

## Étude acoustique du timbre d'un instrument de musique à l'aide du sonographe : la guitare

par Michèle CASTELLENGO,

*Laboratoire d'acoustique de Paris VI*  
4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

---

### INTRODUCTION.

Les instruments de musique sont des « machines à faire des sons », mais l'étude de leur fonctionnement et de leur rayonnement ne relève pas uniquement de la physique. Leur élaboration, qui s'est faite au cours de longues années de tâtonnements empiriques tient compte à la fois des variables physiques et des contraintes physiologiques imposées par l'anatomie et par le système auditif de l'homme.

Une bonne guitare, outre ses qualités de justesse, de facilité de jeu doit aussi avoir un « beau » timbre, et produire des sons « agréables et intéressants » ! C'est dire que nous entrons dans un domaine subjectif où la variabilité individuelle des appréciations peut être grande. Dès lors, il s'avère important d'avoir un document objectif auquel on puisse se référer afin de raccorder nos résultats avec les propriétés physiques de l'instrument d'une part et les réactions des musiciens d'autre part.

L'étude du timbre est largement tributaire des moyens d'analyse. Ce n'est qu'après l'apparition du magnétophone et des filtres qu'on a vu les premiers spectres de sons musicaux dans les livres d'acoustique. La méthode utilisée (bande magnétique + filtre + enregistreur de niveau) nécessitait des sons tenus et stables ; elle permettait d'obtenir suffisamment de précision en amplitude et en fréquence, mais en négligeant les variations temporelles. Or, la théorie de l'information [1] a bien montré l'importance perceptive de l'imprévisibilité d'un signal acoustique. Un son musical intéressant n'est jamais stable. Ce sont les infimes fluctuations temporelles de fréquence et d'intensité qui donnent de la vie au son et suscitent notre attention et notre plaisir à l'écoute.

Nous devons donc dans nos analyses, tenir compte simultanément des trois dimensions du son : la fréquence, l'amplitude et le temps.

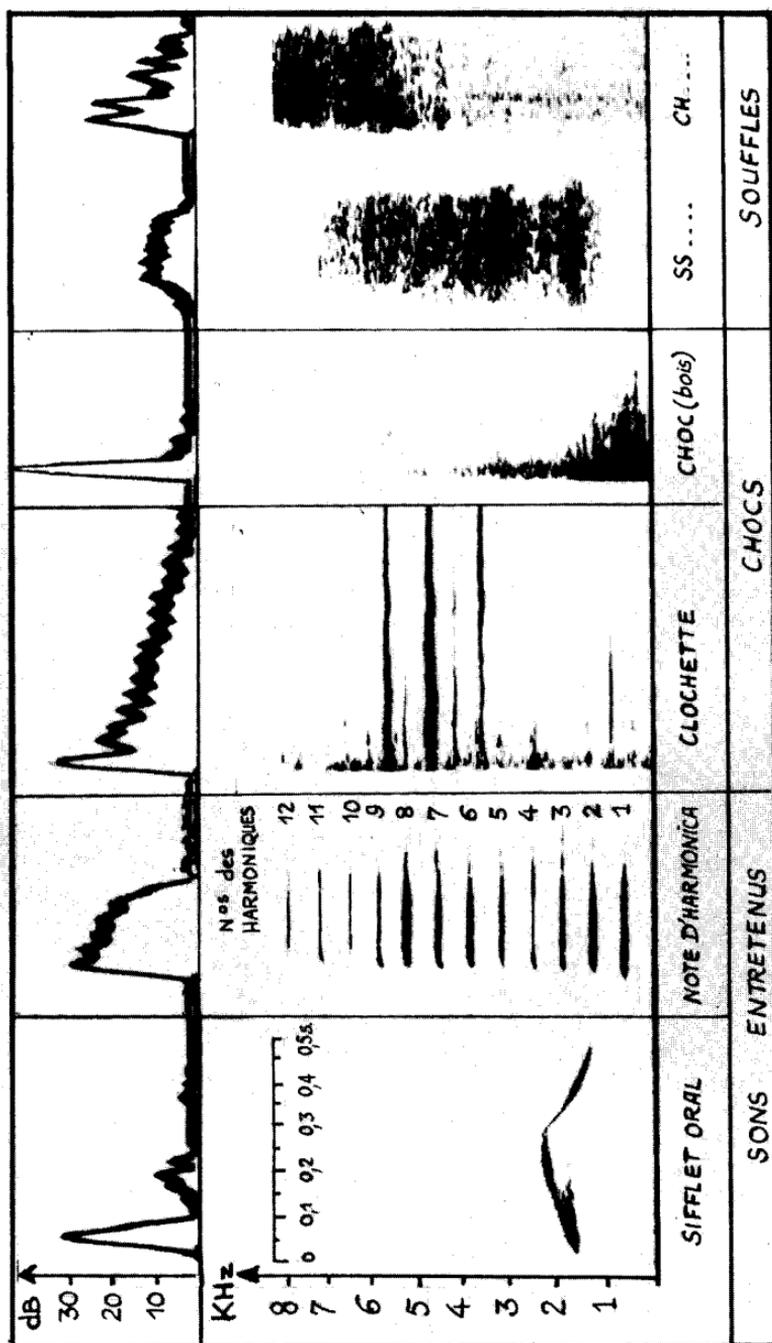


Fig. 1. — Sonagramme de quelques sons types. A la partie supérieure de la figure, on voit la courbe de niveau global.

## LE SONAGRAPHE (fig. 1 bis).

Les documents fournis par cet appareil sont de véritables « photographies » de l'évolution temporelle des sons. On pourra trouver des données complémentaires sur cet appareil dans l'ouvrage de E. LEIPP [2].

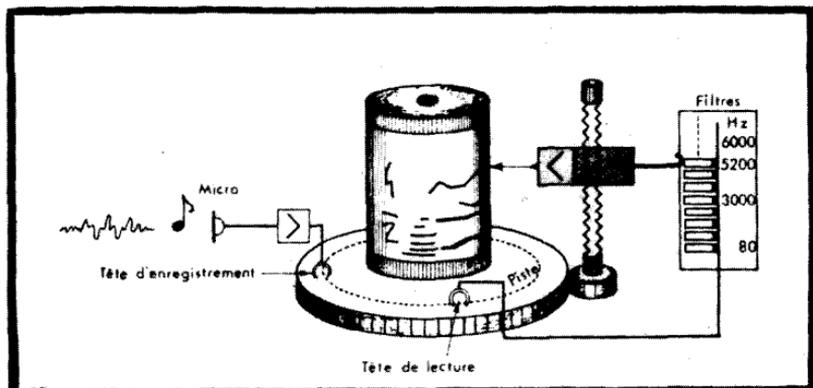


Fig. 1 bis. — Schéma de fonctionnement du sonographe.

Dans la représentation la plus usuelle appelée « sonogramme », on lit le temps en abscisse, la fréquence en ordonnée ; l'intensité est représentée par le noircissement et la largeur du trait. Voici quelques exemples :

a) Analyse sonographique de quelques sons simples.

La figure 1 montre divers signaux bien reconnaissables :

- Un *sifflement* ascendant puis descendant, d'intensité variable. Il est dépourvu d'harmoniques (son sinusoïdal).
- Une *note d'harmonica*, instrument à anches libres donnant de nombreux harmoniques représentés par des traits équidistants numérotés sur la figure. Il s'agit d'un son relativement stable en fréquence (traits horizontaux) mais on pourra noter de nombreux renseignements sur l'ordre d'arrivée des harmoniques, leur extinction, leurs intensités relatives (le 8<sup>e</sup> est le plus intense). Le son dure 250 ms. Le « traînage » de certains harmoniques est dû aux résonances de la salle.
- Le son d'une *clochette* (arbitrairement coupé au bout de 600 ms). On voit nettement le choc du battant : trait vertical contenant pratiquement toutes les fréquences, puis l'émergence des composantes aiguës (4 000 à 6 000 Hz) non harmoniques, dont l'extinction dure en réalité plusieurs secondes. Elles sont affectées de nombreuses variations d'amplitude et de fréquence.

- Un *choc sur une grosse caisse de bois*. On reconnaît le trait vertical du choc (moins précis que pour la clochette) suivi d'une résonance confuse localisée dans les basses fréquences et de courte durée (son amorti).
- Des *bruits de souffle* représentés par des grains de sons apparaissant erratiquement dans des zones de fréquence déterminées. Il s'agit d'une personne prononçant successivement CH puis SS.

La courbe située à la partie supérieure du sonagramme montre l'évolution de l'intensité en dB.

On voit que chaque type de son est immédiatement reconnaissable : sons périodiques, chocs, souffles. Les renseignements sur l'établissement du son (transitoire d'attaque) et sur son entretien ou son extinction demanderaient une analyse plus détaillée. Ils permettent d'aborder le problème du timbre des sons musicaux.

b) Sonagramme d'une séquence musicale (fig. 2).

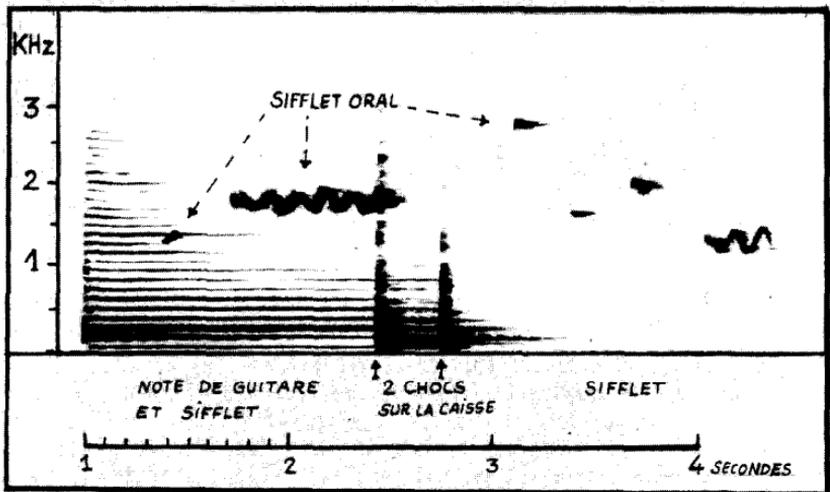


Fig. 2. — Sonagramme d'une séquence musicale : un guitariste joue en sifflant une mélodie.

Au cours de la séquence analysée, le musicien pince une corde puis frappe deux coups sur la caisse. Simultanément, il siffle une petite mélodie improvisée visible à la partie supérieure du document [3].

La note de guitare comporte 25 composantes visibles, la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> sont les plus intenses. Son extinction se prolonge jus-

qu'au 2<sup>e</sup> choc sur la caisse, moment où le musicien a étouffé le son. Les composantes aiguës s'atténuent en premier, puis les mediums puis les graves. Pour lire la fréquence, on repère le 10<sup>e</sup> ou mieux la 20<sup>e</sup> composante ; on lit : 2 100 Hz, ce qui donne 105 Hz pour le fondamental. Il s'agit d'un sol #<sub>1</sub>. La mélodie sifflée, beaucoup plus aiguë se situe environ 3 octaves au-dessus. Noter le vibrato de la 2<sup>e</sup> et de la 6<sup>e</sup> note.

Les deux coups sur la caisse de la guitare se traduisent par une barre verticale au moment du coup, suivis par des traits confus dus à la vibration des cordes à vide excitées par le choc.

### ANALYSE DU TIMBRE DE LA GUITARE.

#### a) Le timbre.

Etudier le timbre d'un son, c'est recenser l'ensemble des particularités acoustiques relevant uniquement de l'instrument qui l'a produit, indépendamment de la fréquence, de l'intensité et de la durée du son émis. Il s'agit de caractéristiques provenant :

- du mode d'établissement du son : bruits du transitoire d'attaque, ordre d'arrivée des composantes,
- de l'entretien du son : nombre de composantes, répartition de l'énergie dans le spectre,
- de l'extinction du son : mode d'extinction, bruits divers.

Pendant longtemps, les moyens d'analyse ont limité l'étude du timbre à la partie entretenue ou quasi stationnaire du son. On sait aujourd'hui que les transitoires d'attaque et d'extinction jouent un rôle capital dans la reconnaissance du timbre.

#### b) Comparaison de la flûte, du piano et de la guitare.

La figure 3 montre l'analyse d'une mélodie jouée à la flûte à bec, au piano puis à la guitare. Notons que la flûte joue à l'octave supérieure des deux autres instruments.

On voit d'emblée que les images sont caractéristiques de chaque instrument. Entrons un peu plus dans le détail.

TRANSITOIRE D'ATTAQUE. — A la flûte, le son s'établit moins rapidement (traits s'amorçant en fuseau) qu'au piano et à la guitare (traits d'abord plus épais puis s'amincissant). Pour ces deux instruments, le bruit d'attaque est visible dans les basses fréquences (brouillard). Les partiels du piano montrent d'importants décalages temporels à l'attaque alors que la guitare qui a, par ailleurs, beaucoup de partiels aigus a une attaque plus claire et plus précise.

NOMBRE DE COMPOSANTES ET RÉPARTITION DE L'ÉNERGIE. — Une des caractéristiques de la flûte est l'importance relative de l'intensité

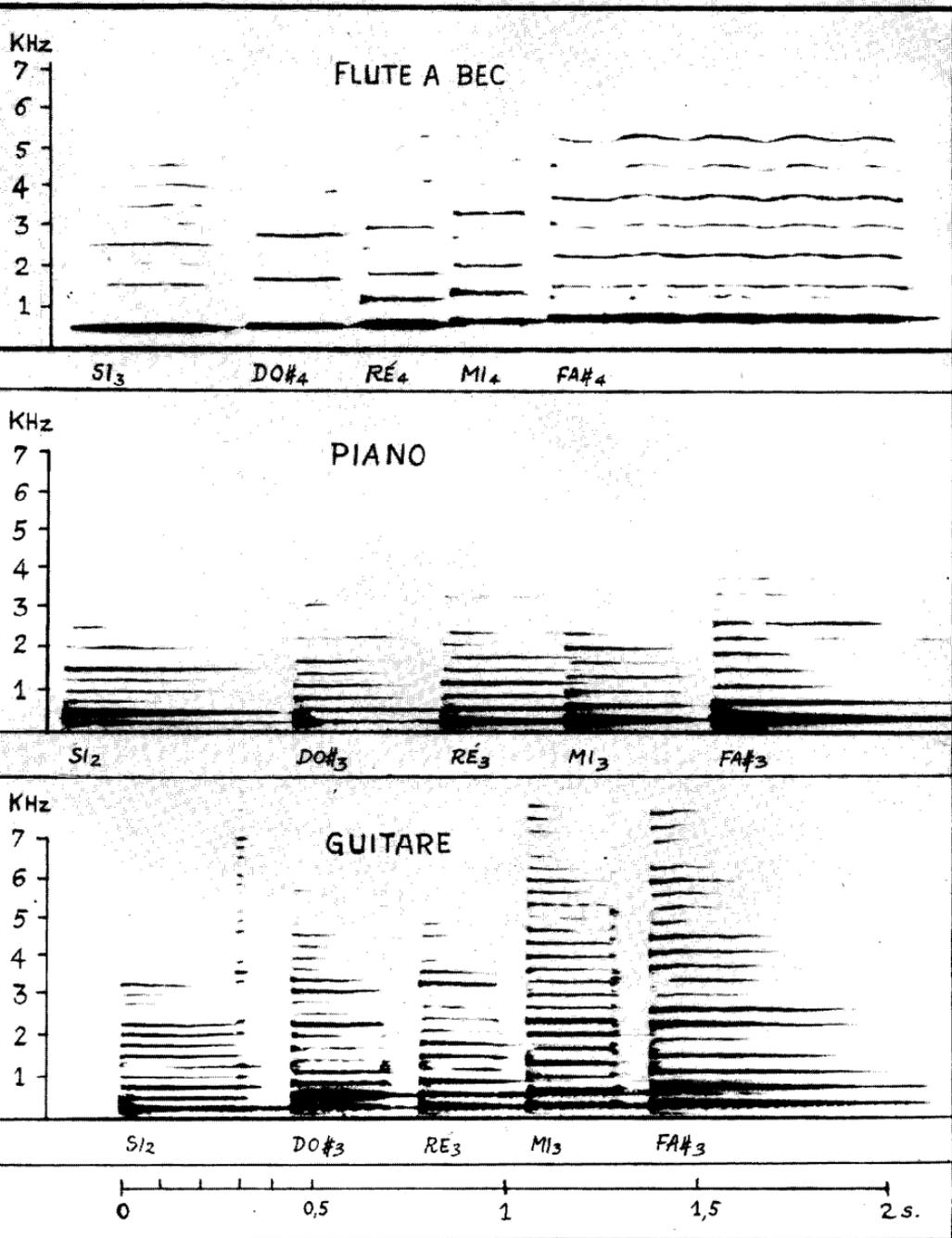


Fig. 3. — Analyse au sonographe d'une même mélodie jouée sur 3 instruments (la flûte est à l'octave supérieure du piano et de la guitare).

du fondamental par rapport aux autres harmoniques nettement plus faibles. A la guitare et au piano, les graves sont prédominants (pour la tessiture considérée) mais d'autres composantes peuvent également être intenses. (Ex. : la dernière note de guitare, partiels 6 et 7).

Le spectre change selon les notes. Ainsi à la flûte, les 2 premières notes n'ont que des harmoniques impairs. La 3<sup>e</sup> et la 4<sup>e</sup> note ont au contraire un harmonique 2 intense. Voir aussi la 1<sup>re</sup> et la 2<sup>e</sup> note du piano, la 2<sup>e</sup> note de la guitare.

On constate donc que les notes successives d'un même instrument sont loin d'avoir des spectres identiques. Cette variété donne, comme nous l'avons dit en introduction un intérêt sans cesse renouvelé à l'écoute des instruments traditionnels.

En ce qui concerne le nombre des composantes, on a dans l'ordre : la flûte (5 à 7), le piano (8 à 10) et la guitare (15 à 25).

**TRANSITOIRE D'EXTINCTION.** — La flûte est un instrument à sons entretenus. Tant que dure l'émission, tous les harmoniques sont visibles. A la cessation du souffle, le son s'arrête quasi instantanément. Le traînage du fondamental est dû à la résonance de la salle.

Au piano (jeu détaché), les graves continuent à résonner bien après que l'étouffoir ait été appliqué. La dernière note, tenue, montre la décroissance irrégulière des composantes. D'abord, les aigus puis les graves. Noter l'importance du partiel 7. La dernière note de la guitare montre une extinction semblable à celle du piano. Pour les autres, on voit clairement un bruit provenant de la pose du doigt sur la corde, avant de jouer la note suivante.

Le timbre d'un instrument est donc une notion complexe faisant intervenir un grand nombre de paramètres. Il est nécessaire, pour l'appréhender, d'avoir une analyse fine de l'évolution temporelle du son en fréquence et en intensité.

### c) Quelques variables du timbre de la guitare.

La notion de timbre peut se définir à différents niveaux : timbre d'un type d'instrument comparé à tous les autres ; timbre d'un instrument particulier comparé aux autres du même type ; timbre des différents sons d'un instrument donné.

Les variables du timbre peuvent provenir de la facture ou du jeu du musicien.

#### • LES CORDES.

La corde, moteur de l'instrument a un rôle déterminant sur le timbre de la guitare. Prenons un exemple « caricatural ». Montrons sur une même guitare une corde en métal puis une corde en nylon (fig. 4). On constate d'énormes différences au moment de l'attaque et pendant l'extinction du son.

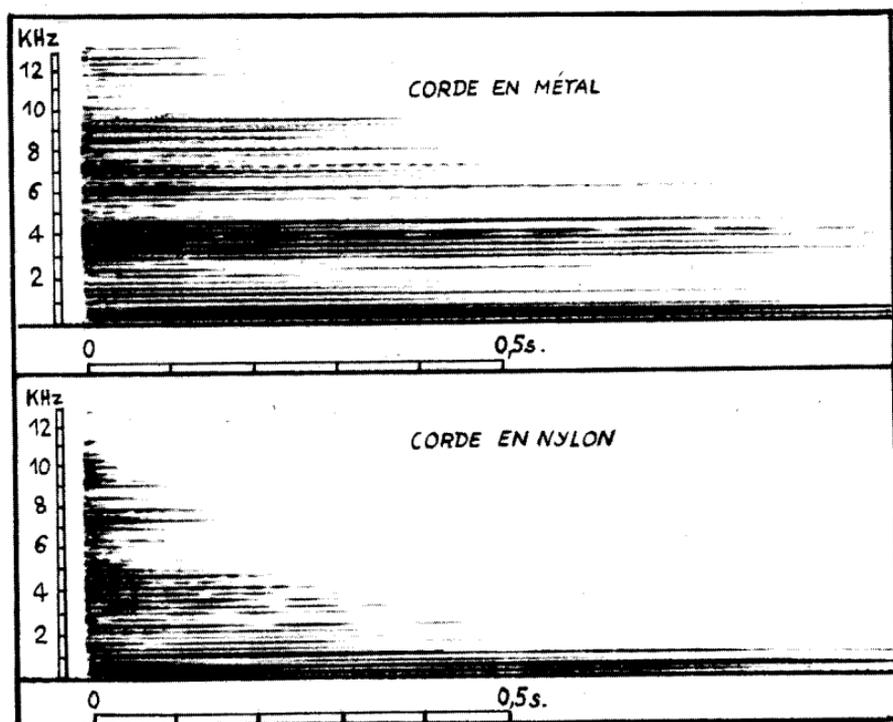


Fig. 4. — Comparaison du son produit par 2 cordes pincées, l'une en métal, l'autre en nylon, montées sur la même guitare.

La corde de métal a un spectre beaucoup plus riche dans l'aigu : au moins 50 composantes, jusqu'au 13 000 Hz ! Après 0,5 seconde, on voit encore beaucoup de partiels jusqu'à 8 000 Hz.

On remarque un important formant situé vers 4 000 Hz.

Au bout d'une seconde, les deux cordes sonnent encore. La corde de nylon ne montre que l'harmonique 2 et l'harmonique 4 alors qu'avec le métal, on voit encore des composantes dans la région de 4 000 Hz.

Le sonagramme montre les différences. Quant à dire quelle corde est la meilleure, cela dépend du style de musique que l'on veut jouer. Si l'on désire des accords tenus, le métal est souhaitable. Pour jouer une musique polyphonique, le nylon est préférable.

• LE POINT D'ATTAQUE DE LA CORDE.

Selon les instruments, le musicien a plus ou moins d'action sur le timbre. Le piano étant pourvu d'une mécanique, le point

d'impact, l'épaisseur et la dureté du marteau sont déterminés lors du montage de l'instrument.

A la guitare, au contraire, le musicien dispose d'un grand nombre de variables. Il peut pincer la corde avec l'ongle, la pulpe du doigt ou encore un dosage des deux. Il peut aussi choisir le point de pincement de la corde. Celui-ci détermine en partie le spectre. Plus on s'approche du chevalet, plus le son est riche en harmoniques au détriment du fondamental.

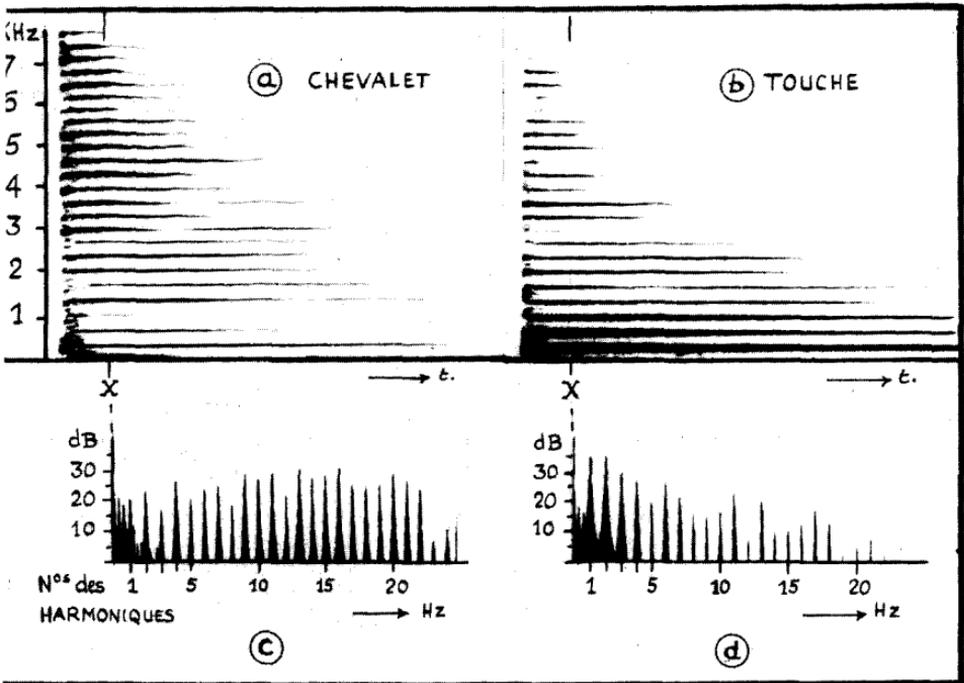


Fig. 5. — Sur une guitare, la même note jouée en pinçant la corde près du chevalet puis sur la touche 5 *a* et 5 *d* montrent l'amplitude des différentes composantes, relevée au point X (spectres).

Sur la figure 5, on voit le sonogramme de la même note pincée près du chevalet (*a*) puis sur la touche (*b*). Les figures 5 *c* et 5 *d* montrent le spectre pris au point X sur chaque analyse. On lit cette fois l'amplitude en ordonnée et la fréquence en abscisse. Cette représentation donne des valeurs précises quant à la répartition de l'énergie dans le spectre mais elle n'est valable qu'à l'instant considéré.

**CONCLUSIONS.**

Parmi les moyens modernes d'analyse, le sonographe est un appareil de choix pour l'étude des sons musicaux. A partir de l'étude spectrographique de la guitare comparée à d'autres instruments, nous avons montré l'importance des bruits d'attaque, des fluctuations de hauteur et d'intensité qui donnent de la « vie » au son, du transitoire d'extinction.

Il est possible maintenant de faire une étude réaliste du timbre des instruments de musique et d'en tirer des caractéristiques se raccordant avec les données de la perception.

---

**BIBLIOGRAPHIE**

---

- [1] MOLES A. — *Théorie de la perception et perception esthétique*. Flammarion, Paris (1958).
  - [2] LEIPP E. — *Acoustique et musique*. Masson, Paris (1971).
  - [3] « *Physique et musique ; la guitare* ». — Film produit et diffusé par le C.N.D.P. (1982). Le sonographe est présenté dans ce film ainsi que l'analyse des sons correspondant aux fig. 2 et 4 du présent article.
-