

1°) REUNION DU 16 Avril 1964

Etaient présents:

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président
M. LEIPP, secrétaire général ; Melle CASTELLENGO, secrétaire
M. CHAVASSE, Ingénieur en Chef des Télécommunications (CNET)
M. Norbert DUFOURCQ, Président de la Société Française de Musicologie, Professeur au Conservatoire National Supérieur de Musique et Madame la Secrétaire de M. DUFOURCQ
M. REDON, (représentant la Société Babolat Maillot); M. SCHMITT, luthier d'art; M. DUBUC (CNAM) ; M. RISSET (Agrégé de Physique)
M. DELMAS.

Excusé: M. BLONDELET, en voyage d'information au Japon (Société BUFFET-CRAMPON).

Le compte rendu de cette séance donne un aperçu des appareillages et méthodes utilisés au Laboratoire. Il nous reste quelques exemplaires de ce bulletin pour les personnes qui désireraient le communiquer autour d'elles.

2°) REUNION DU VENDREDI 15 MAI 1964

Nous rappelons que M. MOLES nous fera un exposé sur la Théorie de l'Information et la Musique. Cette question est capitale et concerne tout particulièrement les musiciens. En raison du choix du local, nous prions instamment les personnes qui voudraient prendre part à cette réunion, de nous en informer rapidement. (Utiliser la carte-reponse du précédent bulletin).

3°) FICHE PERSONNELLE .

Pour orienter les prochaines réunions du GAM, il nous serait précieux de connaître vos centres d'intérêt et vos moments de liberté. Dans ce but, nous vous serions reconnaissants de nous retourner la feuille ci-jointe.

4°) DIAPASON.

Dernièrement nous avons pris contact avec M. DUCLOS à l'OPERA, en l'absence de M. BONDEVILLE gravement indisposé. Il a été décidé de faire une série de relevés lors de répétitions et de représentations pour tenter de résoudre les problèmes dramatiques auxquels les chanteurs sont actuellement obligés de faire face.

Melle CASTELLENGO.

APPAREILLAGES ET METHODES MODERNES EN ACOUSTIQUE MUSICALE

par M.H. ELIPP.

1. GENERALITES

En quelques décades, l'électro-acoustique a mis à notre disposition des appareillages extraordinaires, permettant de mesurer, de fixer, de matérialiser, de visualiser, de photographier les phénomènes acoustiques. Cette possibilité d'obtenir des documents objectifs en un domaine où jusqu'alors tout était fugace, évanescent, soumis aux aléas de la mémoire, a permis de reprendre à peu près tous les problèmes acoustiques, et une véritable révolution s'est faite sous nos yeux.

Cependant, l'acoustique musicale a été singulièrement négligée - à tort, pensons-nous; car les acousticiens, les spécialistes de l'enregistrement et de la reproduction, ceux des télécommunications, de la psycho-physiologie des sensations etc... ont beaucoup à apprendre chez les musiciens, familiarisés depuis des siècles avec l'observation et l'utilisation des phénomènes acoustiques. Par malheur, les musiciens sont peu ou mal informés des doctrines, appareillages et méthodes acoustiques modernes et en connaissent rarement la terminologie.

Pour qu'une collaboration efficace et fructueuse entre spécialistes s'établisse au Laboratoire d'Acoustique de la Faculté des Sciences, nous avons pensé intéressant de résumer les éléments d'un langage commun à l'occasion de quelques démonstrations de nos possibilités actuelles.

I - DESCRIPTION PHYSIQUE DES SIGNAUX ACOUSTIQUES ET MUSICAUX.

Il est maintenant bien connu qu'un signal acoustique, quelle que soit son origine ou sa forme est un objet temporel. Du fait qu'une des dimensions des sons est le temps, ces phénomènes restèrent longtemps insaisissables. Tout cela a bien changé avec l'apparition du magnétophone, qui permet en particulier de fixer le son sur bande dans son intégralité, la dimension temps étant définie par la vitesse de défilement de la bande. Dès lors le son est devenu un objet comme un autre.

L'acoustique se propose l'étude des sons, c'est-à-dire d'une part la description exhaustive physique des signaux et d'autre part l'interprétation psycho-physiologique des documents. Nous allons tenter de faire le point de la situation actuelle en ce domaine.

A - DESCRIPTION D'UN SIGNAL ACOUSTIQUE.

1°) Description d'un objet en général.

Un objet est d'abord une forme, un volume, comportant trois dimensions (hauteur, largeur, profondeur ou longueur).

Pour avoir un aperçu de cette forme, on utilise depuis toujours la représentation perspective (fig.1).

Prenons un objet familier : une boîte d'allumettes. La représentation perspective, pour peu qu'elle soit correcte (distance habituelle d'observation, couleur etc...) nous permet de reconnaître l'objet sans ambiguïté. On peut même schématiser la forme en supprimant une grande partie des éléments (détails de structure, aspect des matériaux, couleur etc..) sans que l'objet en devienne méconnaissable : l'important est de conserver les éléments significatifs (proportions de la boîte, inscriptions, frottoir etc..). En tout cas cette représentation nous permet de reconnaître la forme et la destination de l'objet.

Cependant, cette reproduction est insuffisante quand nous voulons décrire cette forme avec précision. Aussi les dessinateurs ont-ils imaginé une méthode de dessin plus adéquate, c'est alors le croquis coté (fig.2)

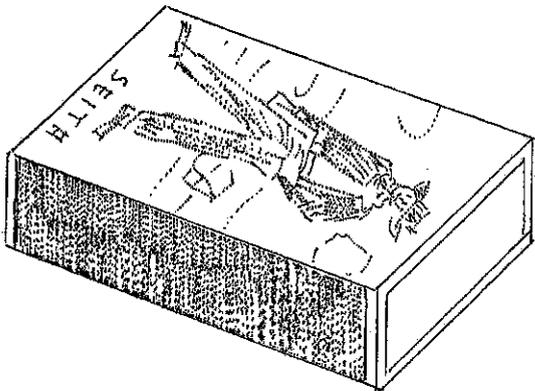


Fig. 1

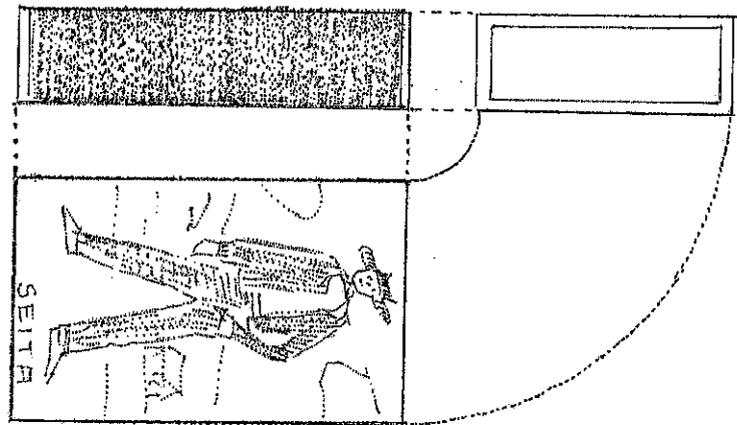


Fig. 2

L'objet est projeté sur trois plans disposés en trièdre, et ces plans sont " dépliés " dans un même plan unique. Nous avons alors tous les renseignements que nous désirons et nous pouvons mesurer toutes les dimensions caractéristiques de l'objet : à l'aide de grandeurs physiques. A partir de ce croquis on peut aussi reconstituer le dessin perspectif. L'intérêt de cette représentation est de nous fournir une représentation plane d'un volume.

...../

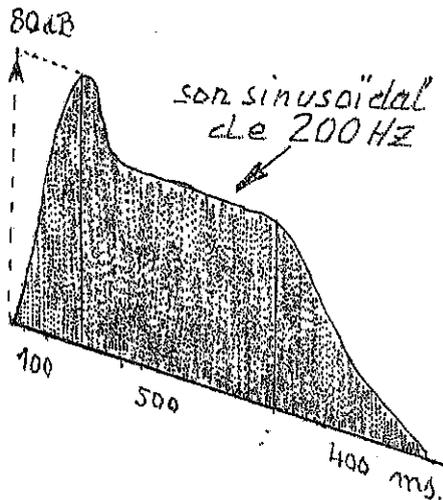
Cette représentation est bien connue de tous et si nous insistons sur ce point c'est parce qu'un signal acoustique peut se représenter de la même manière, comme on va voir.

2°) Description d'un signal acoustique.

Nous avons dit qu'un signal acoustique est un objet. Les dimensions en sont :

- la hauteur : fréquence en Hertz (Hz ou cycles/seconde)
- l'intensité : niveau en Décibels (ou dB)
- la durée : en secondes (s) ou millisecondes (ms)

Cet " objet sonore " peut être dessiné en perspective, tout comme l'objet précédent. Prenons un exemple. Soit un son simple, sinusoïdal. Ce son est une forme plane placée à une hauteur déterminée. La représentation perspective (fig.3) nous permet d'apprécier l'allure de sa forme temporelle et dynamique. Pour obtenir des renseignements sur ses dimensions exactes, plaçons l'objet dans un trièdre (coordonnées : niveau, fréquence, temps) et projetons l'objet sur les trois plans ainsi réalisés. On a (fig.4)



- a) le plan dynamique (intensité-temps, ou dB/ms)
- b) le plan des spectres (intensité-fréquence, ou dB-Hz)
- c) le plan d'évolution des fréquences (fréquence-temps ou Hz/ms). Celui-ci est le plan décrivant l'évolution de la mélodie, de l'harmonie et des timbres

Déplions maintenant les plans du trièdre en trois plans coplanaires. Nous aurons :

Fig.5a : Le plan dynamique. Il nous apprend que le signal commence à niveau zéro pour aboutir, après 100 ms, à un niveau de 80 dB où il se stabilise pendant 500 ms; puis il s'éteint graduellement (chute de 80 dB en 400 ms). On peut en tirer la pente de l'attaque et de l'extinction en dB/s, notion importante, bien connue des musiciens. En bref on obtient ainsi la forme dynamique du signal.

Fig.5b : Le plan des spectres. Il nous apprend que le signal est un son simple de 200 Hz (sol_2) d'une intensité maximale de 80 dB. La projection de l'objet sur ce plan détermine une raie spectrale de fréquence 200 Hz et de niveau 80 dB : le son a un spectre de raies.

Fig.5c : Le plan d'évolution des fréquences. Il nous apprend qu'une raie de 200 Hz dure une seconde en tout.

...../

Ces trois plans nous donnent la description physique intégrale du signal : ils peuvent être relevés avec précision :

- Le plan dynamique est enregistré par l'enregistreur logarithmique de niveau.
- Le plan des spectres est enregistré par le spectrographe à bande étroite.
- Le plan de l'évolution des fréquences est inscrit par le sona-
graphe

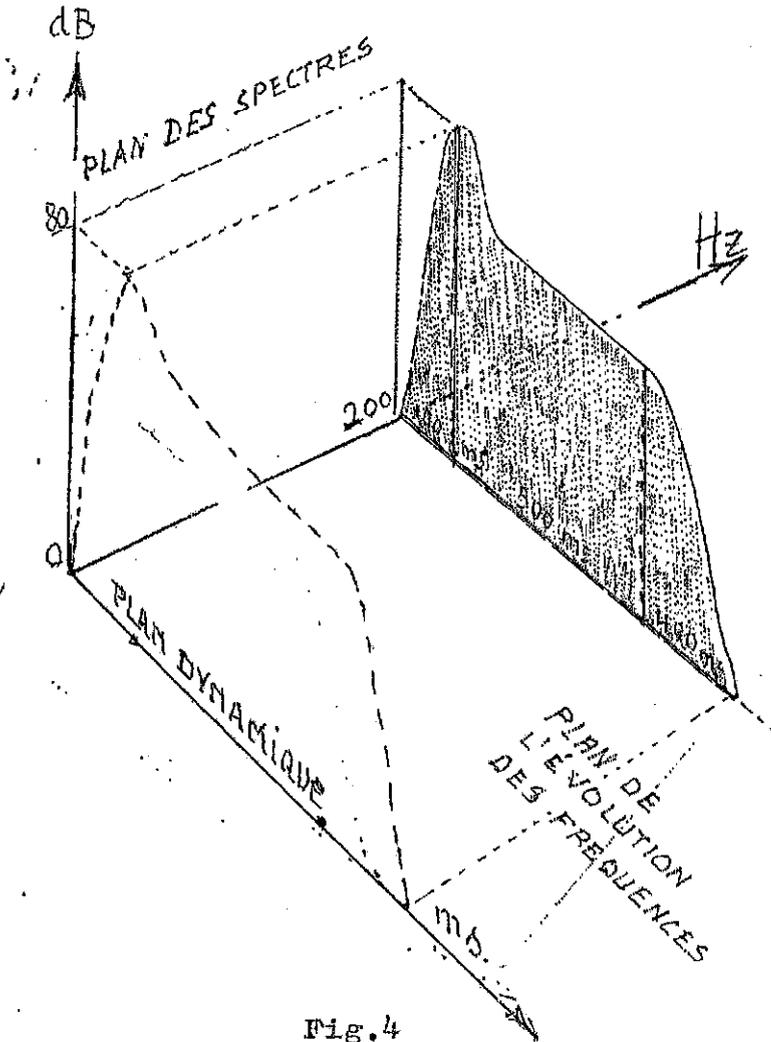


Fig. 4

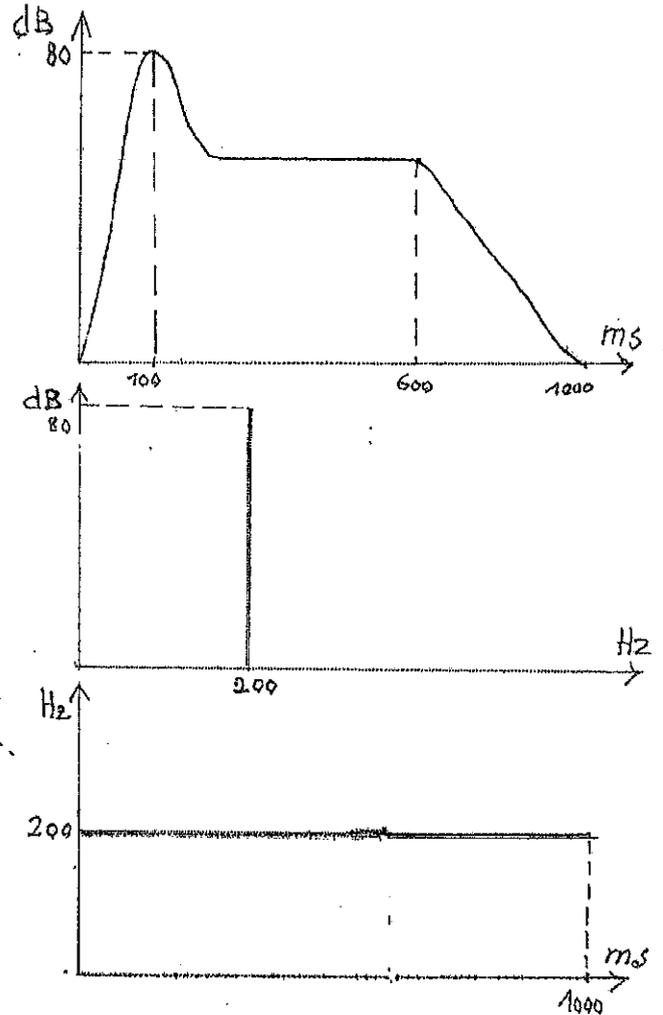


Fig. 5

Il convient de rappeler ici qu'un son musical, contrairement au cas précédent, est toujours formé de plusieurs composantes. Celles-ci peuvent être des harmoniques (quand leurs fréquences sont des multiples du fondamental).

EXEMPLE : Un SOL 2 de 200 Hz composé de 4 harmoniques de fréquences respectives 200-400-600-800 Hz, et de niveaux variables selon des circonstances (fig. 6a). Le plan des spectres (fig. 6b) indique alors 4 raies : c'est un spectre de raies. Le plan d'évolution des fréquences (fig. 6c) présente 4 traits parallèles (la hauteur ne change pas) et équidistants (si l'échelle des fréquences est linéaire). Si les

...../

fréquences des composantes sont arbitraires, on a des " partiels "

Fig 6 L'objet sonore = un son

son spectre

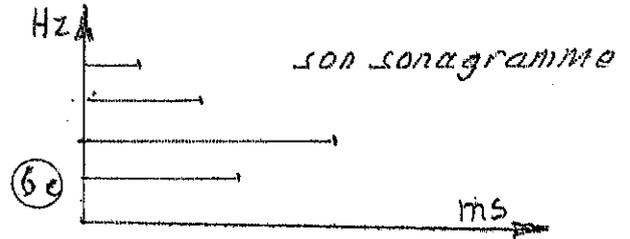
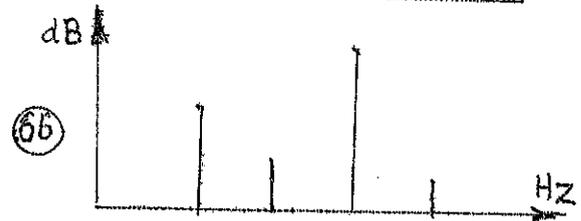
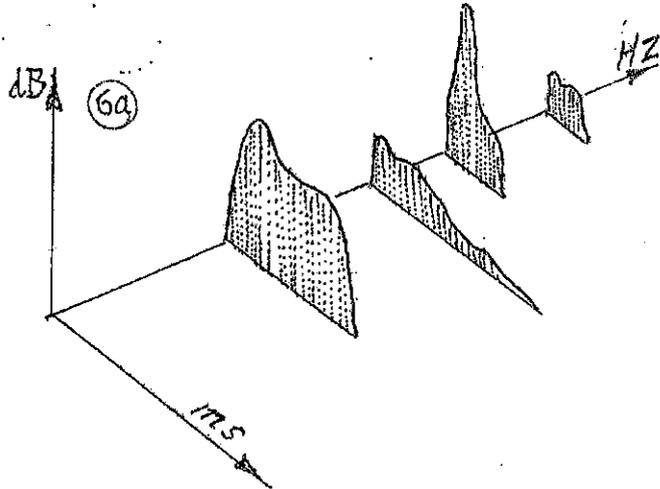


Fig. 7 L'objet sonore = un bruit

son spectre

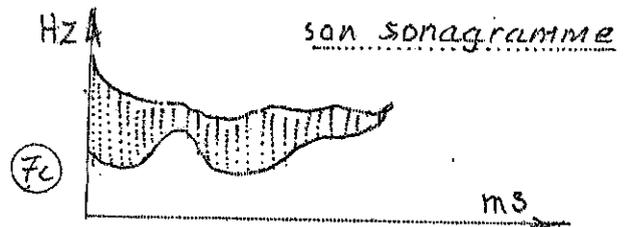
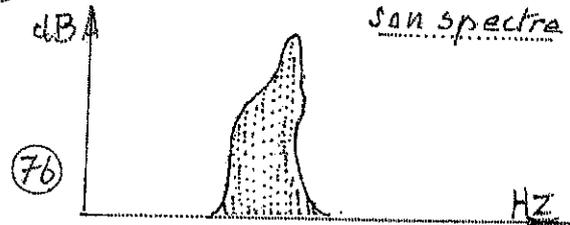
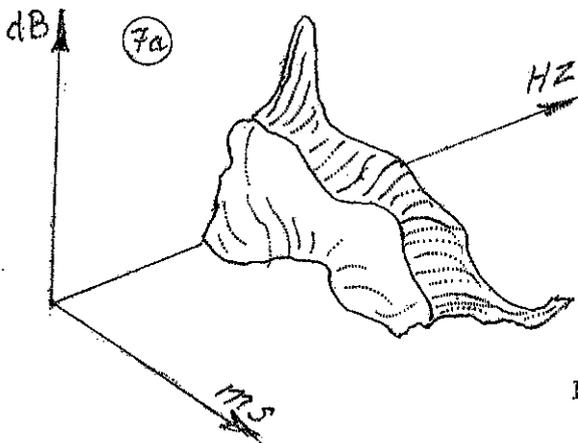


Fig. 7 (a b c)

Un bruit serait un son qui a une certaine largeur de bande (fig.7a). Le plan des spectres (fig.7b) donne alors une surface, une bande spectrales, d'une largeur de 600 Hz ici (entre 200 et 800 Hz). Le plan de l'évolution des hauteurs (fig.7c) donnera également une bande (durée 1 seconde par exemple, largeur 600 Hz).. Le bruit peut être plus ou moins large, composé de " formants " (bandes de largeur et de durée arbitraires). Un bruit blanc est un bruit de bande très large (entre 50 et 15 000 Hz par exemple).

La musique est un langage articulé comportant un mélange temporel de spectres de raies et de bruits de toutes formes dont la nature essentielle est d'être continuellement variables dans le temps.

La parole n'est rien d'autre (spectres de raies et bruits successifs ou simultanés).

...../

B - METHODES ET APPAREILS DE MESURE ET D'ENREGISTREMENT.

Les appareils et les méthodes utilisés au laboratoire varient selon les renseignements que l'on veut obtenir. Parfois on désire connaître une seule grandeur, parfois, un seul plan, parfois les trois plans, parfois on s'intéresse uniquement à l'allure des phénomènes (précision inutile) parfois au contraire on désire faire des mesures très précises ou enregistrer les plans de façon rigoureuse. Voici quelques exemples.

HAUTEUR : l'"ACCORDEUR électronique " permet de mesurer avec précision l'écart d'une note donnée avec un étalon de référence (gamme tempérée; base : $1a_3$ 440 Hz).

On joue la note à étudier; sur l'écran de l'appareil se forme un spot lumineux circulaire qui se fractionne en un certain nombre de parties. Ce cercle fractionné tourne vers la gauche quand le son est plus grave que l'étalon et vers la droite quand il est plus aigu.

On peut :

- ou bien régler la hauteur du son joué de façon à immobiliser le spot (la fréquence de la note est alors celle de l'étalon de référence).
- ou bien régler le spot jusqu'à ce qu'il soit immobile et relever directement l'écart en cents, savarts, ou commas, par rapport à l'étalon.

Accessoirement on peut utiliser cet appareil comme générateur de basse fréquence et produire tous les sons compris dans une gamme allant de 260 à 520 Hz environ (gamme du LA 3); ainsi peut-on montrer auditivement ce qu'est exactement un cent, un comma, un savart etc.. L'appareil permet de faire des relevés de justesse, d'accord, de champ de liberté d'instruments etc..

INTENSITE : Le décibel-mètre donne instantanément le niveau physique d'un signal quelconque et permet de le transposer en unités de sensation (phones, dBA etc..).

Lorsqu'on désire un enregistrement d'un niveau variable, on utilise l'enregistreur logarithmique de niveau. Les signaux sont relevés directement, ou après enregistrement sur bande magnétique; on obtient sans difficulté l'enregistrement de niveau en dB/s. On peut régler la vitesse de défilement du papier, du style inscripteur etc... Avec cet appareil on peut relever l'homogénéité dynamique d'un instrument de musique, la dynamique d'un morceau de musique (style du chef d'orchestre) etc....

SPECTRE : Le signal à analyser est enregistré sur une boucle magnétique sans fin puis envoyé dans un filtre à bande étroite, véritable " pas-

...../

soire " électrique, ne laissant passer qu'une bande étroite de fréquence. En faisant varier graduellement la fréquence du filtre on fait émerger auditivement tel ou tel harmonique ou partiel avec leurs intensités respectives, que l'on lit sur un vumètre gradué soit en pourcentage d'énergie soit en décibels. On peut donc tracer le spectre de raies avec précision (fig.6 b).

Ce spectre peut aussi être relevé de façon automatique : au lieu de brancher la sortie du filtre sur un hautparleur, il suffit de la connecter avec l'enregistreur de niveau. Celui-ci entraîne automatiquement un papier enregistreur sur lequel chaque harmonique sera inscrit avec précision.

Le relevé du spectre d'un signal acoustique quelconque ne présente donc aucune difficulté. Mais cette technique n'est utilisable que pour un signal continu fixe d'une durée suffisante pour réaliser une boucle magnétique.

EVOLUTION DE LA HAUTEUR: L'appareil utilisé est le sonographe. Celui-ci donne l'évolution de la fréquence en fonction du temps dans une durée de 2,4 secondes (qu'on peut dédoubler ou multiplier à loisir).

Cet appareil permet de représenter sur un seul plan la forme temporelle intégrale de l'objet sonore.

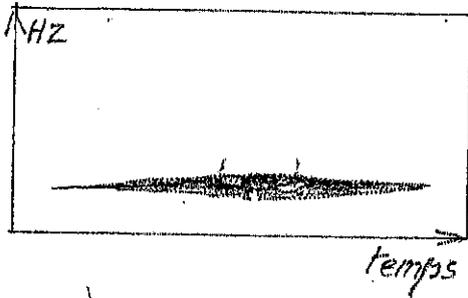
On a le temps en abscisse, la fréquence en ordonnée, et le niveau est représenté par le contraste du dessin et la largeur du trait quand il s'agit d'un spectre de raies.

Si le temps et la fréquence sont représentés avec beaucoup de précision, le niveau est assez imprécis (suffisant cependant en acoustique musicale où compte surtout l'allure des phénomènes.

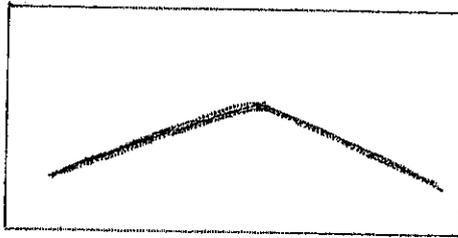
Voici quelques exemples de " signes " du " solfège sonographique " :

- Fig.8a : un son simple (sinusoïde) en crescendo et decrescendo.
- Fig.8b : note qui monte, puis redescend (glissando)
- Fig.8c : vibrato de fréquence,
- Fig.8d : notes successives ascendantes.
- Fig.8e : son attaqué graduellement (soufflet des musiciens) puis son attaqué brutalement et " relâché " (note " piquée").
- Fig.8f : deux notes successives à l'octave avec leurs harmoniques respectifs.

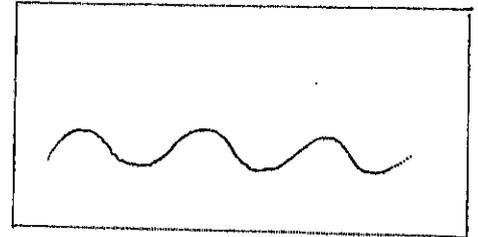
Le son ① a un fondamental faible, un harmonique 2 intense, un harmonique 3 faible etc...; le son ② a un fondamental intense un harmonique 2 faible etc...



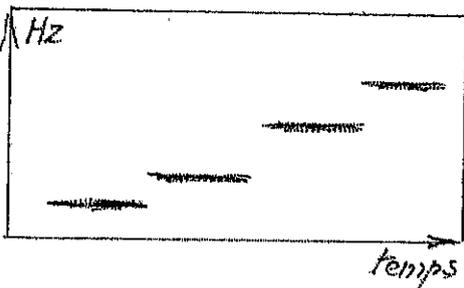
a) son sinusoïdal en crescendo et décroscendo.



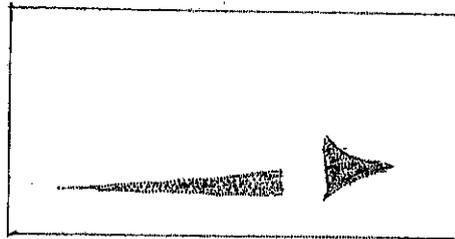
b) glissando ascendant et descendant



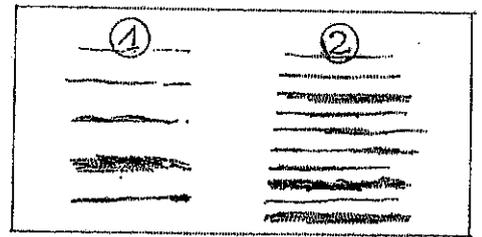
c) vibrato de fréquence



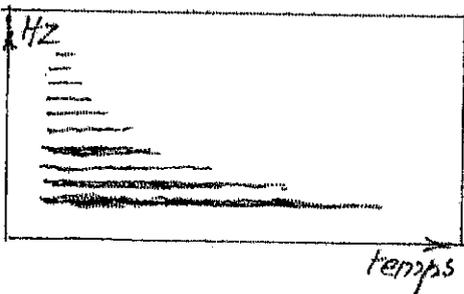
d) notes successives ascendantes



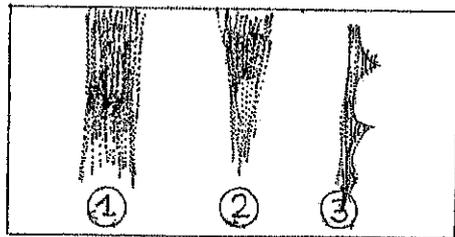
e) "soufflet" et note piquée



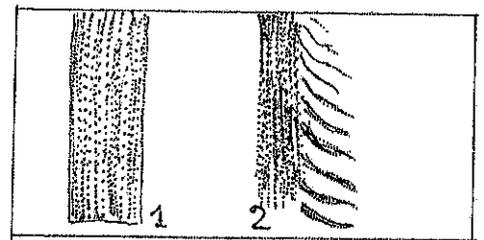
f) deux notes musicales (la 2° est à l'octave inférieure).



g) une note de piano. (les partiels aigus s'éteignent les premiers.)



h) bruits: 1°) "ch" 2°) "sss" 3°) percussion à caractère musical



i) : 1°) bruit blanc 2°) : "cha" (parole)

- Fig. 8g : une note percutée (piano) : le fondamental dure plus longtemps que les harmoniques qui s'éteignent d'autant plus vite que leur fréquence est plus élevée; le fondamental est affecté de battements.
- Fig. 8h : le bruit " ch " (N°1), le bruit " ss " (N°2), une percussion à caractère musical sur (ex. un morceau de bois) (N°3)
- Fig. 8i : N°1 : un bruit blanc d'une demi-seconde
N°2 : de la parole (chat) prononcé en montant

On pourrait multiplier les exemples et montrer que si le sonagramme est une représentation partiellement imprécise elle est extrêmement significative. Il faut d'ailleurs ajouter que le sonographe permet, moyennant certains branchements, d'obtenir avec toute la précision désirable la courbe de niveau (plan dynamique) pendant toute la durée du signal, et aussi d'extraire à tel ou tel instant le spectre (plan des spectres). Le sonographe permettant la " photographie " des signaux évolutifs est l'appareil de choix pour les études d'acoustique musicale. (voir fig 9, hors texte, un exemple grandeur nature de sonagramme.)

En résumé, la véritable difficulté n'est plus d'obtenir la visualisation précise des signaux, mais de savoir lire les documents que l'on obtient.

C - DEPOUILLEMENT DES DOCUMENTS OBTENUS.

Il s'agit d'interpréter les documents en fonction des propriétés de l'oreille et du cerveau humains. Le problème est extrêmement complexe car l'oreille et le cerveau enregistrent et intègrent les signaux autrement que ne le font les appareillages électro-acoustiques. Voici quelques problèmes soulevés par l'interprétation des documents :

Sensation de hauteur. Elle est fonction du niveau, de la durée, de la composition spectrale des signaux. Elle dépend du contexte musical, de la mémoire, et de certaines particularités psychologiques (tolérance, équivoque, indifférence etc..). Il ne suffit pas de connaître la fréquence pour définir la sensation de hauteur.

Sensation d'intensité. Elle est fonction de la fréquence, de la durée, de la composition spectrale, des signaux; elle dépend du contexte, du bruit de fond, de l'état psychique du sujet, de sa fatigue etc...

Sensation de durée. Elle n'est liée au temps physique que de façon très lâche; elle dépend essentiellement de l'état psychique de l'auditeur (réceptivité au message musical) et du contenu informatif du message (originalité-banalité).

Sensation de timbre. Elle est d'abord fonction de la gamme de sensibilité de l'oreille de l'auditeur. Exemple : Comme statistiquement la sensibilité de l'oreille aux fréquences aiguës diminue avec l'âge, un auditeur donné entend les timbres instrumentaux autrement à divers moments de sa vie.

...../

9 KHz

-8

-7

-6

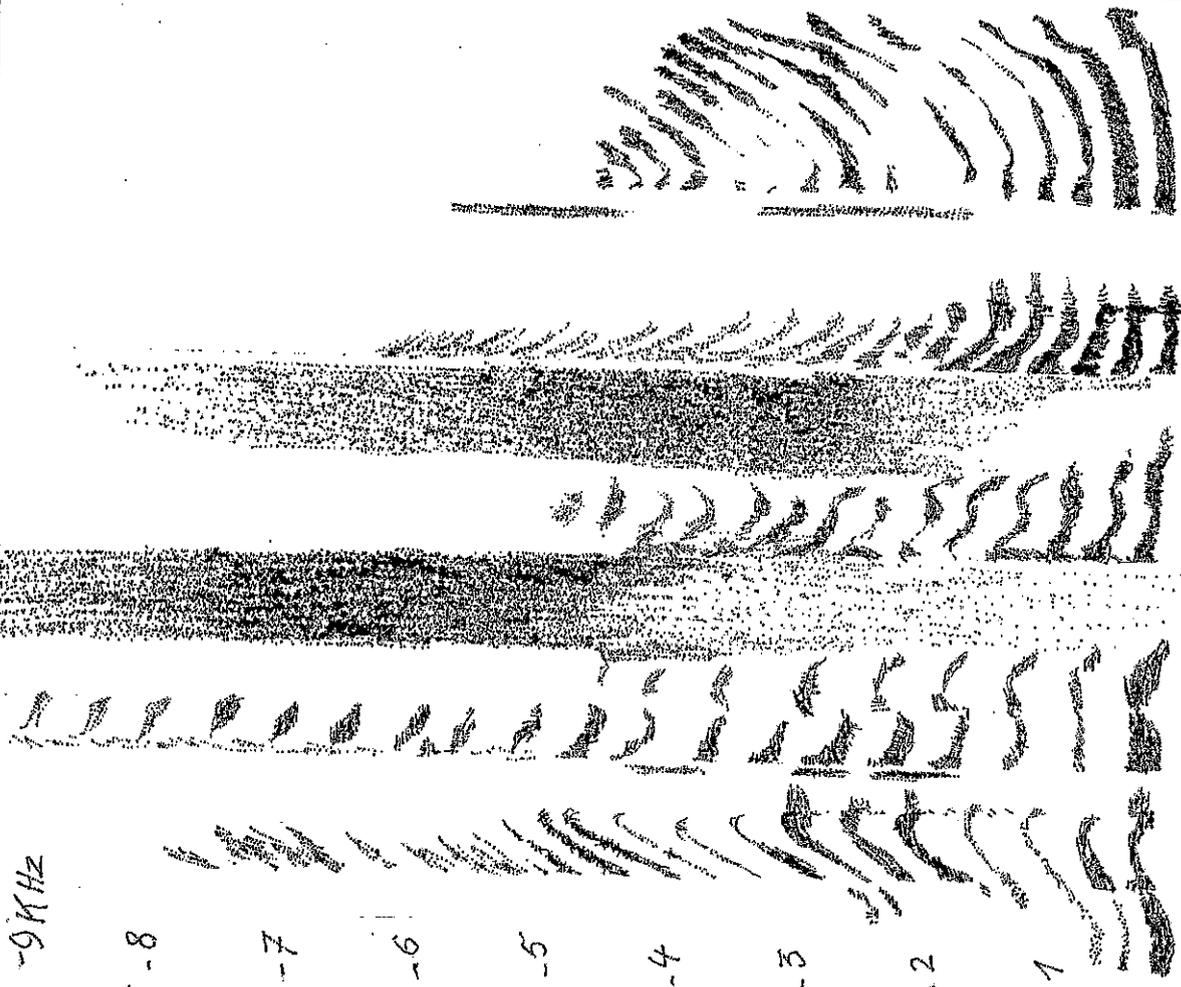
-5

-4

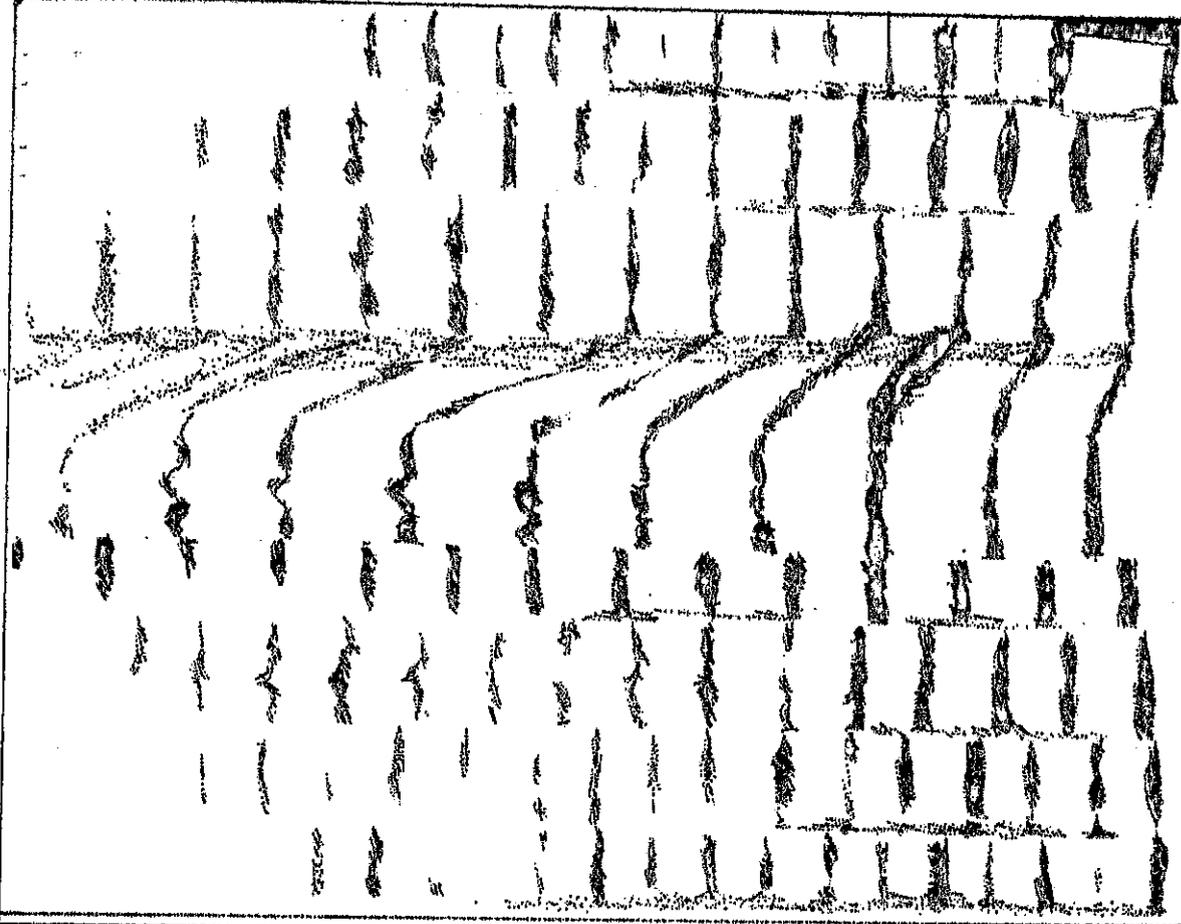
-3

-2

-1



m - e - t. l. l. s - on ch - a - p - eau ?
 100ms



UN SONAGRAMME - (à l'échelle) - TEMPS EN ABSCISSE, FRÉQUENCE EN ORDONNÉE, INTENSITÉ PROPORTIONNELLE À LA LARGEUR ET AU NOIRISSEMENT DES TRAITS.
 ← DE LA PAROLE : VOIX FÉMININE →

← DE LA MUSIQUE : VIOLON →

← DE LA MUSIQUE : VIOLON →

D'autre part, la sensation de timbre est liée comme on sait, au nombre et à l'intensité relative des divers harmoniques; mais elle l'est aussi aux pentes d'attaque et d'extinction des sons et au pourcentage (et type) de bruit contenu dans les signaux.

Du point de vue psychologique, il semble que l'on apprécie comme " beau " d'abord ce à quoi on est habitué; le conditionnement auditif des premières années de vie d'un individu est certainement déterminant pour ses goûts auditifs futurs.

Pouvoir séparateur temporel de l'oreille ; on admet généralement une " constante de temps " de l'oreille voisine de 50 ms, c'est dire que l'on ne peut séparer deux phénomènes distants de moins de 50 ms (ils fusionnent); mais la constante de temps est certainement fonction de la forme des signaux et des particularités individuelles de l'oreille et du cerveau de l'auditeur; certains chercheurs admettent 5 ms.

D - CONCLUSION :

Nous avons montré que le problème technique de l'analyse physique de signaux acoustiques peut être considéré comme résolu. Le véritable problème de l'acoustique musicale est l'interprétation des documents en fonction de la psycho-physiologie de la perception; dans l'état actuel des choses, le dépouillement des documents comporte un certain pourcentage de subjectivité. La difficulté n'est pas près d'être résolue : nous pouvons très bien savoir comment est le signal, beaucoup plus difficilement ce qu'il nous suggère du point de vue sémantique et esthétique. Il est certain que dans un avenir proche la simulation des fonctions du cerveau à l'aide de machines à calculer apportera la réponse à de nombreux problèmes posés par la perception de la musique. Mais les différences entre les " récepteurs acoustiques " humains sont énormes et cette difficulté n'est pas près d'être levée. L'acoustique musicale restera longtemps encore à la fois science et art, et pour cette raison la recherche d'une trop grande précision est bien illusoire.