

L'ACOUSTIQUE DES CLOCHES

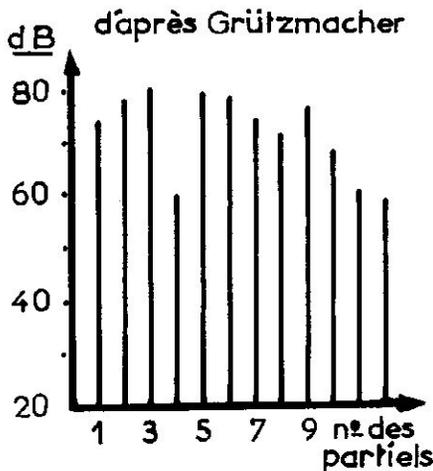
Melle CASTELLENGO (M) et M. LEIPP (E)

Laboratoire d'Acoustique de la Faculté des Sciences de Paris.

I - INTRODUCTION

Les cloches sont utilisées depuis toujours comme signaux d'avertissement. Les travaux récents d'acoustique physique de KNUDSEN (1), KNESER (2), LEHMANN (3) ont montré que cet usage était justifié eu égard à l'absorption par l'air aux grandes distances et aux propriétés de l'oreille. D'un point de vue plus général, d'autres auteurs ont étudié les cloches en tant qu'instrument de musique; ce sont, MERSENNE (4), BOUASSE (5) etc... mais ils ne disposaient pas de moyens d'analyse suffisants. Ce n'est qu'avec l'apparition des appareils électro-acoustiques actuels que l'on a pu entreprendre des analyses spectrographiques dégagées de toute subjectivité. La méthode utilisée par GRUTZMACHER (6) et par PFUNDNER (7) fournit une représentation en dB/ Hz du phénomène.

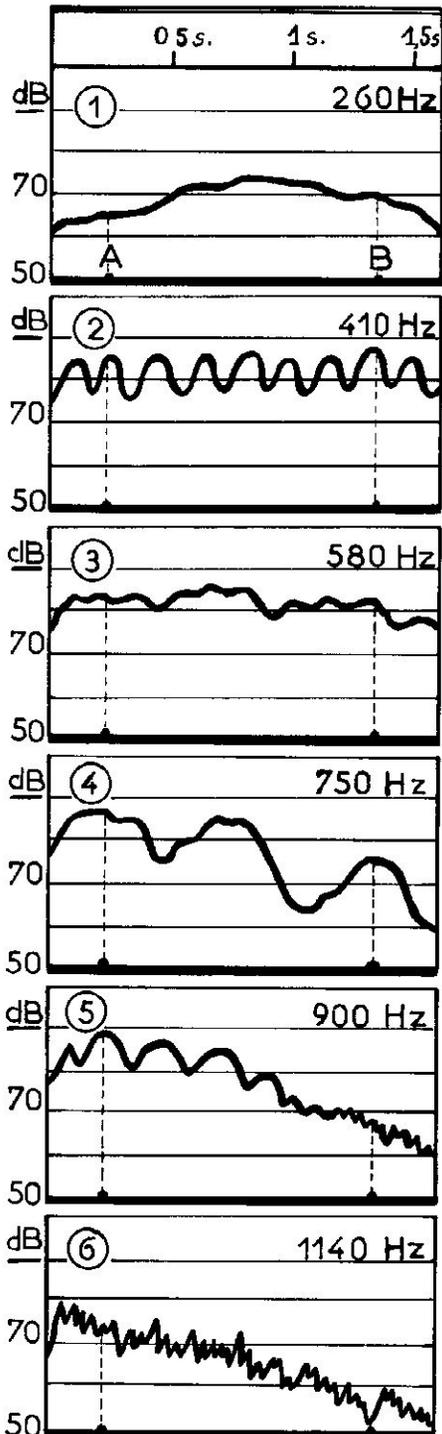
Le signal passe dans un filtre à bande étroite associé à un enregistreur logarithmique de niveau. On obtient en abscisse la fréquence des partiels, et en ordonnée leurs amplitudes relatives. L'analyse étant faite à partir d'une boucle magnétique, les résultats représentent une moyenne statistique des fluctuations de fréquence et d'amplitude.



Cette méthode n'est pas satisfaisante. En effet, un phénomène acoustique comporte nécessairement trois dimensions : le niveau, la fréquence et le temps. On ne peut le décrire correctement si on néglige l'une d'entre elles.

D'autre part, les nombreux travaux que nous avons faits au laboratoire sur les problèmes de perception, nous ont amenés à considérer comme capitale l'évolution temporelle de la forme des signaux acoustiques.

A partir de ces considérations, il est nécessaire de rechercher une méthode plus appropriée.

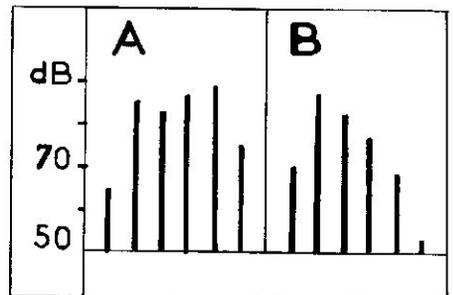


2 - REPRESENTATION dB/temps.

L'appareillage est le même que pour l'établissement du spectre fréquence/dB, mais au lieu de coupler mécaniquement l'enregistreur de niveau et le filtre, on règle ce dernier sur la fréquence du premier partiel (260 Hz). On enregistre l'évolution dynamique de celui-ci pendant toute la durée du signal (1,6 secondes). On fait de même pour le deuxième partiel (410 Hz) et ainsi de suite. Faute de place, nous nous sommes limités aux 6 premiers partiels.

Résultats. On voit d'emblée que les partiels ont une évolution dynamique indépendante et réalisent des formes temporelles originales; le spectre change donc à chaque instant: ce point est auditivement capital.

D'autre part, cette méthode offre la possibilité de relever les spectre à tel ou tel point. Il suffit de tracer à l'instant considéré une ligne verticale, et de lire les niveaux pour chaque partiel. Exemple: en A les partiels de 1 à 6 ont respectivement
65, 85, 83, 87, 89, 73 dB
En B on a : 70, 87, 83, 76, 68, 53 dB.
Pour un même partiel, les fluctuations peuvent atteindre 20 dB.



Critique. Cette méthode rend compte des trois dimensions des objets sonores et offre de surcroît des documents très précis. Mais elle est trop analytique; il est difficile de se faire une idée globale du phénomène.

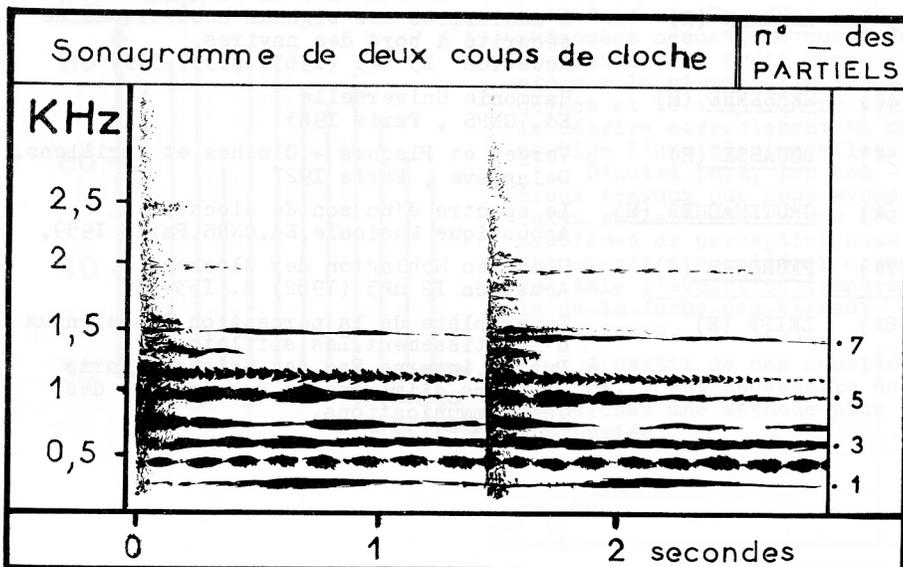
3 - REPRESENTATION Hz/temps/dB SUR DOCUMENT UNIQUE.

L'appareil utilisé est le sonographe, qui donne l'évolution de la fréquence en fonction du temps. L'intensité est proportionnelle au noircissement et à l'épaisseur des traits. On a ainsi une "photographie intégrale" du signal sonore dans ses trois dimensions. L'échelle des fréquences étant linéaire, on peut juger au premier coup d'oeil de l'existence de rapports harmoniques. On voit que ce n'est pas le cas ici: la série des partiels ne correspond pas à la théorie communément admise selon laquelle on aurait la succession octave, tierce mineure, quinte etc.

Le sonogramme ci-dessous est une analyse de la cloche précédente, et représente deux coups successifs. On reconnaît l'allure dynamique particulière de chaque partiel: il est facile de confronter ce document avec le précédent. Le deuxième partiel, affecté de battements rapides et placé au bord de la zone sensible de l'oreille, attire immédiatement l'attention; c'est aussi celui que notaient en premier les musiciens à qui nous avons fait entendre cette cloche. Il y a correspondance entre le document et la perception.

De plus, on peut analyser ce qui se passe au moment de la frappe de la cloche: c'est un bruit de courte durée dont le spectre continu s'étend bien au delà de 3000 Hz, mais qui est absorbé aux grandes distances. Au moment du choc, on note aussi l'apparition de partiels très brefs; c'est le "Schlagton" dont l'existence fut souvent controversé parce que ce phénomène, très bref, échappe aux méthodes d'analyse usuelles alors qu'ils sont déterminants du point de vue perceptif.

Critique. La précision de l'appareil en temps et fréquence correspond aux données du système auditif humain; la précision dynamique est moindre mais suffisante. D'ailleurs le même appareil permet d'obtenir la courbe de niveau global ou encore des spectres classiques en dB/Hz aux points que l'on désire. Pour l'étude de phénomènes complexes et évolutifs, mieux vaut un document imprécis mais significatif. Le sonogramme contient une grande quantité d'informations et, surtout, fournit une vue globale du phénomène. Son dépouillement nécessite un apprentissage et doit se faire dans le cadre d'une théorie générale de la perception.



4 - CONCLUSION

Nous avons examiné successivement les différentes méthodes d'analyse que l'on peut utiliser pour les cloches. Elles offrent des avantages et des inconvénients variés; seul le sonographe donne un document complet;

- du point de vue physique, on peut apprécier la portée d'une cloche selon la répartition en fréquence de l'énergie. On sait que les fréquences supérieures à 500 Hz sont rapidement absorbées par la distance.

- du point de vue de la perception, le sonogramme met en évidence les fluctuations temporelles : transitoires d'attaque, battements, etc... Il permet d'apprécier l'émergence du signal sur un bruit de fond donné selon des critères définis dans une étude précédente (7).

- du point de vue esthétique et musical on peut, d'après le même document, noter la hauteur de chaque partiel, apprécier la qualité d'une cloche, sa musicalité, sa tonalité etc... Enfin, la comparaison entre cloches traditionnelles, cloches électroniques, cloches de théâtre etc... devient immédiate pour qui sait lire un sonogramme.

On retiendra essentiellement de cette étude qu'une cloche, de même qu'un instrument de musique, est faite pour être entendue; une étude purement physique est donc insuffisante : il faut tenir compte des propriétés du récepteur humain et choisir une méthode qui permette de faire la corrélation entre signal physique et perception.

BIBLIOGRAPHIE

- 1°) KNUDSEN (V.O) The propagation of sound in atmosphere. J.A.S.A. 18 (1946) p. 90
- 2°) KNESER (H.O) Physik und Akustik Proceedings of the 3rd I.C.A. Elsevier, Amsterdam 1961
- 3°) LEHMANN (R) L'audibilité des signaux acoustiques de sécurité à bord des navires. Acustica 13 n°5 (1963) p.337-349.
- 4°) MERSENNE (M) Harmonie Universelle Ed. CNRS, Paris 1963
- 5°) BOUASSE (H) Verges et Plaques - Cloches et carillons. Delagrave, Paris 1927
- 6°) GRUTZMACHER (M) Le spectre d'un son de cloche. Acoustique Musicale, Ed. CNRS, Paris 1959.
- 7°) PFUNDNER (J) Uber den Schlagton der Glocken. Acustica 12 n°3 (1962) p. 153-157
- 8°) LEIPP (E) Le problème de la perception des signaux d'avertissement. Les sifflets. Public.interne Fac.des Sciences, Paris En cours d'impression aux Annales des Télécommunications.