

ÉTUDE EXPLORATOIRE DE L'EFFET DU CONTENU SPECTRAL DES BRUITS
IMPULSIONNELS SUR L'ACQUISITION DE LA FATIGUE AUDITIVE
PRELIMINARY STUDY OF THE EFFECT OF THE SPECTRAL CONTENT OF
IMPULSIVE NOISES ON THE ACQUISITION OF AUDITORY FATIGUE

C. Laroche*, R. Héту*, M. Sawan**, J. Nicolas**

*Groupe d'Acoustique de l'Université de Montréal
C.P. 6128, Montréal, P.Q., Canada, H3C 3J7

**Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke
Boul. Université, Sherbrooke, P.Q., Canada, J1K 2R1

SOMMAIRE

Grâce au développement d'un système de génération de signaux impulsionnels contrôlés par ordinateur il est maintenant possible d'évaluer la contribution du contenu spectral des impulsions sonores par des mesures de fatigue auditive (DTS: décalage temporaire des seuils auditifs). Pour ce faire, il a fallu mettre au point une méthodologie pour obtenir, en un minimum de temps, un effet asymptotique d'une ampleur pré-déterminée. Cette méthodologie a été développée et mise à l'essai pour trois signaux impulsionnels de contenus spectraux différents s'étendant pour le signal A de 300 à 1000 Hz, de 300 à 3000 Hz pour le signal B et de 300 à 4000 Hz pour le signal C. Les courbes d'acquisition de la fatigue auditive démontraient qu'un DTS asymptotique de l'ordre de 10 dB était atteint après environ 30 minutes d'exposition. Pour obtenir ce même effet, le niveau de pression de crête du signal B et C devait être de 10 à 12 dB inférieur à celui du signal A. Ainsi, le contenu spectral semble un paramètre important à considérer dans l'élaboration de critères de nocivité des bruits impulsionnels.

SUMMARY

With the development of a computerized impulsive noise generator, it has become possible to study the effect of the spectral content of impulsive noises by measuring temporary threshold shift (TTS). To conduct this type of study, a new methodology had to be developed for obtaining a target amount of asymptotic threshold shift in a minimum exposure time. This methodology has been tested with three impulse signals of different frequency bandwidths: signal A extending from 300 to 1000 Hz, signal B from 300 to 3000 Hz and signal C from 300 to 4000 Hz. The TTS growth curves reach an asymptote of about 10 dB after an exposure time of approximately 30 minutes. To obtain this effect, the peak level of signals B and C had to be 0 to 12 dB below that of signal A. Thus, it appears that the spectral content is a very important parameter in the prediction of damage risks to hearing from impulsive noise.

PROBLEMATIQUE INTRODUCTION

Les critères de nocivité des bruits impulsionnels publiés à ce jour [1,2,3,4] sont définis en fonction de paramètres du bruit facilement mesurables soient la pression de crête, le nombre d'impulsions et le temps de décroissance. Ce n'est que très récemment que le contenu spectral de ce type de bruit a été considéré [5], car ce paramètre était difficile à contrôler par les techniques de génération de signaux impulsionnels utilisées jusqu'à maintenant. A l'aide d'un nouveau dispositif de génération de signaux sonores par ordinateur [6,7], nous avons pu étudier l'importance de l'effet du contenu spectral de bruits de courtes durées (1 à 3 msec) sur l'acquisition de la fatigue auditive.

ÉTAT DE LA QUESTION STATE OF THE ART

Pour tenter d'établir la nocivité des bruits impulsionnels, les chercheurs recourent à trois types de méthodologies: des études épidémiologiques de DPS (décalage permanent des seuils d'audition), des études histologiques et morphologiques chez l'animal et des études expérimentales de DTS (décalage temporaire des seuils d'audition) chez des sujets humains. Chacun de ces types d'études comporte des contraintes.

La première de ces approches comporte de sérieuses limites; il s'agit de procéder par études rétrospectives d'un grand nombre de personnes dont l'état de l'audition représenterait des échantillons homogènes reflétant l'effet d'un seul paramètre donné des bruits impulsionnels. Ceci est impossible à envisager dans le contexte d'un milieu de travail où la contribution relative de chaque paramètre et l'interaction entre ces paramètres sont difficiles à isoler.

Dans ce contexte, le recours à un modèle animal [8,9,10,11] présente un très grand intérêt. Ainsi, des études ont démontré que, dans certains cas du moins, les dommages produits par les bruits impulsionnels sont supérieurs à ceux attendus pour une quantité égale d'énergie de bruits continus. Ces résultats sont essentiels pour comprendre le mécanisme lésionnel. Toutefois, ils ne sont qu'indirectement applicables à l'homme. Il est certes nécessaire de connaître la réponse spécifique de l'oreille humaine et d'identifier un point d'ancrage entre cette réponse et les observations faites sur l'animal.

Ces objectifs peuvent vraisemblablement être atteints par l'étude de DAS (décalage asymptotique des seuils d'audition). En effet, le DAS représenterait un point d'ancrage permettant de comparer les études entre elles [12]. Ce type de comparaisons est possible puisque:

- 1) un bruit donné engendre un effet donné dont la valeur est stable, i.e. indépendante du temps d'exposition [13];
- 2) la durée du maintien à l'asymptote influence le processus de récupération [14];
- 3) les deux informations précédentes (DAS et récupération) sont

vraisemblablement liées à la nocivité du bruit en terme de dommages permanents à l'audition [12];

- 4) au plan physio-pathologique, le DAS permet de mettre en relation la perte d'audition permanente et l'importance des lésions relevées sur les cochlées animales [15,16].

Ainsi, l'étude des DAS permettrait d'associer une ampleur donnée de déficit auditif temporaire à un risque donné de lésion. Si cette valeur stable est obtenue par études d'équinocivité, il devient possible de s'affranchir des problèmes de conversion DTS-paramètres du bruit. Ces problèmes se situent principalement au niveau de l'équivalence des effets en termes de risques d'atteinte à l'audition (ampleur et temps d'acquisition):

a) Ampleur de DTS et risque
Magnitude of DTS and risk

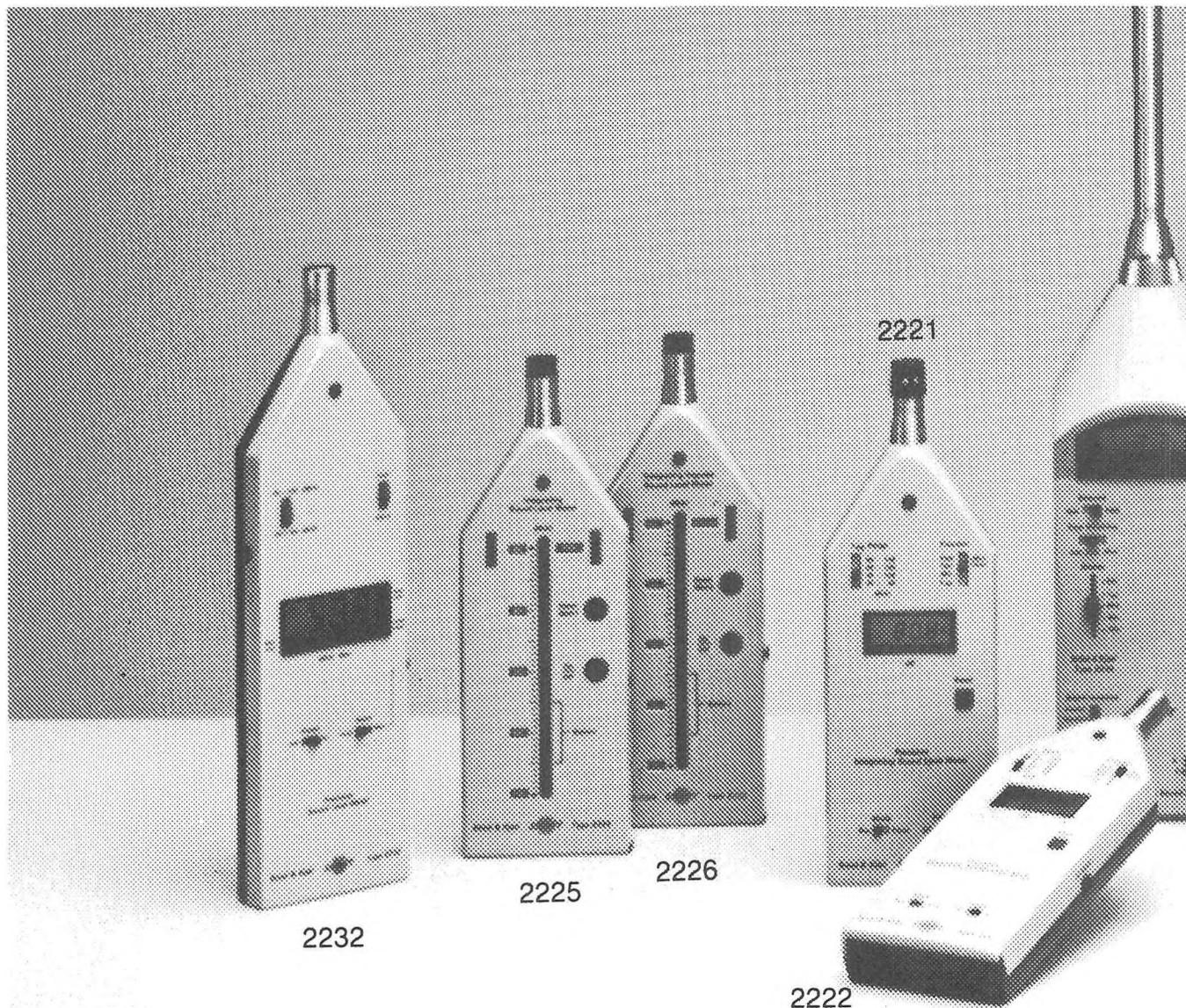
On ne peut convertir des valeurs de DTS en valeurs correspondantes de la variation du paramètre physique du bruit. Par exemple, on ne peut affirmer qu'un bruit A engendrant un DTS de 6 dB est deux fois moins nocifs qu'un bruit B provoquant l'acquisition d'un DTS de 12 dB. Il s'agit donc d'obtenir un indice fiable qui soit prédicteur de la sensibilité de l'oreille aux paramètres du bruit; ceci peut se traduire par la recherche de l'équinocivité des bruits, *i.e.* la recherche d'un iso-effet (ou effet constant) en fonction de la variation du paramètre étudié.

b) Temps d'acquisition et risque
Time of acquisition and risk

La signification d'une valeur donnée de DTS dépend de la façon dont il a été acquis dans le temps [14,17]. Par exemple, deux bruits différents A et B peuvent induire une même quantité de DTS, soit 9 dB, mais après des temps d'exposition de 10 et de 20 minutes respectivement. Dans ce cas, on peut difficilement convertir le temps en valeur correspondante de nocivité.

Il est donc préférable d'associer une valeur stable à une exposition donnée. Ceci peut être réalisé en obtenant des courbes d'acquisition de la fatigue auditive, lesquelles tendent vers une asymptote. Celle-ci peut être limitée à 10 dB de DTS de façon à émerger de l'erreur de mesure tout en limitant l'ampleur du DTS pour le sujet exposé.

L'évaluation de l'équinocivité par la mesure du DAS représente une approche nouvelle de l'étude du DTS causé par les bruits impulsionnels [16]. Toutefois, dans le cas des bruits de courte durée unitaire (type détonation d'armes à feu), il reste à déterminer la faisabilité d'une telle étude. En fait, deux questions se posent: a) quelle est la durée d'exposition à une cadence donnée qui engendre un DAS? et b) comment obtenir un DAS cible associé à l'iso-effet recherché?

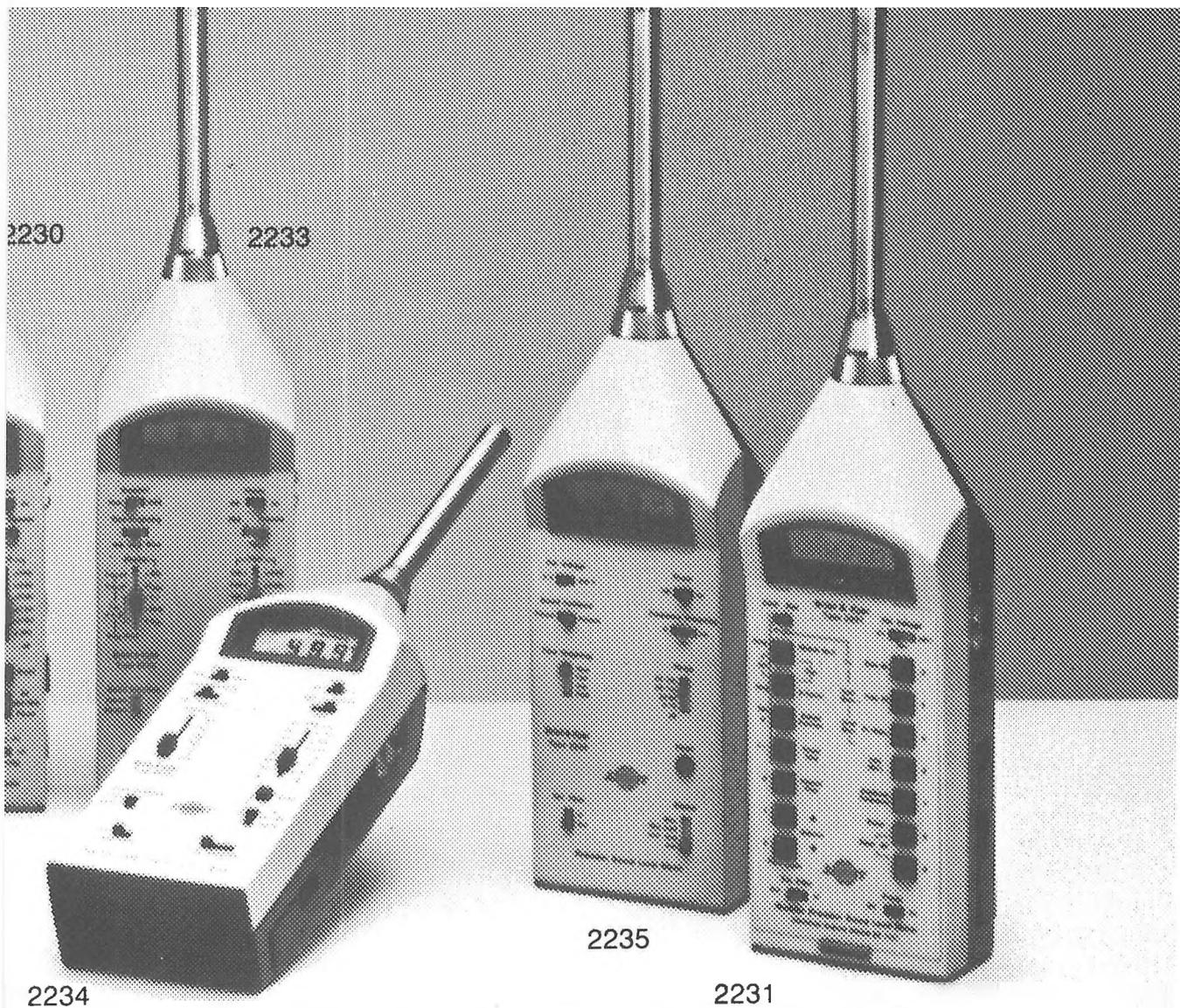


WHAT'S ALL TH

Choose your instrument. Whether it be the simple measurement of sound pressure level or the more complex measurement of sound power level, Bruel & Kjaer has the right combination of instruments for the job.

The light weight, pocket sized precision sound level meter type 2221 is ideal for measuring steady state noise. The type 2225 is a precision sound level meter for measuring steady state, fluctuating and impulsive noise. The type 2226 is a precision sound level meter for measuring steady state, fluctuating and impulsive noise. The type 2222 is a small Leq meter and has a 1/3 octave filter sets for frequency analysis. The type 2231 is our most sophisticated sound level meter and can be programmed to perform almost any type of noise measurement task normally only within the range of the most sophisticated and expensive units.

This entire family of Bruel & Kjaer instruments meets the highest international standards for accuracy and can handle your noise measurement problems for years to come. Put this family of B & K noise fighters to work for you.



BE NOISE ABOUT?

Brüel & Kjær can tell you.

For continuous noise or a highly complex record of industrial sound levels, Brüel & Kjær has the answer for you.

The type 2232 gives an instant reading of the levels of continuous and pass-band noise. The type 2235 will perform those functions as well as measuring impulsive, random and narrow band noise. The type 2230 is a precision Leq meter that can also adapt octave band filters. The type 2231 is our "flagship" sound level meter. It is a digital instrument that can perform all the functions of the other models. The type 2234 is a handheld model. The type 2235 is a medium-priced instrument capable of performing

Brüel & Kjær

Brüel & Kjær Canada Ltd.

HEAD OFFICE: 90 Leacock Road · Pointe Claire · Quebec H9R 1H1 · Tel: (514) 695-8225 · Telex: 05-821691 b+k pcir

OTTAWA: Merivale Bldg. · 7 Slack Road, Unit 4 · Ottawa, Ontario K2G 0B7 · Tel: (613) 225-7648

BRANTFORD: 227 Dufferin Ave. · Brantford, Ontario · N3T 4R1 · Tel: (519) 752-7662

TORONTO: 71 Bramalea Road, Suite 71 D · Bramalea, Ontario L6T 2W9 · Tel: (416) 791-1642 · Telex: 06-97501

VANCOUVER: 5520 Minoru Boulevard, room 202 · Richmond, B.C. V6X 2A9 · Tel: (604) 278-4257 · Telex: 04-357517

BUT DE L'ÉTUDE OBJECTIVE OF THE STUDY

La présente recherche avait un caractère exploratoire. Elle visait à apporter des éléments de réponses aux questions relatives à la faisabilité d'études, chez l'humain, du DAS produit par des signaux impulsionnels de courte durée unitaire. Il s'agissait donc de développer une méthodologie nouvelle.

MÉTHODOLOGIE METHODOLOGY

Approche expérimentale
Experimental approach

L'étude du DAS comportait deux types de contraintes: a) les limites liées à l'ampleur du DTS et b) la durée d'exposition.

a) Limites liées à l'ampleur du DTS Limits related to the DTS amplitude

L'ampleur du DTS ne devait pas dépasser 15 dB à l'oreille et à la fréquence la plus sensible pour éviter toute atteinte auditive permanente. Il a été démontré, dans plusieurs études antérieures [19,20,21,22], qu'un tel niveau de DTS est toujours complètement récupéré. De plus, cette quantité de DTS est compatible avec plusieurs activités de la vie courante (ex.: 15 minutes dans une discothèque, 30 minutes de circulation en motocyclette, ou 2 heures en automobile fenêtre ouverte sur une autoroute). L'ampleur de DTS admissible devait toutefois être supérieure à la marge d'erreur de mesure audiométrique, i.e. 5 dB [23,24]. Ces limites minimales et maximales de DTS exigeaient une progression des expositions et l'arrêt de celles-ci lorsqu'un DTS de 15 dB était atteint.

b) Durée d'exposition Duration of exposure

L'objectif était d'obtenir une valeur asymptotique de décalage des seuils d'audition observable après des temps d'exposition éventuellement longs. Il fallait toutefois tenir compte du fait que, pour certains signaux riches en basses fréquences, le sujet pouvait rapidement ressentir une gêne, même à des niveaux crêtes relativement faibles. D'après une récente étude [18] portant sur l'acquisition de la fatigue auditive causée par l'exposition à des bruits d'impact, une durée de 20 à 30 minutes pouvait suffire pour atteindre l'asymptote à une cadence de 1 impact/sec; il s'agit de durées supérieures à celles utilisées dans plusieurs études antérieures (2 à 4 minutes, par exemple) [25,26,27,28].

Ainsi, nous avons voulu comparer l'effet d'un type de bruit par rapport à un autre en recherchant la variation d'un paramètre permettant d'obtenir un même effet, le paramètre retenu étant le niveau de pression de crête. Cet iso-effet a été fixé à une valeur de DTS (éventuellement de DAS) comprise entre 8 et 12 dB après une exposition de 24 minutes.

Sujets Subjects

L'expérimentation ayant un caractère exploratoire et méthodologique, il a été convenu d'étudier un nombre élevé d'expositions auprès d'un nombre restreint de sujets normaux. Trois sujets (1 femme et 2 hommes) ont participé à la recherche. Ceux-ci devaient rencontrer les critères suivants:

- 1- présenter un seuil tonal aérien inférieur à 15 dB HL (réf. ANSI S3.6-1969) [29] à chacune des oreilles, aux fréquences audiométriques de 500 à 6000 Hz,
- 2- présenter des tympanogrammes normaux (valeur maximale de pression de l'oreille moyenne entre -100 et +50 mm H₂O et compliance statique entre 0,3 et 2 mmhos) [30],
- 3- ne présenter aucune histoire de maladies ayant pu affecter le système auditif.

Production des signaux impulsionnels Production of the impulsive signals

La génération des signaux transitoires à paramètres contrôlés a nécessité le développement d'un système spécial [6,7]. Le signal est généré numériquement sur ordinateur pour être ensuite converti analogiquement avant d'être envoyé dans une chaîne électro-acoustique. Les principes théoriques de la génération et du contrôle systématique par boucle de retour seront présentés dans un article en cours de rédaction [31].

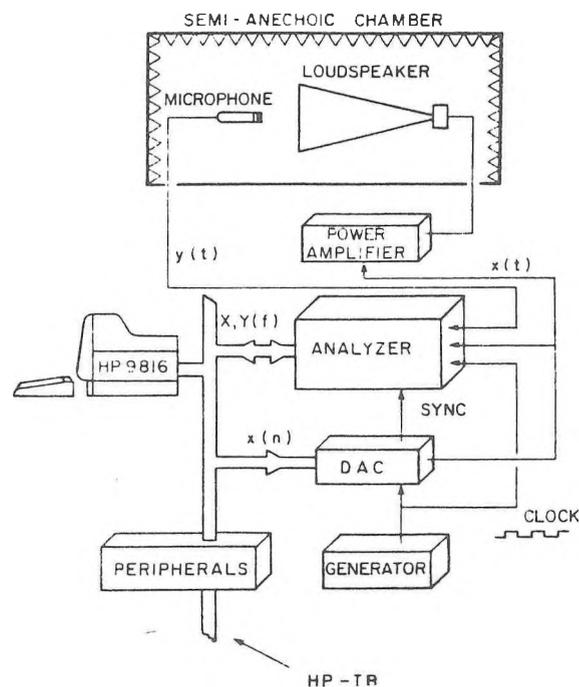


Figure 1 - Schéma du dispositif expérimental (tiré de Sawan et al., 1985)
Diagram of experimental apparatus

La figure 1 illustre le schéma du dispositif expérimental. Le calculateur (HP 9816) synthétise le signal numérique. Après conversion analogique, le signal est injecté à l'entrée de la chaîne acoustique (un amplificateur BGW Systems, Model 750A et un haut-parleur); un atténuateur (HP 350D) permet de contrôler le gain à la sortie. Un microphone recueille le signal émis, le dirige à l'analyseur FFT (BK 2032) qui effectue les calculs nécessaires pour produire le signal modifié.

La figure 2 illustre la qualité du signal contrôlé. Le signal désiré se compare très bien au signal obtenu après correction par la fonction de transfert inverse de la chaîne électro-acoustique.

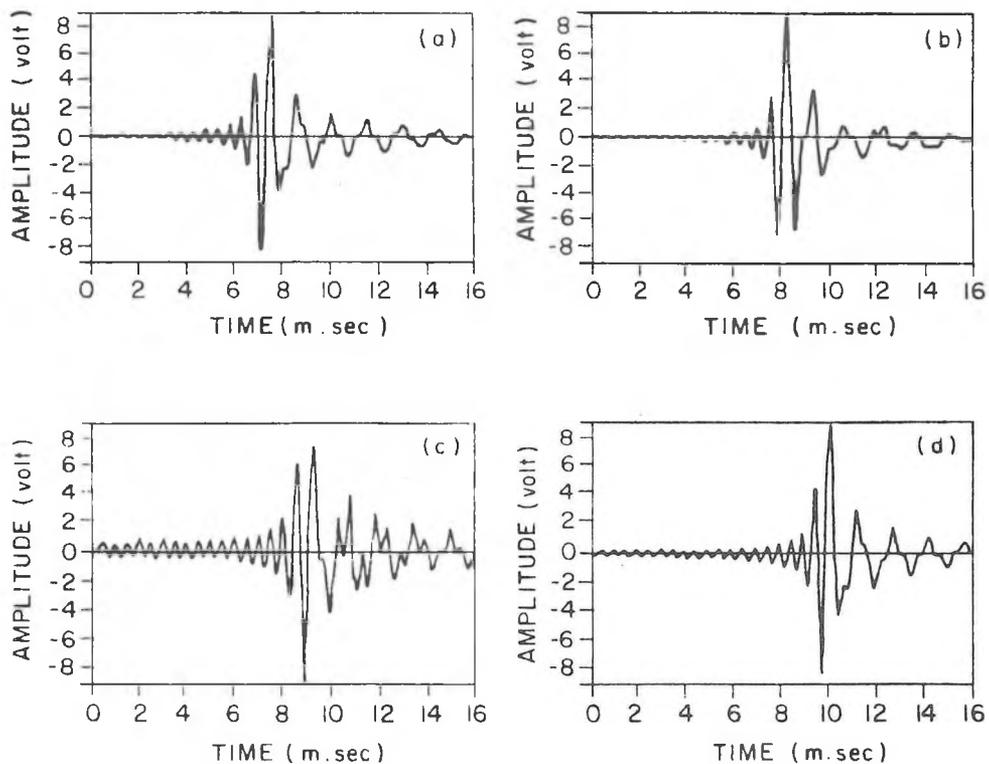


Figure 2. Fonctions temporelles

- (a) Numérique
- (b) Obtenue
- (c) Corrigée
- (d) Réelle

Time functions

- (a) Digitally generated
- (b) Obtained
- (c) Corrected input
- (d) Actual output

La figure 3 témoigne du contrôle sur le contenu fréquentiel. On remarquera la versatilité du système qui permet de contrôler un signal aussi bien en bande à longueur constante (3b) qu'en bande à pourcentage constant (1/3 octave, 3c).

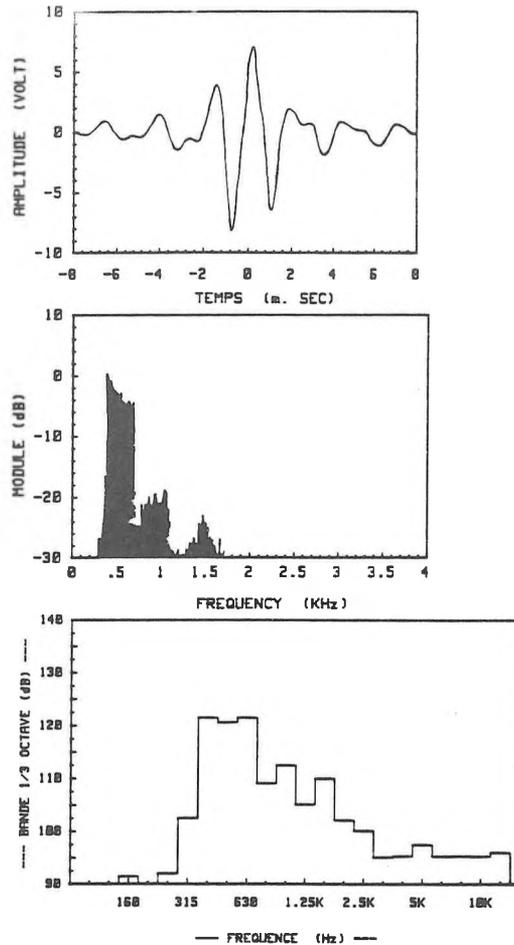


Figure 3. Informations sur le signal

- (a) Temps
- (b) Bande étroite
- (c) Bande 1/3 d'octave

Informations on the signal

- (a) Time
- (b) Narrow band
- (c) Third octave

Choix des signaux
Choice of signals

L'étude portait sur des signaux impulsionnels de courte durée en référence à des signaux de type armes à feu émis en champ libre; c'est ce type de signaux qui a été le plus étudié à ce jour [1,27,32]. Les signaux devaient avoir un contenu spectral varié. Ceci pouvait être obtenu au moyen d'un signal numérique de type $(\sin x)/x$ [6,7] dont on varie la bande passante. Les repères suivants ont guidé le choix des signaux.

- 1- une courbe théorique d'iso-nocivité fondée sur la fonction de transfert de l'oreille moyenne et externe affichant une atténuation de -6 dB/octave en basses fréquences et de +18 dB/octave en hautes fréquence avec une sensibilité maximale à 3000 Hz [5],
- 2- les limites du système actuel en phase de développement: le contrôle du contenu fréquentiel était limité en basses fréquences à 300 Hz et en hautes fréquences à 5000 Hz. Le L_p ne pouvait dépasser 135-140 dB, de façon à conserver une gamme dynamique d'au moins 20 dB à la fréquence supérieure de coupure du signal,

3- la recherche d'un DTS cible d'environ 10 dB et une limite de DTS admissible de 15 dB.

Ainsi, trois signaux de largeurs de bande différentes mais dont la fréquence inférieure de coupure était la même ont été retenus. Au tableau 1, sont inscrites les valeurs des paramètres des 3 signaux utilisés pour l'étude. Le L_p maximal variait de 135 à 140 dB, le contenu spectral s'étendait de 0,3 à 1 kHz pour le signal A, de 0,3 à 3 kHz pour le signal B et de 0,3 à 4 kHz pour le signal C, les temps de montée et de décroissance étaient symétriques et passaient de 0,34 à 0,12 msec; la cadence était de 1 impulsion/sec. A titre d'illustration, la figure 2 reproduit a) l'allure temporelle, b) l'analyse de Fourier ainsi que c) l'analyse en tiers d'octave du signal B.

TABLEAU 1 Valeur des paramètres des 3 signaux impulsionnels
Parameter values for the 3 impulse signals

Signal	Lp max (à 25 cm) (dB)	contenu spectral (1/3 octave) fréquence		temps de montée (msec)	temps de décrois- sance (msec)	cadence (/sec)
		inf. (kHz)	sup. (kHz)			
A	140	0,3	1	0,34	0,34	1
B	135	0,3	3	0,15	0,15	1
C	135	0,3	4	0,12	0,12	1

Mise au point de la procédure expérimentale Optimisation of the experimental procedure

Rappelons que le but de l'étude était d'évaluer l'iso-nocivité de signaux impulsionnels de contenus fréquentiels différents. La détermination des niveaux de pression de crête engendrant un même effet a nécessité plusieurs essais. La figure 4 résume les étapes franchies pour atteindre, par un minimum d'essais, un DTS de 8 à 12 dB après 24 minutes d'exposition pour chacun des signaux et chacun des sujets.

Il s'agissait, en premier lieu, d'exposer le sujet à un signal (A, B ou C) à un niveau de pression de crête (L_p) présumé inoffensif pour l'audition (environ 120 dB crête) pendant 4 minutes. Deux minutes après la fin de l'exposition, le DTS (DTS2) était mesuré. Selon la quantité de

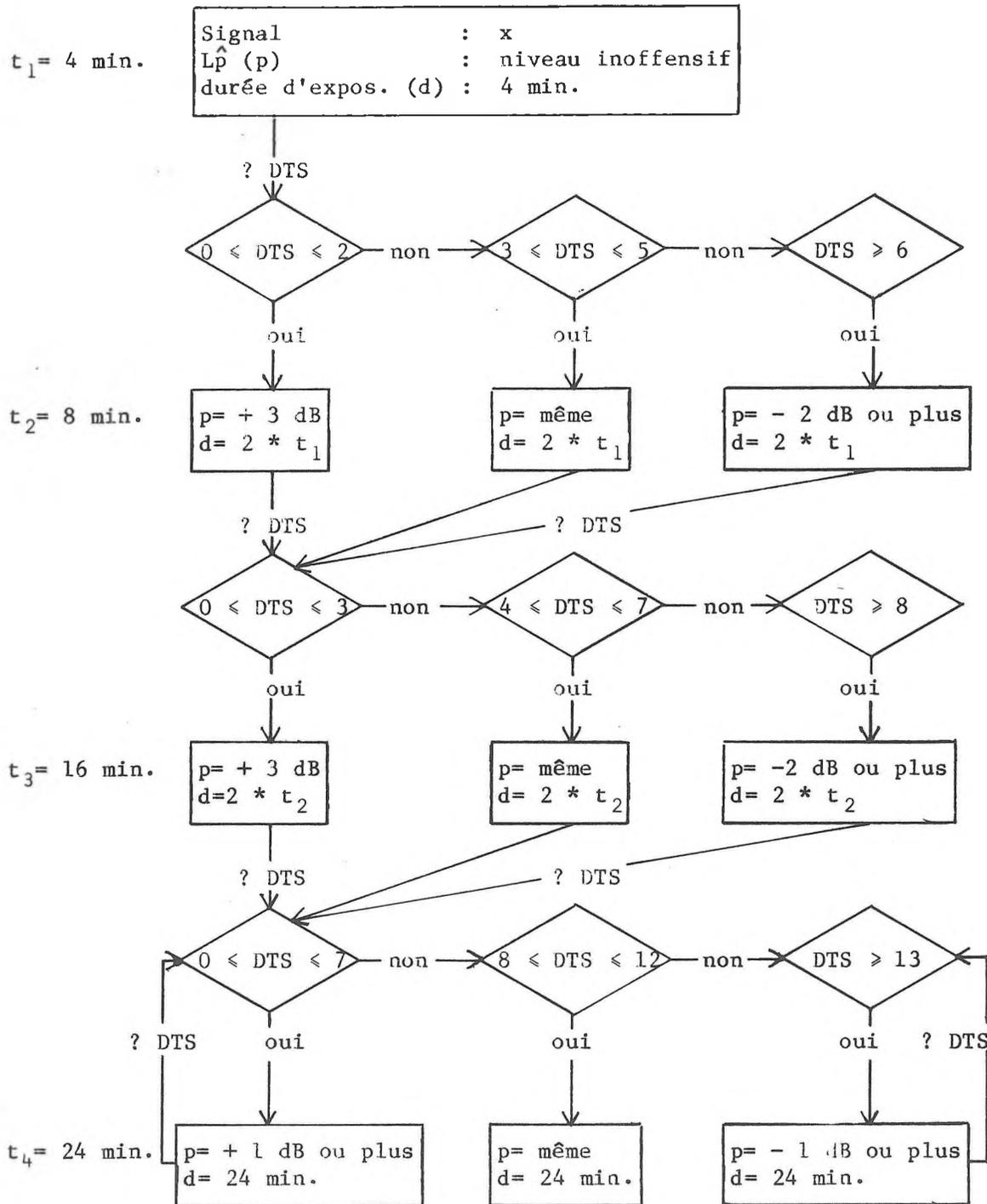


Figure 4 Détermination de la pression de crête d'un signal engendrant un $8 < \text{TTS} \leq 12$ après 24 minutes d'exposition à l'oreille et à la fréquence la plus sensible.
 Flow chart for determining the peak pressure of a signal causing $8 < \text{TTS} \leq 12$ after a 24 minute exposure to the most sensitive ear and frequency.

DTS, diverses décisions pouvaient être prises; si le DTS était compris entre 0 et 2 dB, le Lp était augmenté de 3 dB et la durée d'exposition "d" doublée; si le DTS oscillait entre 3 et 5 dB, le Lp était maintenu et la durée était doublée; enfin, si le DTS dépassait 6 dB, le Lp était diminué de 2 dB ou plus tout en doublant la durée. Ce processus était maintenu jusqu'à l'atteinte d'un DTS compris entre 8 et 12 dB après 24 minutes d'exposition.

Conditions d'exposition **Conditions of exposure**

Après avoir déterminé les niveaux de pression de crête pour chacun des signaux et chacun des sujets, l'expérimentation comprenait les étapes suivantes:

- 1- exposition de 24 minutes au premier signal;
- 2- mesure du DTS₂;
- 3- période de récupération variant de 20 à 24 heures;
- 4- exposition de 16, 8 et 4 minutes au même signal qu'en 1, avec récupération entre chaque exposition;
- 5- pour certains sujets et certains signaux, des expositions de 32 et de 48 minutes ont été faites afin de confirmer ou d'infirmer la présence d'une asymptote.

Au total, le nombre d'expositions et d'essais pré-exposition s'élevaient à environ 30 par sujet.

Analyse des données **Data analysis**

Pour tracer les courbes d'acquisition des DTS, un modèle mathématique dérivé de la fonction de Gompertz [33] a été utilisé. Ce modèle prend la forme de:

$$DTS(t) = V * g^{t^h} - V * g$$

- où
- DTS(t) = DTS au temps t,
 - V = paramètre,
 - g = paramètre,
 - h = paramètre,
 - t = durée d'exposition.

L'asymptote a été calculée à partir de la formule suivante: $DAS = V * (1 - g)$. L'asymptote était considérée atteinte au temps t pour lequel le DTS était égal à 95% de la valeur de l'asymptote.

RÉSULTATS RESULTS

Les figures 5, 6 et 7 présentent les résultats pour chacun des sujets exposés aux signaux A, B et C. Chaque figure sera analysée individuellement.

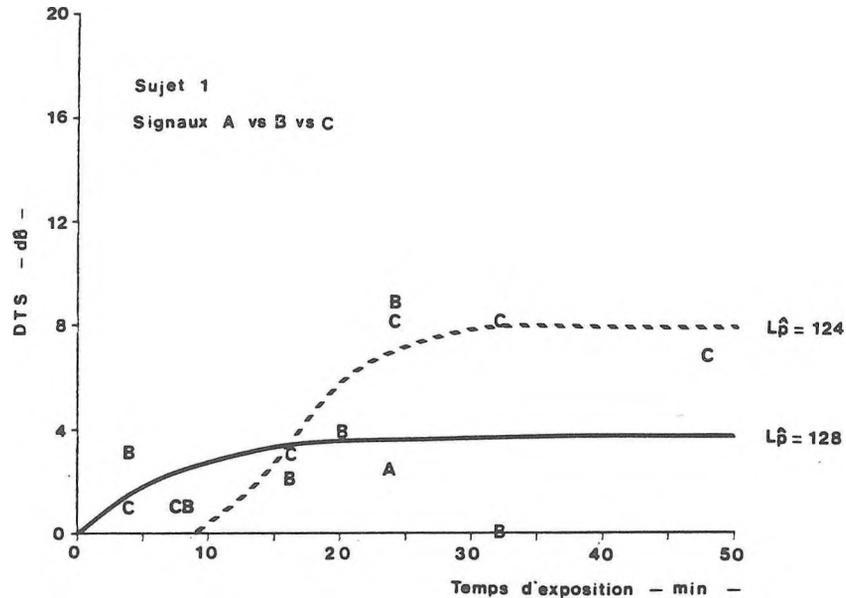


Figure 5 Comparaison des courbes d'acquisition de la fatigue auditive du sujet 1 pour les signaux A ($L_p = 136$ dB, $DAS = 3,8$ dB) et C ($L_p = 124$ dB, $DAS = 8$ dB). TTS growth curves of subject 1 for signals A ($L_p = 136$ dB), B ($L_p = 128$ dB, $ATS = 3,8$ dB) and C ($L_p = 124$ dB, $ATS = 8$ dB).

A la figure 5, l'exposition au signal C met en évidence l'atteinte d'une stabilisation après environ 30 minutes; ceci confirme la présence d'une asymptote. Dans le cas du signal B, nous avons fait face à une variabilité imprévisible, incontrôlable et inexplicable (soit 0 et 9 dB de DTS après 32 et 24 minutes d'exposition). Le niveau de pression de crête du signal A (136 dB) a induit une gêne importante mais n'a engendré que 2 dB de DTS après 24 minutes d'exposition. Pour ce sujet, l'objectif méthodologique de la mesure de l'équinoctivité n'a donc pu être atteint avec les signaux étudiés. On doit toutefois noter que le signal C (riche en hautes fréquences) est plus nocif que le signal A (riche en basses fréquences) et ce, à un niveau crête inférieur de 12 dB.

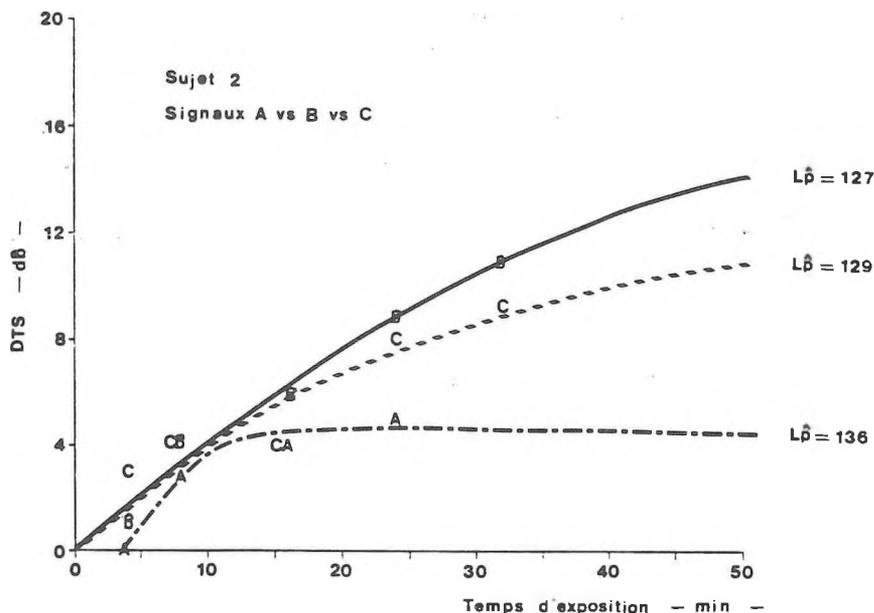


Figure 6 Comparaison des courbes d'acquisition de la fatigue auditive du sujet 2 pour les signaux A ($L\hat{p} = 136$ dB, DAS = 4,5 dB), B ($L\hat{p} = 127$ dB, DAS = 17,6 dB) et C ($L\hat{p} = 129$ dB, DAS = 12,4 dB). TTS growth curves of subject 2 for signals A ($L\hat{p} = 136$ dB, ATS = 4,5 dB), B ($L\hat{p} = 127$ dB, ATS = 17,6 dB) and C ($L\hat{p} = 129$ dB, ATS = 12,4 dB).

A la figure 6, on observe, pour le signal A, une nette stabilisation. Ce ne semble pas le cas des signaux B et C, une inflexion de la courbe n'ayant pas été obtenue. Malgré cela, on note une différence très systématique entre les effets des 3 signaux, le signal A étant considérablement moins nocif que les 2 autres.

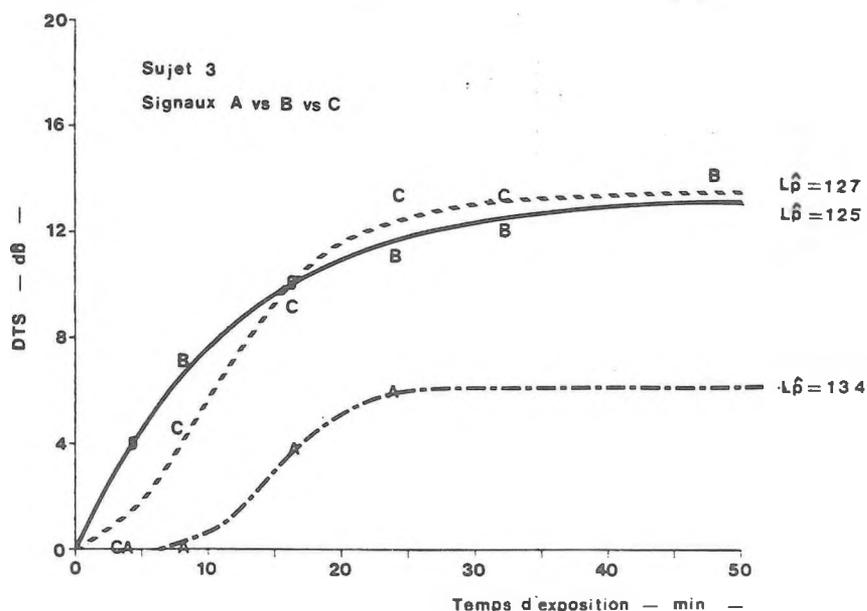


Figure 7 Comparaison des courbes d'acquisition de la fatigue auditive du sujet 3 pour les signaux A ($L\hat{p} = 134$ dB, DAS = 6,3 dB), B ($L\hat{p} = 125$ dB, DAS = 13,4 dB) et C ($L\hat{p} = 127$ dB, DAS = 13,5 dB). TTS growth curves of subject 3 for signals A ($L\hat{p} = 134$ dB, ATS = 6,3 dB), B ($L\hat{p} = 125$ dB, ATS = 13,4 dB) and C ($L\hat{p} = 127$ dB, ATS = 13,5 dB).

A la figure 7, pour les trois signaux, on observe, après environ 30 minutes d'exposition, une stabilisation du processus d'acquisition du DTS dans le temps. La présence d'un DAS est très clairement confirmée pour les signaux B et C. Le signal A a engendré un DTS de 6 dB avec un niveau de pression de crête de 134 dB, niveau maximal toléré par le sujet. Le degré de nocivité de ce signal est de beaucoup inférieur à celui des deux autres qui ont engendré un DAS supérieur de 6 dB à des niveaux crêtes inférieurs de 7 à 9 dB (soit un facteur de 5 à 8 en terme d'énergie acoustique). Par ailleurs, on note que la comparaison des effets des signaux B et C représente une excellente illustration de l'équinocivité.

CONCLUSION CONCLUSION

Les résultats de ce travail exploratoire confirment l'intérêt et l'utilité de l'approche développée pour étudier la nocivité des bruits impulsionnels. En utilisant non pas des valeurs moyennes de DTS mais bien des courbes d'acquisition du DTS, on obtient des comparaisons fiables entre les effets des différents signaux impulsionnels. Au minimum, ces comparaisons sont ordinales. Dans plusieurs cas, elles s'expriment directement en variations des paramètres physiques du bruit pour obtenir un même effet stable.

Pour généraliser l'emploi de cette méthodologie, il reste: a) à préciser les facteurs qui déterminent le temps pour atteindre l'asymptote, b) à déterminer la relation Lp-asymptote pour guider le choix des conditions à étudier et c) à mieux comprendre l'origine de la variabilité imprévisible de certains résultats (sujet 1, signal B).

REMERCIEMENTS ACKNOWLEDGEMENTS

Ce travail a été rendu possible grâce à une subvention de l'Institut de Recherche en Santé et en Sécurité du Travail du Québec (N/D RS-83-33) accordée à M. Raymond Hétu du Groupe d'Acoustique de l'Université de Montréal et à M. Jean Nicolas du Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke.

REFERENCES

- [1] COLES, R.R.A., GARINTHER, G.R., HODGE, D.C., RICE, C.G. (1968). Hazardous exposure to impulse noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 43 (2) 336-343.
- [2] CHABA (1968). Proposed damage-risk criterion for impulse noise (gunfire), National Academy of Sciences-National Research Council's Committee on Hearing, Bio-acoustics and Bio-mechanics, Report of Working Group 57, edited by W.D.Ward (Washington, D.C.)
- [3] PFANDER, F., BONGARTZ, H., BRINKMANN, H & KIETZ, H. (1980). Danger of auditory impairment from impulse noise: A comparative study of the CHABA damage-risk criteria and those of the Federal Republic of Germany. *J. Acoust. Soc. Am.*, 67(2), pp 628-633
- [4] SMOORENBURG, G.F. (1980). Damage-risk criteria for impulse noise. Report IZF 1980-26, Institute for Perception TNO, Soesterberg, The Netherlands.
- [5] PRICE, G.R. (1981). Implications of a critical level in ear for assessment of noise hazard at high intensities. *J. Acoust. Soc. Am.*, 69, 171-177.
- [6] SAWAN, M., NICOLAS, J., LEMIRE, G. (1984). Contrôle numérique des signaux impulsifs émis par un haut-parleur. Communication présentée lors du Congrès de l'Association Canadienne d'Acoustique, Québec.
- [7] SAWAN, M., LEMIRE, G., NICOLAS, J. (1985). Computerized generation of controlled impulsive noise. Proceedings of Noise-Con 85, Ohio, pp. 107-112.
- [8] NILSSON, P., ERLANDSSON, B., HAKANSON, H., IVARSSON, A., WERSALL, J. (1980). Morphological damage in the guinea pig cochlea after impulse noise and pure tone exposures. International Symposium on Effects of Impulse Noise on Hearing. Malmö, Sweden. *Scand. Aud. Suppl.* 12, pp. 155-162.
- [9] BUCK, K., LOMBARDO, D., DEVIGNE, C. (1980). Effects of continuous and impulse noise. International Symposium on effects of impulse noise on hearing, Malmö, Sweden. *Scand. Aud. Suppl.* 12, pp. 116-120.
- [10] HAMERNIK, R.P., HENDERSON, D., SALVI, R.J. (1980). Contribution of animal studies to our understanding of impulse noise-induced hearing loss. International symposium on effects of impulse noise on hearing. Malmö, Sweden. *Scand. Aud. Suppl.* 12, pp. 128-146
- [11] ROBERTO, M., HAMERNIK, R.P., SALVI, R.J., HENDERSON, D., MILONE, R. (1985). Impact noise and the equal energy hypothesis. *J. Acoust. Soc. Am.*, 77(4), pp. 1514-1520.
- [12] SAUNDERS, J.C., DEAR, S.P., SCHNEIDER, M.E. (1985). The anatomical consequences of acoustic injury: A review and tutorial. *J. Acoust. Soc. Am.*, 78 (3), pp. 833-860.
- [13] MILLS, J.H., GILBERT, R.M., ADKINS, W.Y. (1979). Temporary threshold shifts in human exposed to octave bands of noise for 16 to 24 hours. *J. Acoust. Soc. Am.*, 65(5), pp. 1238-1248
- [14] MELNICK, W. (1976). Human Asymptotic Threshold Shift. in *Effects of Noise on Hearing*, édité par Donald Henderson, Roger P. Hamernik, Dashan S. Dosanjh et John H. Mills, Raven Press, New-York, pp. 277-287.
- [15] BOHNE, B.A. (1983). Morphological changes in the inner ear following excessive exposure to noise. Actes du 11e Congrès International d'Acoustique, (Paris), Vol. 3., pp. 191-194,

- [16] BOHNE, B.A. & CLARK, W. (1982). Growth of hearing loss and cochlear lesion with increasing duration of noise exposure. In *New Perspectives on Noise Induced Hearing Loss*, edited by Roger P. Hamernik, Donald Henderson & Richard Salvi, New-York, Raven Press, pp. 283-302
- [17] HENDERSON, D., HAMENIK, R.P., HYNSON, K. (1979). Hearing loss from simulated work-week exposure to impulse noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 65 (5), pp. 1231-1237
- [18] HETU, R. et POIRIER, S. (1984). The growth of TTS as a function of the peak level and the duration of exposure to an impact noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 77, 582
- [19] HETU, R. & BOUDREAU, V. (1978). Growth of TTS as a function of the peak level of impact noises of long duration, *J. Acoust. Soc. Am.*, 64, 5109
- [20] TREMOLIERES, C. & HETU, R. (1980). A multi-parametric study of impact noise induced TTS. *J. Acoust. Soc. Am.*, 68, pp. 1652-1659
- [21] MILLS, J.H. (1976). Threshold shifts produced by a 90-day exposure to noise, in *Effects of Noise on Hearing*, edited by D.Henderson, R. Hamernik, D. Dosanj, J.Mills, Raven Press, New-York, pp.265-275.
- [22] HETU, R. et TREMOLIERES, C. (1977). Effects of temporal distribution of sound energy on temporary threshold shift produced by intermittent and varying noise exposures. *J. Acoust. Soc. Am.*, 61(5), pp. 1278-1287.
- [23] HETU, R. (1979). Critical analysis of the effectiveness of secondary prevention of occupational hearing loss. *J. Occup. Med.* 21 (4), pp. 251-254.
- [24] ROBINSON, D.W. (1960). Variability in the realization of the audiometric zero. *Ann. Occup. Hyg.*, 2, pp. 107-126.
- [25] WARD, D., SELTERS, W., GLORIG, A. (1961). Exploratory studies on temporary threshold shift from impulses. *J. Acoust. Soc. Am.*, 33, pp. 781-793.
- [26] LOEB, M., FLETCHER, J.L., BENSON, R.W. (1965). Some preliminary studies of temporary threshold shift with an arc-discharge impulse-noise generator. *J. Acoust. Soc. Am.*, 37 (2) pp. 313-318.
- [27] KRYTER, K.D. & GARINTHER, G.R. (1965). Auditory effects of acoustic impulses from firearms. *Acta-laryngologica*, Supp. 211.
- [28] HAMERNIK, R.P. & HENDERSON, D. (1974). Impulse noise trauma. *Arch. Otolaryngol.* 99, pp. 118-121.
- [29] ANSI (1969). Specifications for audiometers. ANSI specification S3.6-1969 (Revised 1973). New-York: American National Standards Institute.
- [30] HETU, R., BOUDREAU, V., BALTHAZARD, M., FONTAINE-COUTURE, F., FORTIER, P., LEMOINE, O. (1981) Protocole d'évaluation rétrospective de l'audition d'une population exposée au bruit industriel, Montréal.
- [31] NICOLAS, J., SAWAN, M., HETU, R., LAROCHE, C. Developpement of systematically controlled impulsive noise generation system, (in preparation).
- [32] PRICE, G.R. (1983). Relative hazard of weapons impulses. *J. Acoust. Soc. Am.*, 73 (2), pp. 556-566.
- [33] HUNT, R. (1982). Asymptotic functions, in *Plants Growth Curves*. University Park Press, Baltimore, Chap. 6, pp. 121-146.

Personnels de
recherche demandés

Research
personnel sought



GRUPE D'ACOUSTIQUE DE L'UNIVERSITE DE SHERBROOKE

Université de Sherbrooke, Génie mécanique
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
Téléphone (819) 821-7144 Téléc 05-836149

GAUS - un groupe dynamique d'acoustique, comprenant environ 18 professionnels, techniciens et étudiants oeuvrant dans la recherche appliquée au niveau théorique et expérimental.

EQUIPEMENTS principaux comprennent l'analyseur d'intensité B&K 3360, l'analyseur FFT bicanal B&K 2032, les ordinateurs PDP-1173, HP9816 et HP9826 et une chambre semi-anéchoïque.

RECHERCHES COURANTES

- Champs sonores en locaux - prévision, mesures et aspects subjectifs
- Intensimétrie - mesure 3D, identification des sources, représentations vectorielles
- Propagation du son à l'extérieur - mesure et prévision; effets d'écrans
- Matériaux acoustiques - l'impédance des absorbants, du sol, des toitures
- Réduction du bruit dans les domaines textiles, pâtes et papiers, embouteillage

Nous recherchons des chercheurs, des étudiants au 2^e ou 3^e cycle ou des stagiaires, pour effectuer des travaux de recherche sur les sujets ci-haut mentionnés. Les candidats intéressés devraient écrire à Monsieur Jean Nicolas, et joindre leur curriculum vitae.

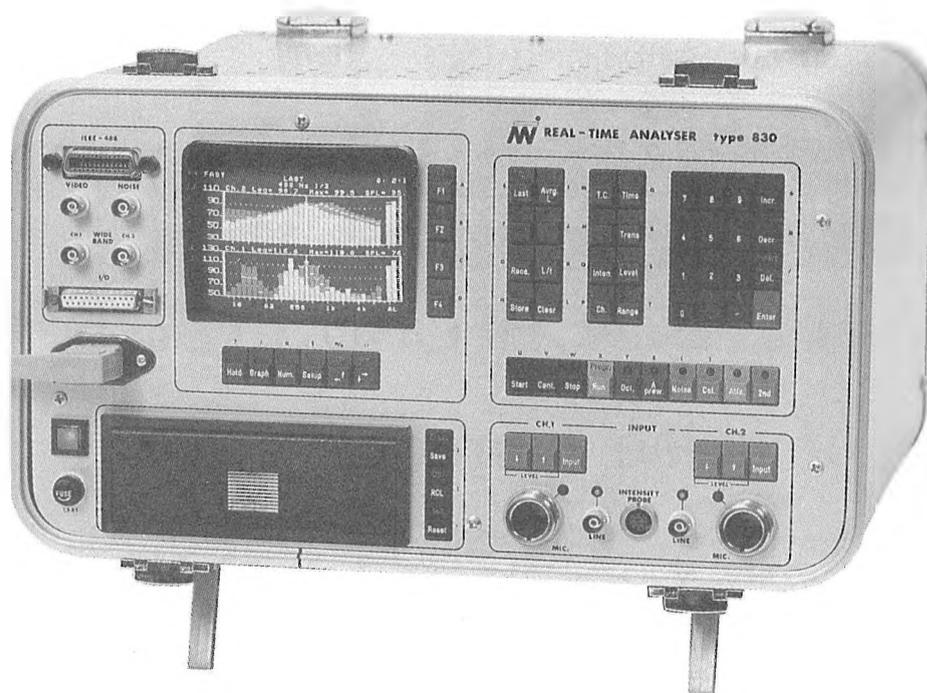
GAUS - a dynamic acoustics group, consisting of about 18 professionals, technicians and students working on theoretical and experimental, state-of-the-art, applied research.

EQUIPMENT held includes the B&K 3360 sound intensity analyser, B&K 2032 two-channel FFT analyser, PDP-1173, HP9816 and HP9826 computers and a semi-anechoic chamber.

CURRENT RESEARCH INTERESTS

- Enclosure sound fields - prediction, measurement and subjective aspects
- Sound intensity - 3D measurement, noise-source identification, vector representation
- Outdoor sound propagation - prediction and measurement; barrier insertion loss
- Acoustic materials - impedance of absorbent materials, ground, factory roofs
- Industrial noise control - textile, pulp and paper and bottling industries

Researchers, Masters or Ph.D students or summer students, are sought to work on any of the above topics. Interested candidates should write to Professor Jean Nicolas, sending a curriculum vitae. Non-francophone applicants are welcomed - supervision may be in English though courses are in French. Applicants should have some knowledge of French and be willing to integrate into this mainly Francophone group and milieu.



The Norwegian Electronics Type 830 Real-Time Analyzer is owned by many of the largest and highly regarded Acoustical Labs in the free-world

WHY NOT THE BEST?

The reasons are clear:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Digital filters | <input checked="" type="checkbox"/> 0,8 Hz to 20 kHz and higher |
| <input checked="" type="checkbox"/> 1/1 or 1/3 octave analysis | <input checked="" type="checkbox"/> True dual channel capability |
| <input checked="" type="checkbox"/> 80 dB dynamic range | <input checked="" type="checkbox"/> Sophisticated trigger facilities |
| <input checked="" type="checkbox"/> Internal storage | <input checked="" type="checkbox"/> Small, rugged and portable |
| <input checked="" type="checkbox"/> Self contained | <input checked="" type="checkbox"/> Color video output |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sound intensity | <input checked="" type="checkbox"/> Printer output |
| <input checked="" type="checkbox"/> Reverberation time | <input checked="" type="checkbox"/> 12 months warranty |
| <input checked="" type="checkbox"/> IEEE-488 and RS-232 interfaces | <input checked="" type="checkbox"/> Support and service |
| <input checked="" type="checkbox"/> Internal Basic | <input checked="" type="checkbox"/> Future options |
| <input checked="" type="checkbox"/> Upgradable | <input checked="" type="checkbox"/> Sound intensity mapping software |

Contact us for more information

W SCANTEK INC.

1559 Rockville Pike, Rockville, MD 20852. (301) 468-3502
Subsidiary of Norwegian Electronics a.s. Representatives throughout North America.

State-of-the-art instrumentation