientifiquement sur des analyses objectives, ne tenant pas compte a priori d'impératifs particuliers. C'est pourquoi une des démarches consiste à établir la charge sonore d'un milieu, afin de pouvoir dresser un registre des atteintes. Le complément à cette démarche consiste en l'étude de la propagation des émissions. Il est alors possible de prendre des mesures de protection du voisinage à court terme d'une part et de procéder à un aménagement spatio-temporel du territoire à long terme d'autre part. Il s'agit donc en dernier ressort de décider si la nuisance due au bruit doit augmenter dans une certaine région ou au contraire si elle doit être diminuée. Cet aspect concerne ce qu'il est communément convenu d'appeler la qualité de vie.

La difficulté d'obtenir une bonne adéquation de l'aménagement spatio-temporel réside dans le fait qu'il n'existe pas de règles satisfaisantes pour caractériser la qualité de vie.

3. Evaluation de la charge sonore et aspects normatifs

L'aspect normatif n'a de valeur que pour autant que l'on ait affaire à des niveaux sonores élevés pouvant produire des lésions permanentes.

Le cas s'est présenté d'évaluer le risque couru par le public et le personnel exposés à des niveaux sonores élevés dans les discothèques et dancings de Genève. Un ensemble représentatif de discothèques et de dancings a été choisi. Les spectacles ont été enregistrés et les analyses statistiques des niveaux sonores effectuées en laboratoire.

Les valeurs moyennes des niveaux sonores équivalents (L_{eq}) ont été calculées sur la période de 23 heures à 2 heures pour trois emplacements représentatifs, au bar, dans la cabine du disc-jockey et sur la piste de

danse. A cet endroit, les résultats sont aléatoires et peu significatifs, vu la proximité des haut-parleurs. Il n'a pas été procédé à l'évaluation de tels niveaux dans toutes les discothèques (fig. 2).

Les niveaux sonores auxquels sont exposés les employés dans les discothèques sont compris entre 75,4 et 89,9 dB(A) pour le disc-jockey et entre 68,5 et 88,1 dB(A) pour le barman. En considérant les heures d'ouverture et en appliquant les extrapolations pour une semaine de travail de 40 heures, on constate que la valeur limite de 90 dB(A) n'est jamais atteinte [2]. Le risque de perte d'audition serait de 5% environ pour une exposition de 30 à 35 ans. La situation est différente si l'on considère le public. Les niveaux sonores moyens mesurés sur les pistes de danse sont compris entre 83,1 et 99,6 dB(A); les niveaux sonores sur 10 minutes ont parfois atteint 104 dB(A). Il n'est pas possible de calculer le risque de perte auditive pour les clients, car l'exposition à de tels niveaux sonores ne peut être correctement estimée: elle ne devrait pas dépasser quelques heures par semaine. Seule une diminution d'acuité auditive temporaire est possible.

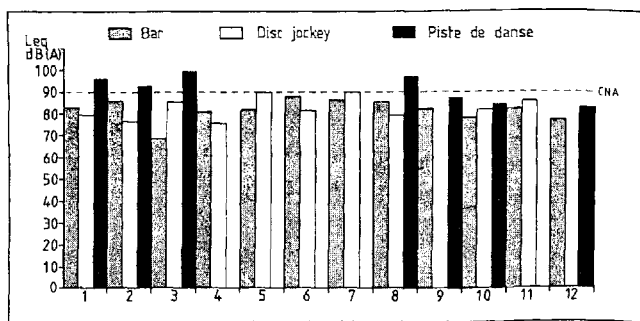


Fig. 2. Niveaux sonores équivalents moyens, L_{eq} , mesurés dans des salles de concert, de danse, des clubs et cabarets, entre 23 et 2 heures. Pour le No 12: mesuré dans la salle de concert, entre 21 et 24 heures. CNA: exposition limite à 90 dB(A) 40 h/sem.

La question de savoir s'il est nécessaire de fixer une valeur normative pour l'exposition du public dans de telles salles n'a en réalité pas de sens: il se produit un phénomène d'autorégulation.

Le public est libre de choisir ses lieux de divertissement et il a tendance à quitter les établissements lorsque son ouïe est fatiguée. De plus, l'ambiance des établissements est un paramètre qui dépend essentiellement du niveau sonore. Il existe une plage optimale, au-dessous de laquelle le public ne danse plus et s'en va, car la sphère intime créée par les niveaux sonores élevés disparaît. Cela est plus remarquable encore avec la musique «disco», où les niveaux sonores sont élevés parce qu'on désire faire entrer en résonance «les danseurs avec un rythme binaire simple, monotone et riche en basses fréquences».

Le spectateur fait partie d'un système ouvert, le travailleur, d'un système fermé. Donc, la mesure des niveaux sonores bruts suffit à l'application d'une valeur normative ayant pour but la protection de l'ouïe du travailleur devant subir une charge acoustique.

4. Perception des niveaux sonores et contenu énergétique

Le niveau de pression acoustique équivalent (ou niveau sonore équivalent) L_{eq} est défini comme le niveau correspondant à un niveau de pression acoustique continu d'énergie égale. De manière idéale, pour utiliser cette échelle de mesure, les niveaux de pression acoustique doivent être élevés et continus. Pour les comparer, les bruits devront avoir la même origine.

On pourrait envisager la mesure de niveaux sonores équivalents dans des milieux très calmes; si les mesures physiques sont possibles, leur interprétation est alors sujette à caution. En effet, dans une ambiance tranquille, un bruit impulsionnel provoque une augmentation sensible du niveau sonore équivalent (à la condition que le système de mesure le capte). C'est alors la dynamique des bruits perçus qu'il faut examiner, d'où les tentatives des chercheurs d'introduire l'indice «Noise Pollution Level» [14].

Dans le cas du trafic automobile, un certain nombre de rues de la ville de Genève ont été étudiées. Nous retiendrons ici la rue Leschot.

4.1 Trafic automobile

La rue Leschot est située dans un quartier d'habitation proche de la plaine de Plainpalais. Elle est bordée d'un côté par un quartier dévolu essentiellement à des activités culturelles et de l'autre par la rue de Carouge où règne une intense activité commerciale. Dans le réseau interne des communications routières, la rue Leschot se trouve en périphérie de la petite ceinture [10]. 40% du trafic quitte la petite ceinture en empruntant cette artère.

La rue Leschot a une longueur d'environ 100 m et une largeur de 12 m. La chaussée comporte deux voies de circulation. Les rez-de-chaussée des immeubles sont occupés par des commerces variés, librairies, comestibles, antiquaires, etc. L'activité commerciale est intense. Le trafic de la rue Leschot est de transit. Des signaux lumineux règlent la circulation à la sortie de la rue.

La synchronisation avec l'ensemble du quartier est telle que 30 véhicules y sont en permanence de 6 h 30 à 21 heures.

La figure 3 donne l'évolution des niveaux sonores L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} et L_{eq} entre 8 et 20 heures. Les emplacements de mesure ont été situés à 40 cm de la façade des bâtiments, à 2, 4, 8 et 16 m de hauteur.

Hauteur m	L_{eq} [S]		
	13 octobre 1977 dB(A)	19 octobre 1981 dB(A)	29 octobre 1981 dB(A)
2,00	—	74,8±0,9	74,1±1,4
2,50	74,3	—	—
4,00	—	73,5±0,9	73,7±0,9
8,00	—	71,6±0,9	72,2±0,6
9,00	73,2	—	—
16,00	72,0	71,2±0,7	71,3±0,5

Tabl. 1. Evolution des niveaux sonores équivalents (moyenne entre 8 et 20 heures) dans une rue de quartier dont la destination primitive a été changée (rue Leschot)

L'évolution des niveaux sonores de L_1 à L_{99} par rapport au niveau L_{eq} est semblable. L'homogénéité des classes de bruit est grande. Le contenu énergétique est élevé (tabl. 1). L'atténuation des niveaux sonores devrait être en progression géométrique de 3 à 6 dB(A) suivant les circonstances et la nature de la

source. Ici il n'en est rien. La rue doit être considérée comme une chambre réverbérante dans laquelle vivent les habitants. Par comparaison à ce qui est donné comme valeurs limites dans la littérature [3], on devrait avoir affaire à «une région industrielle avec bâtiments servant au séjour prolongé de personnes»,

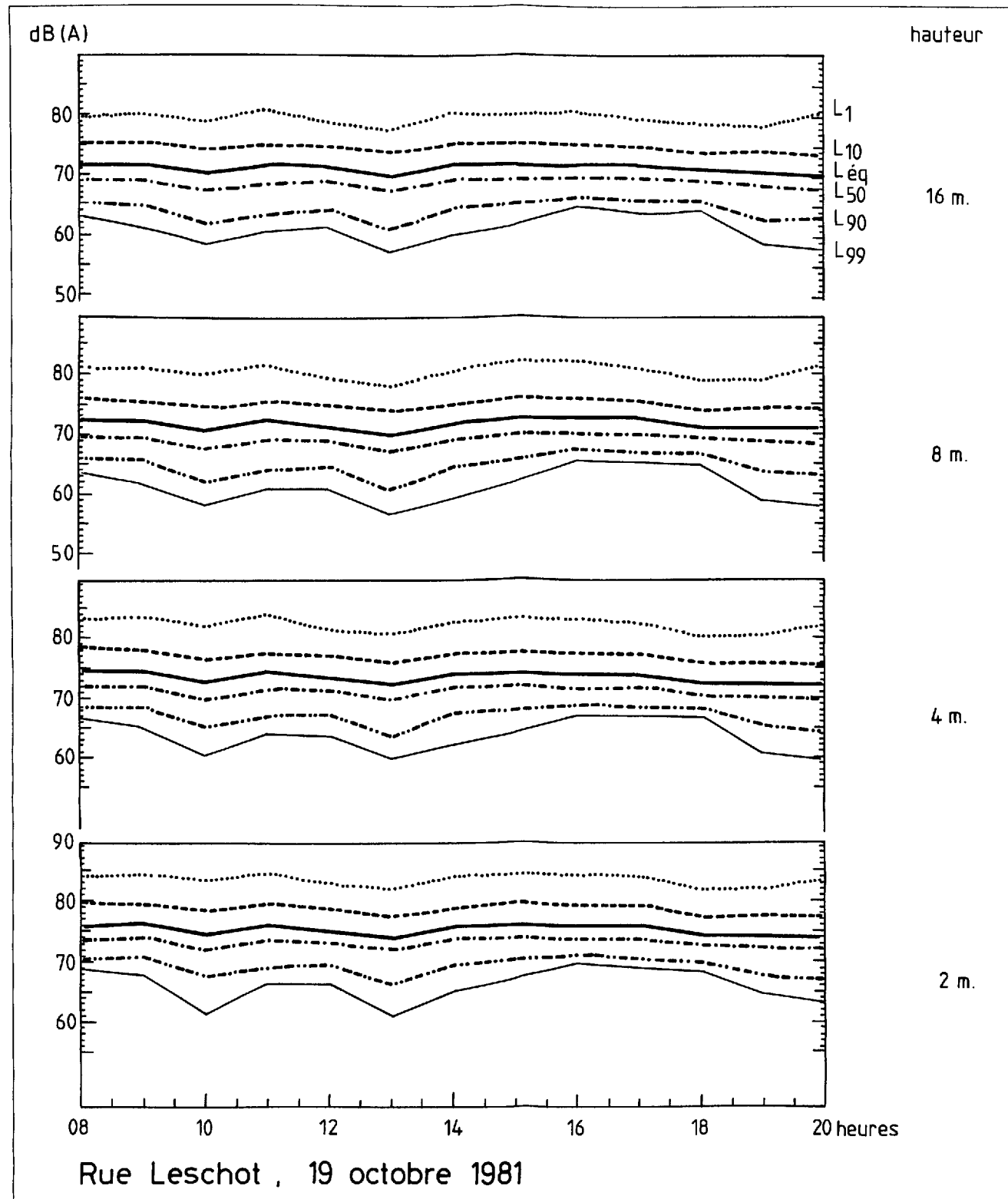


Fig. 3. Atténuation du bruit dans un espace urbain confiné. Rue Leschot, 19 octobre 1981. Profils donnés en fonction du temps et de la hauteur. Niveaux en dB(A)

ce qui n'est pas le cas. La destination primitive de cette rue a été changée. Il est du devoir des autorités qui gèrent l'espace urbain de lui redonner sa destination propre.

Il est possible de ne considérer que les niveaux sonores équivalents, parce que les bruits sont suffisamment uniformes et continus (tabl. 1). Les diminutions caractéristiques du bruit de fond, aux environs de 10 heures et de 13 heures (L_{99}) correspondent à l'une des caractéristiques du trafic et non pas à celles de l'environnement local.

Ce cas n'est pas exceptionnel. Pour d'autres artères à circulation intense, nous avons constaté des atténuations de bruit, entre le niveau du sol et le haut des façades, inférieures à 2 dB(A), avec une dynamique semblable [4].

4.2 Ambiance de travail

Le principe de l'évaluation est encore le même lorsqu'on a affaire à une ambiance de travail où la machinerie produit des spectres sonores reproductibles et des niveaux constants. Les courbes des isophones établies au Centre intégré de destruction des résidus de

Genève en sont un exemple. L'ensemble examiné ici concerne un four à grille et une turbine (fig. 4).

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un analyseur statistique Brüel & Kjaer 4426 monté sur un landau. Un mesureur de distance permet d'initialiser le comptage à chaque mètre. L'échantillonnage des niveaux sonores se fait chaque 0,1 seconde. On change le nombre total d'échantillons d'un endroit à l'autre en modifiant la vitesse de déplacement. L'intérêt de pouvoir augmenter la durée de mesure est grand aux endroits où le bruit n'est pas continu. Dans cette procédure, il est possible d'attendre à un point de mesure jusqu'à ce que L_{eq} affiché soit constant.

Cette méthodologie appliquée à l'ensemble de l'usine a permis de contrôler les valeurs contractuelles imposées par le maître de l'ouvrage. Les défauts des installations ont été corrigés. Par exemple, le capotage de la turbine a permis une atténuation du bruit de l'ordre de 20 à 25 dB(A).

4.3 Cartographie urbaine

Dans le cadre de l'aménagement du territoire et de l'aménagement spatio-temporel, il est primordial de

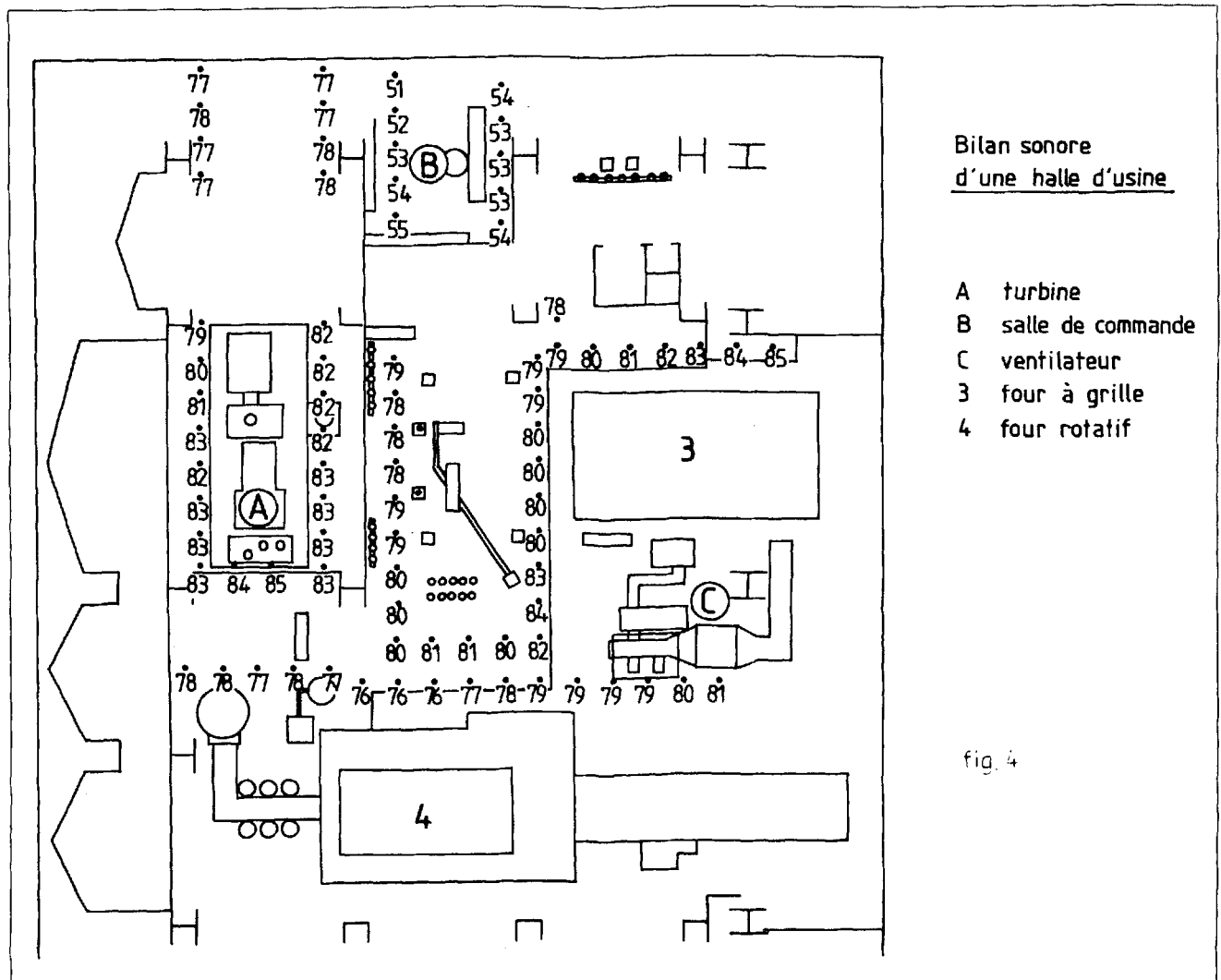


fig. 4

Fig. 4. Bilan sonore d'une halle d'usine. Mesure des niveaux équivalents L_{eq} (dB(A)) pour des bruits uniformes

pouvoir disposer d'un registre de charge de bruit. A ce jour, les cartes des isophones ont été établies pour un tiers du centre de la Ville, Chêne-Bougeries et Carouge.

Les conditions expérimentales ont été les suivantes: les mesures sont effectuées par temps sec et un vent faible à modéré, les jours ouvrables entre 9 et 11 heures et 14 et 16 h 30, les emplacements des microphones situés à 1,5 m du sol et à 1–1,5 m des façades. Chaque point de mesure se situe approximativement dans une maille de 50×50 m et représente une valeur moyenne d'au moins 2 à 5 mesures de 5 minutes chacune. Selon les résultats obtenus, de nouvelles mesures sont effectuées jusqu'à ce que la dispersion soit inférieure à une classe isophone de 5 dB(A). En général, les mesures faites au bord des artères à trafic intense et dans les endroits particulièrement peu bruyants (cours intérieures, champs, forêts), sont caractérisées par un écart type inférieur à 2 dB(A).

Les cartes des isophones (fig. 5) sont des images limites. En effet, le niveau L_{eq} a toute sa signification là où le trafic automobile est dense et continu, où les niveaux sonores sont élevés. Il la perd au fur et à mesure qu'on descend dans les classes des isophones. Il n'en a plus aucune dans les zones de faible charge sonore où les sources sonores sont d'origines diverses, d'amplitudes variables et intermittentes par nature. Dans ce cas-là, il eût fallu donner tous les paramètres statistiques. Cela n'est pas possible au niveau de la représentation graphique.

Il s'ensuit tout naturellement qu'une approche différente doit être utilisée lorsque les sources de bruit sont de natures différentes.

Les courbes isophones étant évaluées pour une période diurne, nous avons montré que les niveaux sonores équivalents de nuit (1 à 4 heures), pour les rues à trafic intense, suivent la relation: L_{eq} moyen de nuit = L_{eq} moyen de jour - 10 (± 2) dB(A).

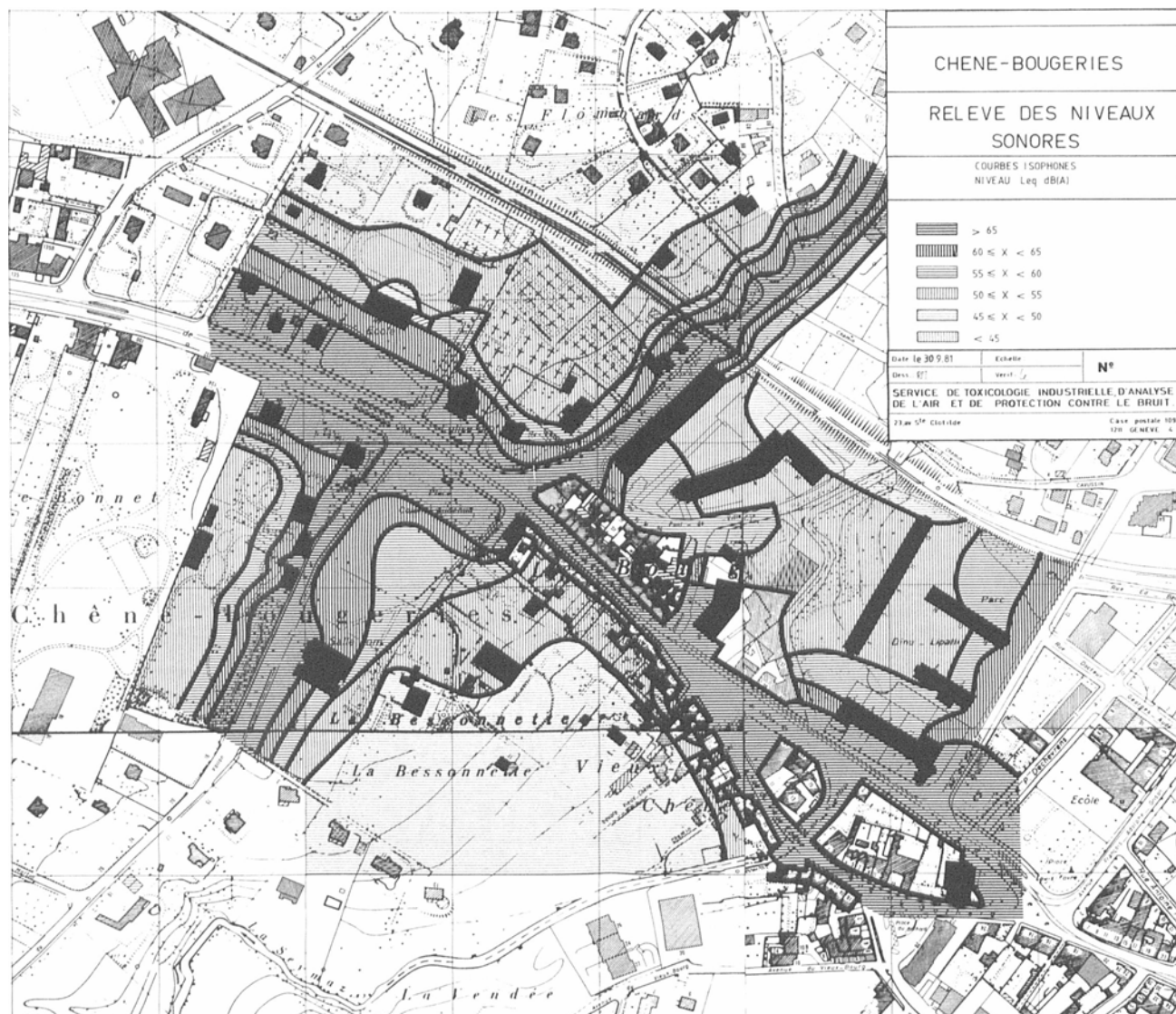


Fig. 5. Cartes des courbes des isophones de la Commune de Chêne-Bougeries. Niveaux L_{eq} , dB(A). Classes des isophones, de 5 en 5 dB(A)

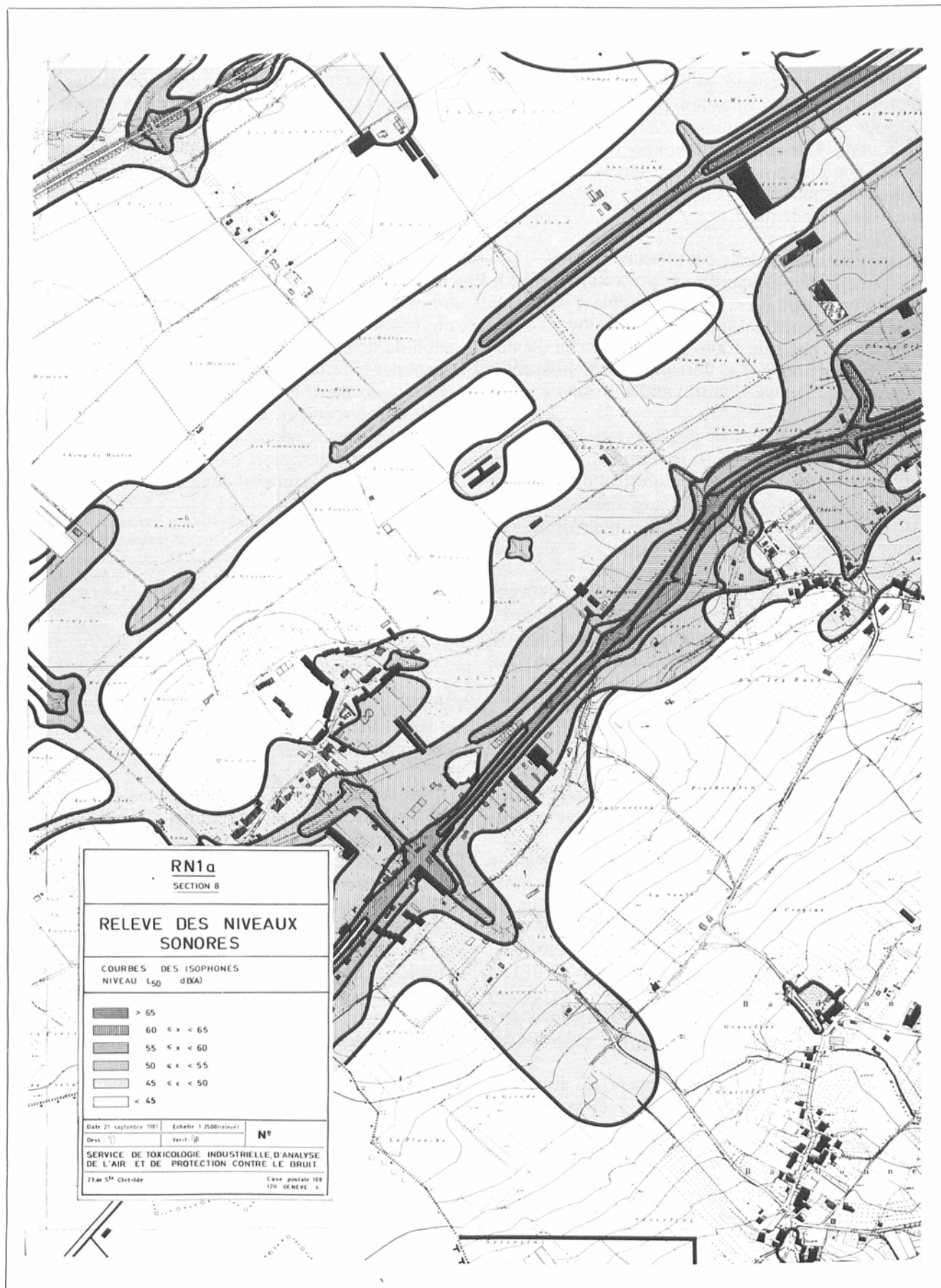


Fig. 6. Relevé des niveaux sonores actuels sur le territoire compris entre Onex-Bernex et la frontière française. Courbes des isophones L_{50} dB(A). Classes des isophones de 5 en 5 dB(A)

En dehors de ville, où l'activité nocturne est faible et localisée, il n'est pas possible de donner un algorithme semblable.

La correction empirique pour d'autres conditions météorologiques est également possible, mais seulement pour les régions soumises au bruit intense du trafic routier. Les conditions limites nécessitent une interprétation plus poussée. Les mesures de protection ou d'aménagement ne dépendent plus de L_{eq} mais de paramètres plus adéquats.

5. Perception différentielle des niveaux sonores

Nous donnons ici un aspect de la protection contre le bruit au moment où il est encore possible d'intervenir dans la conception d'un ouvrage autoroutier: l'étude de l'impact du bruit du trafic pour le tronçon d'auto-route N1a, section 8. Ce dernier est compris entre l'aéroport de Genève-Cointrin et la frontière française.

Nous avons établi un modèle de propagation du bruit à partir du modèle développé par Building Research Establishment [6]. L'exactitude du calcul du modèle a été testée en plusieurs endroits aux abords de différents types de routes, pour lesquelles nous disposons de comptage de trafic précis.

Pour diverses raisons, notamment celle de l'hétérogénéité du trafic lorsqu'il est faible, L_{10} sert de base au calcul. Pour transcrire les résultats en niveaux équivalents conventionnels, et pour autant que $L_{10} > 50$ dB(A), nous avons montré qu'il existait une relation linéaire entre L_{eq} et L_{10}

$$L_{eq} = 0,96 L_{10} - 0,64 \text{ dB(A)}$$

La relation est moins significative pour des niveaux L_{10} inférieurs à 50 dB(A): dans un environnement peu bruyant les bruits transitoires prennent une importance accrue dans le calcul de L_{eq} .

Les niveaux sonores calculés ne représentent pas de manière réaliste la gêne due au bruit d'une route projetée, si l'on ne tient pas compte des niveaux de bruit de fond. Cela découle du mécanisme même de la perception qui est basé sur la différence d'intensité de divers stimuli. Le bruit de l'autoroute $L_{eq} = 52$ dB(A) passera inaperçu au niveau d'une artère existante à trafic intense, par exemple $L_{eq} = 70$ dB(A), mais sera très gênant au niveau d'un village où $L_{eq} = 45$ dB(A).

C'est la raison pour laquelle l'impact du bruit sur l'environnement doit correspondre à la somme de deux niveaux sonores: le bruit de fond et le bruit du trafic; la gêne, elle, correspond à la différence de niveau sonore entre le niveau sonore brut et le bruit de fond. Le niveau équivalent total étant la somme des L_{eq} partiels, il est donc possible d'additionner un bruit calculé selon notre modèle au bruit de fond existant. C'est ainsi qu'il a été tenu compte dans nos calculs d'impact, à la fois du bruit provenant du trafic et du bruit ambiant. Les niveaux sonores calculés ont toujours été exprimés en fonction du trafic horaire.

Le niveau L_{eq} mesuré dans le terrain est néanmoins influencé par d'autres sources de bruit que le trafic routier et l'on ne peut nier qu'il existe de manière distincte une gêne due au bruit du trafic routier et une gêne due au trafic aérien par exemple. A proximité de l'aéroport de Genève-Cointrin, les bruits du trafic aérien, de durée relativement brève (de l'ordre de 20 sec., soit 4% du temps total pour 160 décollages par jour) mais très intense (plus de 80 dB(A)), provoquent une élévation disproportionnée de L_{eq} . Dans le cas particulier, travailler avec des niveaux L_{eq} mesurés, reviendrait à sous-estimer la gêne provoquée par le bruit du trafic automobile. Pour cette raison, c'est bien un niveau sonore non perturbé par le bruit de l'aviation, comme L_{50} , qui doit être choisi pour la détermination du niveau zéro actuel: L_{50} est en effet très peu affecté par le bruit des avions. Il n'en va pas de même pour L_{eq} , comme le montre le tableau 2. Pour un même enregistrement, lors de la suppression du bruit de trois passages d'avions, L_{eq} diminue de 5 dB(A), L_1 et L_{10} sont affectés, alors que L_{50} ne diminue que de 0,5 dB(A). Cette erreur est donc minime.

	Niveaux sonores totaux	Niveaux sonores «moins trois décollages»
L_{eq}	61,4	56,5
L_1	72,8	63,5
L_{10}	64,3	59,5
L_{50}	55,8	55,3
L_{90}	52,5	52,5
L_{99}	49,8	49,5

Tabl. 2. Influence du bruit des avions sur les niveaux sonores. Mesures effectuées le 28 mai 1979, commune de Meyrin. Unités: dB(A)

Il s'agit là d'une approche originale, mais l'expérience nous a montré que le niveau équivalent, comme critère de gêne pris séparément de la fonction temporaire de bruit, est un critère insuffisant.

Les courbes des isophones L_{50} de l'état de référence sont données à titre d'exemple dans la figure 6. Il s'agit de la portion de territoire comprise entre Onex-Bernex et la frontière française. Les mesures ont été effectuées entre les mois de juillet et septembre 1980 et les mois de mai et septembre 1981. La méthodologie est publiée par ailleurs [11]. Les courbes des isophones expérimentales ont été établies en tenant compte de la nature du terrain, des barrières naturelles, ainsi que des immeubles, des murs, des remblais, etc. La carte a ensuite été testée aux «points critiques» afin de déterminer si l'interprétation des mesures avait été correcte. Il n'est pas question ici de donner la description des résultats complets relatifs à l'aménagement autoroutier. Nous considérerons quatre points de référence, situés de part et d'autre de la traversée du Rhône. La figure 7 donne les résultats obtenus pour divers aménagements. Dans le cas de la variante brute, il est possible de définir l'impact du bruit qu'aura le trafic autoroutier sur le point considéré, pour la courbe supérieure, de jour, pour la courbe inférieure, de nuit.

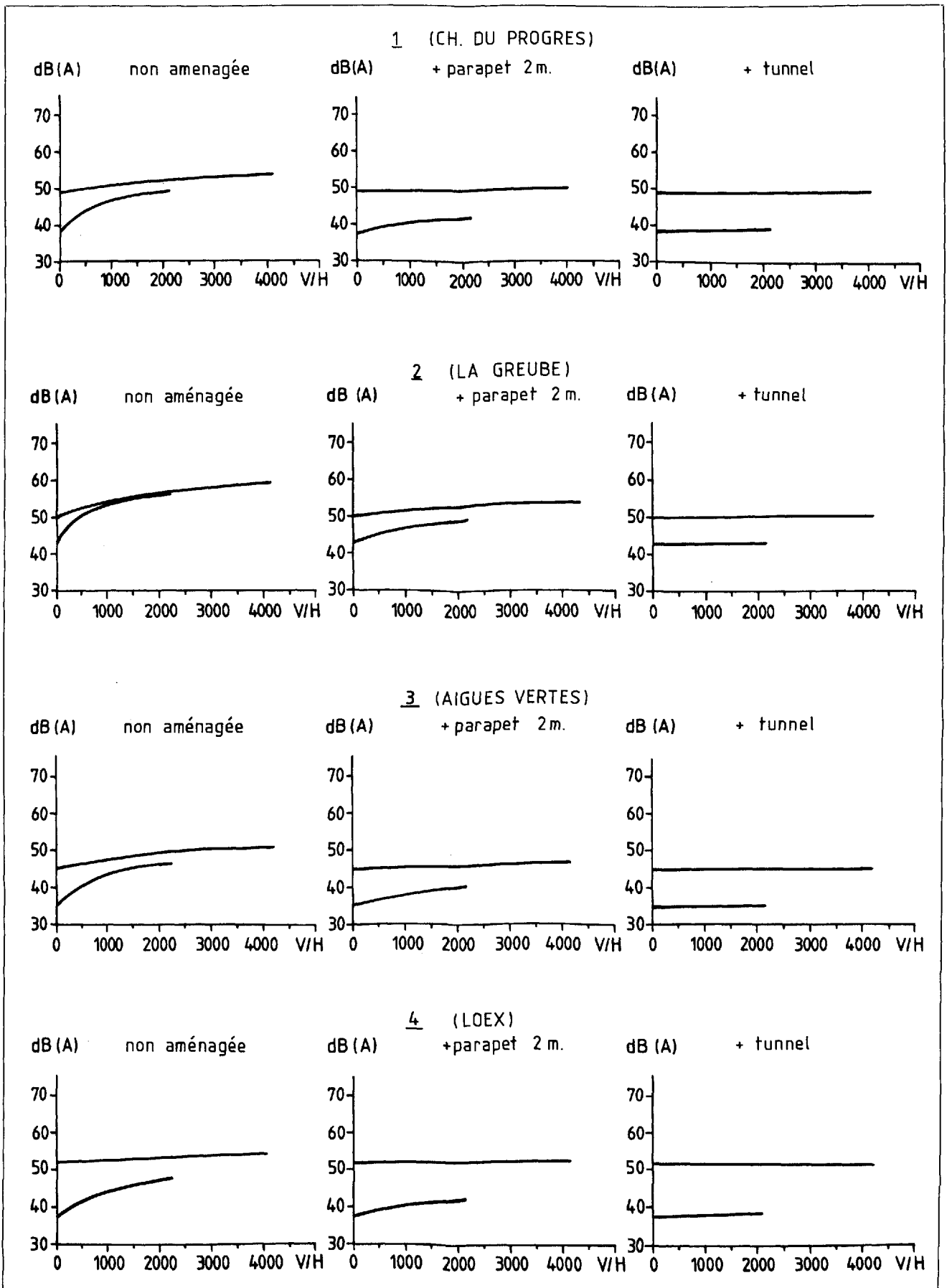


Fig. 7. Impact du bruit du trafic automobile calculé pour un aménagement autoroutier (N1a/8). Niveaux sonores L_{eq} calculés. Pour un trafic nul, L_{50} mesuré comme niveau zéro (dB(A))

Plus la courbure est prononcée, plus l'impact, par rapport au bruit de fond actuel, sera prononcé. Des calculs d'aménagement antibruit ont été effectués. Il est possible, au niveau du modèle, de choisir des secteurs tels qu'on puisse placer en bordure de la chaussée des écrans artificiels. Une simulation permet d'examiner les permutations possibles.

Dans la figure 7, la hauteur du parapet aura une importance dans l'atténuation du bruit sur le point critique No 4. Un parapet de 2 m provoquera une diminution de 6 dB(A).

L'impact de l'autoroute serait nul si la traversée du Rhône s'effectuait en tunnel.

Un cas plus complexe, celui de la traversée de Versoix, est actuellement à l'étude. Doivent être pris en compte les bruits du trafic aérien et du trafic ferroviaire, simultanément avec celui du trafic automobile.

6. Perception de la gêne comme une augmentation du bruit de fond

Le bruit de fond devrait être le bruit qui est perçu en absence de sources de bruit définies. Cela correspond physiquement par définition au niveau L_{100} . J.-G. Migneron [13] a fait une étude assez approfondie des niveaux L_{100} et $L_{99,9}$. Il constate que pour la mesure des niveaux ambiants, L_{100} ou les valeurs proches sont celles qui représentent le mieux l'environnement sonore. Cette notion n'est pas généralisée dans la cartographie. Par contre, nous l'utilisons là où il y a perturbation du niveau sonore ambiant par des sources de bruit continu et mal caractérisé.

6.1 Impact du bruit d'un champ de foire

Depuis longtemps, les riverains de la plaine de Plainpalais se plaignent du bruit du champ de foire. Des décisions ont été prises pour limiter le niveau sonore des émissions «à 70 dB(A) par installation». Le but était qu'au niveau des façades bordant la plaine de Plainpalais, les niveaux sonores admissibles soient inférieurs ou égaux à 60 dB(A). Le trafic automobile autour de ce grand champ de récréation (15 ha) est important. La qualité de vie est dégradée aussi bien par le bruit que par les émissions polluantes du trafic automobile et des installations de chauffage. Le niveau de 60 dB(A) en façade semblait donc être une approche adéquate. Mais les mesures ont montré dès 1978 que le niveau L_{50} était toujours supérieur à 62 dB(A)! La figure 8a donne les profils circadiens des niveaux sonores L_{eq} et L_{90} en absence d'émission de musique par les métiers des forains. La figure 8b les donne lorsque les métiers émettent. Les 12 et 17 décembre sont des vendredis, de telle sorte que le profil du trafic automobile est le même. Dès 15 heures, les installations des forains sont mises en marche (fig. 8b). L_{eq} est relativement peu perturbé, par contre le niveau L_{90} l'est de manière beaucoup plus significative: L_{eq} augmente de 3,6 à 3,9 dB(A) en présence de forains. On ne peut pas arguer de la perception de la nuisance accrue, en se basant sur cette différence. Par contre le bruit de fond L_{90} croît de 9 à 10 dB(A). Cette

augmentation montre l'aggravation des nuisances bien plus que l'augmentation du niveau sonore équivalent, puisque le trafic automobile au niveau des façades contribue déjà pour une part importante à la charge totale de bruit. Le tableau 3 donne les niveaux sonores moyens mesurés sur les périodes décembre/janvier 1979/1980 et 1980/1981.

La diminution de la charge sonore ne pourra être obtenue que par des mesures contraignantes au niveau des émissions, en appliquant les règlements sur la tranquillité publique.

	L_{eq} dB(A)	L_{90} dB(A)	diff.
1979, pas de forains	66,6	58,7	7,9
forains	70,2	67,8	2,4
différence de charge	3,6	9,1	
1980, pas de forains	69,7	59,3	10,4
forains	73,6	69,2	4,4
différence de charge	3,9	9,9	

Tabl. 3. Comparaison des valeurs de niveaux sonores moyens mesurés en décembre 1979 et en décembre 1980 sur la plaine de Plainpalais, entre 15 et 23 heures

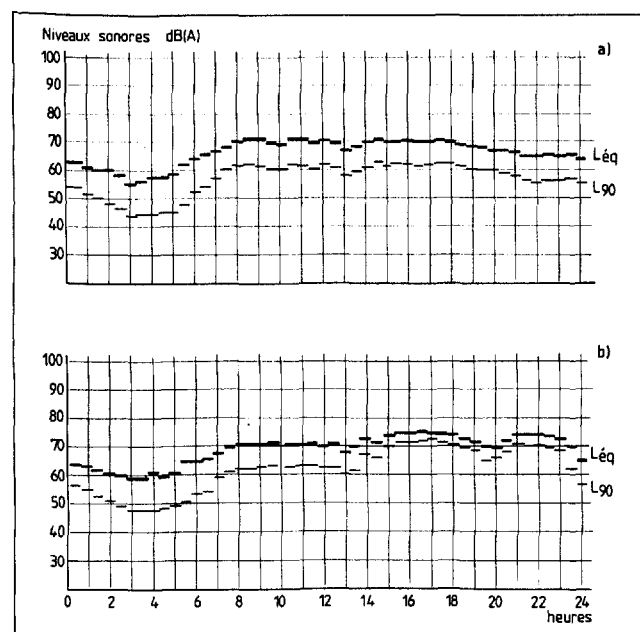


Fig. 8. Niveaux sonores mesurés en bordure d'un champ de foire. Plaine de Plainpalais Genève. L_{eq} et L_{90} (dB(A)).

a) 17 décembre 1980 en absence d'émission par les métiers des forains.

b) 12 décembre 1980, émission dès 15 heures.

Mesures à 2 m du bord de la chaussée, à 1,5 m des façades et à 4 m de hauteur

6.2 Habitat et exigences normalisées

Lorsque nous préavisons sur des installations fixes, nous déterminons les niveaux sonores de l'état actuel au niveau des récepteurs les plus exposés. La dynamique L_{99} à L_1 permet de fixer les contraintes d'émission de l'installation projetée pour que le bruit de fond soit

le moins perturbé possible. Ainsi, le niveau sonore L_{90} ou L_{99} de l'ensemble d'une installation et du bruit de fond est défini «comme ne devant pas dépasser X dB(A) à une distance donnée». Les puissances sonores des éléments d'installation, lorsqu'elles peuvent être calculées, le sont également. A cela s'ajoute le problème des spectres sonores qui fixent une contrainte supplémentaire, comme on le verra par la suite.

Un arrêt du Tribunal administratif de la République et Canton de Genève (TA), daté du 12 novembre 1980 [1] confirme cette manière de voir. Il avait à juger le bien-fondé de la décision d'une autorité administrative, qui, considérant qu'un bruit, même inférieur à la valeur limite de 30 dB(A) pour des installations fixes, de la norme SIA 181 [9], mais nettement supérieur au bruit de fond, devait conduire à un assainissement de l'installation. En effet, il avait été montré que dans un

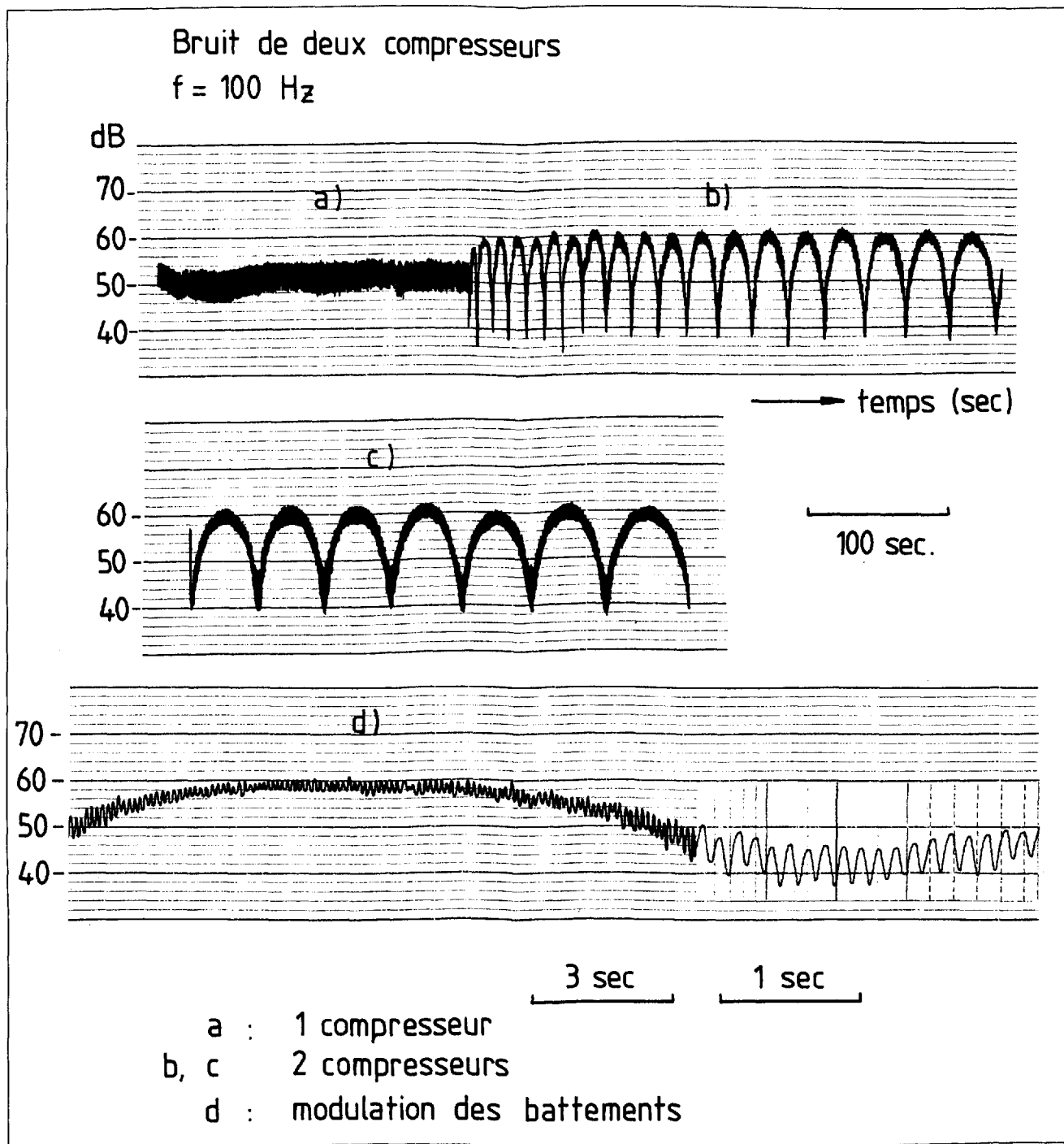


Fig. 9. Mise en évidence de phénomènes de battements. Niveaux de pression acoustique à l'immission de deux compresseurs montés solidairement dos à dos (dB à 100 Hz).

a) un compresseur seul, b) et c) battements, d) modulation des battements

immeuble-tour, le bruit de fond était de l'ordre de 20 dB(A) et que les niveaux sonores mesurés dans les diverses pièces de l'habitat variaient entre 26 et 32 dB(A) lorsque la ventilation fonctionnait. Dans ces conditions, le TA a constaté qu'une augmentation de 4 à 6 dB(A) du bruit était une gêne importante. Dans les considérations, le TA constate qu'une construction doit remplir en tout temps les conditions de sécurité et de salubrité exigées par la loi, quelle que soit la date à laquelle elle a été réalisée. Elle doit être maintenue en tel état qu'elle ne puisse être la cause d'inconvénients graves pour ses usagers, le voisinage ou plus généralement le public [8]. La notion «d'inconvénients graves» répond à la définition de normes juridiques indéterminées. Le TA a admis le bien-fondé de la décision de l'autorité administrative. Dans ses considérations, il reconnaît que

«les différences de niveaux sonores entre le bruit de fond et le bruit produit par l'installation au niveau de l'habitat étaient si importantes que les locataires pouvaient en ressentir une gêne certaine, et que les valeurs observées étaient soit trop élevées, soit à la limite de l'acceptable selon la norme SIA 181, règle qui, de l'avis du Conseil d'Etat, n'était pas déterminante dans le cas de la perception par le public d'une nuisance auditive».

7. Perception des nuisances pour des sons purs

Nous avons considéré jusqu'ici les différences de niveaux sonores (échelle pondérée A) pour prendre les mesures idoines de protection contre le bruit. Cette démarche doit être affinée encore par l'utilisation des notions de perception de fréquences particulières relatives dans un spectre.

7.1 Mise en évidence de battements

Lors de la mise en phase de deux sources de bruit de fréquences voisines, il se produit des battements dont l'amplitude correspond presque à la somme des amplitudes des signaux particuliers [12]. Pour deux sons voisins, par exemple de 400 et 405 Hz, on entendra cinq battements par seconde. C'est sur ce principe qu'on accorde les instruments de musique. C'est parce que les battements existent lorsque des instruments sont mal accordés que la musique est parfois si pénible à écouter. Dans le domaine du bâtiment, la ligne mélodique n'existant pas, les battements deviennent insupportables.

Des battements ont été mis en évidence dans un immeuble-tour où se trouvaient deux compresseurs montés dos à dos, solidaires de la même dalle et dont les moteurs tournaient quasi à la même fréquence. Le niveau sonore produit par un seul compresseur est donné dans la figure 9a, la formation du phénomène de battements dans les figures 9b et 9c. La figure 9d montre une modulation du battement. Les habitants de cet immeuble-tour disaient devenir fous. Ils avaient l'impression que leur encéphale gonflait puis était compressé périodiquement. De nombreuses personnes avaient été sur place pour mesurer les niveaux sonores.

Elles avaient trouvé les installations conformes et n'avaient pas prêté attention au phénomène. Or, l'oreille interne amplifiait les bruits lorsque les battements étaient quasi inexistantes, puis les atténuait quand ils devenaient plus importants, cela pour avoir l'impression d'un niveau sonore continu.

7.2 Résonances induites par des phénomènes de cavitation

Nous avons dû intervenir dans un bâtiment où un certain bruit empêchait les habitants de dormir. Ce bruit se produisait à intervalles réguliers et avait une durée variable, de quelques secondes à plusieurs dizaines de minutes. Il a été supposé qu'il s'agissait d'un bruit d'installation d'eau. Les niveaux sonores mesurés ne permettaient pas d'intervenir selon les critères cités jusqu'à maintenant. Une analyse spectrale en bandes fines (fig. 10) montre, pour un bruit de fond très peu intense, inférieur à 30 dB(A), une bande caractéristique dont la fréquence oscille entre 1105 et 1150 Hz. Au moment où les émissions sonores étaient particulièrement intenses, une fondamentale à 555 Hz se manifestait. Notre hypothèse était qu'il existait dans la tuyauterie un tube d'une longueur de 31 ou de 62 cm, mis en résonance par un phénomène de cavitation et qui produisait le bruit incriminé. Un tube d'une trentaine de centimètres, d'un diamètre différent de la conduite originale, avait effectivement été ajouté dans la tuyauterie.

7.3 Etude de la diffusion du bruit des essais des avions au sol

Des essais au sol de moteurs d'avions sont source de gêne certaine pour les riverains d'un aéroport. Il s'est agi pour nous d'évaluer la charge relative de ce bruit et d'en quantifier l'amortissement par une installation antibruit proposée par une maison spécialisée. Nous ne disposons que des coefficients d'amortissement de l'installation, mesurés par le constructeur, dans des conditions idéales, à une distance de 75 m. La méthodologie des mesures et l'interprétation des résultats ont été développées en conséquence. L'étude comprend trois étapes:

1. La mesure de la charge sonore à un certain nombre de points de référence a été calculée comme la moyenne des différences entre le bruit de fond et le bruit mesuré pendant les essais au sol. Les niveaux L_{50} sont significatifs. Les résultats ont donné des renseignements intéressants sur la charge sonore due aux essais des avions par rapport à celle des mouvements au sol et du trafic de ligne: «la sensibilité» de certaines zones d'où émanent plaintes et pétitions n'est pas toujours en relation directe avec la charge sonore réelle, mais bien plus avec des paramètres socio-économiques.
2. La mesure de la puissance acoustique de deux avions types, l'un à turbo-hélice, l'autre à réaction, a été effectuée à l'emplacement de la future installation antibruit; 7 enregistrements simultanés des spectres sonores, à 7 emplacements situés à 75 m

autour de l'avion, ont été réalisés pendant que ce dernier effectuait un programme standard d'essais. L'analyse spectrale a permis de calculer la puissance sonore de l'avion et les coefficients de directivité.

3. A l'aide d'un modèle numérique [12] tenant compte des paramètres topographiques, orographiques et météorologiques, il a été calculé la diffusion du bruit par tiers d'octave, ainsi que le niveau sonore pondéré A résultant à chaque point de référence.

L'opportunité et l'efficacité de l'installation projetée peuvent ainsi être discutées.

En tenant compte de l'atténuation théorique de l'installation d'absorption du bruit, il a été possible de quantifier l'atténuation en dB(A) au niveau de chaque point critique. Les résultats sont présentés en coordonnées polaires dans la figure 11. Y sont reportés les niveaux sonores (en dB(A)) à une distance de 512 m. La force d'un modèle numérique réside dans le fait qu'on peut varier facilement des paramètres pour examiner des situations intéressantes.

Les mesures en L_{eq} sont inadaptées à ce genre de mesures, parce que pauvres en renseignements. Il est donc indispensable d'effectuer les études de la distribution spectrale et de la directivité du bruit à la source. Cette approche permet d'éviter des erreurs lors d'investissements dans des ouvrages antibruit inadaptés à l'atténuation des basses fréquences, par exemple.

7.4 Conclusions

Ces trois exemples montrent que non seulement les niveaux de pression acoustique sont déterminants dans la gêne, mais encore les fréquences pures. C'est pourquoi, la démarche permettant de diminuer l'impact sur le voisinage de nouvelles installations, est assortie d'une clause ayant trait à l'analyse spectrale. Nous proposons donc:

Au vu de l'examen des immissions et de la détermination des niveaux sonores L_{90} ou L_{99} , de fixer un niveau limite de pression acoustique en échelle pondérée A, qui soit compatible avec l'environnement acoustique, d'une part et de faire en sorte que le niveau de pression

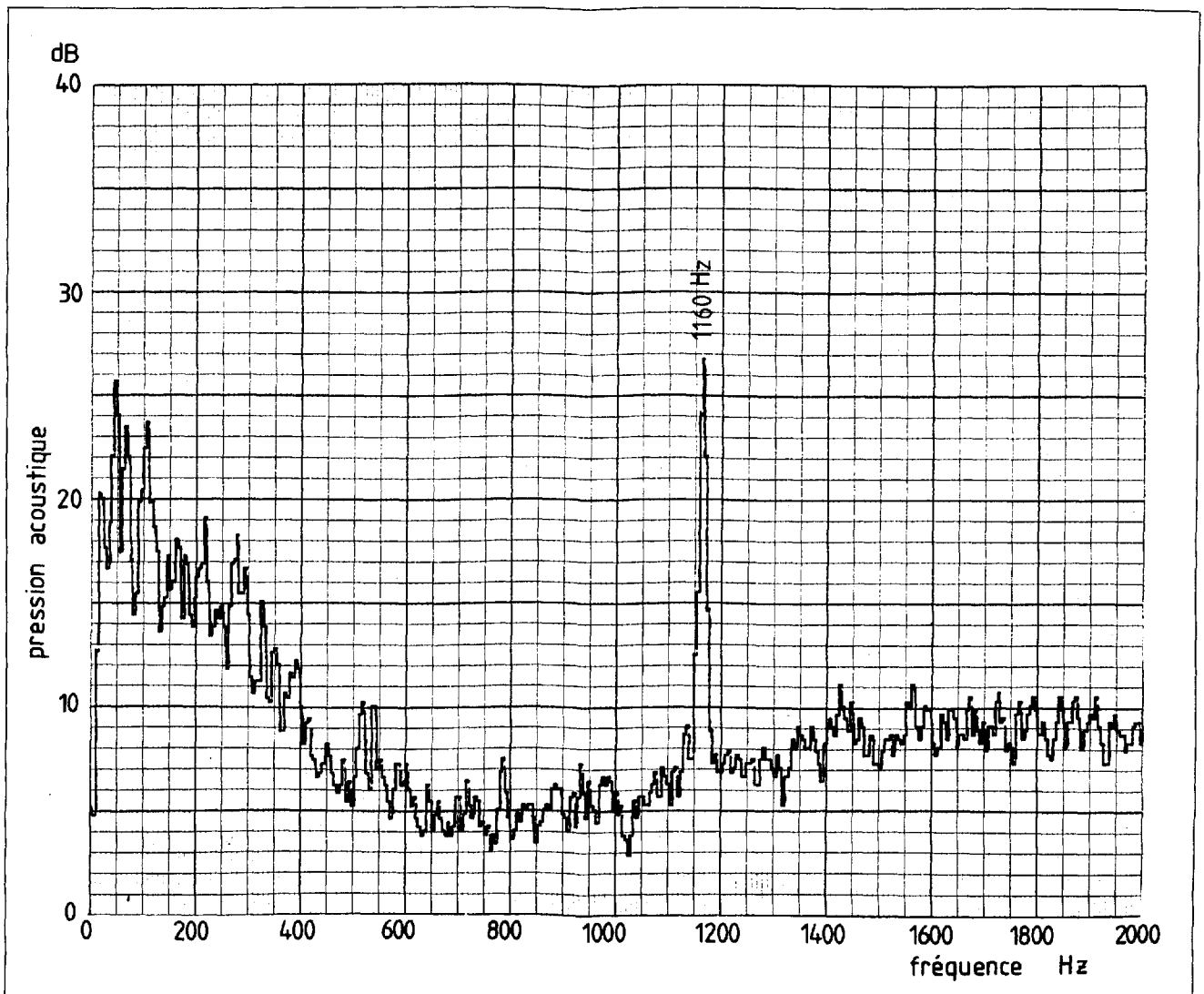


Fig. 10. Résonances induites par des phénomènes de cavitation à l'intérieur de tuyauteries. Analyse spectrale en bandes fines

acoustique des octaves contenant des sons purs (fréquence discrète) soit au moins de 4 dB inférieur à la valeur limite pondérée A.

En d'autres termes, on essaie d'obtenir un bruit aussi blanc, aussi faible que possible et avec le moins de fréquences discrètes possibles.

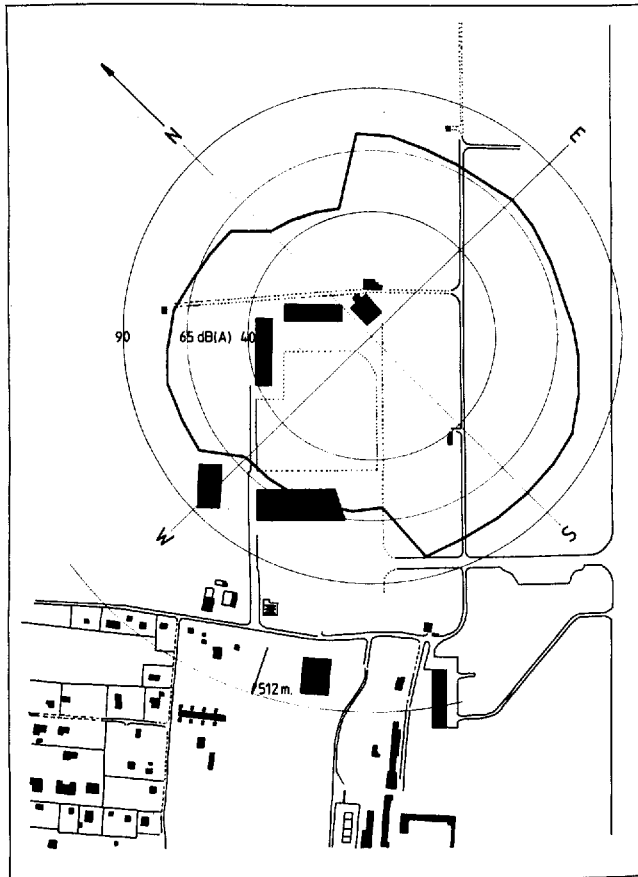


Fig. 11. Empreinte des niveaux sonores lors des essais au sol d'un Lear Jet 35. Courbes d'intensités sonores à une iso-distance de 512 m. Pondération dB(A)

8. Conclusion

La méthodologie qui a été développée au STIAB a permis de mettre en évidence nombre de phénomènes physiques dont l'interprétation ne peut se faire en niveaux de pression acoustique exprimés en dB(A). Cela nous a conduits à avoir une attitude pragmatique, analogue à la démarche d'un naturaliste qui commence par observer un système, à le décrire puis enfin à le discuter et à le comparer à d'autres systèmes. Cette façon de faire nous a rapidement amenés à des situations conflictuelles avec des valeurs normatives existantes ou avec des propositions d'autres valeurs, notamment celles qui ont trait à la future loi fédérale sur la protection de l'environnement. Nous sommes arrivés à la conclusion qu'à part le cas limite où l'atteinte de l'ouïe était nette, irréversible, tout ce qui avait trait aux nuisances devait être discuté en termes différentiels: l'impact d'un bruit n'est en effet perçu que par rapport au bruit environnant. Nous avons donc distingué les cas où la mesure de la différence

doit se faire par rapport au contenu énergétique (L_{eq}), par rapport au bruit moyen, ou par rapport au bruit de fond. Nous avons également discuté du problème des sons purs dans les bruits.

Selon nous, seule une attitude critique vis-à-vis des problèmes qui nous sont soumis permettra d'aboutir à une protection efficace contre le bruit.

Il n'a pas été discuté ici des valeurs normatives en tant que telles et de leur impact: toute société se sent le besoin de créer des valeurs de référence à des fins de permisivité d'une part et de commodité d'autre part. En ce sens, il sera toujours très difficile de se substituer à de faux critères de sécurité.

9. Bibliographie

- [1] Arrêt du Tribunal administratif du 12 novembre 1980, 80.TP.263 dans la cause SI Centre Rhône SA contre Département des Travaux publics, Genève 1980.
- [2] Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, 6002 Lucerne, Cahiers suisses de la sécurité du travail, No 113, p. 36, 1974.
- [3] Commission fédérale pour l'évaluation des valeurs limites d'immissions pour le bruit, 1^{er} rapport partiel, Valeurs limites pour l'exposition au bruit du trafic routier, Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Berne, p. 31 (juin 1979).
- [4] Etude de la diffusion des polluants du trafic automobile et du bruit à la rue des Deux-Ponts, Service de toxicologie industrielle, d'analyse de l'air et de protection contre le bruit, Genève, février 1979.
- [5] Etude de la diffusion des polluants du trafic automobile et du bruit à la rue Leschot «Opération Leschot Street», Service de toxicologie industrielle, d'analyse de l'air et de protection contre le bruit, Rapport d'activité scientifique, Genève 1978.
- [6] Prediction of Traffic Noise: part 1, Building Research Establishment, Digest 185, January 1976.
- [7] Rapport du Conseil d'Etat au Grand Conseil sur la motion de M.E. Luisoni concernant la lutte contre le bruit, Chancellerie de la République et Canton de Genève, M 4957-A, p. 1-24 (oct. 1979).
- [8] République et Canton de Genève, Loi sur les constructions et installations diverses, L/5/1 du 25 mars 1961, Chancellerie, art. 184, 185 et 198.
- [9] Société suisse des ingénieurs et des architectes, Protection contre le bruit dans la construction des habitations, Norme SIA 181, Ed. SIA, 8039 Zürich, p. 14, 1976.
- [10] Landry, J.-Cl., et Cupelin, F., Méthode d'évaluation de la qualité de l'air à l'aide de profils circadiens, Compte rendu des séances de la Société de physique et d'histoire naturelle, Genève, 12, 47-68 (1977).
- [11] Landry, J.-Cl., et Lenvental, M., Impact du bruit d'une autoroute sur l'environnement, Archives des sciences 33, 11-47 (1980).
- [12] Leipp, E., Acoustique et musique (Ed. Masson, p. 27, 1980).
- [13] Migneron, J.-G., Acoustique urbaine (Masson & C^o Ed., Paris, p. 149, 1981).
- [14] Robinson, D. W., Towards a Unified System of Noise Assessment, Journal of Sound and Vibration 14, 279-293 (1971).

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier leurs collaborateurs les plus proches: M^{me} Y. Deléaval, M. J.-P. Emery, M^{me} J. Jaccard, M. P. Junod, M. R. Müller, M. J.-Cl. Pingoud, M. J. Sidler, M. G. Varonier.

Résumé

Sur la base de nombreuses expériences d'acoustique urbaine à Genève, les auteurs concluent que les valeurs normatives ne sont pas applicables dans les cas de l'évaluation du niveau de gêne. Elles doivent l'être pour pallier le risque de perte d'acuité auditive.

Pour objectiver la gêne, il est nécessaire d'utiliser une méthodologie

de mesure et d'analyse des résultats, adaptée à chaque situation, en considérant la charge sonore, la dynamique du bruit, le spectre sonore et l'environnement socio-économique des intéressés. Cette conception a été admise par les instances juridiques genevoises, lors d'un jugement qui fait jurisprudence depuis: elle permet de considérer comme gênante toute augmentation du niveau sonore de 4–6 dB(A) par rapport à la situation antérieure ou par rapport au bruit de fond. La notion de la «perception différentielle» étant fondée sur les mécanismes physiologiques de l'ouïe.

Zusammenfassung

Begriff und Methodologie der Umgebungsakustik

Auf der Grundlage von zahlreichen schalltechnischen Versuchen im Stadtgebiet Genf schliessen die Verfasser, dass im Falle der Beurteilung des Unbehagens die angegebenen Normalwerte nicht anwendbar sind. Sie sind jedoch notwendig, um der Gefahr des Verlustes der Gehörschärfe vorzubeugen. Um das Unbehagen sachgemäss beurteilen zu können ist es notwendig, eine an jede Lage anpassungsfähige Messungsmethodologie und Ergebnis-Auswertung der Lärmbelastung, der Lärm-Dynamik, die Spektralanalyse des Lärmes und die sozial-wirtschaftliche Umgebung der Beteiligten zu berücksichtigen.

Das Genfer Gericht hat diesen Begriff laut eines Urteils als gültig anerkannt, dieser Entscheid wird seitdem als rechtlich bindend

betrachtet: dies erlaubt jede Volumenzunahme des Lärmpegels von 4–6 dB(A) im Verhältnis zu vorhergehender Lage oder zum Grundlärm als störend zu erklären. Der Grundbegriff der differentiellen Wahrnehmung ist durch den physiologischen Mechanismus des Gehörs begründet.

Abstract

Conception and Methodologies in Environmental Acoustics

On the basis of many experiments of urban acoustics carried out in the canton of Geneva, the authors come to the conclusion that *the normative values cannot be applied when the estimate of discomfort level is concerned*. They must be applied to prevent the risk of auditive acuteness loss.

In order to establish discomfort, it is necessary to use methods to measure and analyse the results which are suitable for each condition, and to take into account the acoustic charge, the noise dynamics, the acoustic spectrum and the socio-economic environment of the people concerned. The conception has been accepted by Court of Justice in Geneva, which is now legally accepted: one may consider as uncomfortable any increase of 4–6 dB(A) of the acoustic level, as compared to the previous situation or to the background noise. The ability to differentiate between two stimuli is based on the physiological mechanisms of hearing.

