



# AUDIO DEMO 3

## Le plaisir d'écouter

Documentation complémentaire

**suvaPro**

Le travail en sécurité

# AUDIO DEMO 3

## Introduction

- 1 Bande annonce
- 2 Après le concert
- 3 Mauvais réveil

## Notions d'acoustique

### Fréquence

- 4 Balayage 50-20'000 Hz à amplitude constante
- 5 Comme n° 4, mais niveau constant en dB(A)
- 6 Sinus 63, 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k, 8k, 16 kHz
- 7 Orgue d'église: du son le + bas au + élevé
- 8 Modulations de fréquence
- 9 Battements
- 10 Différences de fréquences: 750 / 750...765 Hz
- 11 Intervalle de sons: d'octave à petite seconde
- 12 Effet Doppler

### Niveau sonore

- 13 Modulations en amplitude
- 14 Différences de niv. (0/+1/0/+3/0/+6/0/+10/0 dB)
- 15 Différences de niveaux (son sinusoïdal chute à 0/0.5/1/2/3/6/10/20/40/60 dB en son milieu)
- 16 Addition de niveaux sonores (1/2/4 sources)
- 17 Addition de niveaux sonores: 80+85 dB=86 dB
- 18 Niveaux sonores quotidiens
- 19 D'une goutte aux chutes du Rhin
- 21 Du chuchotement au cri \*

### Spectre

- 23 Du sinus au rectangle
- 24 Du sinus au son composé harmonique
- 25 Son de l'orgue, doux
- 26 Son de l'orgue, aigu
- 27 Mélodie jouée à l'orgue, un registre
- 28 Mélodie jouée à l'orgue, tous les registres
- 29 Addition de registres pendant un son

### Enveloppe et timbre

- 30 Violoncelle: joué et cordes pincées
- 31 Synthétiseur: son composé, divers instruments
- 32 Flûte de Pan: son composé avec bruit

## Perception sonore

### Tests auditifs (canal gauche seul)

- 33 Niveau de référence 75 dB(A) pour n° 34/35
- 34 Test auditif (500 Hz à 12 kHz)
- 35 Test auditif des aigus

### Psychoacoustique

- 36 Impulsions sinusoïdales en bruit
- 37 Localisation selon la différence de temps
- 38 Bruit strident / son composé harmonique \*
- 39 Bruit à large bande / à bande étroite \*
- 40 Bruit à basse fréquence / fréquence moyenne \*
- \* tous les bruits avec le même niveau sonore en dB(A)
- 41 2ème son paraît + fort malgré - 3 dB(A)
- 42 7 bruits à niveau sonore en dB(A) constant

## Protecteurs d'ouïe (PO)

- 43 Hélicoptère et scie circulaire: 1 sans PO, 2 tampons auriculaires en mousse, 3 Ultrafit
- 44 Musique: 1 sans PO, 2 avec tampons auriculaires en mousse, 3 Ultrafit, 4 PO pour musiciens
- 45 Sonnette de battage et conversation: 1 sans PO, 2/3 PO actif "off"/"on", 4 PO actif ancien modèle "on"
- 46 Hélicoptère et sonnette de battage: PO système "antibruit" (ANC) fermé "on"/"off"

## Dommages auditifs simulés \*

- 52 Au restaurant <sup>1</sup>
- 53 Discussion dans une salle de classe <sup>2</sup>
- 54 Discussion sur le lieu de pause <sup>2</sup>
- 55 Bulletin météo <sup>1</sup>
- 60 Bulletin météo (rhéto-romanche) <sup>1</sup>
- 61 The warm-up <sup>3</sup>
- 62 Blues <sup>3</sup>
- 63 Instruments à vent <sup>3</sup>
- 64 Musique ancienne <sup>3</sup>
- 65 Orgue <sup>3</sup>
- 66 Fanfare <sup>1</sup>

<sup>1</sup> dommage moyen (-35%) - normal

<sup>2</sup> dommage grave - faible - aucun dommage

<sup>3</sup> alternance aucun dommage / dommage moyen

## Images sonores

- 67 Sirènes d'alarme
- 68 Une journée au ski (Lenzerheide)
- 69 Orage
- 70 Aéroport de Zurich
- 71 Matin dans l'Elgenthal
- 72 Dimanche matin à la périphérie de Zurich
- 73 Promenade de la campagne en forêt (Horw)
- 74 Nuit: pâturages et marais (Hausen a. A.)
- 76 Aperçu de l'acoustique des locaux \*

## Lutte contre le bruit

- 78 Effet d'une enceinte (couverture mis / enlevé)
- 79 Buse bruyante / silencieuse, performance égale
- 80 Auto à 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 km/h
- 81 Autoroute: devant / derrière l'écran antibruit

## Bruit au poste de travail

- 82 Toutes les branches
- 83 Construction
- 84 Construction de voies ferrées
- 85 Industrie métallurgique
- 86 Economie forestière et agriculture
- 87 Travail du bois
- 88 Industrie textile
- 89 Transport
- 90 Bureaux

## Divers

- 91 Pas
- 92 Sports
- 93 Véhicules sur rails
- 94 Crépitements d'un feu
- 95 Chien turbulent

## Signaux de mesure et de test

- 96 Bruit rose non corrélé (stéréo)
- 97 Bruit rose corrélé (mono)
- 98 Sinus 1 kHz, niveau maximal
- 99 Test de canal (gauche / droite)

\* Version allemande et italienne dans les morceaux précédents, resp. suivants, cf. table des matières allemande ou italienne

CD "AUDIO DEMO 3": © Suva 1997, n° 89051  
Cette documentation : © Suva 1997, n° 86905.f

Suva, protection de la santé  
Secteur physique, case postale, 6002 Luzern  
Tél. 041 419 54 22, fax 041 419 57 57

# AUDIO DEMO 3 - Le plaisir d'écouter!

## Avant-propos

N'êtes-vous pas impressionné par la multitude de bruits, de sons et de mélodies que nous pouvons percevoir? De la mouche qui vole à l'avion à réaction en passant par la goutte d'eau et les chutes du Rhin, savez-vous que l'ouïe, avec son importante dynamique et sa rapide capacité d'analyse, ne peut pas être égalée techniquement? Si nous parvenons à vous captiver vous et vos élèves en vous faisant découvrir toutes les facettes de l'ouïe, nous aurons alors atteint un objectif important: en effet, celui qui sait à quel point l'ouïe est précieuse en prend soin et la protège.

Nous vous souhaitons à tous beaucoup de plaisir et de divertissement.

## Mieux vaut prévenir que ne pas pouvoir guérir...

Une personne atteinte d'une lésion de l'ouïe souffre. Ce n'est pas uniquement le plaisir d'écouter qui disparaît; en effet, une capacité auditive réduite rend la communication plus difficile, voire impossible. Les signaux d'alerte de notre environnement quotidien sont réduits au silence, tout comme le gazouillis matinal des oiseaux. Le monde devient sourd et vide; tout au plus un tinnitus (sifflement ou bourdonnement) fait-il office de bruit de fond permanent.

Malheureusement, les dommages auditifs de l'oreille interne sont irréversibles. Une telle lésion ne se traduit pas seulement par une écoute confuse - on pourrait éventuellement y remédier techniquement; elle occasionne également la perte d'importants mécanismes de régulation. Dans le cas de graves dommages auditifs, l'écart entre le seuil d'audition et la douleur est faible. Les conversations, le bruit et la musique deviennent une torture.

Faute de pouvoir guérir, il existe des mesures de prévention à des prix abordables.

## Concernant l'AUDIO DEMO 3 et cette brochure d'accompagnement

Le CD est divisé en 10 sections thématiques, dont certaines comprennent des sous-chapitres. Vous savez ainsi à quel domaine de connaissance appartient chaque morceau (numéro sur le CD).

Chaque rubrique débute par des **objectifs** expliquant l'intérêt que cette prise de son représente à nos yeux. Vous pouvez naturellement utiliser ces sons dans d'autres situations.

Sous la rubrique "**Info**", vous trouverez des explications générales sur chaque thème et morceau. La rubrique "**Réalisation**" vous donne des informations détaillées, notamment sur l'enregistrement.

Les => renvoient à d'autres morceaux avec un objectif ou un contenu similaire. Vous trouverez également des renvois aux publications Suva "**Musique et troubles de l'ouïe**" {1}, "**Dangers du bruit pour l'ouïe à l'emplacement de travail**" {2}, "**Nuisances sonores à l'emplacement de travail**" {3} et à l'ouvrage "**Klang, Musik mit den Ohren der Physik**" {4} des éditions Spektrum-Verlag.

# Introduction

## Objectif:

- Préliminaires sur les thèmes de l'audition et de l'ouïe

{1} page 3 / {2}: pages 28-30

## 1 Bande annonce "Le monde de l'audition"

### Contenu:

Ce CD se compose de musique rythmique avec des bruits de toutes sortes.

### Info:

Les bruits sont les suivants (ordre approximatif):

pendule - claquements de doigts - chronomètre - démo - sinus - test - marteau piqueur - démo - modulation de fréquence - test - sonnette de battage - voiture avec klaxon - balayage en bande étroite - poinçonneuse - train rapide - métier mécanique - paon - chien - poinçonneuse - sonnerie de téléphone - tronçonneuse - klaxon - scie circulaire - coucou.

## 2 Après le concert

### Objectifs:

- Sensibiliser au problème des concerts à fort niveau sonore
- Connaître les signaux d'alerte donnés par l'ouïe après une exposition excessive

### Contenu:

Simulation d'un assourdissement passager de l'ouïe: foule qui bavarde joyeusement, puis bruits de la circulation

### Info:

Lors d'un assourdissement passager (TTS), les cellules auditives dans la cochlée manquent cruellement d'énergie. Elles remplissent leur fonction de façon insuffisante, de sorte que le seuil d'audition augmente pour les fréquences concernées. Si l'ouïe est exposée durablement à cette situation, les cellules auditives peuvent toutes mourir, ce qui entraînerait alors une lésion permanente de l'ouïe => dommages auditifs simulés [47-66]. Toutefois, si l'on accorde suffisamment de repos à l'ouïe (des heures, voire des jours), elle pourra souvent se rétablir totalement.

### Réalisation:

Pour cette simulation, les fréquences moyennes ont été abaissées de 40 dB. Le préjudice principal se situe à 4 kHz. Cela n'a pratiquement aucune influence sur les fréquences les plus élevées.

A cela vient s'ajouter un acouphène; à vrai dire, on ne l'a pas encore remarqué dans l'environnement bruyant.

## 3 Mauvais réveil

### Objectifs:

- Savoir ce que l'on entend par acouphène
- Percevoir la portée d'un tel dommage

### Contenu:

Le réveil sonne. Le spectateur du concert se réveille et entend un sifflement particulièrement déplaisant dans ses oreilles.

### Info:

En cas de tinnitus (acouphène), les cellules auditives envoient des impulsions nerveuses sans stimulation acoustique correspondante. La personne concernée entend alors des bruits, tels que des sifflements, des bruissements, des sonneries, des gazouillis, etc. Des acouphènes peu puissants sont très fréquents. Ils peuvent apparaître suite à des applaudissements, de la musique forte ou lors de situations de stress et d'épuisement. Les bruits sont souvent comparés au sifflement d'une télévision ou aux bruits d'un réfrigérateur. Un acouphène peut cependant être tellement fort qu'on l'entend constamment; il finit presque par rendre folle la personne concernée. A l'heure actuelle, les acouphènes ne peuvent pas être guéris.

### Réalisation:

L'acouphène utilisé mélange cinq sons sinusoïdaux avec des fréquences de 6 kHz et un bruissement à bande étroite. Nous avons tenté de reproduire une simulation aussi proche que possible des descriptions faites par les personnes concernées.

# Notions d'acoustique

## Objectif:

- Connaître les paramètres physiques du son

## Info:

Ce chapitre vous entraîne progressivement dans le monde des sons composés. Chaque sous-chapitre traite d'un paramètre physique nécessaire à la production d'un son composé. Vous découvrirez tout d'abord la fréquence, puis le niveau sonore et le spectre, pour enfin arriver à l'évolution temporelle des sons. Une combinaison particulière de tous ces paramètres donne à chaque instrument et à chaque voix son caractère propre.

Le contenu de ce chapitre (notamment pour ce qui est du niveau sonore) se retrouve dans le sous-chapitre => psychoacoustique (perception sonore) [38-42]. Si vous ne trouvez pas votre bonheur ici, consultez ce sous-chapitre.

*Musique et troubles de l'ouïe: pages 5-7*

## Fréquence

### Objectif:

- Découvrir le lien entre fréquence et perception de hauteur d'un son

### Contenu:

Sons sinusoïdaux et sons composés. Bruits à large bande: voir spectre

### Info:

Si de l'air fait, p. ex., vibrer régulièrement un instrument ou une machine, ces vibrations vont se propager en ondes sonores. Le temps qui s'écoule entre deux vibrations est appelé période.

La fréquence représente le nombre de périodes en une seconde; elle est indiquée en **hertz**. Le hertz est l'unité  $s^{-1}$  ("par seconde") et correspond à la valeur inverse à la durée de la période:  $f = 1/T$ .

Notre ouïe peut percevoir des vibrations dans une gamme de fréquences de 20 à 20'000 Hz. Nous percevons les vibrations à haute fréquence comme des sons aigus; celles à basse fréquence, comme des sons graves. On désigne par ultrasons les sons avec des fréquences supérieures à 20 kHz et par infrasons ceux avec des fréquences inférieures à 20 Hz.

## 4 Balayage 50-20'000 Hz à amplitude constante

### Objectifs:

- Percevoir (presque) toute la gamme des fréquences audibles
- Découvrir la perception des sonies en fonction de la fréquence

### Contenu:

Son sinusoïdal dont la fréquence augmente continuellement de 50 à 20'000 Hz. L'amplitude reste constante. Les interruptions audibles indiquent les fréquences 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz.

### Info:

Le balayage a été généré électroniquement, sur ordinateur (=> explication du procédé dans "Modulations de fréquence "[8]). La fréquence augmente de façon logarithmique dans le temps. Cela a été adapté à la méthode de travail de notre oreille: nous percevons un son comme régulièrement croissant lorsque le déroulement d'une octave dure toujours aussi longtemps.

A amplitude constante, la perception des sonies dépend de la fréquence du son. L'ouïe est relativement insensible dans la gamme des sons graves inférieurs à 250 Hz. Compte tenu de la résonance dans le conduit auditif, la sensibilité maximale est atteinte à 4 kHz - le son sinusoïdal est presque insupportable. A 5 kHz, la sensibilité diminue un peu. On observe de nouveau une résonance du conduit auditif dans la gamme comprise entre 6-8 kHz; ensuite, la sensibilité diminue constamment et le son disparaît totalement. Les enfants peuvent parfois entendre jusqu'à 22 kHz; à l'âge adulte, la fréquence limite supérieure baisse.

*figure 4, p 9 {1}; figure 31, p 26 {2}; figure 7, p 12 {3}*

=> Test auditif des aiguës [35]

=> Perception sonore [33-42]

## 5 Balayage 50-20'000 Hz, niveau constant en dB(A)

### Objectifs:

- Voir n° 4
- Découvrir si la sonie ressentie reste la même et si non, où elle est différente

### Contenu:

Son sinusoïdal dont la fréquence augmente continuellement de 50 à 20'000 Hz. Le niveau en dB(A) reste constant. Les interruptions audibles indiquent les fréquences 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz.

### Info:

Le filtre A pondère les différentes fréquences de façon à ce que les sons puissent être ressentis comme étant aussi forts les uns que les autres pour un même niveau en dB(A). Le filtre dB(A) date des années 50 et constitue donc une importante simplification de la courbe pour une même perception des sonies (courbe isophone). L'effet se produit très tôt si vous effectuez doucement le balayage (juste au-dessus du seuil d'audition). Sinon les sons graves sont trop élevés, car le filtre A diminue ici très fortement.

Lorsqu'il existe un risque de dommages auditifs (ceux-ci ne dépendent pas de la sensibilité), le filtre A est approprié, même pour des niveaux sonores élevés.

=> Niveau sonore [13-20]

=> Bruits avec le même niveau en dB(A) [38-42]

## 6 Sons sinusoïdaux par octave: 63 - 16 kHz

### Objectifs:

- Pouvoir classer l'un par rapport à l'autre fréquence (= mesure physique) et hauteur de son (= perception)
- Autres applications, telles que mesurer, tester, afficher sur l'oscilloscope, etc.

### Contenu:

Sons sinusoïdaux de 3 secondes chacun environ: 63, 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k, 8k, 16 kHz

### Réalisation:

Les sons ont été créés sur un oscillateur à basses fréquences Brüel&Kjær. Ils apparaissent et disparaissent progressivement pour éviter tout grésillement.

## 7 Orgue d'église: du son le plus bas au plus élevé

### Objectifs:

- Connaître l'instrument avec le plus grand domaine de fréquence
- Comprendre le lien entre la taille des tuyaux et leur fréquence

### Contenu:

Du son le plus grave au plus aigu par tiers d'octave

### Info:

L'orgue de l'église catholique de Mettmnenstetten est plutôt petit. Il possède toutefois un registre remarquable: le do le plus bas est 3 octaves et 5 tons entiers en-dessous du diapason et a une fréquence de 32,7 Hz. Le son le plus haut - le sol de 4 octaves - se situe à 6280 Hz.

### Réalisation:

On fait vibrer la colonne d'air à l'intérieur d'un tuyau de l'orgue. Plus le tuyau est long, plus le son sera bas. Il s'agit la plupart du temps de tuyaux couverts, c'est-à-dire fermés à une extrémité. A cette extrémité, l'air ne bouge pas, tandis qu'il vibre du côté où le tuyau est ouvert. La longueur d'un tel tuyau correspond approximativement à un quart de la longueur d'onde d'une vibration (pour plus de précision, voir {4}).

On peut calculer la longueur d'un tuyau avec la formule *longueur d'onde = vitesse du son / fréquence*. Le tuyau d'orgue au son le plus bas mesure environ 2,6 mètres; celui au son le plus haut, quelques centimètres.

Observez le temps nécessaire au premier son (le plus grave) pour retentir sans variation. L'entrée de l'air dans les tuyaux produit certains sons harmoniques; ils disparaissent avec le temps, compte tenu des mauvaises conditions de résonance. Plus les sons sont élevés, plus vite ils se stabilisent.

=> Balayage [4/5]

## 8 Modulations de fréquence

### Objectifs:

- Associer les changements de fréquence avec la perception correspondante
- Saisir l'ampleur de la modulation

### Contenu:

1. Son sans modulation 440 Hz
2. Son sinusoïdal faiblement modulé (+/- 1 demi-ton, modulation de fréquence: 1 Hz)
3. Son sinusoïdal fortement modulé (+/- 1 octave, modulation de fréquence: 1 Hz)
4. Modulation lente (+/- 2 demi-tons, modulation de fréquence: 0,25 Hz)
5. Modulation rapide (gamme de modulation: +/- 2 demi-tons, modulation de fréquence: 4 Hz)

### Info:

Les sons ont été produits électroniquement. La fréquence des sons modulés change périodiquement, dans la gamme donnée. Cette modification du paramètre d'une vibration par un autre est appelée modulation (dans notre exemple, il s'agit de vibrations sinusoïdales entre 0,25 et 4 Hz).

### Réalisation:

Cette modulation a été créée par ordinateur de sorte que de très petites séquences de la vibration soient jouées plus ou moins rapidement selon un facteur donné. Par exemple, pour obtenir une fréquence en hausse constante, on aligne de très nombreuses petites séquences et on augmente en continu la vitesse de défilement. Lors de modulations, la fréquence est augmentée, réduite, augmentée, réduite, augmentée, réduite, etc., en alternance.

On peut obtenir le même effet en augmentant et réduisant alternativement la vitesse de rotation d'un tourne-disques (analogique).

Les modulations sont très utilisées dans le domaine technique. En technique de radiodiffusion, on module en amplitude, resp. en fréquence, des ondes électromagnétiques (de quelque 100 kHz pour les ondes longues jusqu'à des gigahertz pour les transmissions par satellite). La modulation de phase est également utilisée en vidéo. Pour retransmettre la couleur dans une image vidéo, on déplace la relation des phases d'une vibration par rapport à une vibration de référence.

=> Modulations en amplitude [13]

## 9 Battements

### Objectif:

- Connaître et identifier des battements

### Contenu:

Deux sons sinusoïdaux sur le canal gauche et le canal droit. Les fréquences des deux sons divergent de plus en plus l'une de l'autre.

### Info:

Si les fréquences de deux sons sinusoïdaux sont proches l'une de l'autre, on entend un battement.

### Réalisation:

Si l'on produit en même temps deux sons purs avec des fréquences différentes, on aura trois perceptions possibles:

- battement (interférence). Cela survient lorsque les deux fréquences se situent dans la même "bande critique" de l'ouïe.
- son "brut"; les fréquences sont encore très proches l'une de l'autre;
- deux sons différents. C'est le cas lorsque les fréquences sont relativement éloignées.

Un battement varie avec la différence de fréquences des deux sons.

Les battements proviennent du fait que la relation des phases ("crête de l'onde, noeud, creux de l'onde") des deux sons change continuellement. Lorsque les deux vibrations sont en phase, leur amplitude s'additionne (pressions sonores). Si les phases sont opposées à 180 degrés, les deux ondes sonores s'annulent à amplitude égale. En fin de compte, nous entendons un son dont la sonie augmente et diminue, comme dans le morceau => "modulations en amplitude" [13].

## 10 Différences de fréquences

### Objectif:

- Déterminer à partir de quel rapport de fréquence deux sons sont perçus comme étant de hauteur différente

### Contenu:

16 paires de sons sinusoïdaux. Le premier son d'une paire a toujours une fréquence de 750 Hz. La fréquence du deuxième son augmente d'un hertz à chaque fois. La fréquence de départ du deuxième son est de 750 Hz; celle de fin, de 765 Hz.

### Info:

La résolution par fréquence de l'ouïe est certes exceptionnellement bonne; elle n'est cependant pas illimitée. Ainsi, des sons purs dont les fréquences sont suffisamment proches seront perçus comme un seul et même son. L'auditeur doit découvrir si le deuxième son monte ou descend et à partir de quelle paire de sons la différence se remarque.

### Réalisation:

Afin de pouvoir travailler avec des unités plus petites que les demi-tons (1 octave = 12 demi-tons), on a introduit l'unité *centième*. Un centième équivaut au centième d'un demi-ton. Tout comme les intervalles basés sur des demi-tons (octave, quinte, quarte, etc.), le centième décrit le rapport de deux fréquences et non leur différence.

Pour monter un son d'un demi-ton, on multiplie sa fréquence par  $^{12}\sqrt{2} = 1,059$ . Après 12 multiplications de ce type, on obtient une octave, soit la fréquence doublée.

Pour monter un son d'un centième, on multiplie sa fréquence par  $^{100}\sqrt{1,059} = 1,000577789507$ . Après 100 multiplications, le son est augmenté d'un demi-ton; après un total de 1200 multiplications, on atteint de nouveau une octave.

Dans le meilleur des cas, notre oreille peut percevoir des différences d'environ 3 centièmes. Cette précision énorme est atteinte à 2000 Hz, pour des niveaux d'écoute supérieurs à 30 dB(A) {4}. A 750 Hz, 6-7 centièmes, soit 3 Hz, devraient pouvoir être distingués (si non, ne soyez pas déçus!). La quatrième paire de sons présente cette différence de hauteur de son.

Un morceau similaire existe pour l'amplitude: "différences de niveaux" [14/15].

## 11 Intervalle de sons: d'octave à petite seconde

### Objectifs:

- Connaître le lien entre le comportement sonore et la perception de l'harmonie
- Découvrir que les rapports des fréquences sont déterminants, pas les fréquences absolues

### Contenu:

Son sinusoïdal 440 Hz, octave (1:2), quinte (2:3), quarte (3:4), grande tierce (4:5), petite tierce (5:6), grande seconde (8:9), petite seconde (15:16)

### Info:

Pythagore a montré que des sons harmoniques étaient produits lorsque l'on fait vibrer des cordes dont les longueurs sont proches en rapports entiers. Plus le rapport des longueurs de cordes est compliqué, plus l'intervalle sonnera de façon dissonante.

### Réalisation:

Ces sons sinusoïdaux ont également été créés par ordinateur. La fréquence de base est de 440 Hz. Un son supérieur d'une octave a donc une fréquence de 880 Hz. Les autres fréquences de chaque deuxième son dans l'intervalle s'élèvent à: 600 Hz, 587,2 Hz, 550 Hz, 528 Hz, 495 Hz et 469 Hz.

Si vous vous intéressez aux différentes gammes des instruments, nous vous recommandons le livre des éditions Spektrum-Verlag {4} "Klang, Musik mit den Ohren der Physik".



## 12 Effet Doppler

### Objectif:

- Connaître l'effet Doppler et le reconnaître au quotidien

### Contenu:

Voiture qui passe rapidement et klaxonne

### Info:

L'effet Doppler augmente la fréquence perçue, p. ex. lorsqu'un klaxon se déplace vers l'oreille (ou l'oreille vers le son). La fréquence diminue de façon analogue lorsque le klaxon s'éloigne de l'oreille (ou l'oreille du klaxon). Plus la source sonore se déplace vite, plus l'effet est prononcé.

### Réalisation:

Pour la représentation imagée de l'effet Doppler, il faut tenir compte des considérations suivantes: imaginez que la fréquence perçue correspond au nombre d'ondes sonores qui parviennent à l'oreille par seconde. Notre klaxon a une fréquence d'environ 1000 Hz; il émet donc 1000 ondes sonores par seconde. Celles-ci filent dans l'air à une vitesse de 340 m/s et parviennent à votre oreille peu de temps après. Si, maintenant, le klaxon se déplace vers vous, plus d'ondes sonores vous atteignent par seconde: la fréquence augmente (à 1115 Hz, dans notre cas). Inversement, elle diminue, si le klaxon s'éloigne de vous (ici, 951 Hz).

Voilà encore de quoi vous désorienter: pour calculer la fréquence, il faut savoir si l'émetteur ou le récepteur bouge. Ceci contredit probablement vos idées sur la relativité; il faut toutefois tenir compte du fait que l'air est considéré comme stationnaire, c'est-à-dire comme un point de référence. Si vous vous éloignez de la source sonore à la vitesse du son, vous n'entendrez plus rien provenant de la source sonore. Si la source sonore s'éloigne de vous à la vitesse du son, vous continuerez à entendre le son, mais avec une fréquence réduite de moitié.

## Niveaux sonores

### Objectifs:

- Pouvoir entendre et classer approximativement différents niveaux sonores
- Se fier aux mesures de bruit et à la grandeur dB(A)
- Connaître la différence entre dB et dB(A)

### Pression sonore

Par sons audibles, on désigne les variations de pression atmosphérique avec des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz => fréquence. La **pression sonore** indique l'ampleur des variations; elle est mesurée en Pa (pascal). Par rapport à la pression atmosphérique, les pressions sonores sont très petites. Lors d'une conversation normale, des pressions sonores maximales d'un pascal environ parviennent à votre oreille. Pour comparaison, la pression atmosphérique (statique) normale est d'environ 100'000 Pa. Comme la pression atmosphérique (statique) agit de façon similaire sur les faces externe et interne du tympan (compensation via la trompe d'Eustache), elle n'exerce aucune influence sur l'écoute.

### Niveau de pression acoustique

Notre ouïe peut percevoir des pressions acoustique dans un domaine extrêmement étendu, de 20  $\mu$ Pa (seuil d'audition) à 20 Pa (limite de la douleur). Cela correspond à un rapport de 1:1'000'000 - une performance extraordinaire! Toutefois, ces données ne sont pas d'une exploitation aisée et ne correspondent en aucune façon à la perception humaine de l'intensité sonore. L'introduction du niveau de pression acoustique (ou niveau sonore) en décibels (dB) permet de restreindre ce très vaste domaine de valeurs. Le niveau sonore est un logarithme exprimant le rapport entre la pression acoustique mesurée et la pression acoustique de référence. Celle-ci a été fixée à 20  $\mu$ Pa, ce qui correspond à peu près au seuil d'audition pour 1 kHz. Le niveau sonore est calculé comme suit: **niveau sonore L = 20 log (pression sonore/pression acoustique de référence)**.

En clair, notre ouïe peut percevoir des niveaux sonores compris entre 0 et 120 dB - une gamme commode à manier! Comme notre ouïe travaille de façon presque logarithmique (les autres organes des sens aussi), il en résulte une meilleure concordance avec la perception de l'intensité sonore: nous percevons toujours une augmentation du niveau sonore de 10 dB comme un doublement de l'intensité.

Cependant, les niveaux sonores ont un inconvénient: ils ne s'additionnent pas facilement. Dans le cas de deux sources sonores (indépendantes), ce sont en fait leurs puissances acoustiques qui s'additionnent, celles-ci étant proportionnelles au carré de la pression acoustique. Pour doubler la puissance acoustique, il suffit de multiplier la pression acoustique par un facteur  $\sqrt{2}$ .

Vous devriez connaître les rapports suivants:

- **Doublement de la puissance acoustique:** + 3 dB (car  $20 \cdot \log[\sqrt{2}] = 3,01$ )
- **Doublement de la pression acoustique:** + 6 dB (car  $20 \cdot \log[2] = 6,02$ )
- **Décuplement de la puissance acoustique:** + 10 dB (car  $20 \cdot \log[\sqrt{10}] = 10$ )
- **Décuplement de la pression acoustique:** + 20 dB (car  $20 \cdot \log[10] = 20$ )

On peut ainsi calculer presque tous les rapports. Par exemple, multiplier par 20 la puissance acoustique ( $2 \times 10$ ) équivaut à augmenter le niveau sonore de  $10 + 3 = 13$  dB.

On utilise les formules pour les puissances acoustiques dans le cas de plusieurs sources sonores ou lorsque la puissance d'une installation musicale est augmentée. On utilise les formules pour la pression acoustique lorsque, p. ex., la membrane du haut-parleur est déviée deux fois plus fortement, c'est-à-dire quand on double la tension alternative au niveau du haut-parleur.

### L'évaluation en dB(A)

Notre ouïe ne perçoit pas de façon identique toutes les fréquences. Le filtre A a été développé afin d'adapter les mesures de bruit à notre ouïe. Il diminue les graves et les aigus avant la mesure, conformément à la sensibilité de l'oreille. Ainsi, la valeur mesurée est plus proche de notre perception. Les valeurs dB(A) peuvent être maniées et additionnées comme des valeurs dB normales.

=> "Balayage avec niveau constant en dB(A)" [5]

=> Psychoacoustique [38-42]

## 13 Modulations en amplitude

### Objectif:

- Associer le changement d'amplitude à la perception auditive correspondante

### Contenu:

1. Son sinusoïdal 750 Hz, amplitude constante
2. Son sinusoïdal 750 Hz, faiblement modulé: +0, -6 dB, fréquence de modulation: 1 Hz
3. Son sinusoïdal 750 Hz, fortement modulé: +0, -30 dB, fréquence de modulation: 1 Hz
4. Son sinusoïdal 750 Hz, lentement modulé: +0, -20 dB, fréquence de modulation: 0,25 Hz
5. Son sinusoïdal 750 Hz, rapidement modulé: 0+, -20 dB, fréquence de modulation: 4 Hz

### Info:

Par rapport au son de référence (1.), les sons sont périodiquement abaissés à la valeur dB donnée. Ces diminutions s'effectuent de façon linéaire en fonction des valeurs dB.

### Réalisation:

Comparez ce morceau à celui intitulé => "modulations de fréquence" [8]. Grâce à ces modulations, vous entendez immédiatement ce que sont l'amplitude et la fréquence. Notre ouïe réagit plus sensiblement aux changements de fréquences qu'aux modifications d'intensités sonores. Une modulation de fréquence de +/- un demi-ton est déjà nettement audible. Elle correspond à un changement de fréquence de 12%. Une modulation en amplitude de 6 dB correspond à une multiplication par 4 de la puissance acoustique (soit à une amplitude affectée d'un facteur 2) et n'est pas particulièrement ressentie comme forte.

Ceci est particulièrement utile, car un bruit ou une voix doit pouvoir être distingué(e) quels que soient sa distance par rapport à l'oreille et son niveau sonore.

## 14 Différences de niveaux (0/+1/0/+3/0/+6/0/+10/0 dB)

### Objectif:

- Obtenir un aperçu des différences de niveaux

### Contenu:

Son répété d'un orgue électronique, dont le niveau présente les valeurs relatives suivantes par rapport au premier niveau:

0, +1, 0, +3, 0, +6, 0, +10, 0 dB

### Info:

Notre ouïe s'adapte rapidement aux niveaux sonores constatés. Les différences de niveaux nous semblent plus fortes si nous entendons les deux niveaux directement l'un derrière l'autre.

### Réalisation:

Les indications de niveaux susmentionnées ne doivent pas être confondues avec des niveaux sonores absolus. Il s'agit d'indications de niveaux *relatives* par rapport au premier niveau!

## 15 Différences de niveaux 0 à 60 dB

### Objectif:

- Connaître la sensibilité de son ouïe en fonction des différences d'intensité sonore

### Contenu:

Sons sinusoïdaux avec une fréquence de 750 Hz et des diminutions d'amplitude de: -0,5 dB, -1 dB, -2 dB, -3 dB, -6 dB, -10 dB, -20 dB, -40 dB, -60 dB

### Info:

Le premier son sinusoïdal ne faiblit pas. Dès le deuxième son, tous sont composés de trois parties: la première ne diminue pas; la deuxième baisse à la valeur indiquée ci-dessus et la troisième ne présente pas de diminution. Cela permet une comparaison directe entre un signal entier et un signal affaibli.

### Réalisation:

La remarque concernant les indications de niveaux du morceau 14 s'applique également ici (pas de niveau absolu!).

De quelle importance doit être la différence d'intensités pour que nous la remarquions? Cela dépend aussi bien de la fréquence que de l'intensité caractérisant l'expérience. D'après [4], des différences de 0,25 dB sont audibles à une fréquence de 4 kHz et un niveau très élevé, dès 80 dB. A 750 Hz (notre son) et un niveau de 70 dB, une différence de 0,4 dB doit déjà être perceptible.

## 16 Addition de niveaux sonores A (1/2/4 sources)

### Objectifs:

- Définir une valeur empirique pour multiplier par 2 et par 4 la puissance acoustique
- Vérifier l'addition de niveaux sonores avec un sonomètre

### Contenu:

1, 2, 4 métiers mécaniques fonctionnant en même temps

### Info:

Chaque fois que le nombre de sources sonores identiques double, la puissance acoustique émise double également. Le niveau sonore augmente alors de 3 dB.

### Réalisation:

Il s'agit de l'enregistrement d'une poinçonneuse. Le doublement du nombre de machines en fonctionnement a été simulé en passant et en superposant le même bruit avec un décalage temporel.

## 17 Addition de niveaux sonores B: 80 + 85 dB = 86 dB

### Objectifs:

- Développer une certaine sensibilité pour travailler avec les dB
- Vérifier l'addition avec le sonomètre

### Contenu:

1. Poinçonneuse à 80 dB
2. Poinçonneuse à 85 dB
3. Les deux machines fonctionnent simultanément.

### Info:

Sélectionnez le morceau "Niveau de référence..." [33] et réglez l'intensité sonore à 85 dB(A). Contrôlez chaque niveau sonore.

Si des valeurs dB différentes doivent être additionnées, faites le calcul suivant:

$$\text{Niveau total } L_{TOTAL} = \log_{10} (10^{L_{SOURCE SONORE1} / 10} + 10^{L_{SOURCE SONORE2} / 10}) \text{ [dB]}$$

Cette formule convertit d'abord le niveau sonore en puissances acoustiques, puis les additionne et ramène le tout en dB. Le niveau sonore total des deux machines est d'environ 86 dB.

### Réalisation:

Vous percevrez vraisemblablement le volume des deux machines comme à peu près semblable, bien que la seconde produise 5 dB de plus. Cela vient des spectres différents des deux machines. Tenez également compte de cela pour les morceaux de => psychoacoustique [38-42].

## 18 Niveaux sonores quotidiens

### Objectif:

- Apprendre à reconnaître comme référence des sonies faciles à reproduire soi-même

### Contenu:

Tic-tac d'une montre, peindre avec un pinceau de 2 cm de largeur, couper du papier, se laver les mains, chasse-d'eau, aspirateur passé sur un sol en pierres rugueuses, perceuse à percussion

### Info:

Les niveaux sonores réels des bruits se situent à peu près aux valeurs suivantes:

montre: 30 dB(A), pinceau: 40 dB(A), papier déchiré: 50 dB(A), mains lavées: 60 dB(A), WC: 70 dB(A), aspirateur: 80 dB(A), perceuse à percussion: 100 dB(A)

### Réalisation:

Une dynamique de 70 dB n'est guère réalisable dans des conditions usuelles de reproduction. C'est pourquoi le tic-tac de la montre est enregistré à un volume trop élevé par rapport aux autres bruits, tandis que l'aspirateur et la perceuse à percussion ont un niveau trop faible.

Les aspirateurs modernes sont bien plus silencieux que le modèle utilisé et émettent entre 65 et 75 dB(A). Le niveau de notre enregistrement est aussi élevé, car il s'agit du sol en béton d'une cave.

Nous avons surmodulé l'enregistrement de la perceuse à percussion afin de donner l'impression d'une intensité sonore plus élevée. Ceci entraîne des distorsions similaires à celles survenant dans l'oreille à des niveaux sonores élevés.

## 19 D'une goutte aux chutes du Rhin

### Objectifs:

- Distinguer les intensités sonores
- Subir un niveau de 85 dB
- Remarquer que la proportion de fréquences basses augmente

### Contenu:

La goutte d'eau devient filet d'eau, puis ruisseau et torrent. Le deuxième enregistrement présente un barrage sur l'Areuse (NE); la dernière prise de son, les chutes du Rhin (SH) à proximité immédiate.

### Info:

Les remarques formulées pour le morceau 18 s'applique également ici: la dynamique de l'enregistrement ne correspond pas à l'original, mais est comprimée. Le niveau original se situait entre environ 25 dB(A) et 85 dB(A).

### Réalisation:

Pour enregistrer la goutte, nous avons utilisé un bol plastique rempli d'eau. Le micro était très près de la surface de l'eau. Compte tenu de la proximité du microphone directif et de la goutte heurtant la surface de l'eau, les fréquences basses en-dessous de 200 Hz ont été diminuées lors de l'arrangement, afin d'obtenir une perception sonore réaliste. Observez bien comme la première goutte n'émet qu'une sorte de clic. Seul l'impact de la gouttelette "se formant par après" produit le "plipp" caractéristique.

## 20 Du chuchotement au cri

### Objectifs:

- Connaître l'intensité de référence
- Découvrir les capacités et limites de la voix

### Contenu:

Texte: "Chuchoter, c'est 35 dB; parler, c'est 60 dB; parler à haute voix, c'est 75 dB; hurler, c'est plus de 100 dB."

### Info:

La dynamique de la voix humaine est considérable. Le son de la voix change au fur et à mesure que le volume s'accroît, de sorte que même lorsqu'un enregistrement est passé à un volume faible on peut déterminer si l'interlocuteur a parlé à voix haute ou basse.

### Réalisation:

Ici aussi, la dynamique de l'enregistrement ne correspond pas à l'original.

## 21 Version française de "Du chuchotement au cri"

## 22 Version italienne de "Du chuchotement au cri"

## Spectre

### Objectifs:

- Comprendre ce qu'est un spectre
- Pouvoir associer l'aspect d'un spectre avec la présentation d'un son

### Info:

En acoustique, on désigne par spectre la représentation du niveau sonore en fonction de la fréquence. Un spectre donne des renseignements sur les fréquences qui composent un bruit ou un son composé. Dans un spectre plat, toutes les fréquences sont représentées avec plus ou moins la même puissance. Un son composé comprend un son fondamental et des harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale. Un son composé avec beaucoup d'harmoniques sera brutal, alors qu'à l'inverse un son composé avec peu d'harmoniques sera doux.

Dans un bruit, les différentes fréquences se manifestent de façon chaotique et sans référence les unes par rapport aux autres. Si chaque bande par tiers d'octave se caractérise par de nombreuses puissances acoustiques exactement identiques, on parle d'un  $\Rightarrow$  "bruit rose" [96 ou 97]. Dans le cas du "bruit blanc", la puissance par hertz est répartie uniformément dans toute la gamme de fréquences.

Si la partie principale de la puissance acoustique est concentrée dans une petite gamme de fréquences, on parle de bruit en bande étroite.

### Réalisation:

Il existe deux types d'analyses spectrales: les analyses par tiers d'octave ou en bandes d'octave et les analyses de Fourier. Lors d'analyses par tiers d'octave, on calcule et affiche la moyenne énergétique du niveau sonore dans une gamme de fréquences qui correspond à un tiers d'octave. La graduation est de type logarithmique et correspond à la cochlée et donc à notre perception sonore.

Lors d'une analyse de Fourier, l'échelle de fréquences est linéaire. Les bandes individuelles de fréquences sont extrêmement étroites et affichées sous forme de lignes. On détermine ainsi les harmoniques d'un son composé.

Dans le sous-chapitre  $\Rightarrow$  psychoacoustique [38-42], vous découvrirez à quel point la perception de l'intensité dépend du spectre.

## 23 Du sinus au rectangle

### Objectifs:

- Entendre le changement de timbre
- Eprouver la perception différente de l'ouïe (voir réalisation, 2ème paragraphe)

### Contenu:

Oscillation sinusoïdale de 440 Hz que l'addition d'harmoniques transforme en une oscillation rectangulaire. Les spectres et oscillogrammes sont en annexe.

### Info:

Des sons sinusoïdaux peuvent produire une oscillation rectangulaire. Les sons sinusoïdaux doivent avoir une fréquence  $3 \cdot f_0$ ,  $5 \cdot f_0$ ,  $7 \cdot f_0$  avec  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{7}$ , ... de l'amplitude du son fondamental. Les phases ne doivent pas être décalées.

### Réalisation:

Le mathématicien français Joseph Jean Baptiste Fourier (1768-1830) a découvert qu'une oscillation périodique quelconque peut être présentée comme la superposition d'oscillations sinusoïdales. Dans le cas d'oscillations périodiques, les ondes qui s'additionnent ont un multiple entier de la fréquence fondamentale; dans le cas des bruits (pas des oscillations périodiques), tous les sons sinusoïdaux peuvent se rencontrer.

On entend nettement ici combien le son composé avec les harmoniques croissants est plus aigu.

Un autre phénomène peut être observé: chaque nouvel harmonique qui se rajoute est clairement perçu comme un son propre. Les sons se mélangent d'abord progressivement, puis le timbre change. Après une pause, l'oscillation rectangulaire finale est encore présente. Elle opère comme un son entier; toutes les composantes ne peuvent plus être repérées. Cela vient du fait que notre cerveau travaille de façon différentielle. Chaque changement est perçu de façon précise; en revanche, pour ce qui est d'estimer les valeurs absolues, nous sommes de loin désavantagés par rapport à la technique, car nous devons nous en remettre à notre mémoire. (Cette constatation vaut également pour les yeux: essayez deux fois de suite de faire un mélange pour obtenir exactement la même teinte, puis placez les couleurs l'une à côté de l'autre...).

## 24 Du sinus au son composé harmonique

### Objectifs:

- Constaté combien le timbre avec les harmoniques croissants est plus aigu
- Entendre de légères différences entre les sons
- Constaté que la perception de l'intensité sonore ne correspond pas toujours au niveau sonore pondéré avec le filtre A

### Contenu:

Du son sinusoïdal à l'impulsion en pointe. L'oscillogramme et les spectres de ces sons composés sont en annexe.

### Réalisation:

Les sons proviennent d'un ancien synthétiseur Kawai K1. Avec ce morceau, nous souhaitons vous présenter un phénomène qui relève, en fait, du domaine de la psychoacoustique: tous les sons ont le même niveau sonore pondéré avec le filtre A, bien que les sons avec une acuité croissante nous semblent plus forts. Pour en savoir plus sur ce phénomène, veuillez vous reporter au sous-chapitre => "Psychoacoustique" [38-42].

## 25 Son de l'orgue, doux

### Contenu:

Son et triple accord de l'orgue avec un tuyau qui sonne doucement. Vous trouverez le spectre en annexe.

### Info:

Ce morceau doit être écouté avec celui qui suit. Il s'agit, dans les deux cas, du même son et du même triple accord. Notez les timbres différents.

### Réalisation:

Dans le premier cas, il s'agit d'un tuyau d'orgue rond, couvert (fermé à une extrémité), qui, de par de sa forme, constitue surtout la caisse de résonance d'une seule longueur d'onde. Le tuyau du morceau 26 est en bois et a une section rectangulaire. Cela augmente la gamme de résonance, les sons harmoniques résonnant plus fortement.

## 26 Son de l'orgue, aigu

voir morceau 25

## 27 Mélodie jouée à l'orgue, un registre

### Contenu:

Mélodie jouée à l'orgue avec un registre

### Info:

Ce morceau doit être écouté avec celui qui suit. La même mélodie est jouée dans les deux cas. Notez les timbres différents.

### Réalisation:

La forme du tuyau de l'orgue ("Son de l'orgue, doux/aigu" [25/26]) ne permet que des variations limitées. On peut utiliser tous les registres, afin que le son d'un orgue soit plein et plus puissant. Ainsi, lorsque l'on appuie sur une touche, plusieurs tuyaux résonnent en même temps. Les tuyaux supplémentaires ajoutent des harmoniques au son composé (une ou plusieurs octaves au-dessus de la fréquence fondamentale). Il existe même des registres qui ajoute des quintes au son fondamental.  
=> "Intervalle de sons" [11]

## 28 Mélodie jouée à l'orgue, tous les registres

voir morceau 27

## 29 Addition de registres pendant un son

### Objectif:

- Écouter combien le son composé est plein et plus marqué

### Contenu:

Au début, le triple accord n'est joué que sur un registre. En continuant d'appuyer sur les touches, on ajoute toujours plus de registres.

### Info:

voir morceaux [25] à [28]

## Enveloppe et timbre

### Objectif:

- Connaître chaque phase d'une courbe enveloppe

### Info:

Outre la fréquence, l'amplitude et le spectre, l'effet d'un son composé dépend fortement de la modification de l'amplitude dans le temps.

### Réalisation:

Lorsque l'on génère un son composé par électronique, il est toujours question d'une courbe enveloppe ADSR. On désigne ici par courbe enveloppe une courbe obtenue lorsque l'on représente l'amplitude d'un son dans le temps. Une courbe enveloppe ADSR est une simplification d'une enveloppe naturelle et comporte 4 phases: l'attaque (Attack), peu après, une baisse de l'intensité sonore (Decay) jusqu'au niveau de maintien (Sustain) et la perte (Release). L'attaque indique le temps nécessaire au son pour atteindre sa pleine amplitude. Cela se produit très rapidement pour les instruments à percussion et à cordes, mais demande plus longtemps pour ceux à soufflerie (p. ex. 200 ms) => orgue, du son le plus bas au plus élevé. La phase decay n'est pas aussi marquée; c'est pourquoi nous ne la traiterons pas. Le son des instruments à percussion ou à cordes pincées meurt en suivant une courbe exponentielle. La phase de maintien (sustain) n'existe donc pas. En revanche, les instruments à cordes ou à vent gardent le son jusqu'à ce que la stimulation s'arrête. Durant la phase de perte, seule l'énergie provenant de la stimulation (percussion/cordes, etc.) se manifeste encore. Si l'instrument présente un amortissement important, le son cesse très rapidement, comme, p. ex. dans le cas d'un bongo. Si l'amortissement est faible, le son disparaît lentement, comme, p. ex. pour une timbale ou des carillons à tubes.

## 30 Violoncelle: joué et cordes pincées

### Objectif:

- Constater que la forme de l'onde reste inchangée, alors que la courbe enveloppe semble tout à fait différente.

Cet exemple sert à illustrer la théorie. Oscillogramme en annexe.

### Réalisation:

Le spectre du son joué présente nettement plus d'harmoniques que celui du son pincé. Lorsque l'on joue, les harmoniques sont toujours stimulés de nouveau, tandis qu'ils diminuent rapidement lorsque les cordes sont pincées.

## 31 Synthétiseur: accord triple avec divers sons composés

### Objectifs:

- Ecouter comme les sons composés peuvent être différents.
- Faire attention à tous les paramètres indiqués dans ce chapitre.

### Contenu:

On joue au synthétiseur un triple accord en do majeur avec différents sons composés.

### Info:

Nous avons tenté d'utiliser, autant que possible, divers sons composés en relation avec la courbe enveloppe et le timbre. Prêtez attention à l'attaque, au maintien et à la perte.

### Réalisation:

Les sons composés ont été produits avec un synthétiseur Kawai K1.

## 32 Flûte de Pan: son composé avec bruit

### Objectif:

- Reconnaître que le mélange de deux composants du son peut donner une toute nouvelle tonalité.

### Contenu/info:

Le son d'une flûte de Pan a été divisé en composants: bruit de souffle/souffle et son composé périodique. Seule la synthèse de ces deux éléments crée un son identique à celui d'une flûte de Pan.

### Réalisation:

Les sons composés ont été produits avec un synthétiseur Kawai K1.

# Perception sonore

## Objectif:

- Tester et connaître la fonction de notre ouïe

## Info / réalisation:

Le son parvient au tympan par le conduit auditif, les variations de pression faisant vibrer le tympan. A l'intérieur de celui-ci se trouvent les osselets (marteau, enclume, étrier), qui transmettent les vibrations du tympan à la cochlée remplie de liquide via la fenêtre ovale. La transition air/liquide à travers les osselets s'est opérée au cours de l'évolution et a permis un gain de 20 dB par rapport à la variante, où la fenêtre ovale est directement en contact avec l'air (comme chez les grenouilles). La cochlée a la forme d'un limaçon à deux cavités; les ondes sonores sont d'abord dirigées vers le centre, puis de nouveau vers l'extérieur à travers l'autre cavité. La fenêtre ronde, située à l'extrémité de la seconde cavité sert à compenser la pression. Les deux cavités sont séparées par la membrane basilaire. Celle-ci est garnie de cellules ciliées, stimulées par les ondes sonores et qui transmettent des impulsions nerveuses au cerveau. La membrane basilaire est influencée par des mécanismes régulateurs qui favorisent une grande dynamique et permettent une étonnante capacité de sélection de l'ouïe => "Dommages auditifs simulés" [47-66]. Les basses fréquences parviennent, au plus, dans le limaçon, tandis que les hautes fréquences sont détectées à proximité de la fenêtre ovale. La cochlée ressemble dans son mode de fonctionnement à un analyseur de spectre. => Spectre [23-29]

{1} pages 8-10; {3} pages 11-15;

Vidéo Suva "L'ouïe en danger - Protection contre le bruit au poste de travail" (réf. V309.f)

## Tests auditifs

### Info:

Ces tests auditifs se déroulent uniquement sur le canal gauche, car sinon il y a risque de suppression des ondes sinusoïdales.

### Attention!

Ces tests auditifs reproduisent des sons pouvant endommager vos haut-parleurs et votre ouïe, si vous n'ajustez pas le niveau sonore au préalable!

## 33 Niveau de référence 75 dB(A) pour les tests auditifs

### Objectif:

- Régler le bon volume pour les tests

### Contenu:

Bruit en bande d'octave 1 kHz

### Info:

Jouez ce morceau et réglez le volume sur 75 dB(A) avant d'effectuer les tests auditifs. Pour cela, placez un sonomètre là où se trouvera la personne soumise au test et tournez le bouton du volume de votre amplificateur jusqu'à ce que l'appareil de mesure indique 75 dB. Pendant les mesures, ne vous placez pas derrière mais à côté de l'appareil de mesure.

## 34 Test auditif (500 Hz à 12 kHz)

### Objectif:

- Réaliser son propre audiogramme

### Contenu:

Sons test avec des fréquences de 500 Hz à 12 kHz

### Info:

Après le mot "démon", le son test est passé à un niveau sonore audible par tous. Après "test", il faut compter le nombre de sons test. Il se peut qu'un grésillement se fasse entendre avant et après chaque son. Cela dépend du lecteur CD. Ne comptez pas ces grésillements!



A chaque fois, le premier son test a un niveau sonore de 10 dB(A), le deuxième, de 20 dB(A), etc. Selon la fréquence, on joue trois à cinq sons. Notez pour chaque fréquence combien de sons test vous avez entendus, puis inscrivez le nombre sur la feuille en annexe. Les enfants devraient pouvoir entendre presque tous les sons; les fréquences les plus élevées devraient être plus inaudibles pour les adultes. Si vous ressentez une forte douleur à 4 ou 6 kHz, soyez prudent; cela pourrait être le signe précurseur d'un dommage auditif. **Cependant, les résultats de ce test auditif n'engagent à rien! Si vous craignez une lésion de l'ouïe, faites tester votre ouïe par un service d'audiométrie.**

**Réalisation:**

Les fréquences suivantes sont testées	Nombre de sons test	Affichage du lecteur CD
500 Hz	3	0:00
1000 Hz	4	0:13
2000 Hz	5	0:27
3000 Hz	4	0:43
4000 Hz	4	0:58
6000 Hz	5	1:11
8000 Hz	5	1:27
12000 Hz	5	1:44
		fin: 1:58

**Conseils:**

- Une pièce calme est indispensable pour ce test.
- Si vous souhaitez tester vos deux oreilles, asseyez-vous à environ 50 cm du haut-parleur et faites le test une fois en plaçant d'abord l'oreille gauche du côté du haut-parleur, puis l'oreille droite.
- Ce test peut également être effectué par plusieurs personnes en même temps. Veillez à ce que la distance par rapport au haut-parleur soit la même pour tous et à ce que personne ne soit trop éloigné de son axe.
- Il est nécessaire de faire une pause entre chaque fréquence. Pour cela, appuyez sur la touche "Pause" du lecteur CD.

**35 Test auditif des aiguës**

**Objectifs:**

- Etablir la limite supérieure d'audition
- Pour les élèves: être meilleur que le professeur

**Contenu:**

22 sons sinusoïdaux avec des fréquences de 10 kHz à 20 kHz

**Attention: ces sons peuvent endommager votre haut-parleur, voire votre ouïe, si vous ne réglez pas le volume au préalable. Lisez les conseils formulés au morceau 33. Même si vous entendez peu ou pas de sons, ne changez pas le volume pendant le test!**

**Info:**

Après le mot "démon", vous entendez 3 sons sinusoïdaux tels qu'ils sont employés lors du test. Cela vous aide à vous préparer. Commencez à compter les sons que vous entendez après le mot "test". Il se peut qu'un léger grésillement se fasse entendre avant et après chaque son (même ceux que vous n'entendez pas). Cela dépend de l'appareil utilisé. Ne comptez pas ces grésillements! Vous pouvez ensuite établir la limite supérieure d'audition grâce au nombre de sons entendus:

Les enfants sont capables d'entendre tous les sons. Les jeunes (17 ans) atteignent généralement 16-17 kHz. Pour les adultes, la limite supérieure d'audition est souvent bien plus basse. Les adultes peuvent très bien n'entendre aucun son et, pour autant, avoir une ouïe saine. Les résultats ne doivent pas faire l'objet d'une interprétation fantaisiste. **Si vous craignez une lésion de l'ouïe, faites tester votre ouïe par un service d'audiométrie.**

Nombre de sons	Fréquence	Nombre de sons	Fréquence	Nombre de sons	Fréquence
0	10 kHz	7- 8	13 kHz	15-16	17 kHz
1- 2	10 kHz	9-10	14 kHz	17-18	18 kHz
3- 4	11 kHz	11-12	15 kHz	19-20	19 kHz
5- 6	12 kHz	13-14	16 kHz	21-22	20 kHz

## Psychoacoustique

### Objectif:

- Observer comment l'ouïe assimile les stimuli acoustiques

### Contenu:

Exemple de filtrage d'informations par le cerveau. Essai de localisation de bruits. Exemples pour lesquels la perception ne correspond pas à la valeur physique mesurée en dB(A).

## 36 Impulsions sinusoïdales en bruit

### Objectif:

- Montrer que le cerveau peut filtrer des informations

### Contenu:

Vous entendez de brèves impulsions sinusoïdales. On y ajoute ensuite un grésillement. Les impulsions sont contrôlées, tandis que le grésillement est arrêté, puis remis en route.

### Info:

Bien que les pulsations dans le grésillement ne soient presque plus détectées sur un analyseur professionnel, elles restent audibles pour nous. Le cerveau réagit très précisément aux changements. Chaque pulsation représente un bref changement. En ce qui concerne une analyse très rapide de tels phénomènes, l'ouïe et le cerveau sont imbattables. Ceci vaut également pour les yeux, p. ex., qui remarquent immédiatement le moindre défaut d'un modèle régulier.

## 37 Localisation selon la différence de temps

### Objectif:

- Comprendre la localisation binauriculaire

### Contenu:

Bruit de claquements de doigts qui semble toujours se déplacer vers la gauche

### Info/réalisation:

Le bruit sort toujours des deux haut-parleurs avec le même niveau sonore. Le canal droit est même un peu plus en retard à chaque claquement. Dans la nature, on observe toujours un retard entre les deux oreilles lorsque la source sonore est située sur le côté. Le front d'ondes atteint une oreille une fraction de seconde plus tôt que l'autre, parce que la vitesse du son n'est pas illimitée. Il est donc concevable que le cerveau interprète un retard minime comme une indication sur la position latérale.

Le retard naturel maximum est indiqué par la distance entre les oreilles, soit environ 16 cm. Si la source sonore est perpendiculaire à une oreille, l'onde atteindra l'autre oreille avec un retard de  $\frac{0,16 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 0,47 \text{ ms}$ . Des retards supérieurs à cette valeur sont interprétés comme une indication sur la position ou le local, et ce jusqu'à environ 30 ms. Au-delà, nous entendons deux sons distincts.

Si l'on part du principe que l'ouïe peut distinguer des sources sonores avec des différences d'angle de 3 degrés, cela signifie que l'on peut encore discerner des retards de 25µs (!). Quelle performance impressionnante!

La localisation selon la différence de temps est basée sur les différences spectrales (la tête fait fonction d'écran pour l'oreille la plus éloignée de la source sonore) et sur les suppressions en bande étroite résultant de la réflexion directionnelle sur le pavillon de l'oreille. La direction perçue peut également s'avérer fautive (stéréophonie à différence d'intensité).

Tous les morceaux suivants (38-40) ont le même niveau sonore. Le niveau en dB(A) a été mesuré électriquement. Des écarts peuvent apparaître dans le champ sonore lors d'une mesure acoustique. Pour en savoir plus sur le thème du niveau identique, consultez également => "Du sinus au son composé harmonique" [24].

Réglez le niveau sonore de cette démo sur 70 dB(A), car l'écart entre la sensibilité et le filtre A n'est significatif qu'à partir de ce niveau.

### 38 Bruit strident / son composé harmonique (même niveau en dB(A))

**Objectif:**

- Perception différente malgré une structure presque identique des sons et le même niveau sonore

**Contenu:**

Le bruit d'une scie circulaire alterne avec un son composé. Les deux sons ont le même niveau en dB(A).

**Info:**

Observez les deux spectres: nous avons tenté d'adapter la hauteur du son composé à celle du bruit. Néanmoins, la scie circulaire est beaucoup plus gênante. Contrairement au son composé, la scie circulaire a un son plus rude, c'est-à-dire que sa fréquence n'est pas stable, mais varie. Outre cela, le fait que la bande de fréquences soit plus fortement pondérée de 4 kHz contribue à rendre le bruit désagréable.

### 39 Bruit à large bande / à bande étroite (même niveau en dB(A))

**Objectif:**

- Différentes perceptions de l'intensité sonore malgré le même niveau en dB(A)

**Contenu:**

Le bruit d'une salle de métiers à tisser alterne avec celui d'une ventilation bruyante.

**Info:**

Le bruit de la salle des métiers à tisser semble être nettement plus fort.

**Réalisation:**

Comme la mesure du niveau sonore représente une moyenne énergétique de toute la gamme de fréquences, on retrouve surtout la gamme de fréquences la plus forte dans les valeurs mesurées. Si, dans un bruit, un son domine, ce dernier déterminera le niveau sonore mesuré. C'est le cas pour un sèche-cheveux. Observez le spectre. En comparaison, le bruit de la salle des métiers à tisser présente un spectre relativement régulier. Notre ouïe perçoit les bruits à large bande comme plus élevés que ceux à bande étroite.

### 40 Bruit à basse fréquence / fréquence moyenne (même niveau en dB(A))

**Objectif:**

- Différentes perceptions de l'intensité sonore malgré le même niveau en dB(A)

**Contenu:**

Le bruit d'un avion à turbopropulseur Saab alterne avec celui d'un sèche-cheveux.

**Info:**

Le bruit de l'avion à hélices paraît plus fort que le sèche-cheveux, bien que les niveaux pondérés avec le filtre A aient été ajustés l'un à l'autre.

**Réalisation:**

Comme cela a déjà été expliqué pour le => "balayage à niveau constant en dB(A)" [5], les basses fréquences ont été fortement diminuées en dB(A) dans le filtre. Comme le bruit du Saab se compose presque exclusivement de basses fréquences, il a dû être augmenté en amplitude pour obtenir le même niveau pondéré avec le filtre A que le sèche-cheveux. Lorsque le niveau d'écoute est faible, la courbe du filtre A concorde parfaitement avec l'ouïe. A partir d'un niveau élevé de 70 dB, la courbe du filtre A s'écarte des courbes de même intensité sonore. Il en résulte que les bruits à basse fréquence sont perçus comme étant plus forts qu'un bruit à haute fréquence de niveau identique en dB(A). En outre, les basses fréquences sont perçues non seulement par l'ouïe, mais également par le corps. Cela renforce l'impression d'un volume plus élevé.

Attention toutefois: lorsqu'il existe un risque de dommages auditifs (ceux-ci ne dépendent pas de la sensibilité), le filtre A est approprié, même pour des niveaux sonores élevés.

#### **41 2ème son paraît plus fort malgré 3 dB(A) de moins**

**Objectif:**

- L'illusion règne dans la perception de l'intensité sonore.

**Contenu:**

Alternance de deux sons créés par électronique (conçus par le professeur Zwicker).

**Info:**

Le deuxième son paraît plus fort, bien qu'il présente 3 dB(A) de moins.

**Réalisation:**

Le deuxième son a nettement plus de composants à 4 kHz. C'est là que l'ouïe est la plus sensible. On n'a pas assez tenu compte de cette résonance du conduit auditif dans le filtre A.

#### **42 7 bruits à niveau sonore en dB(A) constant**

**Objectif:**

- Observer comment les 7 bruits agissent

**Contenu:**

Bruit rose, bruit en bande d'octave, son sinusoïdal, marteau piqueur, orgue, signal d'alarme, fraise de dentiste

**Info:**

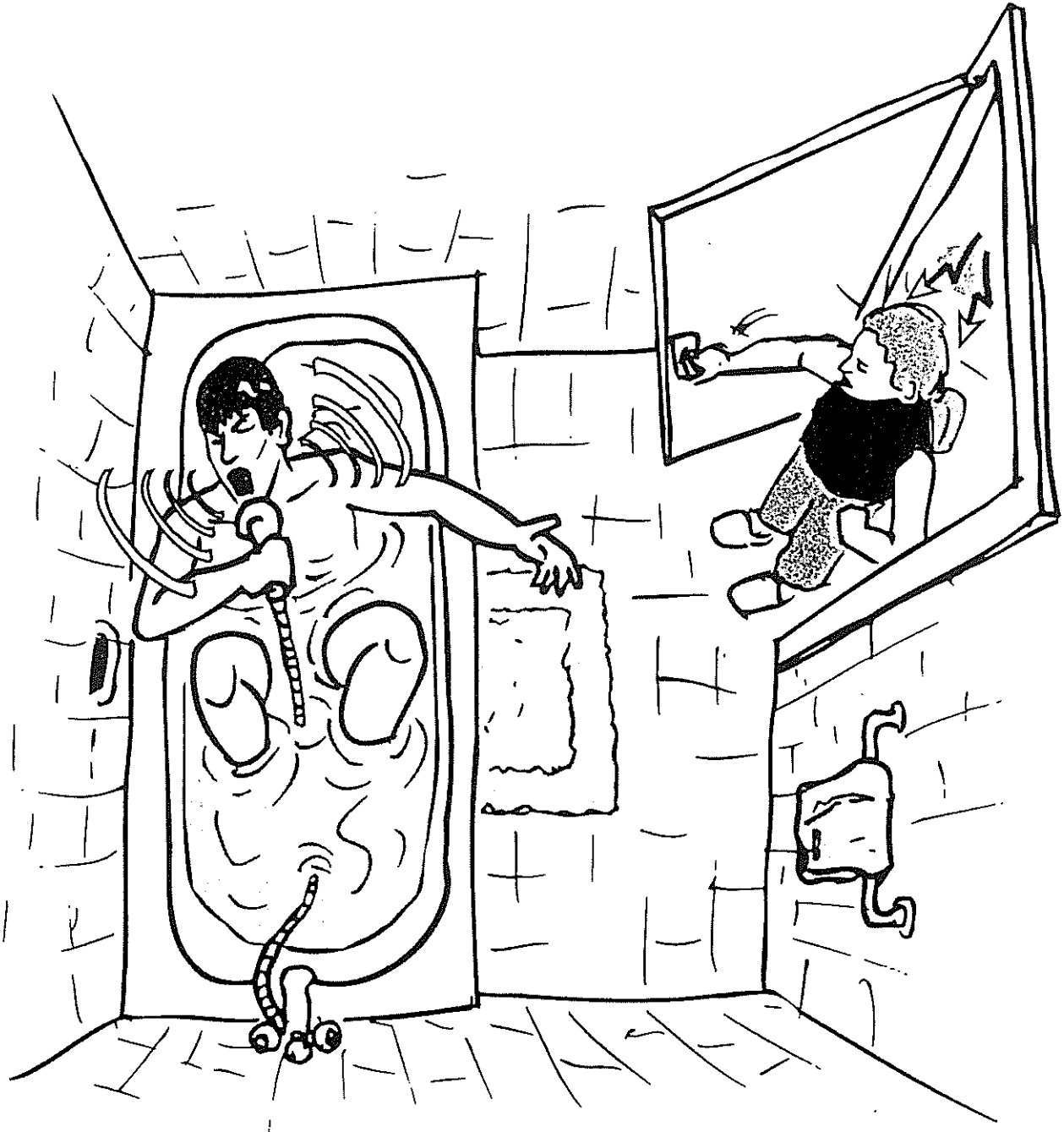
Bien que les 7 bruits aient le même niveau en dB(A), ils ne semblent pas être aussi forts les uns que les autres. Le niveau en dB(A) a été mesuré électriquement. Il se peut que des écarts se produisent lors de la diffusion par haut-parleurs.

**Réalisation:**

Outre les paramètres acoustiques, qui influencent la perception de l'intensité sonore, il existe également des paramètres psychologiques: pour les chanteurs nocturnes de salle de bain, la musique exprime une grande joie de vivre. Si cette mélodie arrive aux oreilles du voisin, elle se métamorphose aussitôt en cacophonie, et donc en nuisance.

A l'inverse, il est important que des signaux d'alarme soient persistants et attirent facilement l'attention.

Si vous passez ce CD devant des auditeurs, n'indiquez pas lors du premier passage que le dernier bruit est celui d'une fraise de dentiste. Seule l'association avec la situation correspondante rend ce bruit aussi insupportable.



*«Les voisins ont appelé pour demander si un certain Caruso était sur le point de se noyer dans sa baignoire».*

# Protecteurs d'ouïe

**Objectif:**

- Pouvoir évaluer par soi-même les capacités et limites techniques de protecteurs d'ouïe

**Contenu:**

Enregistrements pour lesquels on a placé divers protecteurs d'ouïe sur une tête artificielle équipée de micros dans les oreilles

**Info:**

Outre les protecteurs d'ouïe usuels, que vous pouvez vous procurer dans la grande distribution, les drogueries ou les pharmacies, il existe des modèles spéciaux, pour les musiciens p. ex. (disponibles auprès de la Suva notamment). Nous vous présentons ici une sélection de différents protecteurs d'ouïe.

**Réalisation:**

En général, les protecteurs d'ouïe assurent une isolation très forte (35-40 dB). Nous n'avons pas intégré cette caractéristique dans les prises de son, car il n'aurait guère été possible de reproduire le niveau sonore original des sources sonores; l'enregistrement n'aurait donc pas semblé réaliste. L'impression sonore des protecteurs d'ouïe a toutefois été reproduite fidèlement.

*Musique et troubles de l'ouïe: pages 13-15*

## 43 Hélicoptère et scie circulaire

**Objectif:**

- Constater à quel point une protection passive de l'ouïe atténue les graves et les aigus.

**Contenu:**

Bruits respectivement sans protecteurs d'ouïe, avec des tampons auriculaires EAR et avec des tampons auriculaires Ultrafit

**Info:**

L'effet d'affaiblissement d'une protection de l'ouïe est plus forte pour les aigus que pour les graves. C'est pourquoi la scie qui grince semble presque disparaître.

## 44 Musique

**Objectif:**

- Montrer qu'avec une protection de l'ouïe, la musique ne devient pas forcément un bruit sourd.

**Contenu:**

Musique sans protecteurs d'ouïe, avec tampons auriculaires EAR, avec des tampons auriculaires Ultrafit et avec protecteurs d'ouïe Ultratech pour musiciens

**Info:**

La plupart des protecteurs d'ouïe ne sont pas conçus pour reproduire fidèlement les sons, mais pour assurer une protection optimale de l'ouïe. Ils sont inutilisables pour des musiciens, car ils affaiblissent trop les sons aigus et ôtent au son tout son charme. Le protecteur d'ouïe Ultratech pour musiciens a une courbe de fréquences presque linéaire. L'affaiblissement produit presque le même effet que si l'on baissait simplement le volume.

## 45 Sonnette de battage et conversation

### Objectif:

- Montrer qu'un protecteur d'ouïe peut même améliorer la compréhension orale.

### Contenu:

Une sonnette de battage (appareil de battage) et une conversation sont passées en même temps. Enregistrements: 1. sans protecteurs d'ouïe, 2. avec coquilles de protection passives, 3. avec coquilles de protection dépendantes du niveau sonore (Peltor SoundTrap), 4. avec d'anciennes coquilles de protection dépendantes du niveau sonore (Peltor Tactical)

### Info:

Une coquille de protection dépendante du niveau sonore se compose d'une coquille normale, équipée de haut-parleurs et de micros. Ces derniers sont placés à l'extérieur de la coquille. Tant que le niveau sonore est faible, le son capté à l'extérieur est transmis à l'intérieur de la coquille via un amplificateur et des haut-parleurs. Dès que le niveau sonore dépasse 80 dB, l'amplificateur baisse la puissance, voire se coupe totalement. On limite ainsi le niveau sonore dans la coquille à 83 dB maximum.

### Réalisation:

Avec l'ancien modèle, le protecteur Peltor Tactical, il fallait un certain temps après un choc sonore pour que l'amplificateur fasse de nouveau pleinement effet. Le nouveau modèle SoundTrap réagit bien plus vite. L'amplificateur agit peu après le choc sonore et amplifie nettement l'écho du choc, ainsi que le signal oral qui suit directement.

Un tel protecteur d'ouïe est particulièrement approprié lors de courtes augmentations du son (tirer, marteler, etc.). Il n'apporte aucun avantage supplémentaire, si le bruit est constant (salle des métiers à tisser p. ex.).

## 46 Hélicoptère et sonnette de battage

### Objectif:

- Constater l'efficacité d'une protection antibruit

### Contenu:

L'écouteur antibruit est alternativement mis en marche et arrêté avec le bruit d'un hélicoptère et d'une sonnette de battage.

### Info:

Tout comme les protecteurs dépendants du niveau sonore, cette protection (ProActive) enregistre le son environnant et le reproduit par haut-parleurs. Lors de la prise de son, la phase est inversée, afin que le son direct et le son à phase inversée s'annulent mutuellement (antibruit ou Active Noise Control, ANC).

### Réalisation:

Malheureusement, ce procédé ne fonctionne que pour des fréquences basses, car les fréquences hautes ont une longueur d'onde si courte que l'on remarquerait la distance séparant le microphone de prise de son et le haut-parleur. Dans les cas les plus graves, le son serait même amplifié au lieu d'être supprimé!

# Dommmages auditifs simulés

## Objectifs:

- Savoir à quel point un dommage auditif est sérieux
- Avoir de la compréhension pour les malentendants

## Contenu:

Simulations de la perception auditive avec une lésion de l'ouïe

Les audiogrammes suivants ont été reconstitués par électronique:

- Pour tous les morceaux, sauf les scènes d'école (48/49, 53/54, 57/58): perte auditive moyenne de 31%. La limite pour un "dommage auditif considérable" se situe à 35%.
- Pour les scènes d'école: 1. dommage important (53%), 2. dommage faible (11%), 3. aucun dommage

## Info:

Dans le cas de lésions de l'ouïe liées au bruit, la capacité auditive subit de fortes pertes au niveau des fréquences situées entre 4 et 6 kHz. Les sifflantes se trouvent dans cette gamme de fréquences. Si la lésion s'aggrave, les fréquences de 1 à 3 kHz seront également affectées. Cela approche sensiblement le domaine typique de la parole. Outre les pertes auditives, les circuits régulateurs de l'oreille interne sont touchés. Cela entraîne, d'une part, une réduction de la résolution temporelle de l'ouïe, les bruits devenant sourds et confus. D'autre part, la dynamique de l'oreille est diminuée: si le seuil d'audition était déjà détérioré, le seuil de douleur baissera encore, de sorte que des bruits forts seront perçus comme insupportables, même à un niveau sonore plus faible. On parle de recruitment ou phénomène de Fowler.

## Réalisation:

Les simulations de dommages auditifs ont été créées avec un appareil à effets Alesis Quadraverb 2, en réduisant les gammes de fréquences à l'aide d'un audiogramme. La réduction nécessaire jusqu'à 60 dB n'a pu être réalisée qu'en couplant plusieurs filtres. La résolution temporelle diminuée a été simulée avec une "gated reverberation" (réverbération contrôlée). Cette réverbération du son s'arrête dès que le bruit original disparaît.

Dans les descriptions suivantes, nous désignerons une perte auditive par l'abréviation "p.a."

### 47 Au restaurant (allemand)

#### Contenu:

Textes brefs avec les bruits d'un restaurant en fond sonore: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.

### 48 Discussion dans une salle de classe (allemand)

#### Contenu:

Conversation entre 2 écoliers dans un environnement calme: 1. p.a. 53%, 2. p.a. 11%, 3. pas de p.a.

### 49 Discussion sur le lieu de pause (allemand)

#### Contenu:

Conversation entre 2 écoliers dans un environnement bruyant: 1. p.a. 53%, 2. p.a. 11%, 3. pas de p.a.

### 50 Bulletin météo (allemand)

#### Contenu:

Bulletin météo de la radio suisse DRS: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.

### 51 Trafic info DRS/TCS (allemand)

#### Contenu:

Informations routières de la radio suisse DRS: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.

### 52 Au restaurant (français)

#### Contenu:

Textes brefs avec les bruits d'un restaurant en fond sonore: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.



- 53 Discussion dans une salle de classe (français)**  
**Contenu:**  
 Conversation entre 2 écoliers dans un environnement calme: 1. p.a. 53%, 2. p.a. 11%, 3. pas de p.a.
- 54 Discussion sur le lieu de pause (français)**  
**Contenu:**  
 Conversation entre 2 écoliers dans un environnement bruyant: 1. p.a. 53%, 2. p.a. 11%, 3. pas de p.a.
- 55 Bulletin météo (français)**  
**Contenu:**  
 Bulletin météo de la Radio Suisse Romande: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.
- 56 Au restaurant (italien)**  
**Contenu:**  
 Textes brefs avec les bruits d'un restaurant en fond sonore: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.
- 57 Discussion dans une salle de classe (italien)**  
**Contenu:**  
 Conversation entre 2 écoliers dans un environnement calme: 1. p.a. 53%, 2. p.a. 11%, 3. pas de p.a.
- 58 Discussion sur le lieu de pause (italien)**  
**Contenu:**  
 Conversation entre 2 écoliers dans un environnement bruyant: 1. p.a. 53%, 2. p.a. 11%, 3. pas de p.a.
- 59 Bulletin météo (italien)**  
**Contenu:**  
 Bulletin météo de la Radio Svizzera Italiana: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.
- 60 Bulletin météo (rhéto-romanche)**  
**Contenu:**  
 Bulletin météo de la Radio Rumantsch: 1. p.a. 35%, 2. pas de p.a.
- 61 The Warm-up**  
**Contenu:**  
 Musique de la campagne Suva "Dance the Warm-up": alternance p.a. 35% / pas de p.a.
- 62 Blues**  
**Contenu:**  
 Musique pop: alternance p.a. 35% / pas de p.a.
- 63 Instruments à vent**  
**Contenu:**  
 Enregistrement live de l'association Jugendmusik Emmen: alternance p.a. 35% / pas de p.a.
- 64 Musique ancienne**  
**Contenu:**  
 Musique classique avec clavecin, violoncelle baroque, flûtes à bec: alternance p.a. 35% / pas de p.a.
- 65 Orgue**  
**Contenu:**  
 Musique jouée sur un orgue d'église: alternance p.a. 35% / pas de p.a.
- 66 Fanfare**  
**Contenu:**  
 Musique de la fanfare lucernoise "Kakaphoniker": d'abord p.a. 35%, puis pas de p.a.

# Images sonores

## Objectifs:

- Plaisir d'écouter
- Eveiller la curiosité concernant les sensations acoustiques
- Savoir que les sensations acoustiques influencent très fortement le monde affectif
- Apprendre à écouter différemment, en connaissance de cause
- Redécouvrir les bruits

## Contenu:

Montage de bruits caractéristiques selon le lieu et l'heure

## Info:

La beauté d'un lieu dépend non seulement de son aspect extérieur, mais également des bruits qui l'animent. Ainsi apprécions-nous tout particulièrement le calme des montagnes et non seulement leur magnifique paysage et leur air pur. Et que seraient les chutes du Rhin sans le rugissement des flots? Pour des questions de temps, toutes ces images sonores constituent un montage de bruits et de fond sonores caractéristiques. D'ailleurs, l'énorme dynamique de l'ouïe nous étonne ici encore. Ainsi, même le plus petit bruit d'une voiture ou le son très lointain d'une cloche de vache agit sur notre perception.

## Réalisation:

Il n'a pas été nécessaire de simplement juxtaposer les prises de son pour que les images sonores soient douces et complètes. L'ordinateur permet, en effet, d'effectuer une transition harmonieuse entre deux enregistrements (fondu croisé). Il est en outre possible de passer plusieurs sons en même temps. On peut alors condenser l'expérience sonore en un laps de temps relativement court.

Si l'environnement acoustique est abordé de façon scientifique, dans le cadre d'une "géographie acoustique" p. ex., on emploie alors l'expression "soundscape / paysage sonore".

## 67 Sirènes d'alarme

### Objectif complémentaire:

- Connaître l'alarme générale

### Contenu:

Exercice d'alerte, février 1997

### Info:

Date et heure: le 5 février 1997 à 13h30. Lieu: Horw (LU). De nombreuses sirènes individuelles ont dû être installées pour que l'alarme puisse être entendue partout (même dans des locaux). On reconnaît nettement les différentes sirènes dans l'image sonore. Une sirène a été arrêtée plus tardivement que les autres.

### Réalisation:

Il s'agit de sirènes qui émettent un son lorsque l'on presse de l'air comprimé contre un disque troué en rotation. Le courant d'air est alternativement libéré et interrompu. La variation de pression atmosphérique ainsi obtenue est perçue comme un son, car elle survient dans la gamme de fréquences audibles par l'homme.

### Conseil:

Observez bien le visage des auditeurs lorsque vous passez ce morceau! Les adultes que nous avons testés étaient généralement très songeurs.

## 68 Une journée au ski (Parpaner Rothorn)

### Contenu:

- Insertion de la carte dans le lecteur; passage dans les tourniquets; dans la petite cabine; fermeture de la porte de la cabine qui précède; fermeture de la porte de la cabine, départ, trajet
- Chaussures de ski, skis mis à terre, claquements des bâtons, remontée mécanique (aire d'embarquement), remontée mécanique, en chemin
- Skieurs et surfeurs
- Course de ski
- Saut au tremplin

**Info:**

Date et heure: le 9 mars 1997, fin de matinée, début d'après-midi. Lieu: domaine skiable du Parpaner Rothorn (GR), beau temps. Outre les bruits caractéristiques, il faut reconnaître les bruits suivants:

- au tout début, le sifflement d'un écran,
- le bourdonnement des roues dans la halle et la cabine
- passage devant un pylône pendant la montée de la cabine
- la personne précédente à la remontée mécanique laisse traîner ses bâtons dans la neige
- saut au tremplin: on entend la musique de la remontée mécanique et la descente à ski

**69 Orage****Objectif complémentaire:**

- Laisser l'orage vous envahir et profiter de l'instant (à moins que vous n'aimiez pas l'orage)

**Contenu:**

Au début, pluie fine, tonnerre au loin, puis un coup de tonnerre proche et sonore, forte pluie

**Info:**

Période: été 1975, enregistrement sur un Revox A77HS avec un Sennheiser MKH 405. Lieu: Uitikon (ZH). A la fin, on entend au loin un avion de ligne.

**Réalisation:**

Les coups de tonnerre se produisent lorsque des charges électriques provenant des nuages ou du sol se déchargent dans l'air sous la forme d'éclairs. L'air est ionisé dans un canal de quelques centimètres de diamètre (il devient alors conducteur) et agit ensuite comme un câble électrique. De forts courants électriques passent immédiatement, réchauffant l'air très rapidement, celui-ci se dilatat à la manière d'une explosion. C'est le coup de tonnerre. Des coups de tonnerre proches ont un bruit perçant et brutal, tandis que ceux qui sont éloignés retentissent comme un bruit sourd. Cela tient au fait que les hautes fréquences sont absorbées plus rapidement dans l'air que les basses.

Si vous souhaitez connaître la distance qui vous sépare de l'éclair que vous voyez, comptez les secondes jusqu'à ce que le tonnerre retentisse. Le son se propageant dans l'air à la vitesse de 340 mètres seconde, il lui faut environ 3 secondes pour parcourir 1 km.

Remarque complémentaire: bien que l'éclair soit très bref, le son du tonnerre dure plus longtemps. Il y a deux raisons à cela: la propagation de l'éclair est de l'ordre du kilomètre. Nous entendons d'abord le son provenant des sections d'éclair les plus proches de nous, puis, petit à petit, celui des sections plus éloignées. L'écho environnant suit. La forme dentelée d'un éclair se retrouve également au niveau du son: si une section arrive de façon concentrée au récepteur, le son sera perçu comme une explosion; en revanche, les sections radiales retentissent plutôt comme un sifflement. Vous pouvez retrouver ces effets lors du fort coup de tonnerre survenant au milieu de l'enregistrement.

**70 Aéroport de Zurich Kloten****Contenu:**

- Valise à roulettes tirée sur un sol présentant des aspérités (passage menant à la gare), chaussures à talons aiguilles, annonce en allemand: dans l'escalator, puis dans le terminal A, clapets du tableau d'affichage du terminal B, enfants étrangers, pas, annonce en allemand (avec bruit caractéristique des aéroports)
- Démarrage de l'avion enregistré de l'arrière, passage latéral (Boeing 737)

**Info:**

Date et heure: 18 mars 1997, après-midi

L'annonce du début indique: "Eine Mitteilung der Polizei: Wir warnen Sie vor Gepäckdieben. Lassen Sie Ihr Gepäck nie unbeaufsichtigt stehen. Un avis de la police: Attention aux voleurs! Ne laissez jamais de bagages sans surveillance. Un avis di polizia: Vi pregiamo di fare attenzione ai ladri!"

**Réalisation:**

Le démarrage de l'avion ne constitue pas une mesure fiable quant à l'indication de la sonie. Bien que l'enregistrement ait été effectué à seulement 50 mètres des réacteurs, le niveau sonore n'atteint "que" 90 dB(A). Il est vraisemblablement plus élevé sans filtre A, car les réacteurs émettent des fréquences très basses au démarrage (ça vibre énormément, sans parler du tapage). L'accélération des réacteurs produit ensuite un bruit à fréquence plus élevée, pouvant, de ce fait, être perçu comme très fort. Prêtez attention à l'avion qui passe.

## **71 Matin dans l'Eigenthal (LU)**

### **Contenu:**

Réveil des oiseaux, en fond sonore: clapotis d'un ruisseau, vaches, troupeau de vaches

### **Info:**

Date et heure: début mai 1997, entre 4 et 7 heures

Le terrain est situé au pied du Pilate, à environ 1200 mètres d'altitude.

## **72 Dimanche matin à la périphérie de Zurich**

### **Contenu:**

Gazouillis, cloche appelant à la messe, son des cloches des vaches, insectes volants, en fond sonore: bruit de la circulation

## **73 Promenade de la campagne en forêt (Horw)**

### **Contenu:**

Chant d'un merle, en fond sonore: autres oiseaux et bruits de la circulation

Orée du bois, dans le bois: corneilles et autres oiseaux

## **74 Nuit: pâturages et marais (Hausen am Albis)**

### **Contenu:**

- Grésillements de grillons et cloches de vaches, peu de bruit de circulation et pas d'oiseaux

- Concert de grenouilles dans la mare; à la fin, une grenouille plonge dans l'eau.

Fond sonore: installations pneumatiques pour le transport du foin d'une ferme éloignée.

### **Info:**

Date et heure: 17 mai 1997, au milieu de la nuit. Lieu: à proximité du Seleger Moor, Hausen am Albis

## **75 Aperçu de l'acoustique des locaux (allemand) [n° 76 français, n° 77 italien]**

### **Objectif:**

- Connaître l'importance de l'ouïe pour estimer la taille et l'équipement d'un local

### **Contenu:**

Visite commentée des locaux suivants: local anéchoïque de l'EPF Zurich, petit bureau vide, cage d'escaliers, garage souterrain, local réverbérant du Tech de Lucerne, forêt, réverbération électronique. L'introduction et la fin du morceau proviennent de salles de réunion avec une bonne acoustique.

### **Info:**

Des surfaces dures, de la pierre p. ex., renvoient le son; des surfaces tendres et poreuses l'absorbent. Plus la surface est rugueuse, plus le son sera réfléchi. Comparez avec la lumière: dans le cas d'un miroir parfait, l'angle d'incidence d'un rayon lumineux équivaut à son angle de réflexion, tandis qu'une surface mate (écran de projection p. ex.) renverra ce rayon dans toutes les directions. L'acoustique d'un local est déterminé par sa forme, sa taille et la nature de la surface des cloisons. Le local anéchoïque est équipé de coins en mousse absorbant le son, afin que rien, absolument rien ne soit renvoyé. Son contraire est le local réverbérant, dont les murs sont en béton nu. Les ondes sonores y sont quasiment prisonnières. Particularité de ce local: ses murs sont obliques. Ainsi, la pièce présente plus ou moins la même réverbération pour toutes les fréquences; le local n'amplifie pas une réverbération au détriment d'une autre. Les salles de concert avec une bonne acoustique présentent souvent des formes géométriques irrégulières.

### **Réalisation:**

Ces enregistrements ont été réalisés avec des microphones Sennheiser MKH 20 très réducteurs de bruit. Pour accentuer l'acoustique des locaux, les deux microphones ont été placés face à face dans une sphère de 20 cm de diamètre (la membrane des micros affleurant à la surface de la sphère, "microphone à surface sphérique"). Les effets sont particulièrement impressionnants lorsque l'on écoute ces enregistrements avec des écouteurs.

Comme ces enregistrements devaient être effectués en trois langues, nous avons utilisé une astuce: toutes les prises de son ont été effectuées dans le local anéchoïque, puis retransmises dans différentes pièces sur un haut-parleur de marque Tannoy. Ainsi, l'orateur ne devait pas se trouver à chaque endroit. Oratrice dans la version française: Valérie Parrat.

## **76 Aperçu de l'acoustique des locaux (français)**

## **77 Aperçu de l'acoustique des locaux (italien)**

# Lutte contre le bruit

## Objectifs:

- Connaître les possibilités de lutte contre le bruit
- Stimuler l'imagination en relation avec la lutte contre le bruit

## Info:

Le bruit peut être combattu de diverses façons: la plus élémentaire consiste à le réduire, voire le supprimer, à la source. Ecoutez les morceaux [79] / [80]. Si une suppression du bruit à sa source est impossible, on peut s'en protéger avec un écran (morceaux [78] / [81]). Si cette solution est également impossible, il faut alors protéger directement l'ouïe => protecteurs d'ouïe [43-46].

## 78 Effet d'une enceinte (couvercle mis / enlevé)

### Objectifs:

- Montrer les effets d'une enceinte
- Encourager l'utilisation des moyens de protection sonore installés

### Contenu:

Le couvercle de l'enceinte d'une poinçonneuse est alternativement fermé et ouvert.

### Info:

Ce sont surtout les bruits désagréables et dangereux pour l'ouïe dans la gamme de fréquences hautes (> 2 kHz) qui sont réduits très efficacement.

## 79 Buse bruyante / silencieuse, performance égale

### Objectif:

- Constater que l'on peut atteindre le même but avec le tour bruyant ou silencieux.

### Contenu:

1. Ancienne buse (buse venturi/buse d'injecteur)
2. Une buse à canaux multiples moderne qui souffle certes fortement, mais fait moins de bruit.

### Info:

Dans le cas d'anciennes buses, de forts tourbillons se produisent dans le courant d'air, pouvant générer un niveau élevé de bruit (environ 100 dB(A)). A performances égales, les silencieuses buses à canaux multiples émettent jusqu'à 20 dB(A) de moins que les buses venturi.

## 80 Auto à 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 km/h

### Objectif:

- Savoir de quelle façon et avec quelle intensité le niveau sonore d'un véhicule change à vitesse croissante.

### Contenu:

On entend un véhicule de livraison Citroën C15, d'abord au point mort, puis en mouvement, à vitesse croissante.

### Info:

A l'arrêt, on entend uniquement le bruit du moteur. Plus l'auto accélère, plus les bruits d'air et de roulements se font forts. A 100 km/h, ces sons représentent la majeure partie du bruit. Pour réduire le bruit de la circulation routière, on dispose des possibilités suivantes: une réduction de la vitesse entraîne partout une diminution du bruit. A petite vitesse, p. ex. en ville, des moteurs plus silencieux ont des effets particulièrement positifs. A grande vitesse, p. ex. sur autoroute, revêtements silencieux et meilleure aérodynamique améliorent également la situation. Ce n'est pas sans raison que les trains à grande vitesse ont une forme aérodynamique. Comme, dans le meilleur des cas, la résistance de l'air (et avec elle la consommation d'énergie et le bruit) augmente au carré, voire à la puissance trois, par rapport à la vitesse, un design inapproprié aurait de lourdes conséquences à cette vitesse.

## **81 Autoroute: devant / derrière l'écran antibruit**

### **Objectif:**

- Découvrir les capacités et limites d'un mur antibruit

### **Contenu:**

Bruits d'une autoroute devant et derrière un mur antibruit d'environ 4 m de haut. A distance égale de la chaussée.

### **Info:**

Ici aussi, les hautes fréquences sont fortement amorties; les basses, presque pas. C'est pourquoi un camion plein a un bruit aussi élevé, tandis qu'une simple voiture avec un moteur silencieux est à peine audible.

### **Réalisation:**

Le mur antibruit se trouve derrière la gare de Stansstad. Il est construit sur un talus en terre (2 mètres de haut) et mesure 3 mètres. La chaussée était sèche lors des prises de son. Dans les deux cas, le microphone se trouvait à 50 m de la bande centrale.

Les deux enregistrements ont été condensés de la même façon, afin d'obtenir la meilleure impression possible. On a donc mixé 4 prises de son effectuées au même endroit, à de brefs intervalles de temps. Tous les enregistrements ont eu lieu en l'espace d'une demi-heure.

# **Bruit au poste de travail**

### **Objectifs:**

- S'accommoder aux bruits d'une branche économique
- Sensibiliser aux problèmes de bruit

### **Contenu:**

Extraits de bruits issus de chaque branche économique

### **Réalisation:**

Une partie de ces enregistrements a eu lieu lors d'une mesure du bruit et se présente donc en mono.

## **82 Toutes les branches**

Scie circulaire, salle des métiers à tisser, meuleuse d'angle, sonnette de battage, tracteur, marteau piqueur, tronçonneuse

## **83 Construction**

Marteau et burin, marteau piqueur, fraiseuse raineuse pour mur, fraiseuse de pierres (essence), marteau de charpentier, sonnette de battage (appareil de battage)

## **84 Construction de voies ferrées**

Marteau perforateur, signal d'avertissement, train rapide passant à grande vitesse

## **85 Industrie métallurgique**

Affûtage et dressage, appareil à clouer, soudure à l'électrode, poinçonneuses: lentement, à vitesse moyenne, rapidement

## **86 Economie forestière et agriculture**

Tronçonneuse, alimentation des porcs, pâturage des vaches, tracteur agricole: démarrage et passage

## **87 Travail du bois**

3 enregistrements: scierie, scie circulaire, raboteuse

## **88 Industrie textile**

Salle des métiers à tisser, métier à tisser à pinces, métier à navettes

## **89 Transport**

Pas, vélo, tram, auto, train rapide, avion

## **90 Bureaux**

Machine à écrire mécanique, machine à écrire électrique, démarrage d'un PC, clic de souris, imprimante à aiguilles, imprimante laser, ronflements et le téléphone sonne, sonne...

## Divers

### 91 Pas

**Contenu:**

Pas sur de l'asphalte, asphalte avec des graviers, puis neige fondante, pas dans la neige et sur un pont de bois

### 92 Sports

**Contenu:**

Badminton, skateboarder sur un sol inégal, basket de rue, billard, jogging

### 93 Véhicules sur rails

**Contenu:**

Locomotive à vapeur, départ d'un train rapide en gare de Lucerne (annonce en italien), S-Bahn à la gare principale de Zurich, tramway à Zurich (n° 6, à l'EPF)

**Réalisation:**

Après le départ du train de Lucerne, vous entendez une locomotive s'éloigner de la gare. Comme il s'agit d'une gare en cul-de-sac, il faut chaque fois changer de locomotive entre l'arrivée et le départ.

Les passagers d'un S-Bahn zurichois équipé de nouveaux wagons sont avertis de l'imminence du départ par un signal lumineux placé au-dessus des portes. Si vous pouvez percevoir de très hautes fréquences, vous entendez le rechargement des condensateurs de l'appareil clignotant après chaque signal lumineux.

Les anciens tramways grincent énormément dans les virages. L'enregistrement est celui d'un vieux tram, circulant dans une courbe à l'EPF de Zurich. On entend passer en même temps en fond sonore un tram moderne.

### 94 Crépitement d'un feu

**Réalisation:**

Notez le son métallique du four en fer où le feu brûle.

### 95 Chien turbulent

**Réalisation:**

Même les animaux s'expriment par l'acoustique. "Gini" en a vraisemblablement assez d'écouter.

## Signaux de mesure et de test

### 96 Bruit rose non corrélé (stéréo)

#### Objectifs:

- Etablir une différence de perception par rapport à un bruit corrélé
- Vérifier de façon auditive si la reproduction est correcte

#### Info:

Un bruit non corrélé signifie qu'on a enregistré sur les deux canaux stéréos deux bruits roses totalement indépendants l'un de l'autre. Dans le cas d'un bruit corrélé à 100%, il s'agit exactement du même bruit sur les deux canaux. S'il s'agissait de musique et non de bruit, on parlerait d'enregistrement monophonique.

#### Réalisation:

Un bruit non corrélé et un bruit corrélé ne retentissent pas de la même façon. Dans le cas d'un bruit corrélé, on a l'impression que le bruit provient du milieu des deux haut-parleurs. Un bruit non corrélé apparaîtra comme étant bien réparti entre la gauche, la droite et le centre.

Bien qu'il n'existe aucune périodicité ou aide dans un bruit, le cerveau parvient à différencier des signaux identiques de ceux qui ne le sont pas. Cela nous donne un indice sur le traitement très rapide de l'information.

### 97 Bruit rose corrélé (mono)

#### Objectifs:

- Voir morceau 96
- Vérifier de façon auditive si les haut-parleurs sont reliés en phase

### 98 Sinus 1 kHz, niveau maximal

#### Objectif:

- Contrôler toute la chaîne de reproduction en surmodulation

**Attention: n'utilisez pas d'écouteurs pour passer ce morceau. Cela pourrait endommager votre ouïe! Si le volume de l'amplificateur est trop élevé, vos haut-parleurs pourraient être soumis à une surcharge excessive!**

### 99 Test de canal (gauche / droite)

#### Objectif:

- Reproduire les signaux sonores de ce CD conformément à l'original

#### Contenu:

Les mots "canal gauche", "canal droit" sont dits alternativement sur le canal gauche, resp. droit.

#### Info:

En cas de problème, vérifiez et, le cas échéant, permutez la prise audio au niveau du lecteur CD, de l'amplificateur ou de la sortie haut-parleurs de l'amplificateur.

## Indications bibliographiques

{1}	Musique et troubles de l'ouïe	Suva réf. 84001
{2}	Dangers du bruit à l'emplacement de travail	Suva réf. 44057
{3}	Nuisances sonores à l'emplacement de travail	Suva réf. 66058
{4}	Klang, Musik mit den Ohren der Physik (1985)	John R. Pierce; Spektrum-Verlag



# Glossaire

Le signe ~> renvoie aux entrées du glossaire, => aux morceaux du CD.

## Niveau A/pondération A:

- Filtre proche de la ~> réponse en fréquence de l'ouïe et qui peut être utilisé lors de mesures du niveau sonore

## Acoustique:

- Apprentissage du son
- Rapports sonores, effet d'un son composé, d'un son (dans un local [fermé])

## Amplitude:

- Ecart maximal d'une variation; pour un son: valeur maximale de la pression sonore d'une variation; électricité: tension maximale

## Audiogramme:

- Représentation graphique du seuil d'audition (standard) en fonction de la fréquence

## Oreille externe:

- Du pavillon de l'oreille au tympan en passant par le conduit auditif (~> ouïe)

## Perte auditive permanente (PTS):

- Augmentation (aggravation) irréversible du seuil d'audition. Aucun traitement possible.

## Cochlée:

- Escargot rempli de liquide dans lequel se trouvent les ~> cellules ciliées qui font office de capteurs
- Organe touché par les lésions de l'ouïe dues au bruit
- ~> ouïe

## Décibel (dB):

- Unité du ~> niveau de pression acoustique (niveau sonore)
- dB(A): voir ~> pondération A
- Mesure pour les amplifications et les réductions

## Dissonance:

- Réunion désagréable de sons. Contraire: ~> consonance

## Trompe d'Eustache:

- Liaison entre l'oreille moyenne et l'arrière-gorge, compense les variations de pression atmosphérique (~> ouïe)

## Fréquence:

- Nombre de périodes de variations par seconde

## Réponse en fréquence:

- de l'ouïe ou d'un microphone: sensibilité par rapport à la fréquence
- d'un haut-parleur: niveau de reproduction par rapport à la fréquence
- linéaire: plus la réponse en fréquence d'un appareil est plate, plus la reproduction sera naturelle.

## Ouïe:

- Organe de perception du son
- Lisez le paragraphe "réalisation" du chapitre "perception sonore".
- Pour plus de renseignements sur la constitution de l'ouïe, veuillez vous reporter à la page 8 de la publication {1}, page 24 et suivantes de la brochure {2}, p 11 dans {3}

## Bruit:

- Son provenant de vibrations chaotiques (par opposition à son composé)

## Cellules ciliées:

- Petits poils dans la ~> cochlée, reliés aux nerfs et transformant le son en impulsions électriques (~> ouïe)
- Une contrainte excessive (niveau sonore continu trop élevé ~>  $L_{eq}$ ) peut entraîner la mort des cellules ciliées et, par conséquent, un dommage auditif.

## Niveau d'audition:

- Niveau auquel un enregistrement est écouté. La plupart du temps, il ne correspond pas au niveau de l'enregistrement.

**Domage auditif:**

- ~> Lésion permanente de l'ouïe
- ~> Perte auditive temporaire

**Limaçon:**

- ~> Cochlée

**Seuil d'audition:**

- ~> Pression sonore dépendante de la ~> fréquence et à laquelle un son est encore perçu.

**Coquille/enceinte:**

- Protecteur d'ouïe placé sur les oreilles tels des écouteurs (coquille de protection)
- Étanchéité d'une source sonore contre le bruit (enceinte)

**Son composé:**

- Son provenant de vibrations périodiques (par opposition à bruit)

**Consonance:**

- Son harmonieux. Contraire: ~> dissonance.

 **$L_{eq}$ :**

- Niveau sonore continu équivalent. Niveau sonore énergétique moyen qui permet d'évaluer le bruit.

**Pression atmosphérique:**

- Pression de l'air selon sa masse et la gravitation terrestre (pression gravitationnelle)
- La pression atmosphérique dépend de l'altitude et s'élève au niveau de la mer à environ 1000 hectopascal (hPa = mbar).
- La pression atmosphérique équivaut à des pressions sonores naturelles à la puissance 10. Comme elle agit de façon identique devant et derrière le tympan, cela n'a aucune influence sur l'audition.
- Les modifications de la pression atmosphérique sont compensées par la ~> trompe d'Eustache.

**Oreille interne:**

- ~> Cochlée; (~> ouïe)

**Oreille moyenne:**

- Comprend la face intérieure du tympan et les osselets.
- (~> ouïe)

**PTS:**

- Permanent Threshold Shift, ~> perte auditive permanente

**Son pur:**

- Son uniquement constitué de sa fréquence fondamentale, sans harmoniques (son sinusoïdal)

**Son:**

- Vibrations se propageant sous forme d'ondes et pouvant être perçues par l'ouïe humaine

**Pression sonore:**

- Mesure les variations de pression atmosphérique provenant d'une source sonore. Si la pression sonore double, la puissance acoustique quadruple. Unité: pascal (Pa).

**Puissance acoustique:**

- Energie acoustique rayonnée par seconde. Un doublement de la puissance acoustique entraîne une augmentation de la pression sonore selon un facteur  $\sqrt{2}$ . Unité: watt (W).

**Niveau sonore:**

- Mesure logarithmique issue de la pression sonore. Unité: décibel (dB).

**Ordonnance son et laser:**

- Ordonnance fédérale qui établit le niveau sonore maximum autorisé de la musique amplifiée électroniquement. Elle régit également l'utilisation de rayons laser lors de manifestations. Entrée en vigueur: 1er avril 1996.

**Seuil de la douleur:**

- Pression sonore au-delà de laquelle la perception du son devient douloureuse (environ 120 dB).

**Son sinusoïdal:**

- Son uniquement constitué de sa fréquence fondamentale, sans harmoniques (= son pur)

**Spectre:**

- Répartition de l'intensité en fonction de la fréquence



## AUDIO DEMO 3

### **Konzept / Conception / Concetto**

Beat W. Hohmann, Suva

### **Realisation / Réalisation / Realizzazione**

Markus Leutwyler, EPF/Suva

### **Tonaufnahmen / Enregistrements / Registrazioni**

Suva, secteur acoustique, M. Leutwyler, B. Hohmann, Auris [48/49/53/54/57/58], RiffRaff Studio [61], W. Lips [63]

### **Tontechnik / Prise et traitement de son / Tecnica del suono**

Sennheiser MKH 20/40/60/80, Microtech Gefell MT71S/M300, Revox M3500, Brüel&Kjær 4165; Brüel&Kjær 1027; Tascam DA-P1, Sony DTC A8, Sony PCM-F1, Stellavox SP7, Revox A77 HS; Alesis Quadraverb 2, Creamware tripleDAT 2.3.

### **Titelbild / Couverture / Copertina**

Peter Fahrni, Markus Leutwyler (photo Heiligenschwendi / lac de Thoune)

### **Wir danken / Nous remercions / Ringraziamo [n° du morceau]**

Bruno Rusconi, direction de l'aéroport de Zurich [70]; Rolf Bischof, Kakaphoniker Lucerne [66]; Tobias Herger, orgue [27-29, 65]; Käthi Leutwyler [30], Karl Leutwyler [80]; Rosmarie Hubmann [12], Valérie Parrat [76], Sara Spadaro [77], Jugendmusik Emmen [63]; Jürg Stettbacher, EPF [75-77]; Andreas Odermatt, ZTL [75-77]; Tennis-Center Würzenbach Lucerne [92]; CFF Lucerne [93]; Gini [95]; Tennis- & Squash-Center Cham; Beat Fritschi; Kuno Matzinger; Vlasta Mercier, Office fédéral de la santé publique; Beat Roggen, Informationszentrum für gutes Hören.

Référence du CD: 99051

CD fabriqué en Suisse par OMD, Diessenhofen

Temps total du CD: 73'50"

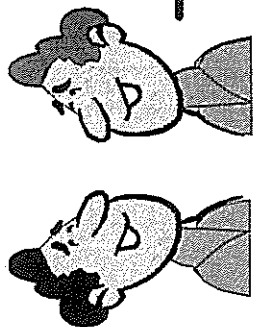
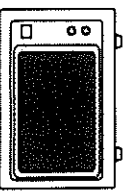
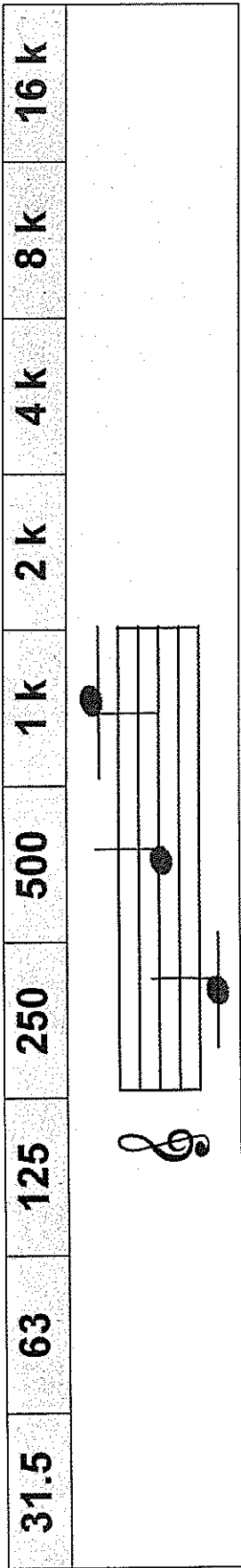
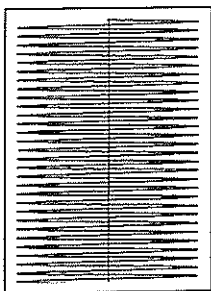
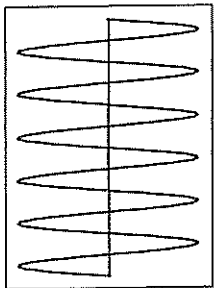
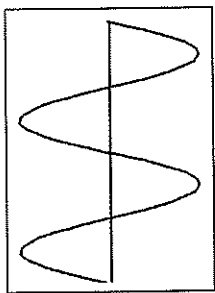
© Suva 1997, n° 86905.f

Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, secteur acoustique, 6002 Lucerne

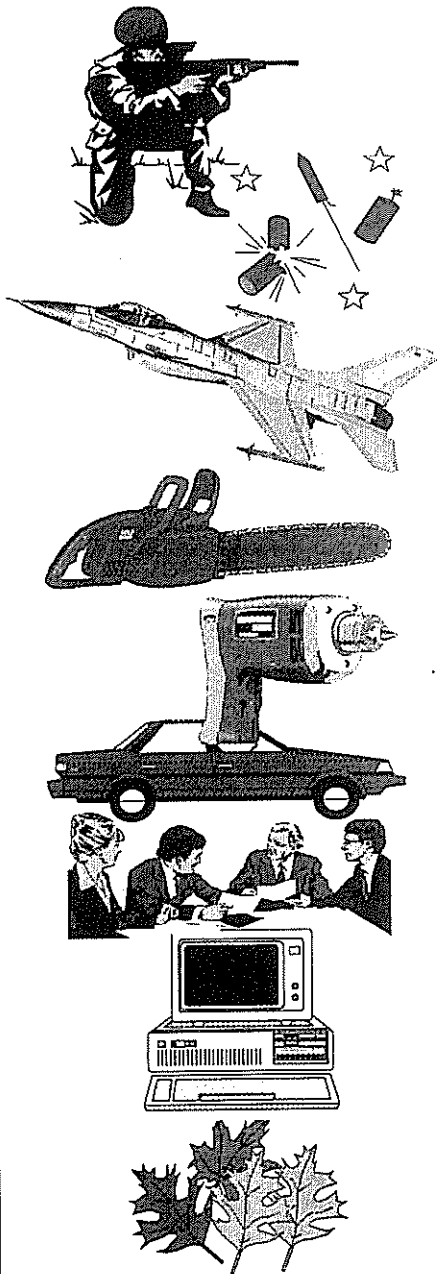
Tél.: 041 - 419 54 22, fax: 041 - 419 57 57

**Figures  
et  
transparentes**

# FRÉQUENCES en Hertz [Hz]



Niveau sonore



160

140

120

100

80

60

40

20

0

**Dégâts aigus**

**Seuil de douleur**

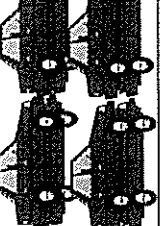
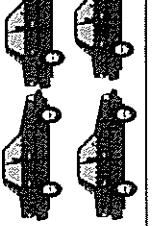




**Bruit dangereux  
pour l'ouïe**

**Communication  
empêchée**

**Seuil de  
l'audibilité**

**dB (A)**

## Différences de niveaux

Perception de l'augmentation	Niveau sonore	Puissance acoustique ou nombre de sources identiques	Pression sonore
4 x plus fort	+ 20 dB	 x 100	x 10
2 x plus fort	+ 10 dB	 x 10	x 3,0
nettement plus fort	+ 6 dB	 x 4	x 2,0
juste perceptible	+ 3 dB	 x 2	x 1,4
presque pas perceptible	+ 1 dB	 x 1,25	x 1,1
(référence)	0 dB	 x 1	x 1,0



## Test auditif [34]

Notez pour chaque fréquence le nombre de sons test entendus (après le son de démonstration):

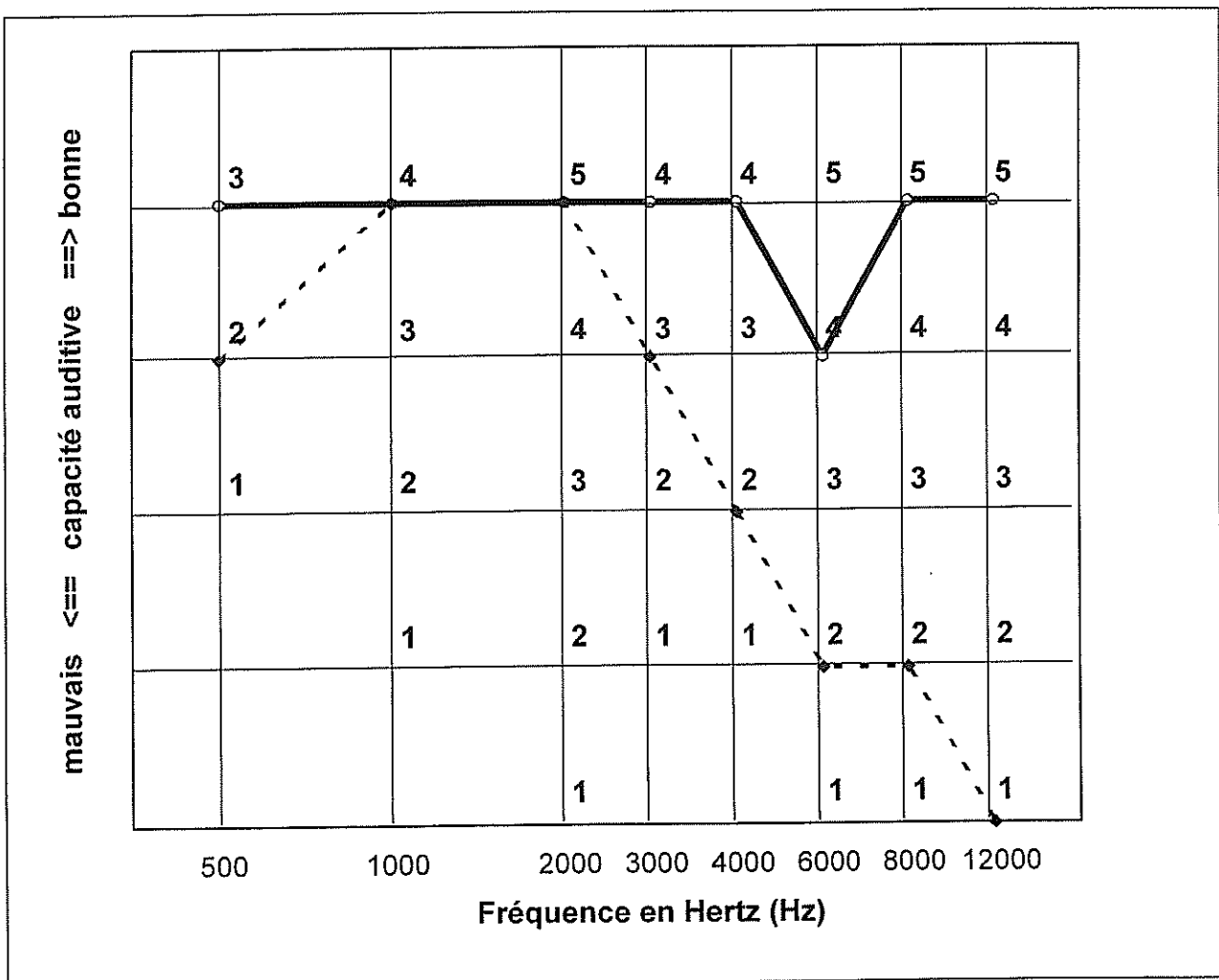
Fréquence [Hz]	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000	12000
Oreille gauche								
Oreille droite								

Indiquez pour chaque fréquence le point d'intersection avec les signes suivants:

oreille gauche = X, oreille droite = O.

La courbe en gras montre une évolution caractéristique chez les enfants et les adolescents.

La courbe en pointillés représente l'évolution typique rencontrée chez les hommes d'environ 55 ans; les femmes entendent souvent mieux.

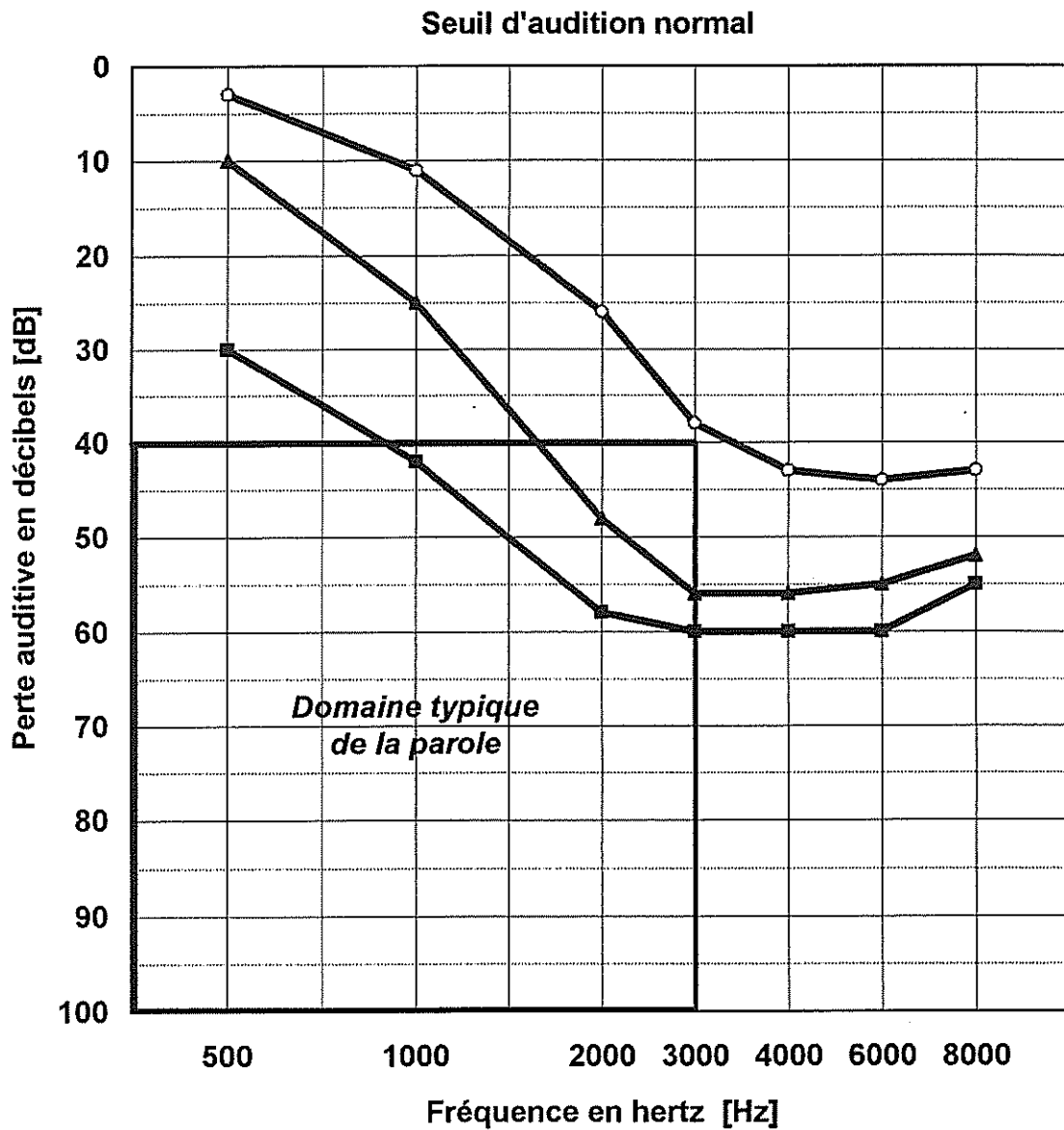


## Test auditif des aiguës [35]

Le nombre de sons test entendus permet de déduire la fréquence limite supérieure de votre ouïe:

Nombre de sons entendus	0	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10
Fréquence limite supérieure	<10 kHz	10 kHz	11 kHz	12 kHz	13 kHz	14 kHz
Nombre de sons entendus	11 - 12	13 - 14	15 - 16	17 - 18	19 - 20	21 - 22
Fréquence limite supérieure	15 kHz	16 kHz	17 kHz	18 kHz	19 kHz	20 kHz

# Audiogramme des dommages auditifs simulés



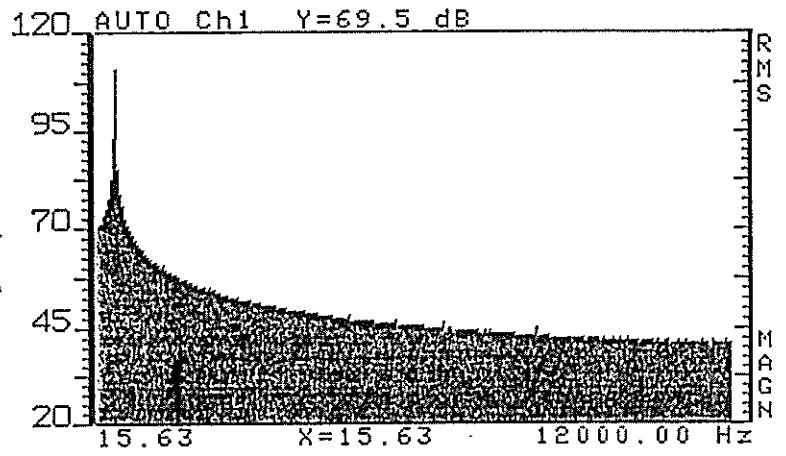
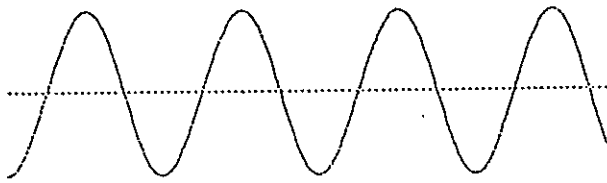
- faible perte auditive (indice de perte auditive CPT = env. 12 %)
- ▲ perte auditive moyenne (indice de perte auditive CPT = env. 35 %)
- forte perte auditive (indice de perte auditive CPT = env. 50 %)

# "Du sinus au rectangle" [23]

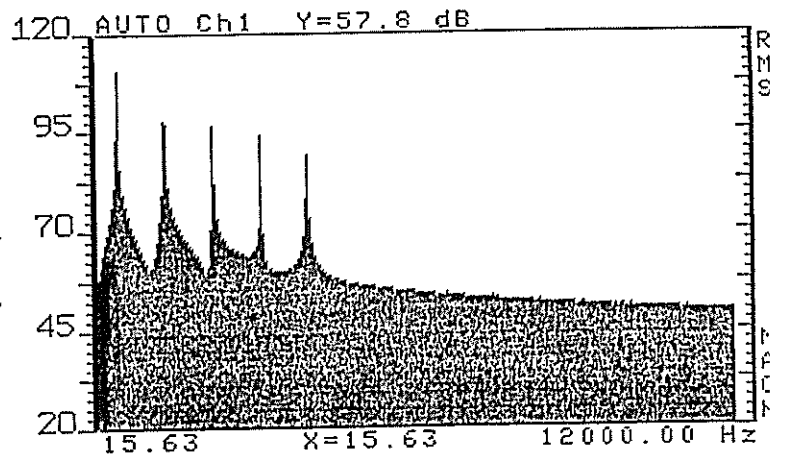
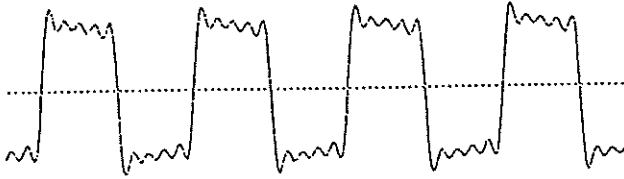
Oscillogramme

Spectre FFT

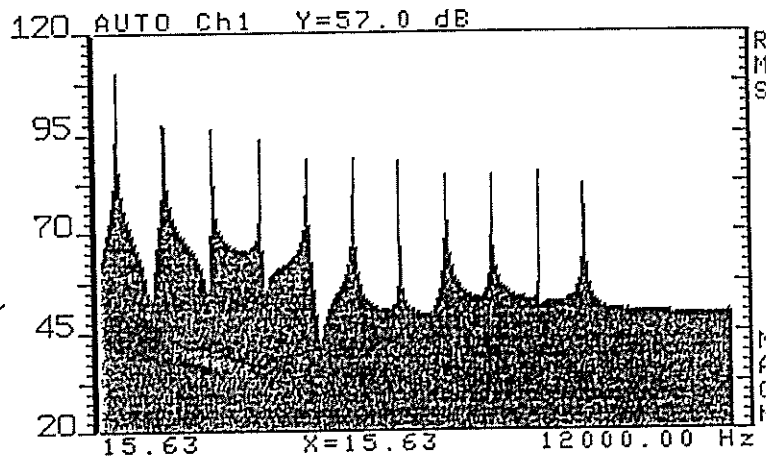
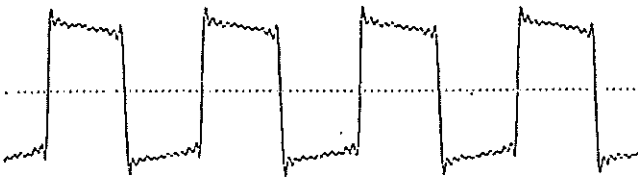
1 partiel



5 partiels



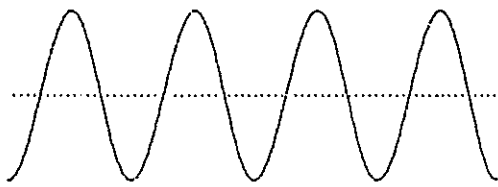
11 partiels



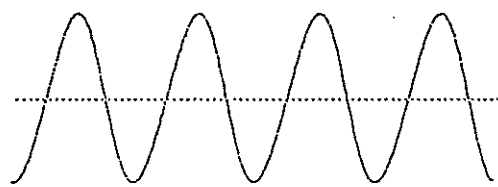
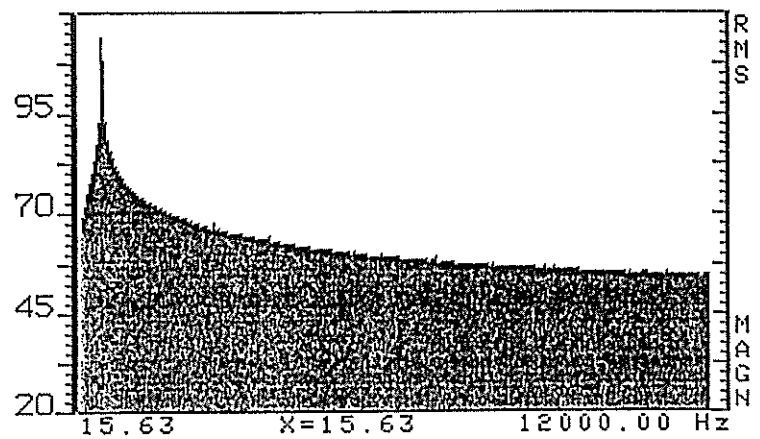
# "Du sinus au son composé harmonique" [24]

Oscillogramme

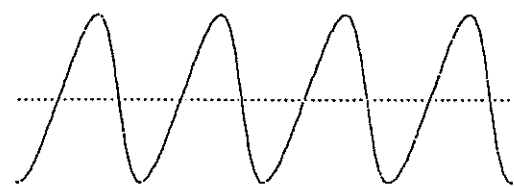
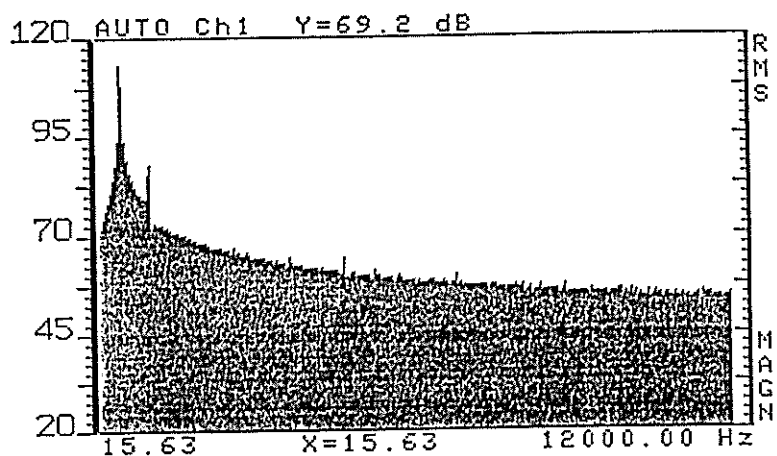
Spectre FFT



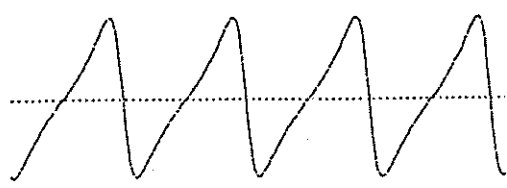
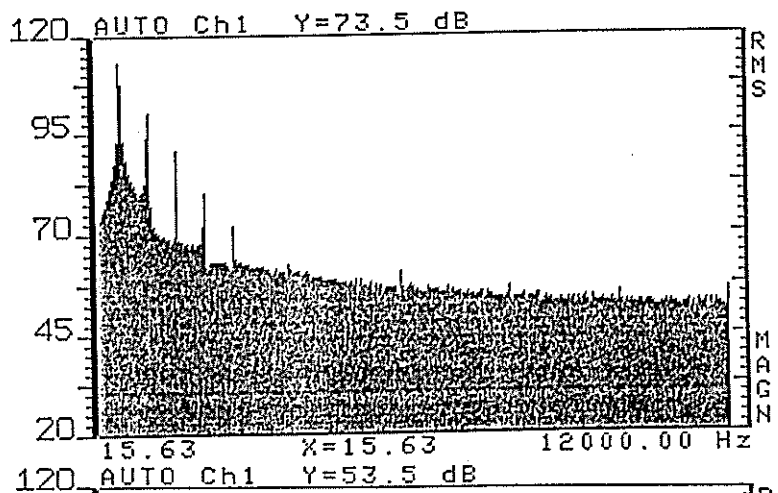
1er son: sinus



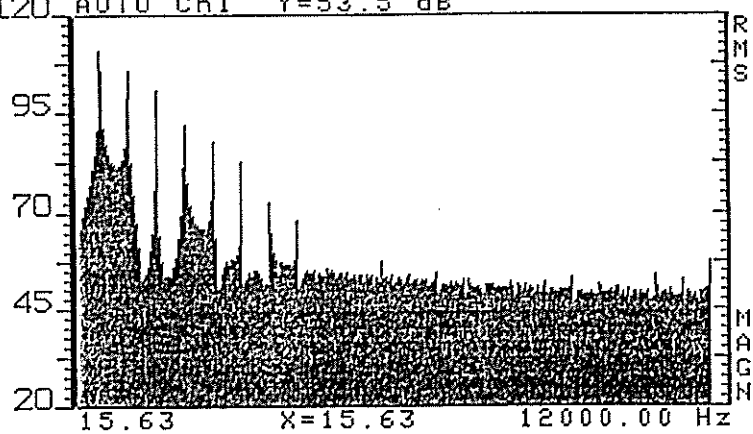
2ème son: sinus légèrement déformé

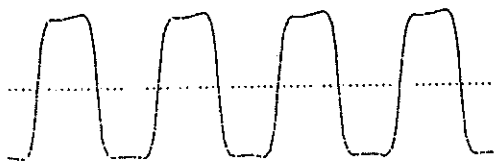


3ème son: sinus déformé

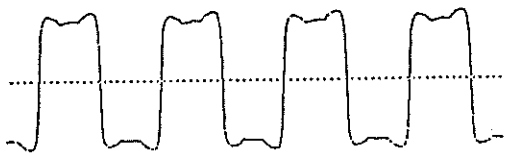
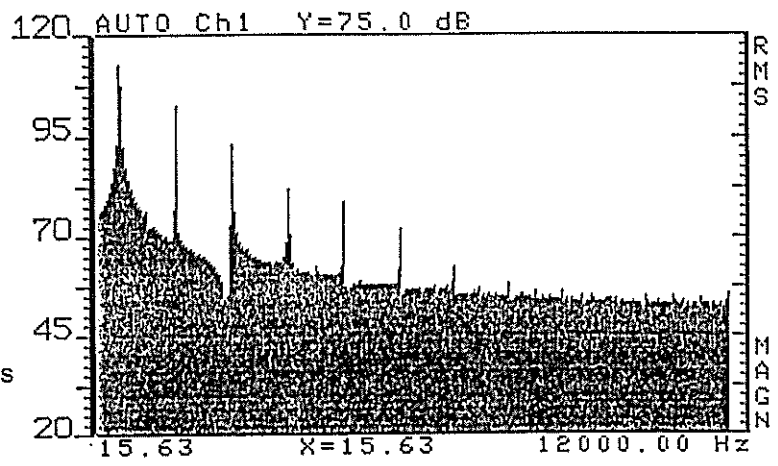


4ème son: dent de scie

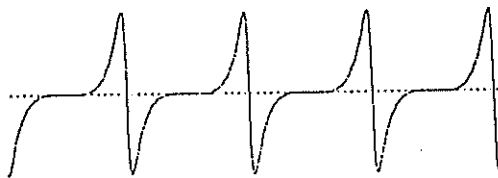
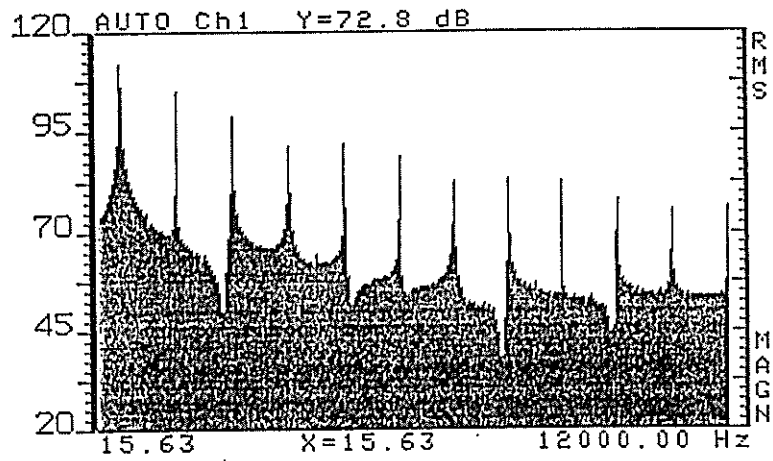




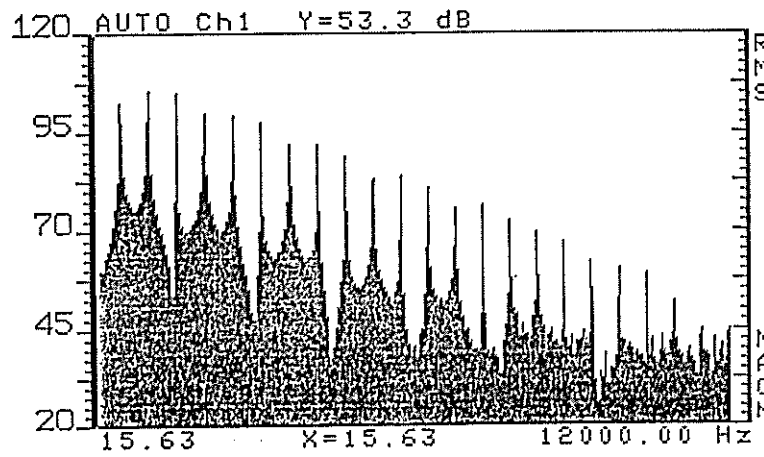
5ème son: rectangle aux coins arrondis



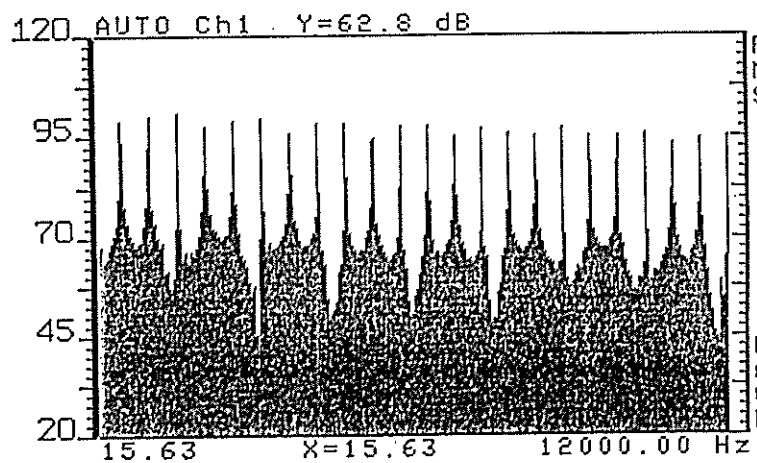
8ème son: rectangle



9ème son: impulsions étroites

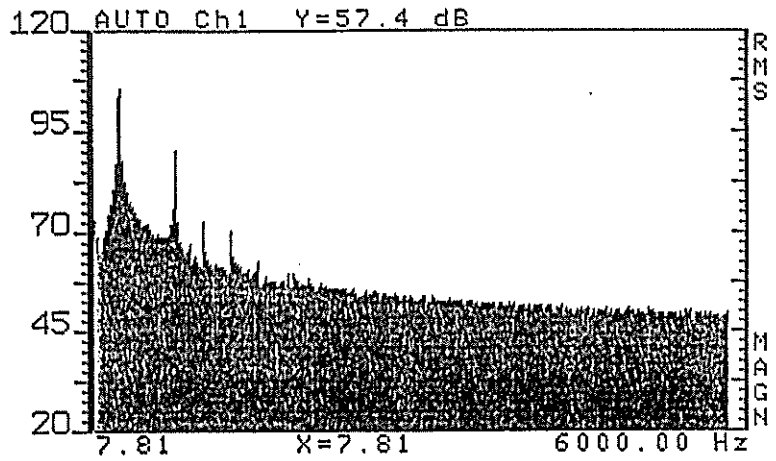


13ème son: impulsions en pointe



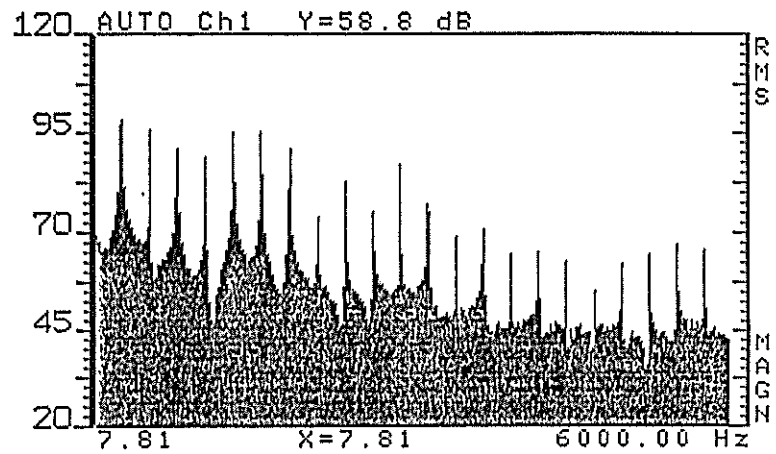
"Son de l'orgue, doux" [25]

Spectre FFT



"Son de l'orgue, aigu" [26]

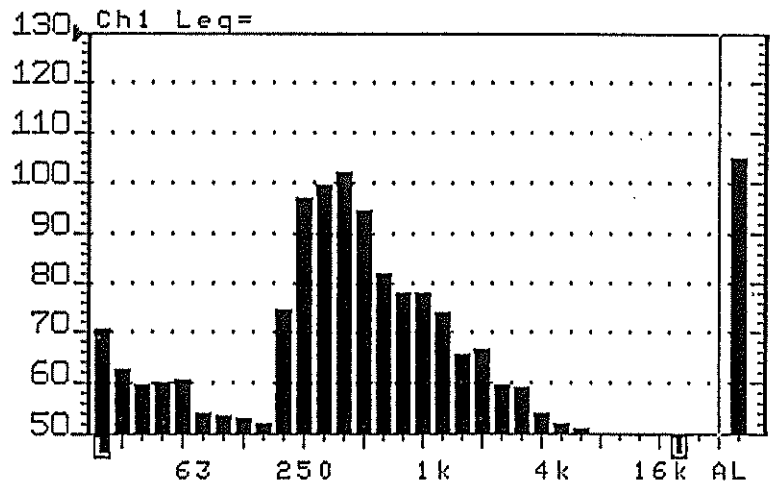
Spectre FFT



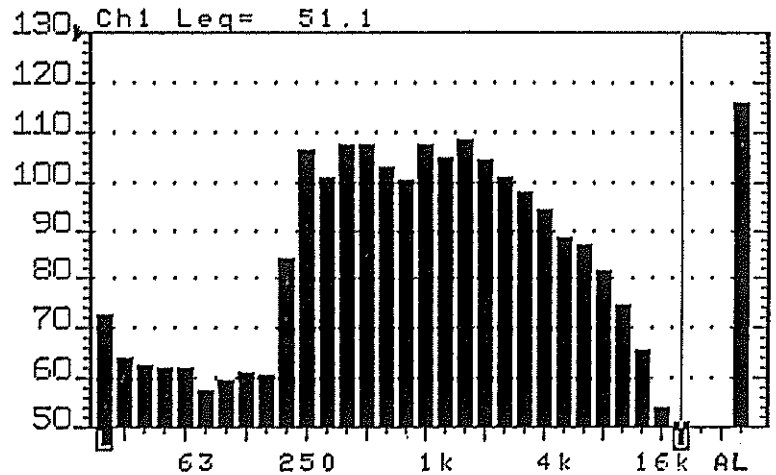
"Addition de registres pendant un son"

[29]

Analyse par tiers d'octaves



Analyse par tiers d'octaves

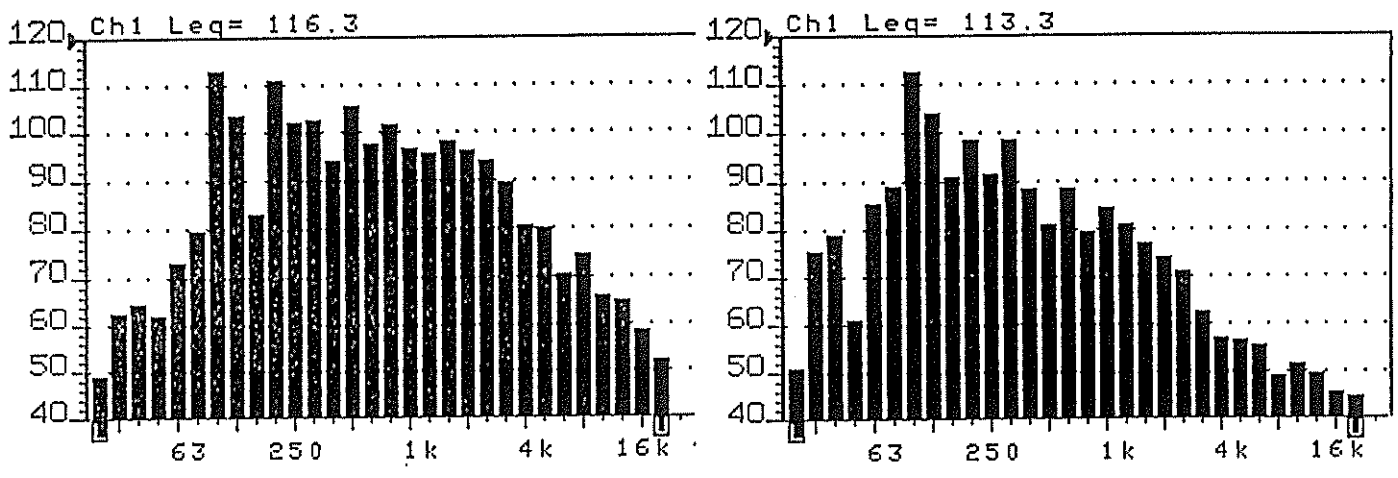


"Violoncelle: joué et cordes pincées" [30]

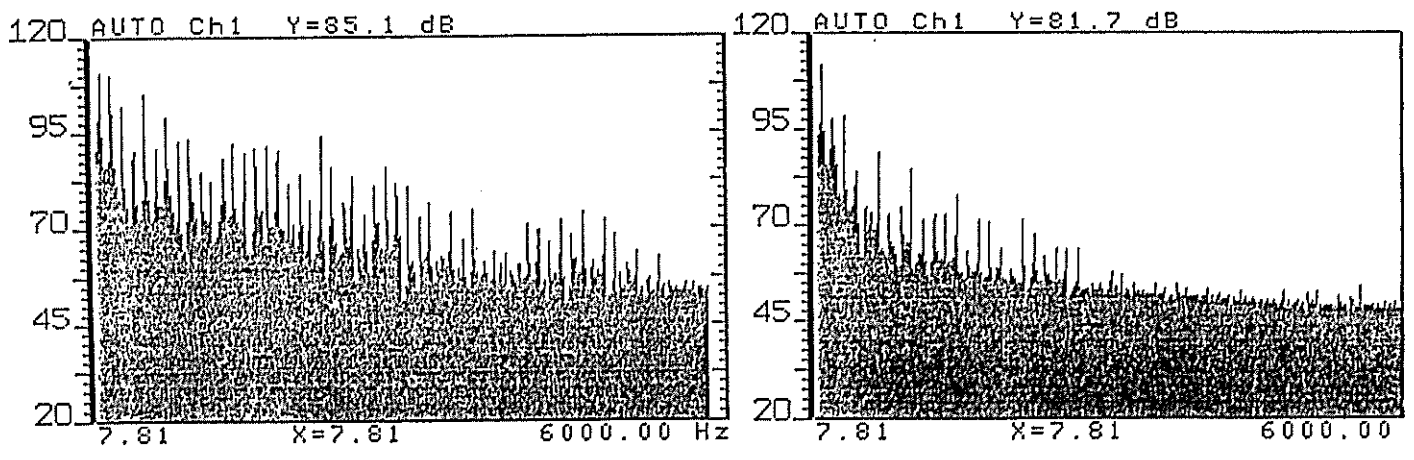
Oscillogramme



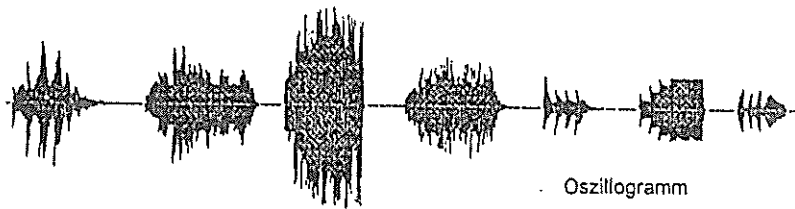
Analyse par tiers d'octaves



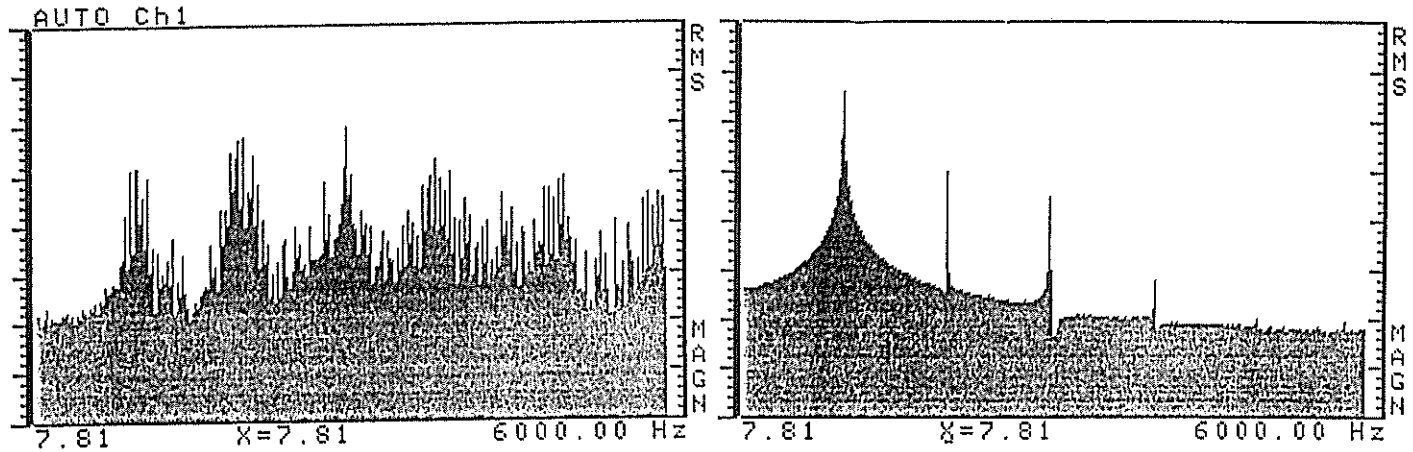
Spectre FFT



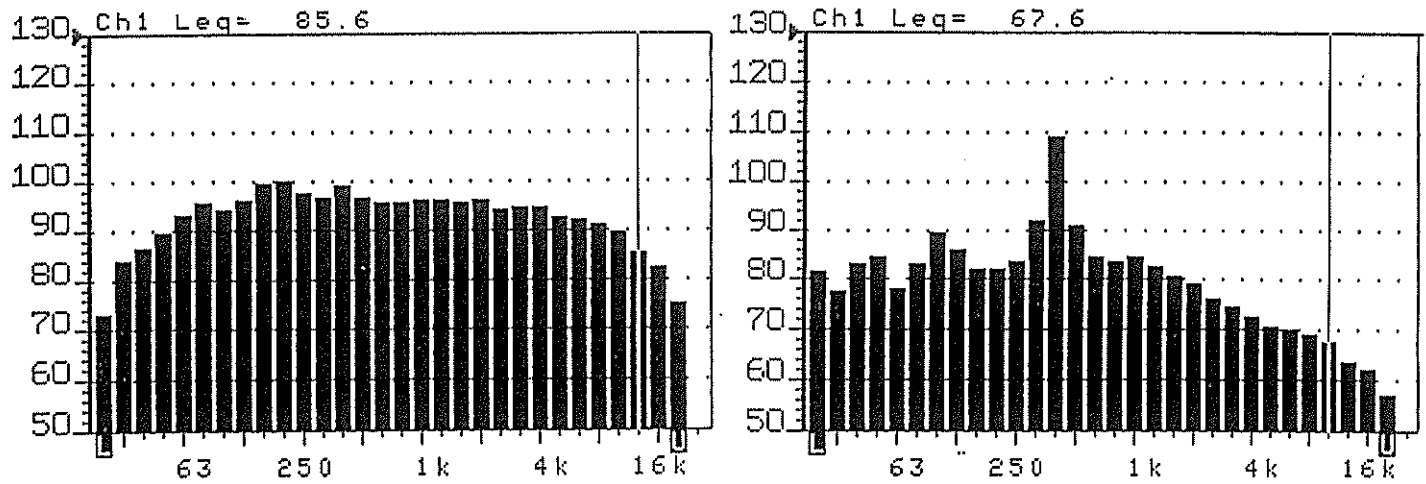
"Synthétiseur: accord triple avec divers sons composés" [31]



"Bruit strident / son composé harmonique" [38]



"Bruit à bande large / à bande étroite" [39]



"Bruit à basse fréquence / fréquence moyenne" [40]

