

E. LEIPP



LE PROBLÈME DU BRUIT

MAI 1966 — n° 20

G A M

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
FACULTÉ DES SCIENCES — 8 RUE CUVIER — PARIS 5'

Adresse postale :
9 Quai St Bernard PARIS 5°

BULLETIN N° 20

1°) REUNION DU 27 Mai 1966

Etaient présents

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président
M. LEIPP, Secrétaire Général; Melle CASTELLENGO, Secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée :

M. Alain MEYER (Licencié de Physique); M. FRANCOIS (Labo. Acoust. EDF); M. MOUTET (ONERA); M. DUPARCQ (Dir. Revue Musicale); M. FORET (Ex Chef de la Garde Républicaine); M. GILOTAUX (Dir. Techn. PATHE MARCONI); Mme NYEKI (Discothèque Nationale); M. HUET (Centre Technique des Tuiles et Briques CTTB); Mme ANQUEZ pour Me BATAILLE, Ligue Française contre le Bruit); M. TRAN VAN KHE (Musicologue); M. BATAISSIER (SIERE); M. ROSTOLLAND (CNRS); M. BERNARD (Maitre Conf. Fac. Caen); Dr VEIT et Mme BIZAGUET (Laboratoire de correction auditive); A. LIENARD (Etudiant); Mme LEIPP, Mme CHARNASSE (CNRS); Melles Sylvie HUE, Melle REHAUDIE, (Conservatoire de Musique); M. RHEIN (KELLER SONA); M. CHAPPUIS (Interkellersona); Dr HUET (Docteur en médecine); Maître BOUVIER Avocat de la Cour de Paris); M. CARCHEREUX (Maitre Luthier); M. AGOSTINI (Directeur techn. de l'Opéra); Melle FILLION (Fac. des Sciences de Rouen); M. CONDAMINES (ORTF); M. GUEN (Ets GAREN) et M. JUNCK (Saxophones) représentant l'AFIMA; M. BERBESSON (CTTB); M. FORET (Laboratoire de Physiologie du Travail); Mme BOREL MAISONNY (orthophoniste); Me GRONIER (Magistrat); M. MATTEI (Labo. Ac. EDF); M. Léo NISHIKAWA (Architecte, CSTB); M. CHIARUCCI (GRM ORTF); Mme FULIN (CNRS); M. MOLES (Dr ès Sciences; Dr ès Lettres); Mme et M. LIENARD (Ing. A. et M.); Dr PERROT (Docteur ès lettres); M. DUBUC (Musée Arts et Traditions populaires); Melle Odile MEYER SIAT (Conservatoire).

Excusés. M. GAUTHIER, Vice Doyen de la Faculté des Sciences; M. ACOULON; M. ELOIRE; Mme HELEFFER; M. CANAC; M. ROBERT; M. CHARPEINE; M. PUJOLLE; M. KLEIN; M. BOURE; M. JACQUESSON; M. ISOIR; M. BARON; Dr VALLANCIEN; M. DUFOURCQ; M. RISSET; M. CLAVIE; M. FOCH; M. BEAUGHIER; Melle DINVILLE; Dr MARCIE; M. CLIDI; M. REYNE; M. MAILLOT; Mme GRIMAUD; Mme de BOISSIEU; Mme de CHAMBURE.

- 2°) M. LEIPP présente, au nom du Laboratoire d'acoustique une communication à " LANNION (Groupement des Acousticiens de Langue Française, GALF) sous le titre "Parole et Gestalttheorie". Ce thème sera repris et développé au cours de la dernière réunion du GAM, fin juin pour laquelle vous recevrez une invitation.

LE BRUIT

P L A N

I - GENERALITES

historique du problème.

II - POSITION DU PROBLEME - LA CHAINE DE COMMUNICATION DU BRUIT

III - LE PROBLEME PHYSIQUE

- 1)) Généralités sur la structure physique des signaux acoustiques.
- 2°) Typologie des bruits
- 3°) Déformation des bruits par les canaux
- 4°) Le bruit de fond
- 5°) Le signal global

IV - LE PROBLEME PSYCHO-PHYSIOLOGIQUE

- 1°) L'oreille
- 2°) Le cerveau : visualisation, mémoire, ordinateur
- 3°) La gêne

V - LA LUTTE CONTRE LE BRUIT

- 1°) Lutte contre les bruits intenses
- 2°) Lutte contre les bruits faibles. Critique des méthodes actuelles

VI - METHODE D'APPRECIATION DES QUALITES ACOUSTIQUES D'UN LOCAL

- 1°) Sources-tests
- 2°) Méthode et résultats

VII - CONCLUSIONS

LE PROBLEME DU BRUIT

I - GENERALITES

Le problème du bruit est posé depuis l'antiquité. Il y a deux mille ans, HORACE s'en plaignait amèrement déjà :

" Les poètes aiment les bois et fuient le fracas des villes
.... et tu veuX que je chante au milieu du bruit dont Rome retentit
nuit et jour " (Epître à Julius Florus).

Dix-sept siècles plus tard, Boileau, dans un texte célèbre gémit :

" Je fais pour reposer un effort inutile.
" Ce n'est qu'à prix d'argent qu'on dort en cette ville.
" Il faudrait, dans l'enclos d'un vaste logement
" Avoir loin de la rue un autre appartement. "

(Les embarras de Paris)

Entre temps, les choses n'ont fait qu'empirer. Au Congrès international pour la lutte contre le bruit (Baden Baden, mai 1966) nous avons entendu ces phrases significatives :

" On ne peut ouvrir un journal sans lire des plaintes contre le bruit.... Tous les appels à la raison sont restés vains : on ne peut plus agir que par législation. " (Prof. Dr. jur. M. KELLER). De son côté, Maître BATAILLE, Président de la Ligue Française contre le bruit a longuement insisté sur la nécessité de coordonner les efforts et les méthodes pour lutter plus efficacement contre cette " peste " de la société actuelle. En fait, si Boileau revenait parmi nous, il trouverait bien d'autres sujets de plaintes que les miaulements de chat, le marteau du forgeron, les coups de pistolet des fileurs et les cris de leurs victimes. A ces bruits s'est ajouté tout un éventail nouveau, aussi varié qu'efficace, entre les rugissements et les sifflements des réacteurs, le roulement des automobiles, les borborygmes et les cliquetis des installations sanitaires, le piano et les haut-parleurs du voisin, et tout ce que la mécanisation croissante de notre société invente journellement comme nouvelles sources de bruit.

Les Américains, premières victimes du fléau, furent les premiers à réagir. Dès 1930 la Commission d'Hygiène de la ville New-York entreprit une campagne contre les bruits urbains, suivie aussitôt par le Touring Club de France. On arrive rapidement à la conclusion que pour entreprendre contre le bruit une lutte efficace il faut le connaître. Les premiers appareillages d'électro-acoustique

...../

LE PROBLEME DU BRUIT

I - GENERALITES

Le problème du bruit est posé depuis l'antiquité. Il y a deux mille ans, HORACE s'en plaignait amèrement déjà :

" Les poètes aiment les bois et fuient le fracas des villes
.... et tu veûx que je chante au milieu du bruit dont Rome retentit
nuit et jour " (Epître à Julius Florus).

Dix-sept siècles plus tard, Boileau, dans un texte célèbre gémit :

" Je fais pour reposer un effort inutile.
" Ce n'est qu'à prix d'argent qu'on dort en cette ville.
" Il faudrait, dans l'enclos d'un vaste logement
" Avoir loin de la rue un autre appartement. "

(Les embarras de Paris)

Entre temps, les choses n'ont fait qu'empirer. Au Congrès international pour la lutte contre le bruit (Baden Baden, mai 1966) nous avons entendu ces phrases significatives :

" On ne peut ouvrir un journal sans lire des plaintes contre le bruit.... Tous les appels à la raison sont restés vains : on ne peut plus agir que par législation. " (Prof. Dr. jur. M. KELLER). De son côté, Maître BATAILLE, Président de la Ligue Française contre le bruit a longuement insisté sur la nécessité de coordonner les efforts et les méthodes pour lutter plus efficacement contre cette " peste " de la société actuelle. En fait, si Boileau revenait parmi nous, il trouverait bien d'autres sujets de plaintes que les miaulements de chat, le marteau du forgeron, les coups de pistolet des filous et les cris de leurs victimes. A ces bruits s'est ajouté tout un éventail nouveau, aussi varié qu'efficace, entre les rugissements et les sifflements des réacteurs, le roulement des automobiles, les borborygmes et les cliquetis des installations sanitaires, le piano et les haut-parleurs du voisin, et tout ce que la mécanisation croissante de notre société invente journellement comme nouvelles sources de bruit.

Les Américains, premières victimes du fléau, furent les premiers à réagir. Dès 1930 la Commission d'Hygiène de la ville New-York entreprit une campagne contre les bruits urbains, suivie aussitôt par le Touring Club de France. On arrive rapidement à la conclusion que pour entreprendre contre le bruit une lutte efficace il faut le connaître. Les premiers appareillages d'électro-acoustique

...../

susceptibles de fournir des renseignements objectifs sur les phénomènes acoustiques apparurent providentiellement et firent lever de grands espoirs : on disposait désormais de moyens pour "mesurer" le bruit. Mais il fallut rapidement se rendre à l'évidence : ces appareils ne perçoivent et n'intègrent pas les signaux acoustiques comme l'oreille humaine, c'est alors que les psycho-physiologues apportèrent le résultat de leurs travaux relativement aux propriétés du système auditif humain; on put approcher mieux la vérité en incorporant aux décibelmètres des circuits de pondération. Corrélativement apparurent des unités nouvelles de mesure qui se voulaient plus efficaces que le décibel physique; mais on s'aperçut vite que le problème du bruit est surtout un problème qualitatif. Dès lors de nombreux colloques et congrès se réunirent, dont l'intérêt fut surtout d'attirer l'attention des pouvoirs publics. Certains pays, l'Allemagne, la Suisse etc... ont adopté une législation précise, basée sur des normes que l'on tente encore d'unifier. Pendant ce temps, on fait de plus en plus de bruit, on fait de plus en plus d'efforts pour lutter contre lui, et on se plaint de plus en plus dans le monde entier : Brückmayer, à Baden Baden signale qu'à LONDRES, en trois ans, les plaintes ont augmenté de 50 %....

De telles situations apparaissent généralement quand un problème compliqué a été trop simplifié ou mal posé dès le départ. En fait, la lecture des ouvrages les plus récents (bib. 1,2,3,4,5,6) montre que l'on espère trancher la question à l'aide de quelques chiffres et graphiques; or il s'agit d'un problème à la fois physique et humain, portant un nombre extraordinaire de variables, ce qui exclut toute solution simple. Etant donné l'importance croissante de cette question, nous allons tenter de faire le point, à la lumière de notre expérience acoustique au laboratoire.

II. -- POSITION DU PROBLEME. LA CHAINE DE COMMUNICATION DU BRUIT

On a dit que le bruit était " un son qu'on ne veut pas entendre " (bib.1); nous proposons une définition qui nous semble plus générale et plus précise : " le bruit est un signal acoustique quelconque qui provoque une gêne chez l'homme ". On n'insistera jamais assez sur le fait qu'il n'y a aucune différence physique fondamentale entre signaux aléatoires, musique, parole etc.... Le degré d'organisation interne des signaux ne joue aucun rôle : ils peuvent tous être considérés comme des bruits selon l'attitude mentale du récepteur vis à vis des vibrations aériennes considérées. Pour montrer toute la complexité de la question schématisons d'abord la chaîne de communication complète du bruit (fig.1).

A l'origine, une source quelconque rayonne un signal acoustique. Celui-ci passe ensuite par un canal de communication plus ou moins complexe qui le déforme par filtrage et résonance (mur, cloisons, etc...). Le signal ainsi déformé se mélange au bruit de fond avant d'entrer dans l'oreille. Celle-ci transforme les vibrations

mécaniques en vibrations électriques, qui, sous cette forme sont perçues et intégrées par le cerveau du récepteur. Poser le problème

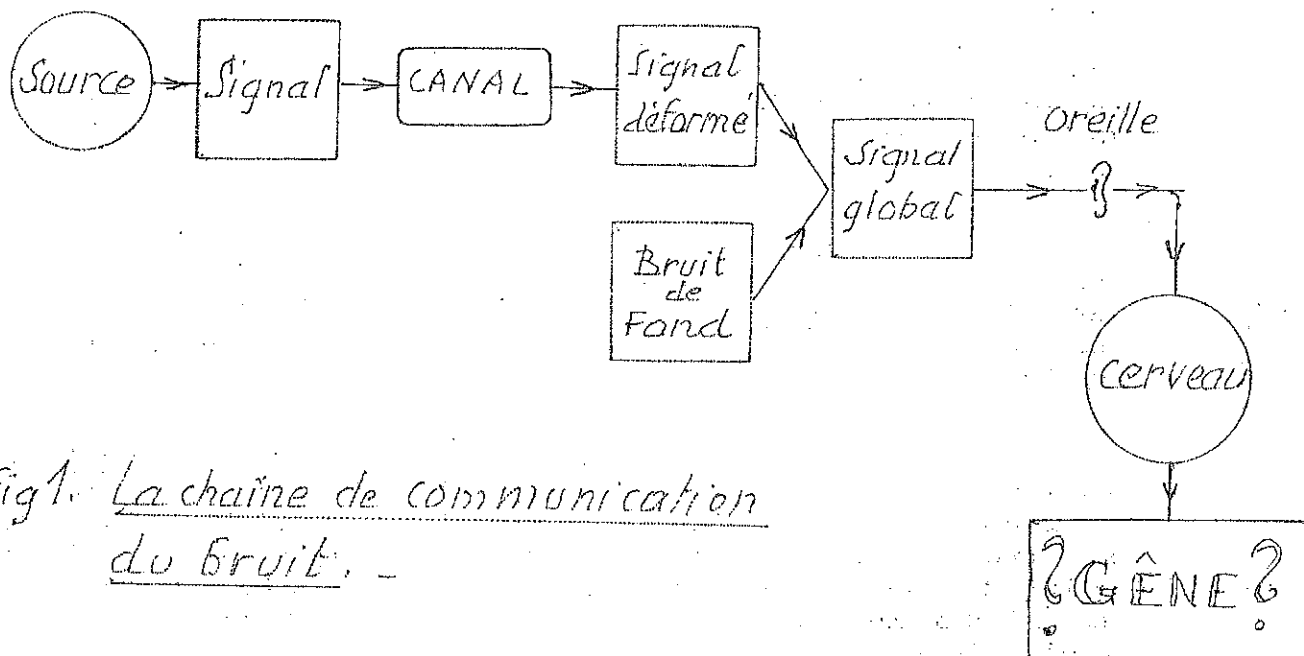


Fig1. La chaîne de communication du bruit.

Figure 1

du bruit, c'est poser celui du mécanisme de fonctionnement de l'ensemble de la chaîne. On ne résoudra jamais le problème du bruit par l'étude, si approfondie soit-elle d'un élément isolé de son contexte pour la simple raison que lorsqu'on introduit un élément dans un ensemble, ses propriétés changent. Il importe donc avant toute chose d'avoir une vue claire du fonctionnement de la chaîne, entre la source et l'intégration. Cette chaîne comporte deux parties tout à fait distinctes, l'une physique, l'autre psycho-physiologique qu'il convient d'analyser en détail.

III - LE PROBLEME PHYSIQUE

Pour agir sur le bruit il faut d'abord en connaître la nature et la structure physiques, c'est-à-dire savoir le décrire de façon suffisamment précise pour qu'il soit reconnaissable sans ambiguïté.

Nous avons insisté de nombreuses fois déjà sur les méthodes et appareillages qui permettent maintenant d'obtenir une analyse intégrale, une visualisation précise des signaux sonores permettant de suivre l'évolution des phénomènes acoustiques tout au long de la partie physique de la chaîne (bib. 7-8). Résumons rapidement.

...../

1°) L'ANALYSE DE LA STRUCTURE PHYSIQUE DES BRUITS.

Un son fixe et stable peut être défini par son intensité et son spectre. L'intensité est mesurée sans difficulté à l'aide d'un décibelmètre classique. L'analyse du spectre est une opération facile depuis l'apparition du magnétophone et des spectrographes à bande étroite; tous les laboratoires d'acoustique ont utilisé et utilisent encore couramment la technique de la boucle fermée et on peut obtenir toute la précision requise pour mesurer l'intensité relative des composantes d'un son.

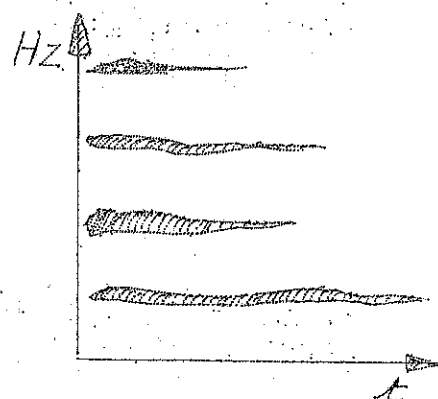
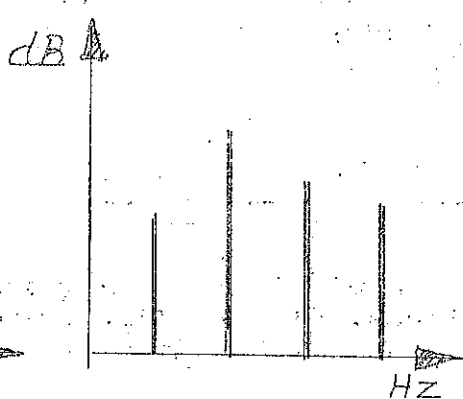
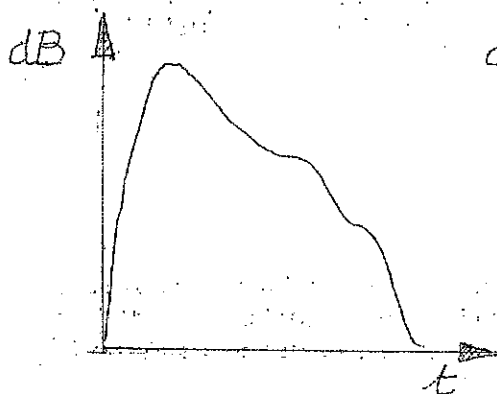
Mais ces techniques sont inadéquates pour les problèmes du bruit, parce que ceux-ci, dans la quasi totalité des cas sont des signaux évolutifs, et les méthodes précédentes ne tiennent pas compte du temps qui est, comme nous le verrons, d'importance capitale.

En fait, un bruit est toujours une forme temporelle, un véritable être vivant, qui naît, vit et meurt. Pour le décrire de façon exhaustive il est nécessaire et suffisant de connaître ses trois dimensions : le niveau, la fréquence et le temps. Du point de vue physique on sait tout d'un bruit lorsqu'on l'a considéré sur les trois plans que détermine la combinaison de ces trois dimensions :

2a) Plan dynamique

2b) Plan spectral

2c) Plan musical



- le plan dynamique

donne l'évolution du niveau en fonction du temps, entre la naissance et la disparition du phénomène. Ce plan est relevé à l'aide de l'enregistreur logarithmique de niveaux.

...../

- le plan spectral (fig. 2b), met en évidence les composantes du signal et définit leurs niveaux respectifs (spectre en dB/Hz). Pour des sons fixes le problème est simple et le spectre est relevé par des spectrographes dont il existe de nombreux modèles. Mais le bruit étant un son évolutif, le spectre change donc à chaque instant et pour connaître un bruit sur le plan spectral il faut pouvoir relever le spectre à chaque instant. Le sonographe est actuellement le seul appareil pratique pour faire des sections en un point quelconque d'un phénomène acoustique évolutif.

- le plan " musical " (fig. 2c) décrit l'évolution de la fréquence en fonction du temps, c'est-à-dire à la fois les modifications temporelles de hauteur de timbre et de rythme. Divers analyseurs temporels permettent de matérialiser ce plan (mélodigraphie, sonographe etc....)

Pour avoir une vue d'emblée du phénomène acoustique, telle que nous la donne notre oreille, il est nécessaire de considérer simultanément les trois plans. L'expérience montre qu'on peut assez facilement faire une synthèse mentale des documents visualisés d'un son fixe puisqu'il suffit de considérer un nombre (niveau en décibels) et de regarder le spectre (fixe par définition). Mais cette synthèse est totalement impossible pour un signal évolutif, où le niveau, le spectre et la hauteur varient à chaque instant.

On a réussi cependant à maîtriser cette difficulté en imaginant un appareillage qui fournit un document visuel unique comportant l'évolution simultanée de la fréquence et de l'intensité en fonction du temps. Cet appareil est le sonographe. Nous ne cessons de signaler l'intérêt du sonogramme depuis des années. On a reproché à cet appareil son manque de précision; l'expérience d'une dizaine d'années nous a montré qu'elle était suffisante pour ce qui nous intéresse ici. Rien n'empêche d'ailleurs, en cas de besoin, de recourir aux autres appareils de mesure que nous avons au laboratoire. Tel qu'il est, le sonographe donne d'un son une véritable photographie animée hautement significative puisqu'elle nous permet instantanément, moyennant un certain apprentissage, de reconnaître sans ambiguïté un signal acoustique quelconque, d'en saisir d'emblée la forme globale et l'évolution temporelle, de le classer parmi les autres par ses caractéristiques. C'est grâce au sonographe que nous pouvons établir une typologie des bruits.

2*) TYPLOGIE DES BRUITS.

Nous avons accumulé depuis des années au laboratoire les sonogrammes des signaux acoustiques les plus variés, entre les sons musicaux, les bruits de rue, de métro, de chemin de fer, d'aérodromes, les cris d'animaux et les chants d'oiseaux, les

bruits domestiques etc... Cette vaste documentation nous a montré qu'on pouvait classer les bruits en un nombre relativement restreint de cas-types auxquels on peut ramener pratiquement tous les bruits réels. Ce sont (fig.3) :

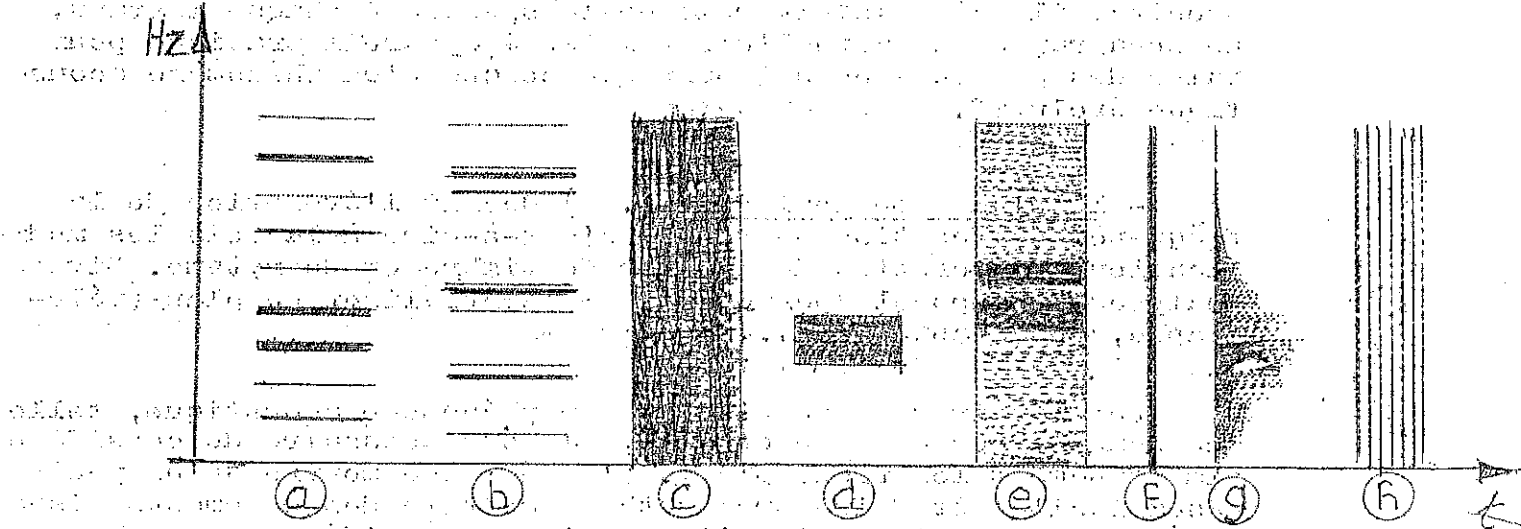


Figure 3

- a) Les bruits à spectre de raies harmoniques, facilement reconnaissables sur le sonagramme parce que l'échelle des fréquences est linéaire; les harmoniques sont alors représentés par des traits équidistants. Exemple : le son d'un violon.
- b) Les bruits à spectres de raies partielles. Ici, les traits sont à des distances quelconques les uns des autres; les partiels peuvent évoluer de façon autonome dans le temps. Exemple : un son de cloche.
- c) Les bruits blancs : ils sont représentés par une bande d'un gris uniforme couvrant toute la gamme des fréquences audibles. Un bruit véritablement blanc n'existe que dans la théorie.
- d) Les bruits de bandes. Ce sont des bandes d'un gris uniforme plus ou moins étroites qui ont une " hauteur moyenne " assez bien définie. Exemple : le bruit de l'air comprimé.
- e) Le bruit coloré. C'est un bruit de bande dont certaines régions sont plus foncées, plus denses. Exemple : un bruit blanc rayonné par un haut-parleur.

...../

f) Un bruit sec : hachure verticale étroite couvrant une bande plus ou moins large. Exemple : un coup de marteau sur un corps amorti (bois) dans une salle sourde.

g) Un bruit sec à bosse de résonance. C'est un bruit sec dans un local réverbérant qui prolonge telle ou telle région spectrale pendant un temps plus ou moins long; il peut y avoir plusieurs " bosses de résonance ".

h) Un bruit d'impact répétitif. Il donne un réseau de hachures verticales plus ou moins régulier.

On voit quelle multiplicité de formes le bruit peut revêtir d'autant plus qu'il peut comporter, comme la parole, une combinaison complexe et variable des cas élémentaires précédents.

Toutes ces formes vont maintenant cheminer dans les canaux de communication qui vont agir sur leur forme de façons variées.

3°) DEFORMATION DES BRUITS DANS LES CANAUX DE COMMUNICATION

On sait que tout canal introduit son propre bruit de fond et déforme plus ou moins les formes qui l'empruntent.

Le premier canal à considérer est la voie aérienne. En plein air, la distance filtre les spectres en commençant par les fréquences élevées; humidité, température, direction du vent, turbulence de l'air au voisinage de surfaces chauffantes, réfraction etc... jouent un rôle important et qui a été bien étudié, par KNUDSEN en particulier.

A l'intérieur d'un local le problème se complique d'une façon extraordinaire car entre le signal et le récepteur est interposé tout un ensemble d'éléments réagissant les uns sur les autres et provoquant des distorsions variées de la forme du bruit considéré. Ce sont :

a) l'ameublement : Tentures, rideaux, tapis, moquettes etc absorbent des régions spectrales variables. Les meubles d'autre part peuvent entrer en résonance sur des fréquences données; Les points de contact avec les planchers et les murs modifient les propriétés de ceux-ci.

b) les cloisons. Elles jouent un rôle compliqué :
- filtrage par réflexion ou par transparence, variable selon l'état des surfaces, les propriétés physiques des matériaux,

leur masse, etc...

- diffusion : un bruit directionnel est réfléchi dans tous les sens par une surface aléatoirement accidentée : ceci " dilue " le bruit dans l'espace.
- résonance; les parois se comportent obligatoirement comme des résonateurs, dont on peut déterminer expérimentalement les points de résonance; celles-ci peuvent entrer en jeu si le bruit comporte une quantité d'énergie suffisante à leur voisinage. Les propriétés résonantes d'une cloison sont fonction de la nature des matériaux, de leur amortissement, de leurs modules élastiques, des contraintes qu'elles subissent et des dimensions.

c) les tuyauteries en cuivre ou en fer surtout, sont des éléments importants de communication des bruits en raison de leur faible amortissement donc de leur haute conduction acoustique. Elles déforment les signaux par filtrage et par résonance, comme les cloisons. Leur mode et leur point de fixation, impliquent des réactions variées avec les cloisons.

En fait, plancher, plafond, cloisons et tuyaux forment un tout, un ensemble qui acoustiquement n'est pas égal à la somme de ses éléments parce que ceux-ci, obligatoirement couplés, réagissent les uns sur les autres d'une façon tellement compliquée et variable dans chaque cas particulier qu'il est tout à fait vain d'escompter ici une solution mathématique ou physique.

Finalement, le signal rayonné par la source parvient au voisinage du récepteur sous une forme qui peut être pratiquement méconnaissable. Prenons un exemple (fig.4);

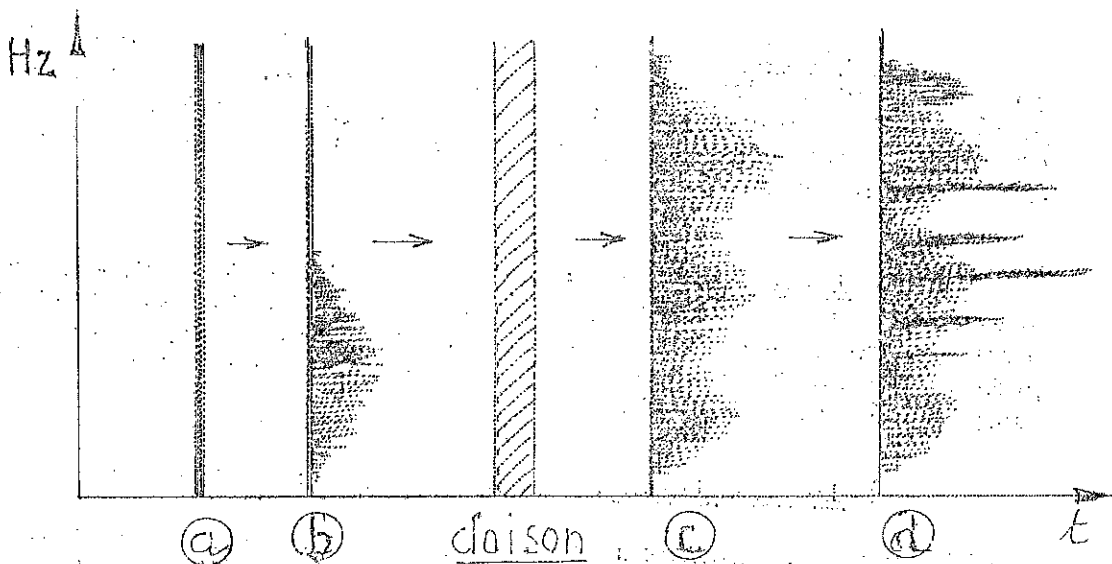


Figure 4

Un bruit sec est émis dans un local (a); celui-ci détermine une bosse de résonance (b); le signal traverse une cloison qui filtre une partie du signal et rajoute d'autres bosses de résonance (c). Une tuyauterie entre en résonance et produit un spectre de partiels qui se superpose au signal (d). Le tout est affecté d'une autre bosse de résonance provenant du deuxième local (e). Il n'y a pratiquement plus rien de commun entre les formes a et e. Finalement le signal (e) est encore modifié par addition du bruit de fond ambiant dans le voisinage du récepteur.

4.) LE BRUIT DE FOND .

Il représente une forme globale temporelle statistique résultant de la somme, en un point donné, de tous les bruits simultanés ou successifs rayonnés par l'environnement. Cette forme globale est bien entendu déformée plus ou moins selon les propriétés de l'ensemble acoustique constituant le local où se trouve éventuellement le récepteur.

Nous avons réalisé un grand nombre de sonagrammes de bruit de fond typiques : bruits de circulation à Paris, bruits de gare, d'aérodromes, bruits de fond en campagne, en forêt, etc... etc... On obtient des images qui sont très caractéristiques de l'ambiance sonore, du " climat " acoustique d'un lieu. Nous en avons donné quelques exemples dans une étude antérieure (bib.9). On retrouve facilement sur les sonagrammes les formes élémentaires caractéristiques qui composent le bruit de fond, parfois faibles, plus ou moins défigurées, mais toujours reconnaissables surtout si elles se répètent souvent (fig.5).

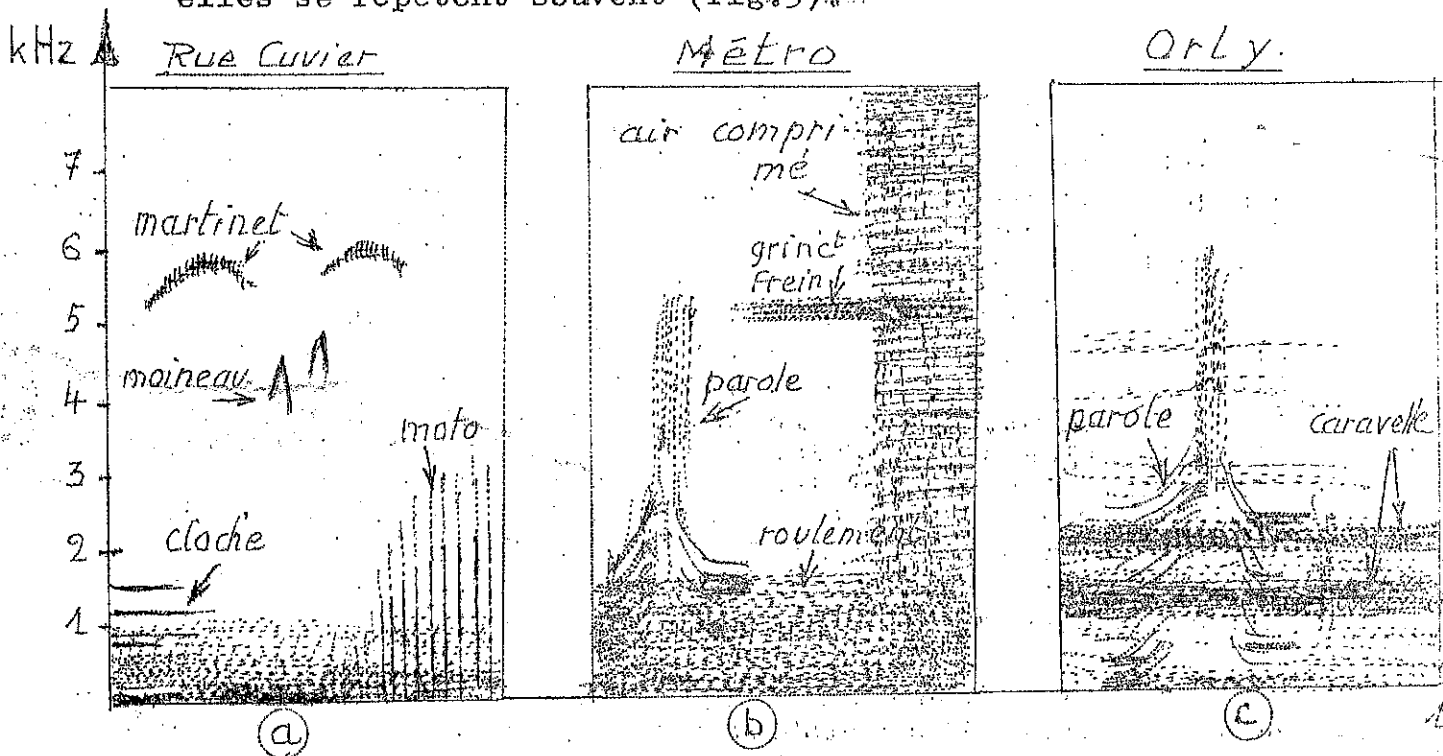


Figure 5

5°) LE SIGNAL GLOBAL.

Il résulte de la superposition du bruit considéré avec le bruit de fond. Nous avons étudié en détail la question de la destruction variable des formes acoustiques par les bruits de fond et leurs conditions d'émergence (bib.9) et montré que le rôle du bruit de fond est absolument déterminant, une forme définie pouvant selon le cas émerger intégralement sur tel bruit de fond et être entièrement masquée par tel autre. Si le cri du moineau (fig.5a) était situé entre 100 et 1000 Hz, il serait absorbé par le bruit de fond; si la parole se limitait aux fréquences comprises à l'intérieur des bandes des réacteurs, à Orly, elle serait totalement masquée etc... Il ne s'agit donc pas d'un rapport niveau du signal/niveau du bruit; mais de l'émergence d'une forme sur un fond.

En résumé la forme acoustique rayonnée par la source de bruit se retrouve au voisinage du récepteur, plus ou moins déformée détruite et mélangée à d'autres formes. Physiquement elle peut très bien ne se distinguer en rien des éléments du bruit de fond; ce n'est qu'une forme parmi d'autres; elle ne devient un bruit que dans la mesure où elle est perçue, extraite du signal global et considérée comme un élément gênant; nous abordons le difficile problème de la psycho-physiologie des bruits.

IV - LE PROBLEME PSYCHO-PHYSIOLOGIQUE

Dans tous les cas, la pierre de touche du bruit est la gêne. Le mot " gêne " implique la présence de l'homme : toute la complication du problème du bruit vient finalement de là. Les connaissances que nous avons du mécanisme de la perception et de l'intégration des signaux acoustiques restent extrêmement lacunaires et insuffisantes malgré les efforts déployés ces trente dernières années. Elles reposent sur des tests et expériences faits à l'aide de sons sinusoïdaux, de bandes de bruit etc... Or ceux-ci représentent des cas particuliers n'ayant que des rapports très lointains avec les bruits qui nous environnent normalement, mais à partir desquels on a souvent extrapolé trop hâtivement. Les appareillages utilisés générateurs, amplificateurs et haut-parleurs introduisent des distorsions variées qui faussent les résultats. D'autre part les propriétés de l'oreille à un son complexe et évolutif ne peuvent être déduites des propriétés de l'oreille aux composantes isolées. Les malentendus qui se perpétuent entre physiologistes, psycho-physiologistes et musiciens résultent manifestement de l'insuffisance des théories.

La méthode analytique utilisée par les chercheurs nous a apporté certes d'innombrables renseignements d'un très grand intérêt; mais nous sommes devant une masse énorme de détails, souvent contra-

dictoires, que nous n'arrivons pas à synthétiser et à mettre en corrélation avec l'expérience des praticiens, musiciens en particulier, qui reste la seule base éprouvée en acoustique. Ce qui nous manque le plus, c'est une vue d'ensemble du mécanisme de l'audition qui pourrait nous éclairer sur ce que l'observation courante nous apprend.

On a proposé à plusieurs reprises des théories générales de l'audition; comme ils n'apportaient pas de réponse à des questions qui nous semblent importantes, nous avons mis au point petit à petit, sur la base de notre expérience personnelle, un modèle fonctionnel qui nous satisfait mieux et dont nous avons déjà indiqué quelques éléments (bib.10).

Nous considérons le système auditif comme composé de deux parties distinctes : l'oreille et le cerveau (fig.6).

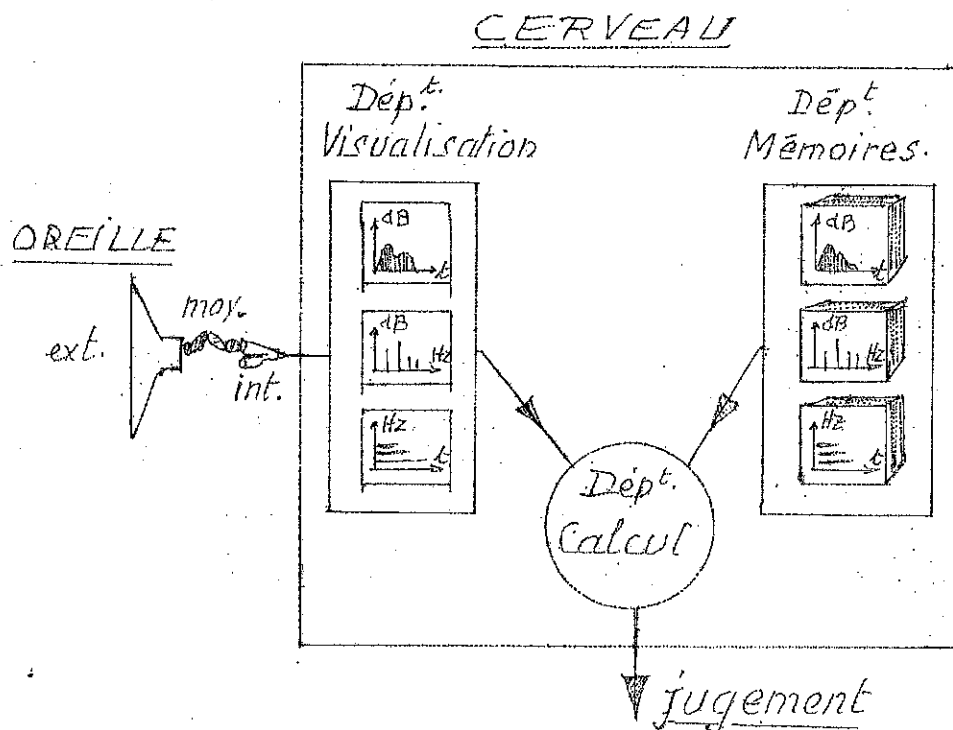


Figure 6

- 1°) L'OREILLE. Externe, moyenne et interne, elle forme un tout ayant une fonction très précise : transformer les vibrations mécaniques en vibrations électriques. L'oreille est un microphone et nous avons de fortes raisons de croire qu'il ne se produit aucune analyse d'aucune sorte ni dans l'oreille ni dans les voies de conduction vers le cerveau, contrairement à ce que l'on soutient habituellement. Mais un point nous semble essentiel sur lequel il est nécessaire d'insister. Nous pensons que les osselets et la musculature ossiculaires réalisent un adaptateur quasi instantané

.... /

d'impédance mécanique agissant par voie réflexe (et probablement volontaire dans une certaine mesure) et dont l'importance est extraordinaire dans le problème du bruit. Lorsque nous sommes averti par la vue (ou autrement) qu'un signal très intense va se produire, la musculature ossiculaire réagit de manière à diminuer considérablement l'amplitude du signal entre le tympan et la fenêtre ovale. Sur la foi d'expériences rapides, qui seraient à développer, nous pensons que l'oreille moyenne est capable ainsi " d'absorber " au moins 30 décibels; elle joue pour l'ouïe exactement le même rôle que l'iris pour la vue. Le résultat est immédiat : un bruit de 110 dB dont nous ne sommes pas prévenu sature tout le système auditif; quand nous " attendons " ce bruit, la musculature ossiculaire agit et l'oreille interne ne reçoit effectivement que 70 ou 80 dB : on reste en dessous du seuil de saturation. Cette constatation doit nous inciter à la prudence quant à la valeur des courbes d'isotonie, réalisées dans des conditions très particulières et montre qu'il est tout à fait illusoire de rechercher de la précision dans les niveaux si on ne tient pas compte de la prévisibilité des signaux. D'autres facteurs jouent encore dans la sensation de niveau; la fatigue par exemple quand l'oreille est soumise à des sons de longue durée. Les compositeurs de musique le savent bien. Ils savent encore que la sensation d'intensité, à niveau égal, est très fortement fonction du contexte musical du signal considéré; le même " piano " placé entre deux " pianissimi " ou entre deux " fortissimi " présente des différences subjectives d'intensité certainement supérieures à 30 dB. Accessoirement on comprend pourquoi un signal intense a des effets très variables selon le transitoire d'attaque qu'il comporte pour un même signal intense : si la pente de l'attaque est assez faible, l'oreille a le temps de s'accommoder graduellement, sinon elle est saturée. Si on veut bien se rappeler que d'un individu à l'autre le " microphone " peut avoir une bande passante et un amortissement très variables, on admettra qu'il est bien inutile de raffiner sur le décibel.... Finalement l'oreille est un microphone très remarquable puisqu'elle adapte automatiquement et continuellement son impédance à la situation acoustique où elle est placée. De toutes façons, le signal électrique qu'elle fournit va maintenant être traité par le complexe électronique du cerveau.

2°) LE CERVEAU. Nous le considérons comme un laboratoire électro-chimique des plus perfectionnés, notion qui s'impose de plus en plus nettement.

Ce laboratoire comporte pour chaque sens, et dans l'acceptation la plus rigoureuse du terme, un département de visualisation, un département de mémoires et un département de calcul.

a) Département de visualisation. La forme électrique envoyée par l'oreille est analysée sur trois " écrans " distincts, correspondant aux trois plans décrits plus haut à propos du signal physique. L'existence des appareils biologiques nécessaires ne

...../

dépasse pas l'imagination puisque l'électronique actuelle nous fournit ces appareillages, miniaturisation à part. Divers chercheurs ont d'ailleurs réussi à mettre en évidence l'existence objective de tel ou tel plan (projection en dB/Hz par Tunturi etc. Les trois "images" électroniques obtenues sont automatiquement quantifiées du fait du nombre fini des cellules constituant les plans, donc susceptible d'être traitée par une machine à calculer.

Le moment est venu maintenant de préciser l'importance relative de ces trois plans du point de vue perceptif, eu égard à ce que la pratique de la musique nous apprend. Ceci revient à définir la gamme de sensibilité et le pouvoir séparateur de chaque écran de projection.

Les théoriciens, Stevens en particulier, se basant le nombre de cellules du cerveau ont calculé que l'aire auditive pouvait être divisée en 340 000 unités, correspondant à des sons élémentaires que nous serions susceptible de discriminer. Nous pensons qu'on a beaucoup trop raffiné; on a surtout oublié le paramètre temps. Si nous admettons l'expérience des musiciens comme valable que nous apprend-elle sur le pouvoir séparateur de l'oreille ?

- en intensité les musiciens distinguent 7 échelons d'intensité le ppp et le fff. Si on considère les variations individuelles et la marge due à l'adaptation ossiculaire cette subdivision est certainement raisonnable. Pour des signaux acoustiques normaux nous ne pouvons guère discriminer d'une dizaine d'échelons nettement différenciables.

- en fréquence : dans les meilleures conditions (exception faite pour les sons simultanés où les battements permettent de faire une différence) les musiciens sont capables de distinguer le savart, soit $1/300^{\circ}$ d'octave.

Avec 7 octaves, cela donnerait $7 \times 300 = 2100$ sons de hauteur nettement différenciables. On sait bien que ce pouvoir séparateur diminue fortement vers le grave et le suraigu. Admettons qu'au mieux il existe 2000 échelons de hauteur discernables.

- en temps : On admet couramment une constante de temps de l'ordre de 50 millisecondes pour l'oreille humaine; mais divers chercheurs ont montré que cette valeur est beaucoup plus faible (Pimonov), et probablement inférieure à 1 milliseconde. Cette limite signifie que l'on peut percevoir mille échelons de durée par seconde.

Le nombre de "quanta acoustiques" que chacun des trois plans est susceptible d'enregistrer à chaque instant détermine à la fois la gamme de sensibilité et le pouvoir séparateur du ré-

..../

cepteurs (fig.7). Si nous admettons les chiffres précédents, nous trouvons :

- le plan dynamique en dB/temps : $10 \times 1000 = 10\ 000$ quantas acoustiques. (qa)
- le plan spectral en dB/Hz : $10 \times 2000 = 20\ 000$ quantas
- le plan musical : en Hz/temps = $2000 \times 1000 = 2\ 000\ 000$ quantas.

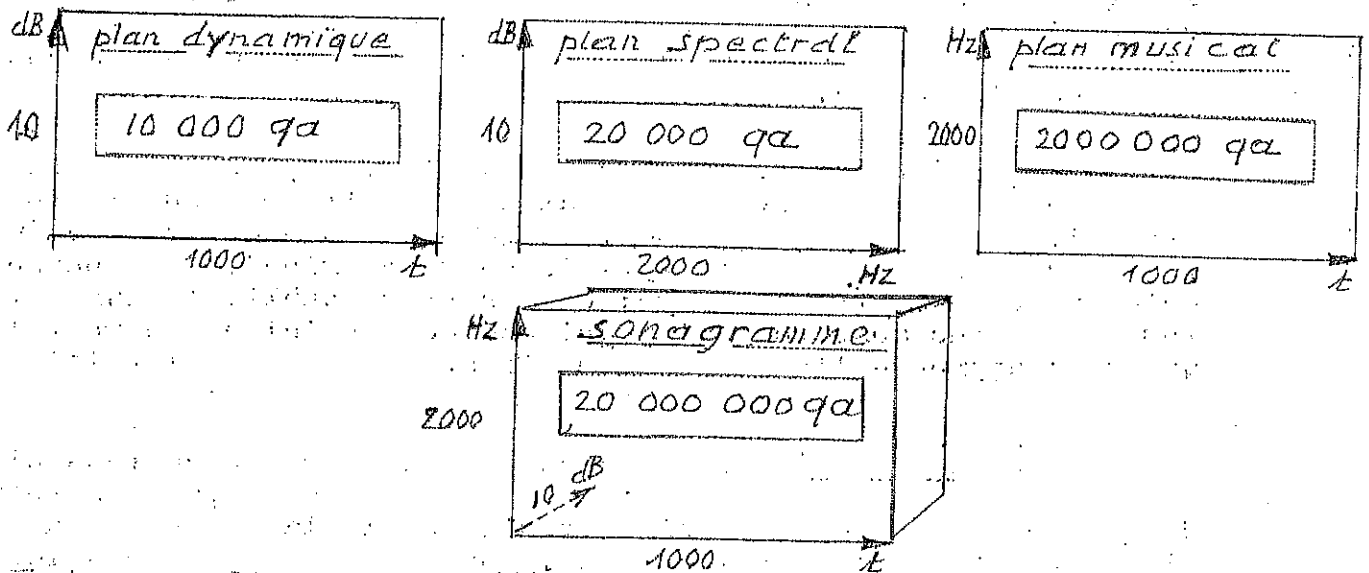


Figure 7

On voit immédiatement à quel point le plan musical est susceptible de véhiculer plus d'information que les autres; on comprend également pourquoi le sonogramme est à fortiori plus intéressant encore puisqu'il concentre sur une seule image les trois plans, soit $10 \times 2000 \times 1000 = 20\ 000\ 000$ quantas acoustiques. Nous verrons plus loin l'intérêt de ces chiffres, mais il convient de préciser dès maintenant qu'ils varient extraordinairement d'un individu à l'autre. On peut être plus ou moins sourd sur tel ou tel plan; il est donc évident qu'à "microphone" égal, tel ou tel individu sera beaucoup plus sensible que tel autre à un bruit donné, selon la forme de celui-ci.

b) le département " mémoires ". Lors de l'apprentissage acoustique, dès notre naissance, nous stockons des formes acoustiques dans notre mémoire sous une forme très objective selon les données récentes. Imaginons ce stock sous l'aspect d'une collection de sonogrammes. Ces documents peuvent être fabriqués plus ou moins facilement selon les individus, être plus ou moins stables dans le temps etc... Pour un même individu, la qualité des docu-

...../

ments varie encore avec l'âge. Une chose qui est sûre : l'homme se définit d'abord par le contenu de sa mémoire mémorisante. Mais comment va-t-il utiliser ce contenu? Ici intervient le département " calcul ".

c) le département calcul : il est tout à fait raisonnable d'admettre que nous possédons dans notre cerveau un ordinateur, dans le sens très précis qu'on donne à ce terme actuellement c'est-à-dire d'une machine à calculer capable de traiter de l'information électrique quantifiée. Cette machine permet de réaliser les principales opérations intellectuelles propres à l'homme. Celui-ci pourra tour à tour utiliser les éléments contenus dans la mémoire pour les comparer entre eux (réflexion), les associer selon des règles également contenues dans une mémoire (composition), associer une image donnée à une signification définie (conditionnement) etc... etc... L'ordinateur permet également de confronter un phénomène qui apparaîtrait actuellement sur les organes de projection avec un autre plus ou moins identique contenu dans la mémoire (comparaison) et provoquer ainsi un jugement de valeur.

Tout ceci est très schématisé, mais nous permet néanmoins de comprendre que les réactions d'un individu à un signal donné sont liées à un très grand nombre de variables : caractéristiques du " microphone ", pouvoir séparateur et gamme de sensibilité des " écrans de projection ", contenu de la mémoire, capacité et performances de " l'ordinateur ". Dès lors il est possible de tenter une définition plus précise de ce que l'on appelle " gêne ".

3°) LA GÊNE

L'expérience montre que devant un signal acoustique donné trois réactions sont possibles ; il nous gêne, il nous est indifférent, il nous intéresse. Un signal qui nous intéresse n'est jamais gênant; seuls les deux premiers cas concernent le problème du bruit

a) le signal nous gêne. Il faut considérer deux cas tout à fait différents : celui des bruits intenses et celui des bruits faibles.

- les bruits intenses, compte tenu de l'adaptation ossiculaire - donc de la prévisibilité - gênent toujours parce qu'ils saturent l'oreille. Les écrans de projection sont entièrement éblouis; nous ne pouvons plus rien y distinguer. Si nous sommes occupés à un travail où l'audition est indispensable, il se produit un "blanc"; nous sommes obligés de faire répéter un ordre, recommencer une opération, faire un effort supplémentaire, en bref, ^{nous sommes} gênés dans notre travail. En cas de signal imprévu, nous avons de plus une réaction musculaire (réflexe de sursaut; De toutes façons un signal intense nous gêne toujours.

.../

- les bruits faibles. Tout dépend alors de l'occupation à laquelle nous nous livrons. Supposons que nous soyons en train de résoudre un problème qui accapare entièrement notre "ordinateur" un signal apparaît sur nos "écrans de projection". L'ordinateur est alors obligé de distraire une partie de son activité pour reconnaître ce signal, en saisir la signification éventuelle envoyer des ordres d'action etc... Ceci suppose soit l'arrêt de l'opération en cours, soit un calcul simultané de deux problèmes; dans tous les cas la solution du problème principal est retardée et une dépense supplémentaire d'énergie est nécessaire. La fatigue est donc le corollaire de la gêne. Le degré de gêne est fonction de l'importance de l'urgence relative des deux problèmes à trancher. Il convient donc de distinguer plusieurs types d'occupation, selon le degré de mobilisation de l'ordinateur qu'ils nécessitent. Pour un même signal acoustique, la gêne sera insupportable pour celui qui doit fournir un effort intellectuel intense; elle peut être nulle si le travail en cours ne concerne que des "routines" laissant l'ordinateur entièrement disponible (travail manuel routinier, par exemple). Entre ces deux cas extrêmes se situent tous les cas réels. On notera en passant que le niveau du signal gênant ne joue pratiquement aucun rôle (s'il n'y a pas saturation, bien entendu); la gêne apparaît dès que le signal est perçu; mais la perception peut nécessiter un effort d'autant plus grand de l'ordinateur qu'elle est plus originale, qu'elle émerge moins bien sur le bruit de fond, qu'elle signifie quelque chose de vital pour l'individu. On voit à quel point la notion de gêne est compliquée et impossible à chiffrer puisqu'elle dépend toutes choses égales, de l'occupation du récepteur.

b) le signal nous est indifférent. On peut se demander par quel mécanisme nous sommes capables d'"oublier" un bruit qui apparaît cependant sur nos écrans de projection, même si notre ordinateur est intégralement accaparé. C'est poser le problème de l'habituation et du sommeil. Nous proposons l'explication suivante: Lorsque nous sommes plongés dans un bruit de fond donné nous commençons par percevoir et analyser les formes acoustiques qu'il contient: nous "l'apprenons" et nous savons que ces formes ne sont d'aucune importance pour nous; après un certain temps, nous stockons les éléments du bruit de fond dans un sous-programme, une petite mémoire à part, branchée entre écrans de projection et ordinateur. Ce sous-programme constitue une véritable "couche d'arrêt" pour les signaux élémentaires du bruit de fond; l'ordinateur ne peut être sollicité que s'il apparaît dans le bruit de fond une forme nouvelle, inconnue. Le bruit de fond est donc positivement "effacé" dans la mesure où il est incapable de mettre en action l'ordinateur.

Toutes ces observations permettent de tirer de nombreuses conclusions sur la gêne. Par exemple on conçoit pourquoi un signal intense, saturant la couche d'arrêt - qui devient alors inefficace - est toujours gênant et fatigant. On comprend également de cette manière que pour inhiber un bruit de fond il faille un temps d'autant plus long que celui-ci est plus complexe. D'autre part, un bruit de fond compliqué accapare et immobilise une partie de la mémoire

...../

qui ne peut alors être utilisée pour d'autres opérations; ceci met en relief le rôle nocif d'un bruit de fond trop " riche " pour les travaux intellectuels.

Le problème du sommeil et du réveil relève d'un mécanisme identique; en sous-programme sont alors les réflexes vitaux (vie végétative) et le bruit de fond. La remise en activité de l'ordinateur (réveil) peut alors être provoquée soit par un signal trop intense (saturation), soit par un signal original n'existant pas dans le sous-programme, ou, au contraire un signal connu à haute signification, même très faible, commandant directement la mise en marche de l'ordinateur (signal de danger par exemple).

L'absence totale de bruit de fond lorsqu'on est habitué à un bruit de fond donné, est en soi une " forme " originale aussi insolite que la présence de signaux inconnus et peut provoquer une gêne momentanée.

Il convient de donner ici quelques précisions sur certains bruits énervants très faibles, dont la prévisibilité rythmique est quasi-totale mais qui sont cependant extrêmement gênants. Le cas-type est celui de la goutte d'eau. La gêne provient ici de plusieurs causes différentes :

- la prévisibilité ne concerne que le rythme (le temps), car les analyses montrent que le signal change de forme à chaque goutte (la goutte d'eau " chante " , pour des raisons mécaniques variées); le phénomène n'est donc jamais identique à lui-même et le signal possède donc un taux d'originalité très grand.

- l'attente d'un événement quasi périodique mais de forme changeante stimule l'attention, nous tient en éveil par un mécanisme réflexe de sursensibilisation des organes de projection du cerveau.

- il s'agit de petits impacts qui sont indétectables en raison de leur très faible durée (inertie de l'aiguille du décibelmètre); il peut cependant y avoir une forte concentration d'énergie, mais dans un temps très court. Le signal " passe " donc facilement.

De tout ce qui précède, on peut tirer maintenant de nombreuses conclusions pour lutter contre le bruit.

...../

V - LA LUTTE CONTRE LE BRUIT

Pour lutter contre le bruit, les électro-acousticiens et les théoriciens ont fourni aux fabricants de machines et de matériaux de construction, aux architectes et aux urbanistes des appareils et des méthodes qui sont manifestement sommaires eu égard à la complexité du problème en cause. Mais on pourrait reprendre à ce sujet la boutade de VALÉRY : " Ce qui est simple est toujours faux. Ce qui ne l'est pas est inutilisable. " (Mauvaises pensées et autres).

Le problème de la lutte contre le bruit serait-il donc insoluble? Nous ne le pensons pas. En fait les méthodes utilisées ne sont pas " simples ", mais simplistes; on ne résoud pas une équation à cent variables avec un chiffre, un tableau ou un graphique. Ce qu'il faut, c'est repenser entièrement la question; celle-ci comporte manifestement deux problèmes tout à fait différents : celui des bruits intenses et celui des bruits faibles.

1°) Lutte contre les bruits intenses. On a vu plus haut qu'ils sont toujours gênants dès qu'ils saturent le récepteur. Il serait possible ici de fixer des " limites acceptables " et des normes à conditions de ne pas les définir à l'aide de chiffres, mais de marges tenant compte des différences entre individus et en introduisant des corrections en fonction de la prévisibilité. En somme il s'agit de définir des seuils de saturation statistiques. Mais nous insistons bien sur l'inutilité de tergiverser sur deux ou trois décibels : l'unité humaine d'intensité est le BEL.

La lutte contre les bruits intenses est parfaitement possible : le décibel-mètre classique suffit et la méthode est simple. On pourrait facilement imaginer une législation dont voici quelques éléments.

Les sources de bruits très intenses sont les camions, les motocyclettes, les marteaux piqueurs, les avions. Tout dépend évidemment de la distance à laquelle on est placé... mais s'il s'agit de bruit dans les villes la question est simple. On a toujours intérêt de gagner des décibels pour tenter de passer en dessous du seuil de saturation. On dispose actuellement d'innombrables mesures et tableaux statistiques du bruit de rues et aussi de normes définies par les organismes variés. En admettant ces normes, il suffit de relever au décibel-mètre à une distance standardisée, les niveaux des moteurs de camions, des automobiles, des motocyclettes etc...

Les constructeurs savent parfaitement insonoriser leurs camions, ou les motos; il suffit d'y poser des matériaux absorbants des silencieux efficaces; d'utiliser des moteurs plus puissants et moins rapides etc...; Mais le prix de vente en sera augmenté et

.... /

ni le constructeur ni le client ne sont disposés à payer les frais de l'opération. Il ne faut donc se faire aucune illusion sur d'éventuels appels à la raison dès qu'un problème touche l'économie nationale ou privée.... Il faut donc introduire une législation doublée de mesures coercitives. Des efforts ont été faits dans ce sens en divers pays et semblent avoir porté graduellement des fruits. En bref, les méthodes et les normes actuelles moyennant quelques corrections sont valables dans le cas des bruits intenses ; une réglementation est possible et souhaitable. Il suffirait que les pouvoirs publics estiment le problème urgent. Ce dernier point serait sans doute résolu si, comme le constatait amèrement un confédéré à Baden Baden, les responsables n'habitaient pas généralement dans des conditions de confort acoustique dépassant de loin la moyenne des habitants d'une ville....

Mais une législation sur les bruits intenses ne trancherait pas le problème du bruit, puisque " l'expérience d'un avocat spécialisé en la matière et qui donne la synthèse provisoire d'innombrables consultations.... " nous apprend que " dans tous les cas pratiquement, le bruit dont souffre une victime de bonne foi est un bruit faible ou presque imperceptible " (bib. II)

2°) La lutte contre les bruits faibles: Les bruits faibles agissent non par leur " grosseur " mais par leur forme. Un grain de sable peut être insupportable dans une chaussure, malgré ses dimensions infimes; ce qui blesse, ce sont les arêtes, les pointes; une feuille de papier de même volume passera inaperçue ! Toute méthode de bruit qui ne tiendrait pas compte de la forme tridimensionnelle des signaux sera donc irrelevante pour les petits bruits - pour le problème du bruit qui est celui des bruits faibles. Or, on peut formuler à cet égard de nombreuses critiques sur les méthodes classiques en " bruit ".

a) Critique des méthodes d'analyse du bruit faible (fig.8)

Le bruit faible est un malfaiteur doté d'une arme qui blesse plus ou moins grièvement; pour lutter contre lui il faut posséder son signalement complet. Non seulement une fiche signalétique avec des dimensions mesurables (âge, taille, etc...) mais sa photographie, son mode de vie, son comportement. Or que fait-on pour identifier le bruit faible ?

On se contente souvent d'une mesure du niveau global en décibels physiques, en recherchant la plus grande précision possible. Dans ces conditions, autrement dit, on relève uniquement l'une des dimensions, le niveau; mais c'est justement la moins importante dans les bruits non saturants ! Utiliser plutôt des dB A que des phons, des soènes ou autres unités n'apporte rien de plus car un changement d'échelle ne peut résoudre un problème

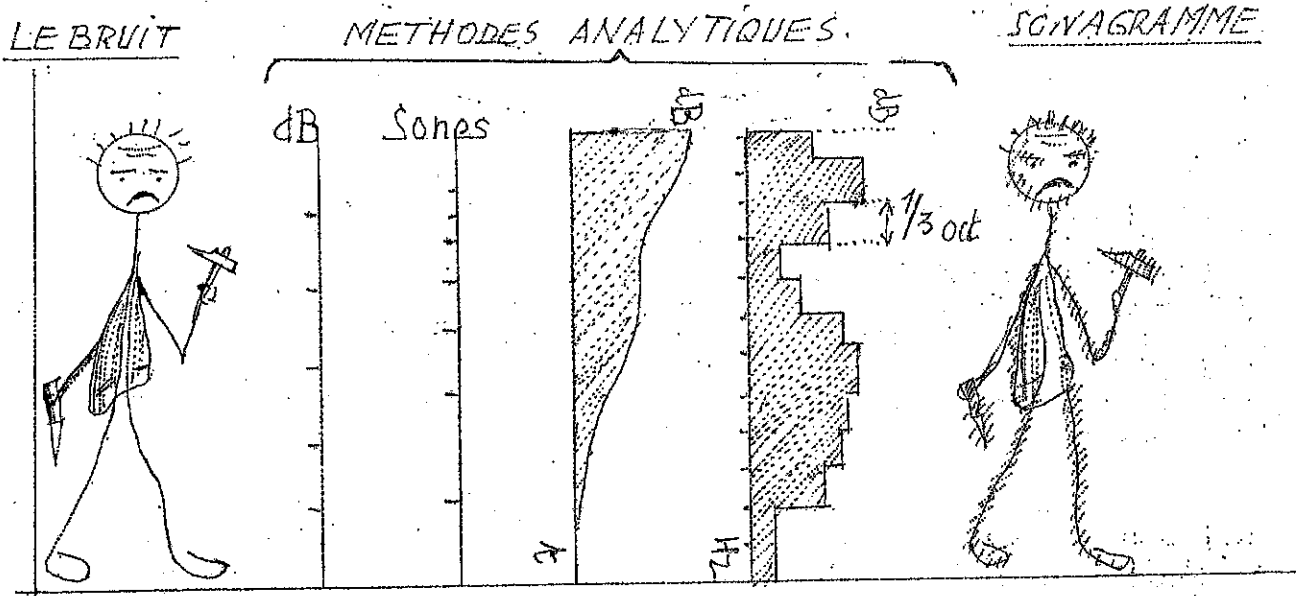


Figure 8

L'enregistrement logarithmique est déjà plus intéressant et peut apporter des renseignements valables pour apprécier la répartition temporelle des pointes de saturation. Avec des filtres de tiers d'octave, on peut obtenir des renseignements complémentaires intéressants. Mais toutes ces méthodes sont insuffisantes; on peut montrer qu'elles donnent des résultats identiques pour des phénomènes tout à fait différents.

Soit un bruit blanc de 60 dB et d'une durée d'une seconde (fig.9a) :

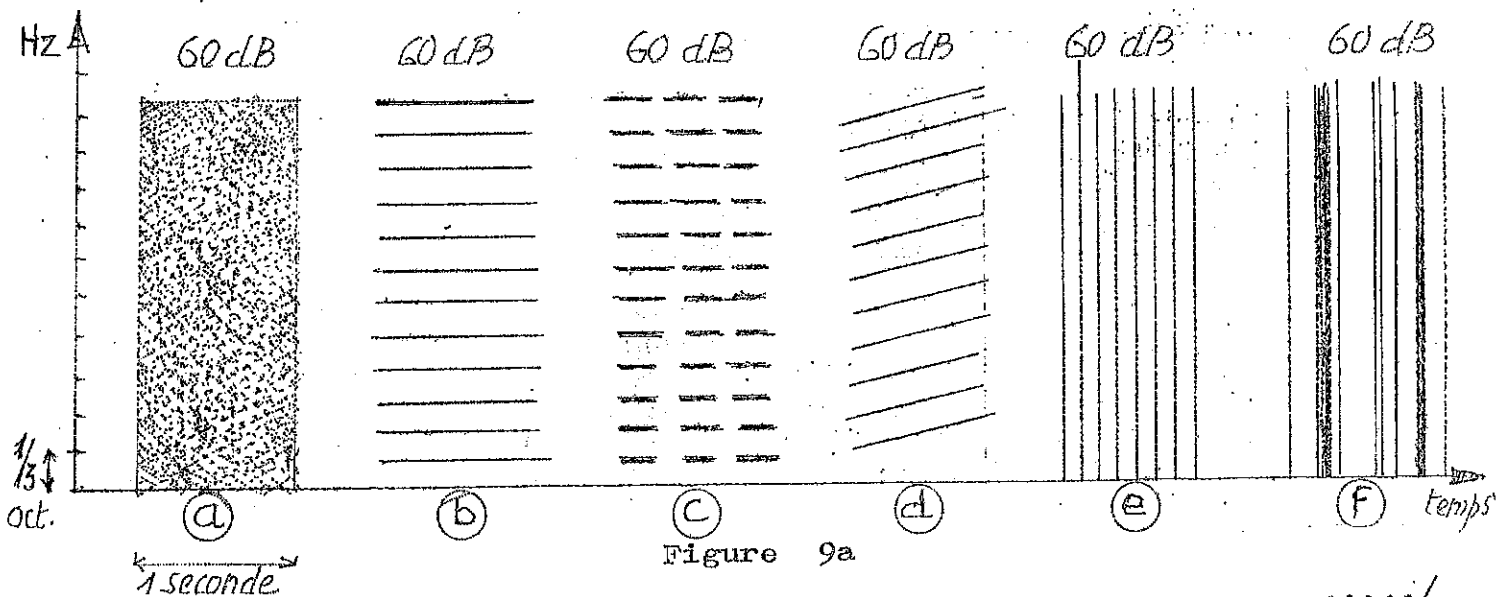


Figure 9a

...../

c'est une bande grise uniforme composée de " grains de son ", de " quantas acoustiques " dont chacun représente une certaine quantité d'énergie (que nous supposerons constante). Ce bruit est dilué au mieux sur le plan fréquence - temps : la quantité locale d'énergie est la plus faible possible.

De plus le signal ne varie pas dans le temps. Nous l'inhibons donc rapidement. Considérons d'autres signaux de même durée et de même niveau global et comportant la même quantité d'énergie dans les bandes de tiers d'octave respectives. Soit un spectre de raies (fig. 9b). Ici les quantas acoustiques sont concentrés sur des lignes fines où le niveau local peut être très élevé. Rien d'étonnant à ce que ce signal soit perçu pour un niveau global beaucoup plus faible que le précédent... on comprend aussi pourquoi de tels " bruits " passent mieux à travers les cloisons (bib.11).

Provoquons maintenant de très brèves interruptions sur chaque composante (fig.9c). Ce bruit sera plus efficace, car l'énergie locale sur les raies y est encore plus grande et on peut imaginer un degré d'imprévisibilité variable selon la régularité des interruptions.

Considérons maintenant des raies ascendantes (fig. 9d). Ce signal est encore plus original que le précédent puisqu'il change dans le temps; à niveau global identique il sera beaucoup plus gênant que les précédents.

Prenons encore le cas d'un signal composé de bruits secs successifs (toujours à niveau égal); la concentration temporelle d'énergie est accrue ici (fig.9 e) et la gêne croît; elle pourrait encore augmenter si l'on plaçait les hachures verticales de façon irrégulière, donc imprévisible (fig. 9 f).

Or tous ces bruits sont absolument indifférenciables par les méthodes classiques alors que la gêne et la nuisance qu'ils déterminent varient à l'extrême.

A l'inverse des méthodes classiques, le sonagramme permet une identification et une différenciation faciles.

b) Critique des sources de bruit normalisées - la machine à frapper.

On a imaginé cette machine afin d'obtenir une source stable reproductible et normalisée pour mesurer l'amortissement des bruits d'impact sur les planchers. Mais il ne faut se faire guère d'illusions sur les résultats pratiques que l'on peut en attendre. Si l'on escompte une simulation des " talonnages " des voisins, la méthode est defectueuse, car c'est l'imprévisibilité du phénomène naturel qui cause la gêne, ainsi que le déplacement de la source d'impact, qui modifie, pour chaque pas, la

forme des signaux. D'autre part les effets d'un martelage mécanique varient selon l'état des surfaces, indépendamment des propriétés des matériaux étudiés. Enfin il peut se produire de la poussière qui modifie les caractéristiques des impacts en les amortissant ; la reproductibilité n'est donc que théorique. Ceci a conduit certains chercheurs américains à reprendre comme source des.... talons naturels munis de leurs jambes..... Cependant la machine à frapper pourrait être d'une grande utilité pour relever la " courbe de résonances " de planchers et de cloisons dont l'importance est considérable.

c) La mesure des coefficients d'absorption.

La méthode est classique depuis plus de trente ans. On intercale entre deux chambres sourdes un panneau de matériau à étudier; on place d'un côté une source de bruit de bande, de l'autre un décibel-mètre. La différence de niveau entre source et son réfracté donne le coefficient d'absorption.

Des corrections sont prévues pour les cas particuliers. Il est évident que les chiffres obtenus n'ont pas grande signification puisque les résonances de l'éprouvette interviennent et que celles-ci dépendent des dimensions ! D'autre part, une cloison réelle est toujours couplée à d'autres cloisons et éléments. Enfin on attaque l'éprouvette sur toute sa surface par un champ homogène. Toutes ces conditions n'existent jamais dans la réalité. Il est donc bien illusoire de vouloir normaliser des cloisons et des planchers à partir de tels résultats fragmentaires; le coefficient d'absorption ainsi obtenu n'est que l'une des nombreuses variables en cause. Encore convient-il de rappeler que celles-ci réagissent l'une sur l'autre.

d) La mesure du coefficient d'intelligibilité de la parole.

On définit des critères de gêne en relevant le pourcentage d'intelligibilité de logatomes dans un bruit donné. Cette méthode apporte des renseignements intéressants dans les cas particuliers où il est nécessaire de comprendre la parole. Mais elle ne tient pas compte du fait que la prévisibilité joue un rôle énorme en langage parlé; l'expérience montre que nous sommes capables de comprendre une phrase à partir de " restes " acoustiques infimes pour peu que nous sachions de quoi on parle, que nous connaissions bien la langue, et la terminologie employées etc.... Le " Noise Critérium " n'est donc pas une méthode adéquate pour " mesurer " la gêne en général.

En bref, la correction acoustique et de l'isolation ne peuvent être résolues sur de telles bases, sauf dans des cas très particuliers. Les normes que l'on voudrait déduire de ces méthodes ne peuvent donc être appliquées aux bruits dont on se plaint généralement. Est-il possible de proposer quelque chose de plus valable ? C'est ce que nous voudrions examiner maintenant

.... /

VI - METHODE D'APPRECIATION DES QUALITES D'UN LOCAL D'HABITATION

Tout ce qui précède nous a incité à rechercher une méthode objective pour apprécier le " climat sonore " d'un local d'habitation dont les conclusions puissent être mises en corrélation avec les plaintes des usagers. Une telle méthode implique nécessairement l'étude sur le terrain, dans les conditions normales d'habitation.

Nous avons vu, que les bruits usuels pouvaient être ramenés à certains cas types; d'où l'idée d'utiliser des bruits-tests se rapprochant au mieux des cas-types, tout en restant suffisamment reproductibles et maniabiles. La précision est d'importance secondaire; mais l'expérience a montré que l'on arrive, avec un peu d'entraînement à obtenir une précision et une reproductibilité largement suffisantes.

1°) SOURCES TESTS.

Nous utilisons les " instruments " suivants :

- un instrument de musique, tube conique avec embouchure de saxophone, permettant de fabriquer trois notes à spectre très riche (180, 360 et 500 Hz pour les fondamentaux).
- une claquette en bois de chêne (330, 66; 15 mm) permettant de réaliser des bruits secs aériens ou des impacts sur les cloisons et planchers.
- une crécelle de grande intensité, permettant de réaliser des bruits secs aériens de fréquence continûment variable. On peut ainsi apprécier le point de fusion entre coups successifs, qui est lié à la modification des pentes des transitoires.
- un " sifflet " à large bande de bruit, entre 3000 et 7000 Hz (appeau), qui simule les bruits de souffle, d'air comprimé etc...
- la voix : nous prononçons une même phrase-type (laboratoire d'acoustique) successivement à voix normale, puis forte (70, puis 100 dB à un mètre du décibelmètre).

2°) METHODE ET RESULTATS.

Indépendamment des sources de bruit, le matériel comporte un magnétophone autonome de haute qualité et un décibelmètre classique.

On commence par enregistrer les sources de bruit dans la première pièce à étudier; ces sources sont réglées en intensité en observant le décibelmètre placé à 1 mètre. La confrontation de ces

signaux avec les mêmes enregistrés en salle assourdis. permet d'étudier la correction acoustique du local en fonction de l'ameublement, des tentures, tapis etc... C'est une méthode simple expéditive et efficace, valable dans les problèmes d'insonorisation d'un local normal, et fournissant des renseignements très significatifs (mesures classiques et sonagrammes comparatifs).

Pour étudier la qualité d'isolation entre deux pièces, on transporte le matériel de bruitage dans la pièce voisine et on enregistre dans la première ce qui reste des signaux après transparence d'une pièce à l'autre. On intervertit ensuite sources et magnétophone, car l'expérience nous a montré que la transparence n'est pas un phénomène réversible : il s'en faut.

Dans tous les cas on enregistre le bruit de fond, fenêtres ouvertes et fermées dans chacun des locaux, en annonçant le niveau en décibels à haute voix; ce qui permettra d'étalonner tous les enregistrements lors des analyses.

On note sur le terrain les impressions subjectives et les réponses des usagers relativement à la gêne qu'ils éprouvent, à leur travail normal et leurs heures de présence dans les locaux.

Tout le reste, analyses en particulier, se fait en laboratoire. On commence toujours par se remémorer subjectivement la situation en écoutant les enregistrements, en réglant le niveau d'écoute tel qu'il était dans la réalité. Ceci est facile puisque les niveaux sont annoncés périodiquement sur la bande.

La première opération consiste alors à tirer les sonagrammes de chaque échantillon sonore. Pour les bruits faibles c'est presque toujours suffisant puisqu'il s'agit non d'un problème d'intensité mais d'émergence d'une forme sur un fond. Dès que la forme apparaît à l'analyse elle peut être considérée comme bruit. Pour apprécier le degré de gêne, il faut alors confronter les résultats avec l'enquête sur les occupations de l'usager du local : travail intellectuel, occupations de routine plus ou moins bruyantes elles mêmes et dont il faudrait faire une étude systématique.

Lorsqu'il s'agit de bruits intenses, on relève le plan dynamique, qui fournira éventuellement les renseignements sur le taux d'occurrence des pointes, leur répartition statistique dans le temps, leurs niveaux absolus etc....

Finalement on possède une série de documents dont le dépouillement en fonction des idées générales que nous avons détaillées devient possible. L'expérience nous a montré que les résultats peuvent être mis en corrélation avec toutes les plaintes formulées par les usagers; les essais que nous avons faits dans des conditions très diverses d'immeubles et de bruits de fond ont abouti à un certain nombre de conclusions que nous allons résumer.

.... /

a) La lutte contre le bruit est d'abord une question d'éducation.

On se rend rapidement compte que les gens ne sont pas documentés. En particulier ils ne sont généralement pas conscients de la gêne qu'ils provoquent car si l'on entend le bruit que font les autres, on n'entend pas celui que l'on fait soi-même (inhibition en raison de la prévisibilité, de l'adaptation oscillatoire lorsqu'on fait des bruits intenses, qui, alors tombent sous le seuil de saturation). Les écoles et lycées pourraient incorporer à leurs programmes quelques notions élémentaires sur ces questions; la télévision pourrait jouer un rôle important. On sait bien que ce genre de " conseils " est peu apprécié; mais à force d'insistance on finit bien par imposer certaines notions. Autrefois, les émetteurs radio annonçaient journellement : " il est dix heures; respectez le sommeil de votre voisin; baissez votre poste ". Il faudrait aussi informer les personnes intéressées qu'il existe une ligue française contre le bruit dont l'efficacité est fonction du nombre d'adhérents....

b) Le bruit de fond joue un rôle capital.

S'il atteint le seuil de saturation, on peut agir par législation. L'expérience montre que, seule la coercition est efficace en ce domaine; le tout est de savoir si les pouvoirs publics veulent agir. Pour le bruit de fond plus faible on remarque qu'un certain niveau est paradoxalement souhaitable car il détruit certains signaux faibles dont l'originalité attirerait autrement l'attention du récepteur. Psychologiquement on accepte plus facilement un bruit anonyme qu'un bruit qui a un visage; or quand le bruit de fond est très faible on commence à percevoir la parole et les petits bruits émis dans les locaux contigus. On voit combien est illusoire du point de vue bruit la notion d'immeubles collectifs placés " dans un cadre de verdure " ! Ici, et surtout la nuit, on se plaint du voisin et des interruptions de sommeil par des bruits qui sont relativement faibles mais imprévisibles (bruits de serrures, de robinets, de poubelles, etc...).

c) L'ameublement agit de façon non moins complexe et paradoxale.

Voici un immeuble de haut standing, situé en un lieu extrêmement calme. La concierge occupe des pièces très mal corrigées du point de vue acoustique : murs et sol nus, meubles " résonnants " etc... mais elle est tout à fait satisfaite du confort acoustique en vertu du principe qu'on n'entend pas le bruit qu'on fait soi-même. Le propriétaire de l'appartement situé au-dessus de la loge a disposé des moquettes, des rideaux, des tapis etc... la chambre à coucher est presque une salle sourde.... Or il se plaint amèrement du bruit car il perçoit tout ce qui se passe dans la loge et en est d'autant plus gêné que le bruit de fond est plus faible dans son appartement.

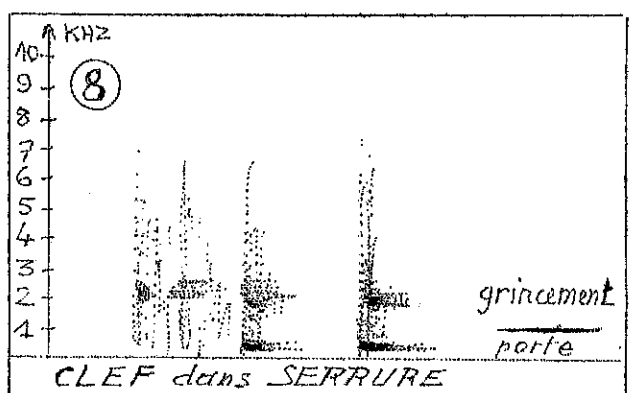
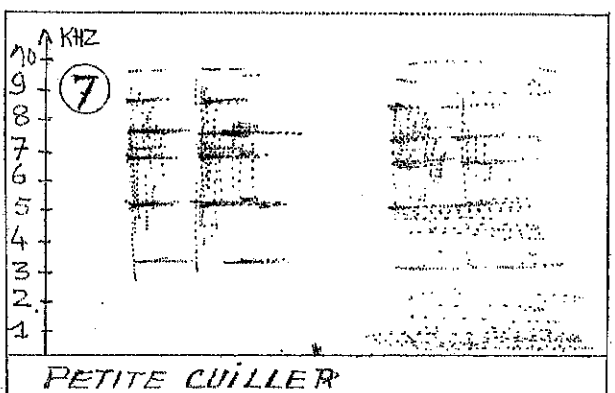
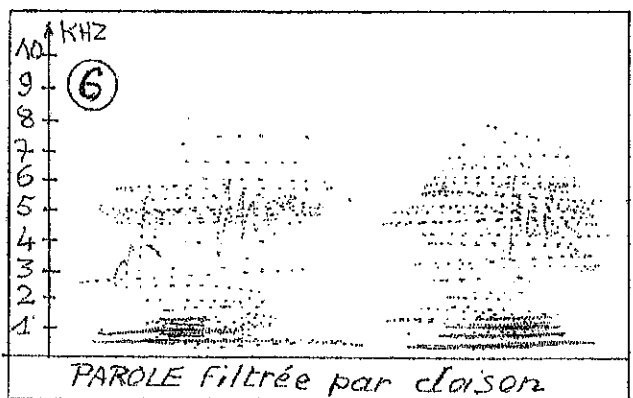
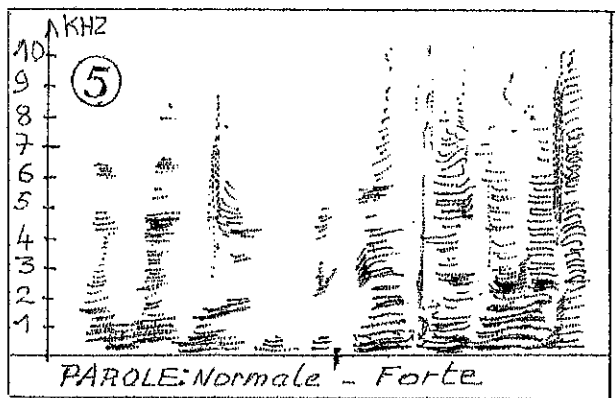
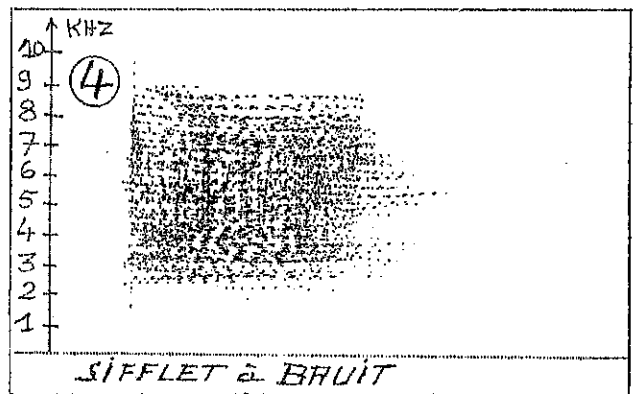
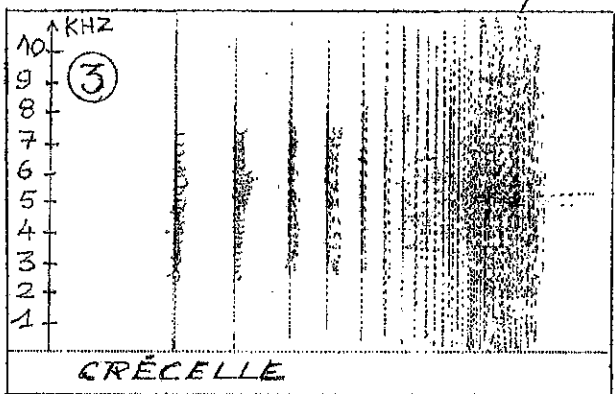
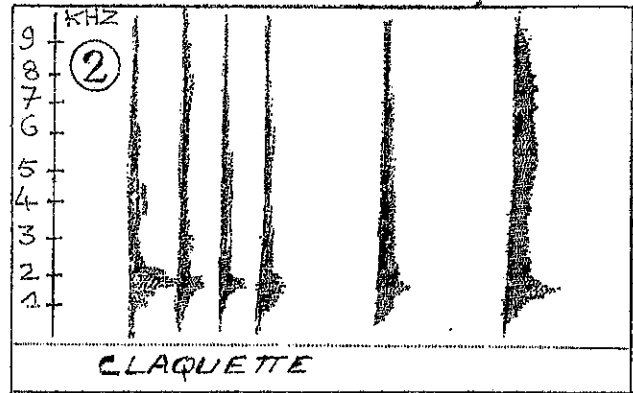
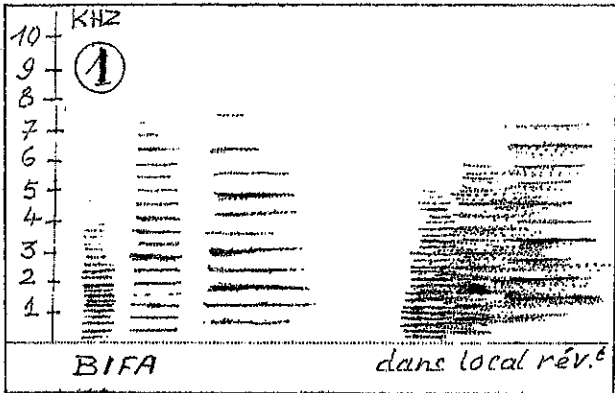
- d) Les revêtements du sol sont déterminants et beaucoup plus important que la nature, les épaisseurs et la masse au mètre cube des planchers.
- e) La musique reste parmi les " bruits " les plus difficiles à détruire car mélodie et rythme sont perçus même s'il ne passe à travers les murs qu'une bande très étroite (bib.12). La parole comporte, comme la musique des spectres de raies (voyelles); mais les consonnes (chuintements, petites explosions, etc...) sont facilement absorbées par les cloisons. Or l'information sémantique est surtout véhiculée par les consonnes; par transparence, on entend donc quelqu'un parler, mais on ne comprend pas ce qu'il dit; les efforts plus ou moins conscients pour comprendre provoquent une gêne supplémentaire.
- f) Les normes de bruit et de construction d'immeubles admises actuellement (bib.13) sont à peu près valables pour les " gros bruits " où il est possible d'agir à la source. Mais l'expérience montre qu'elles sont toutes à revoir pour les bruits faibles, ceux dont on se plaint. C'est pourquoi il semble tout à fait inopportun, dans l'état actuel des choses, de vouloir établir une législation pour les bruits faibles en se basant sur des simplifications comme les indices d'affaiblissement, la loi de masse, etc... Une normalisation et une législation en ce domaine supposent une doctrine d'ensemble cohérente éprouvée par l'expérience, et qui reste à définir. Il est tout à fait vain de penser que l'on puisse résoudre un problème compliqué à l'aide de procédés et d'appareillages simples que l'on peut confier à n'importe qui. L'acoustique du bruit est une des disciplines les plus compliquées qui soient, qui implique des connaissances étendues et variées sur le plan de la science et de l'homme; la présence de ce dernier à elle seule montre l'inanité du mythe de la précision en correction et isolation acoustiques. De toutes façons il apparaît clairement qu'il est indispensable de développer les recherches fondamentales sur le bruit, et plus spécialement quant aux problèmes de sa perception et de son intégration par l'homme. A ce prix seulement on peut espérer voir émerger petit à petit une doctrine générale valable, sans laquelle rien de bon ne sera fait. Cette doctrine pourrait être ultérieurement à la base d'un enseignement officiel destiné à former des acousticiens spécialisés, des experts compétents, connaissant suffisamment l'ensemble du problème sous tous ses aspects, capables alors seulement de dégrossir les problèmes à l'oreille (nous insistons beaucoup sur ce point!) et de les étudier ensuite avec des méthodes scientifiques adéquates.
- .../

VII - CONCLUSIONS

Nous avons tenté un tour d'horizon sur l'aspect physique et perceptif du bruit, problème dont la solution s'avère de plus en plus urgente. Nous avons montré combien les variables en cause sont nombreuses, floues, mouvantes, insaisissables, impossibles à définir autrement que de façon statistique, rendant le problème presque inextricable. Les ordinateurs modernes, machines à traiter la complexité, pourraient apporter ici une aide précieuse; mais il faudrait posséder au préalable des données complètes. Or on est actuellement fort loin du compte. Il n'est pas question de trancher un problème aussi compliqué que celui du bruit en quelques pages; du moins espérons nous l'avoir posé clairement et montré que seules des recherches fondamentales systématiques de grande envergure pourraient aboutir à une normalisation et à une législation raisonnables et efficaces.

BIBLIOGRAPHIE

- 1°) MOLES (A) - Physique et technique du bruit
DUNOD, Paris 1952
- 2°) KNUDSEN (V.O.) et HARRIS (C.M.) - Le projet acoustique en architecture (Trad. Cadiergues-Moles)
DUNOD, Paris 1957
- 3°) COLLECTIF - Premier Colloque International sur le bruit
Ed. Institut National de Sécurité, Paris 1959.
- 4°) BRUCKMAYER (F) - Handbuch der Schalltechnik im Hochbau;
Fr. Deuticke, Vienne 1962.
- 5°) FURRER (W) - Raum und Bauakustik - Lärmabwehr Birkhäuser
Bâle et Stuttgart (1962).
- 6°) RAES (A.C.) - Isolation sonore et acoustique architecturale.
Chiron, Paris 1964.
- 7°) LEIPP (E) - Les mesures en acoustique instrumentale.
Annales des Télécom. Tome 19 (9-10) (1962) p. 190-196.
- 8°) LEIPP (E) - Appareillages et méthodes modernes en acoustique musicale. Bulletin du GAM, Faculté des Sciences Avril 1964.
- 9°) LEIPP (E) - Le problème de la perception des signaux acoustique par effet de contraste.
Annales Telecom. T. 20 n° 5-6 (1965) p. 103-118.
- 10°) LEIPP (E) - Les variables de l'audition musicale
Conférences des journées d'étude. Chiron, Paris 1966
- 11°) BOUVIER (L) - La mesure scientifique du bruit dans l'habitation et les bureaux.
Comptes-rendus du Colloque sur le bruit dans les bâtiments à usage d'habitation et de bureaux.
(Centre de Recherches Physiques, Marseille, 1963).
- 12°) LEIPP (E) - La musique considérée comme bruit (communication au colloque de Marseille, 1963) parue dans les Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (1964) n° 559, p. 16-19.
- 13°) JOSSE (R) - L'isolation acoustique des logements.
Eyrolles, PARIS 1962.



QUELQUES SONAGRAMMES INTERESSANTS SCHEMATISES .

1°) Spectres de notre instrument de musique-test .

A gauche, les trois "notes" qu'il donne (180, 360, 500 Hz) relevées en local très "sourd"; elles sont nettes, franchement séparées, et comportent des harmoniques jusque vers 8000 Hz. A droite, les mêmes notes dans une pièce un peu réverbérante: l'image est "brouillée" et présente des "trainages" d'une note à l'autre.

2°) Spectre de la claquette dans pièce assourdie. On y discerne une pointe de résonance importante autour de 1500 Hz.

3°) Spectre de crecelle . On fait tourner la crecelle de plus en plus vite; les hachures verticales se rapprochent graduellement pour fusionner finalement. Le point de fusion est hautement significatif du "pouvoir séparateur acoustique" du local - qui conditionne la netteté de la parole ou de la musique qu'on y fait. Ce test est intéressant pour apprécier la gêne due aux machines à écrire; il permet aussi de "mesurer" l'intelligibilité dans une salle de cours, un théâtre lyrique etc.

4°) Spectre de sifflet à bande de bruit . On peut étudier la transparence acoustique de cloisons aux bruits d'échappement d'air comprimé ou d'écoulement d'eau; l'intelligibilité de la parole dépend grandement de cette bande (chuintantes, sifflantes etc.)

5°) Sonagramme de parole . A gauche la parole normale (70 dB à 1 m) A droite la même phrase à voix très forte (100 dB)

6°) Parole filtrée par une cloison . On voit ce qui reste du sonagramme précédent dans une pièce contigüe... quelques raies très brouillées mélangées à du bruit de fond. Les fluctuations de ces raies sont caractéristiques de la parole et permettent de la reconnaître; mais on ne comprend pas les mots.

7°) Chute d'une petite cuiller sur du carreau de cuisine . A gauche le sonagramme relevé à un mètre; c'est un spectre à partiels très aigus comportant une "attaque" très brutale. A droite, ce qui reste de ce spectre dans une pièce d'habitation voisine. Les traces qui subsistent sont particulièrement nettes, donc gênantes.

8°) Sonagramme de l'ouverture d'une porte d'entrée d'appartement. On voit les bruits de clef et les deux chocs du pêne, puis le grincement de la porte. Tous ces bruits sont d'autant plus gênants que le bruit de fond est plus faible.

DISCUSSION

M. MOLES - Votre attitude pour aborder le problème du bruit me semble correcte. L'idée du blocage de certaines informations par des sous-routines explique que nous ne soyons pas réveillés par un train qui passe lorsque nous habitons au voisinage de la gare.

L'idée d'une adaptation réflexe due à l'oreille moyenne est intéressante; je pense simplement que 30 dB, c'est énorme.

Votre schéma analogique utilisant une machine à calculer rejoint de nombreux soucis disparates relativement à l'élaboration d'un système cumulatif analogique, d'un modèle susceptible d'intégrer des données diverses venant d'origines variées sans refaire le programme déjà réalisé.

M. LEIPP - Nous avons en cours d'élaboration un schéma de fonctionnement très général, relatif à la perception et à l'intégration des messages que l'homme reçoit de l'extérieur; nous aurons une réunion sur ce sujet l'an prochain. Le schéma que j'ai proposé ici est extrêmement simplifié.

M. MOLES - C'est une question compliquée qu'un laboratoire isolé peut difficilement trancher; elle est à la base de l'idée d'un " institut du cerveau " que M. FESSART tente de créer.

J'abonde dans le sens de votre critique des méthodes métrologiques, mais il ne faut pas oublier le prestige de l'appareil de mesure et des chiffres....

Je signale encore l'aspect sociologique du bruit : 70 % des plaintes, dans les grands ensembles, sont dues au bruit des voisins.

M. LEIPP - Bien sûr; on construit les immeubles en des lieux très calmes; les usagers ne se plaignent plus du bruit de fond, mais commencent à entendre le bruit que font les voisins, et un bruit qui a un visage est psychologiquement plus insupportable qu'un bruit anonyme.

Maître BOUVIER - J'ai écouté votre exposé non avec intérêt mais avec passion. Je retiens deux grandes idées :

- dès qu'on introduit l'homme, les problèmes deviennent d'une complexité illimitée. Je m'évertue depuis des années à dire qu'un bruit ne se mesure pas avec un mètre et qu'on ne résoud pas le problème de la gêne avec des décibels. L'idée de l'importance du bruit commence à pénétrer à l'Assemblée Nationale et dans les tribunaux; mais on s'aperçoit partout que les normes chiffrées actuelles ne cadrent pas avec la réalité. Les médecins

DISCUSSION (Suite) 2

observent la même chose.

Je suis d'accord avec vous sur 99 % des points; je voudrais cependant faire deux observations :

1°) Il est faux de dire que l'on s'habitue toujours au bruit de fond; on y devient souvent allergique et c'est, du point de vue judiciaire, extrêmement important. Il ne suffit pas de dire que le plaignant est névrosé.

2°) On ne peut plus supporter actuellement des bruits épisodiques artisanaux par exemple, qui ne gênaient personne naguère; ceci vient de ce qu'autrefois les rues étaient calmes; maintenant le bruit de rue nous fatigue.

M. LEIPP - Bien sûr qu'il est important de réduire le bruit de fond de la rue, et dangereux de prétendre qu'il suffit de s'y habituer; Le mécanisme de la fatigue due au bruit de fond peut facilement s'expliquer.

Prenons un signal normalement supportable. Si on le superpose à un bruit de fond, l'énergie du signal et du bruit de fond s'additionnent aux points communs et le signal peut alors dépasser le seuil de saturation; il est donc évident que la gêne vient alors du niveau trop intense du bruit de fond; mais il faut reconsidérer le problème de l'émergence d'un signal sur un bruit de fond. C'est le mécanisme physique de la sursensibilisation, auquel il faut ajouter la baisse des seuils des "écrans de visualisation" du récepteur humain, provenant de la fatigue. A cause du bruit de fond le signal rentre ici dans le cas des bruits intenses, saturants.

D'autre part, un signal partiellement détruit par le bruit de fond, nécessite un supplément de travail de la part de notre "ordinateur", car il devient plus difficile d'extraire ce signal du signal global.

Tout cela signifie dépense d'énergie supplémentaire; donc fatigue. Insistons encore ^{sur le fait} que dans le bruit de rue, c'est un problème de sources intenses mobiles; une législation coercitive est possible avec des "normes" simplifiées; mais qui paiera les frais de l'opération? Le fabricant de moteurs, l'utilisateur? Ni l'un ni l'autre ne seront disposés à le faire et les appels à la raison resteront des vœux pieux. Il en est toujours ainsi lorsque de gros intérêts sont en cause.

M. PERROT - Les sursensibilisés appartiennent au groupe des déprimés; leur cas relève non de l'acoustique mais de la médecine. On ne peut pas, sociologiquement, s'attaquer aux bruits insignifiants: il faut commencer par le plus simple c'est-à-dire par les plus intenses.

.../

DISCUSSION (Suite) 3

M. LEIPP - Bien sûr il faudrait bien définir au préalable pourquoi les plaignants sont des déprimés. D'autre part, je rappelle que le véritable problème du bruit est celui des bruits faibles. Pour les bruits intenses tout le monde est d'accord.

Mme ANQUEZ - Pourquoi ne s'attaque-t-on pas, de ce point de vue au problème des aéroports. Les instituteurs de Villeneuve-le-Roi signalent des pourcentages anormaux d'échecs scolaires et on envisage d'utiliser les méthodes d'apprentissage de la lecture que l'on utilise chez les sourd-muets.

Je signale d'autre part que les personnes qui me rendent visite se plaignent surtout du bruit qu'ils trouvent chez eux, quand ils rentrent de leur travail.

M. LEIPP - Le bruit pose un véritable problème de violation du domicile

Mme ANQUEZ - On devrait créer un service médical spécial pour étudier les cas de sursensibilisation - et les autres - afin d'obtenir des renseignements complémentaires. Il faut d'autre part bien le dire aussi, les gens sont intoxiqués par une littérature de vulgarisation très nocive parce qu'elle simplifie beaucoup trop la question.

M. HUET (CTTB) - Il existe un tir au pigeon à MEUDON, qui semble très nuisible ; mon enfant avait des réactions de sursaut à chaque détonation, il a été impossible d'agir efficacement.

Mme ANQUEZ - Il faut que les intéressés se groupent et entreprennent une procédure, ce n'est pas avec dix signatures que l'on obtient quelque chose. La Ligue Française contre le bruit (8 Rue Delbet - PARIS 14^e) ne peut être efficace que si elle comprend de nombreux membres actifs

M. LEIPP - En résumé on peut lutter efficacement contre le bruit; nous possédons les éléments du problème. La seule question est la suivante : les pouvoirs publics estiment-ils oui ou non que le problème du bruit est important ?
