

# Les jouets sonores du test aux bruits Borel-Maisonny

ETUDE  
ACOUSTIQUE

Analyse acoustique  
du contenu spectral  
et de l'évolution temporelle

par M. Castellengo

Il est d'usage en acoustique de tester les maillons d'une chaîne de reproduction à l'aide de signaux calibrés : sinusoïdes, clics, etc. Dans le but d'obtenir des résultats précis et chiffrés, des méthodes semblables ont été développées en audiométrie. Toutefois, à la différence d'un haut-parleur un sujet humain peut très bien percevoir un signal et ne pas répondre, soit parce qu'il se refuse à le faire, soit parce qu'il n'a pas compris ce qu'on lui demande, ou plus simplement parce que le signal acoustique que nous lui faisons entendre ne l'intéresse pas : il l'ignore.

Or, depuis les travaux des théoriciens de l'information, on sait que la quantité d'information d'un message acoustique est contenue dans ses variations temporelles : « ce qui nous intéresse, c'est ce qui change dans le temps ».

Une longue expérience d'analyse au laboratoire des sons fournis par les instruments traditionnels nous a montré que ceux-ci étaient d'une complexité évolutive extraordinaire. Même dans les sons les plus « simples », le sifflet par exemple, des microfluctuations temporelles d'intensité ou de fréquence donnent de la vie au son, soutiennent l'intérêt de l'auditeur.

On comprend alors l'intérêt acoustique d'un test audiométrique fait avec des jouets sonores. Cependant les signaux fournis par ces

instruments sont souvent complexes. Pour en tirer parti au mieux et interpréter la réaction de l'enfant il faut bien connaître leur composition acoustique : contenu spectral et évolution temporelle.

Nous avons analysé tous les instruments du test aux bruits Borel-Maisonny. Avant d'en rendre compte nous donnerons quelques rappels sur les différents types de sons et de bruits.

### Rappels d'acoustique; sons périodiques et bruits (*Planche 1*).

On peut classer les signaux acoustiques en deux grandes catégories.

*Voir Planche 1, page ci-contre.*

1) LES SONS PÉRIODIQUES, nécessairement entretenus, dont le spectre est composé d'harmoniques. Ils donnent une sensation de hauteur bien définie, identifiable musicalement. Cette hauteur peut être perçue au travers des harmoniques graves ou aigus, que le fondamental soit ou non présent. A cette catégorie appartiennent les instruments à vent (flûtes, anches, voix humaine) et les instruments à cordes frottées (violon).

Dans les instruments à *embouchure de flûte* (sifflet, jazzoflûte) l'énergie est fortement concentrée dans le fondamental. Au contraire, dans les instruments à *anche* (appeau canard, harmonica, kazoo) elle est répartie sur un grand nombre d'harmoniques couvrant une large bande spectrale. Il existe souvent des zones de renforcements fixes ou variables, les *formants* (appeau canard).

Du point de vue musical on peut rattacher à cette catégorie les sons des cordes percutées (piano) ou pincées (guitare) bien qu'en toute rigueur, le son ne soit pas harmonique.

2) LES SONS DE PERCUSSIONS, dont les signaux sont généralement qualifiés de bruits. Ils comportent toujours un transitoire d'attaque bref, plus ou moins riche en fréquences, reconnaissable sur les sonagrammes sous forme d'un trait vertical au début du son. Leur composition spectrale, dépendant des modes vibratoires propres du corps percuté est en relation avec le degré d'amortissement de celui-ci.

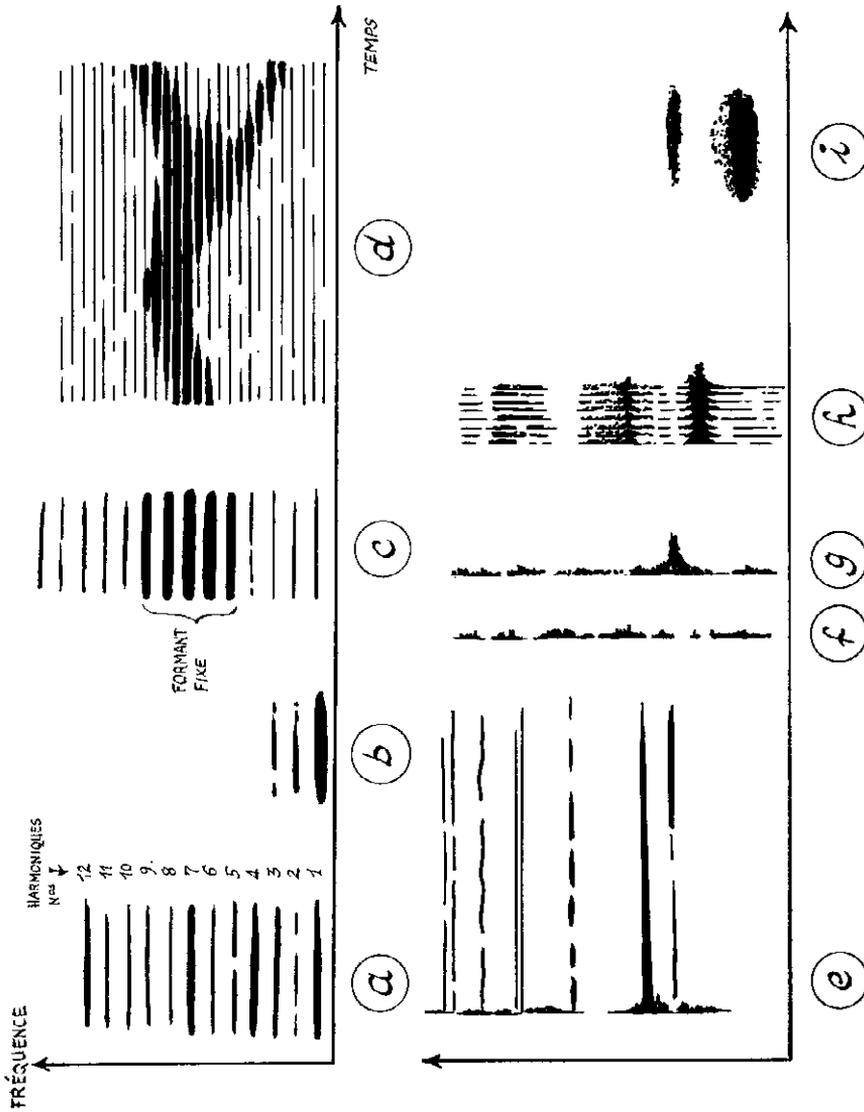


Planche 1. — Représentation schématique du sonogramme de différents types de sons :

- a, b, c, d, sons harmoniques
- a) Son harmonique produit par un instrument à anche (harmonica).
- b) Son de type flûte (sifflet).
- c) Son d'anche avec un formant dû à une cavité fixe (kazoo).
- d) Son d'anche avec formant variable (vache).
- e, f, g, h, sons de percussion
- e) Percussion d'un corps peu amorti : métal (cloche).
- f) Percussion d'un corps amorti : bois (crécelle).
- g) Percussion d'un corps amorti avec cavité associée (hochet).
- h) Choc amorti répété à cadence rapide (crécelle).
- i) Cavité excitée par un souffle diffus (œufs).

## ANALYSE ACOUSTIQUE DU TEST AUX BRUITS BOREL-MAISONNYY

Les matériaux *peu amortis* (métal) sonnent longtemps et produisent des partiels de fréquence définie : cloche, crotale.

Les matériaux *amortis* (bois) rendent un son bref dont le spectre est à large bande.

Il y a lieu de faire une mention spéciale pour *les cavités* qui possèdent un mode propre prédominant. Excitées par un souffle diffus elles produisent un bruit coloré très bien localisé dans le spectre de fréquence (œufs). Percutées (hochet) ou associées à un corps percuté (castagnettes) elles contribuent à renforcer sélectivement certaines zones de fréquence. Quand on modifie le volume de la cavité ou sa surface de communication avec l'extérieur, on peut réaliser des « mélodies » de bruits colorés (boîte à trous, pas de cheval).

Enfin le *choc peut être unique ou répété à cadence rapide* (crécelle, résonateur strié).

### Sonagrammes des jouets sonores du test Borel-Maisonny.

Les analyses ont été faites selon diverses échelles de fréquences. Pour comparer les images on devra prendre garde à toujours bien lire les chiffres de l'ordonnée.

### CHOCs AMORTIS GRAVES (*Planche 2*)

Tous les bruits de percussion possèdent un transitoire d'attaque bref, riche en fréquences. On donne deux analyses pour chaque instrument. La première montre l'étendue spectrale jusqu'à 7 Khz, la seconde, limitée à 2 Khz permet de mieux voir les basses fréquences.

*Voir Planche 2, page ci-contre.*

1. *Tambourin*. — La « résonance » de la peau du tambourin se situe aux alentours de 3000 Hz. On peut la varier en appuyant plus ou moins sur la peau ou en frappant à différents endroits (centre ou bord).

ANALYSE ACOUSTIQUE DU TEST AUX BRUITS BOREL-MAISONNY

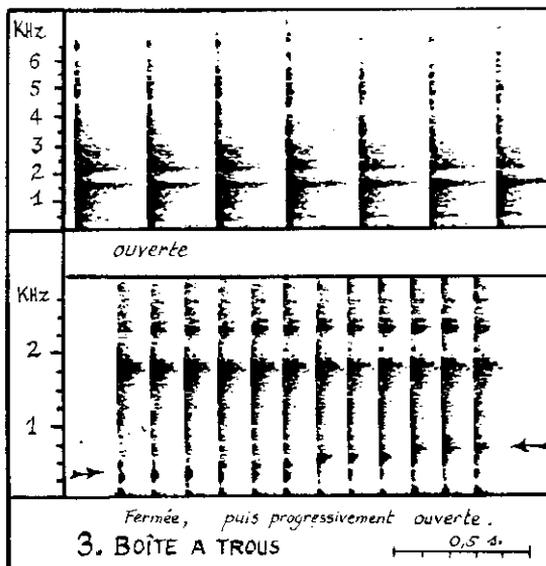
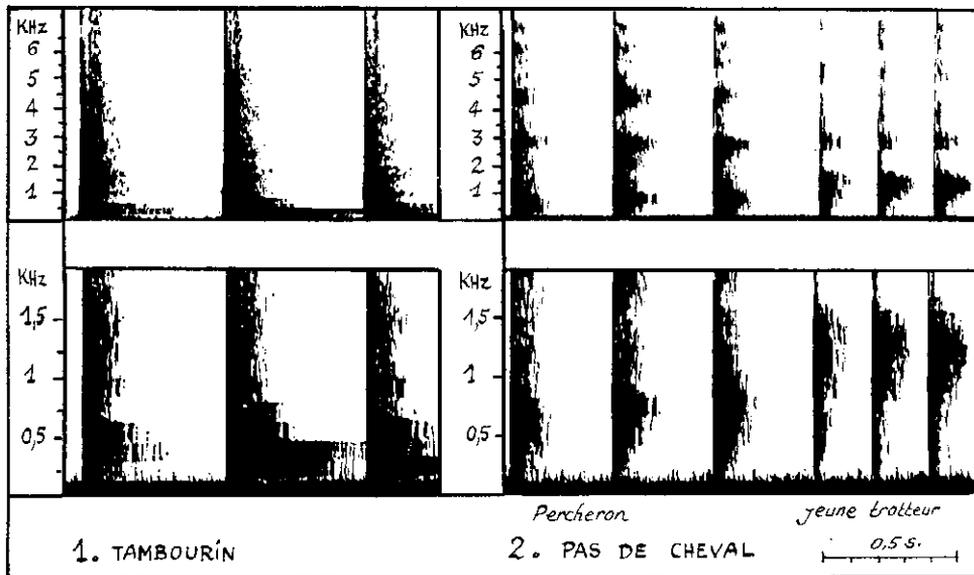


Planche 2

2. *Pas de cheval*. — Le choc des grosses concavités produit un renforcement du spectre entre 500 et 800 Hz. Pour le « jeune trotteur » le bruit des petites concavités est situé entre 1000 et 1500 Hz. Ces valeurs peuvent varier selon le degré de recouvrement d'une coque par l'autre.

3. *La boîte à trous* possède des fréquences propres fixes, dépendant du matériau utilisé (entre 1800 et 2300 Hz). La variation de fréquence due à l'ouverture des trous se situe entre 250 et 750 Hz.

Pour ces trois premiers instruments on aura noté l'importance des micro-variations de durée et de fréquence. Les images d'un même instrument sont semblables, donc reconnaissables, mais jamais identiques. D'un coup sur l'autre, la répartition des fréquences subit de légères variations renouvelant l'intérêt de l'auditeur.

CHOCs AMORTIS AIGUS (*Planche 3*)

*Voir Planche 3, page ci-contre.*

4. *Hochet*. — L'énergie sonore est ici concentrée très efficacement dans la zone sensible de l'oreille : bande de fréquences 3 à 4 KHz.

5. *Castagnettes*. — Au contraire du hochet les castagnettes ont de nombreuses pointes de résonance réparties entre 2 et 6 KHz.

6. *Grenouille et criquet*. — Le clic produit par la déformation d'une tôle d'acier est légèrement différent à l'enfoncement puis au relâchement de celle-ci. La grenouille dont le bruit est situé principalement entre 2 et 4 KHz se distingue très aisément du criquet beaucoup plus aigu, centré sur 4 KHz.

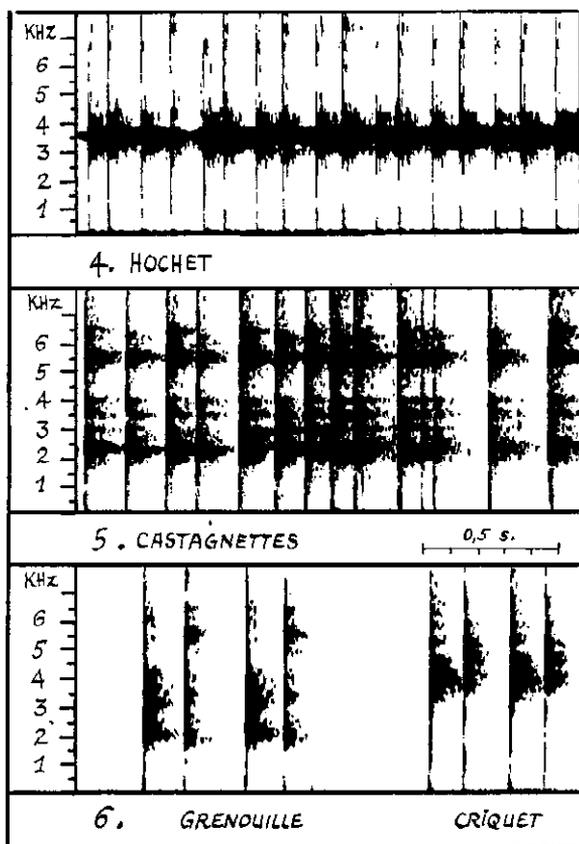


Planche 3

#### CHOCs RÉPÉTÉS A CADENCE RAPIDE (Planche 4)

7. *Résonateur strié.* — Cet instrument produit un bruit de large bande couvrant pratiquement toute l'étendue spectrale jusqu'à 7 KHz. On peut en modifier la coloration en changeant de racléur. Avec une lamelle de bois mince on produit plus de fréquences aiguës; au contraire, l'utilisation d'une clé rigide favorise les basses fréquences.

8. *Crécelle.* — Elle produit des clics extrêmement brefs. En tour-

ANALYSE ACOUSTIQUE DU TEST AUX BRUITS BOREL-MAISONNY

nant très lentement la crécelle à la main on peut obtenir des coups très espacés, puis en accélérant on les rapproche graduellement jusqu'à la fusion. Celle-ci dépend de la « constante de temps » du sujet. Le bruit est aussi à bande large mais l'énergie est répartie principalement au-delà de 2000 Hz.

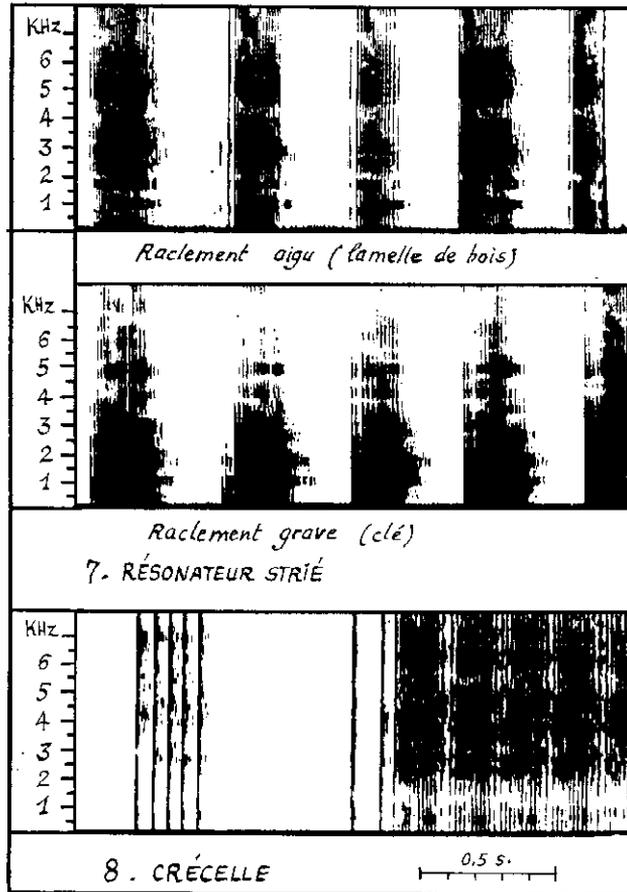


Planche 4

## SONS AIGUS PROLONGEABLES (Planche 5)

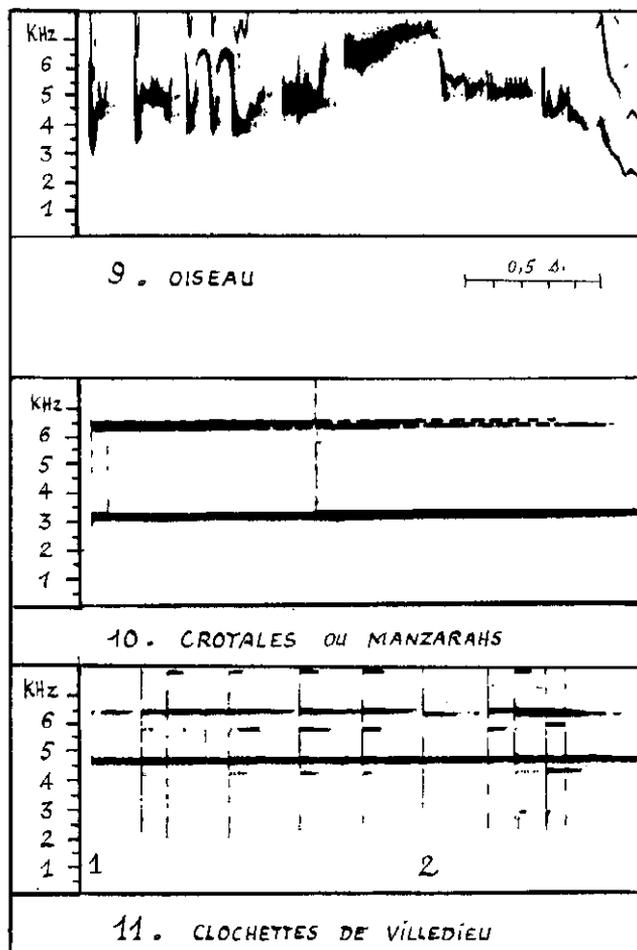


Planche 5

9. *Oiseau*. — Le crissement provient des oscillations de relaxation produites par un morceau de plomb frottant sur un morceau de bois. L'énergie est fortement concentrée dans une zone de fréquence très étroite qui varie de 3 à 8 KHz selon que l'on tourne plus ou

moins vite. Le son est en fait constitué de glissandos très rapprochés, analogue à ceux que produisent certains oiseaux chanteurs.

10. *Crotales*. — Le son « aigu », « cristallin » se traduit par 2 bandes de fréquences bien définies (3200 et 6400 Hz pour cet exemplaire). La deuxième bande de fréquence en comprend en fait deux, très voisines, qui interfèrent entre elles (battements) et donnent de la vie au son.

11. *Clochettes de Villedieu*. — On montre l'analyse des 2 clochettes, très aiguës. Hormis le choc (de faible intensité), la fréquence notable la plus grave est à 4500 Hz. On notera la variété du son, selon les chocs successifs le battant ne frappe jamais la cloche au même endroit.

#### SONS D'INSTRUMENTS A ANCHE (*Planche 6*)

Il s'agit de sons harmoniques dont la durée dépend du souffle du joueur.

*Voir Planche 6, page ci-contre.*

12. *Harmonica*. — L'image sonographique est remarquable par la richesse du spectre et les fluctuations temporelles provenant des anches doublées, volontairement désaccordées pour donner un effet de tremblant. Il n'y a pas de zone de fréquence préférentielle.

13. *Appeau canard*. — Son dont la hauteur grave (environ 130 Hz) est perçue au travers des harmoniques aigus et plus particulièrement dans la zone formantique centrée sur 3000 Hz.

14. *Kazoo*. — Le son produit est une combinaison des harmoniques de la voix, de la vibration du mirliton et des résonances de la cavité de l'instrument.

Les formants sont larges et bien visibles. A noter, l'intensité du fondamental de la voix.

15. *Vache*. — L'instrument émet un son riche en harmoniques. La variation formantique simule bien l'effet d'un enchaînement vocalique.

ANALYSE ACOUSTIQUE DU TEST AUX BRUITS BOREL-MAISONNY

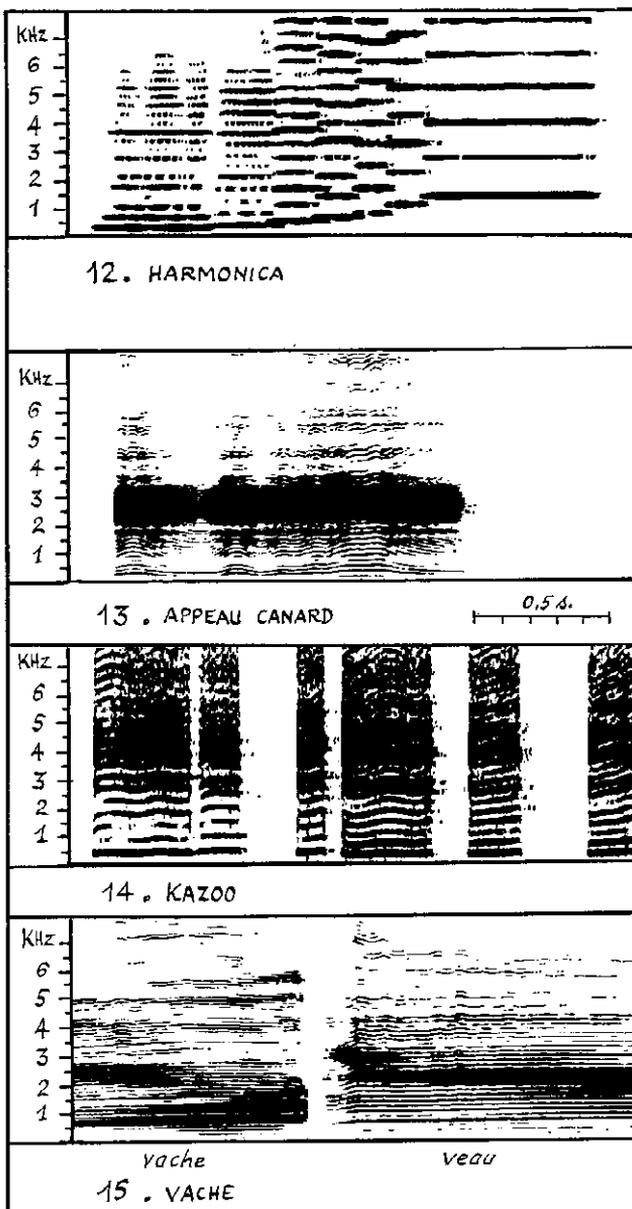


Planche 6

SONS HARMONIQUES DE HAUTEUR VARIABLE (*Planche 7*)

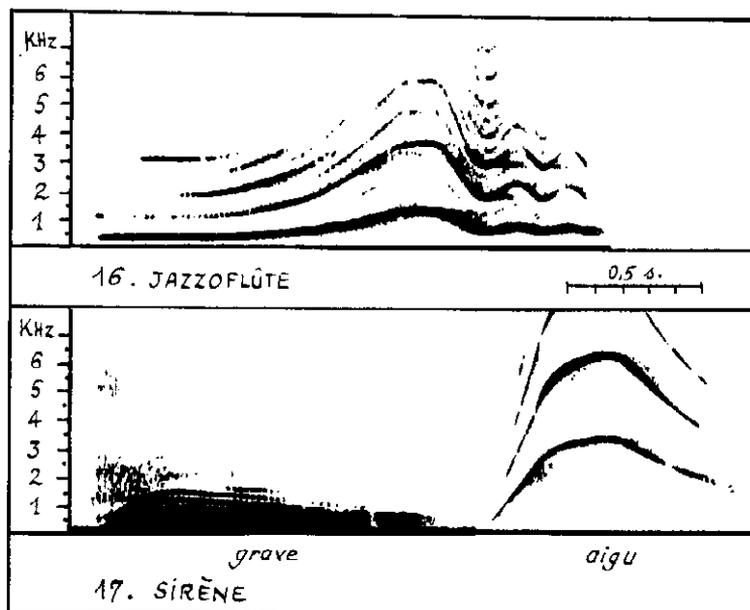


Planche 7

16. *Jazzoflûte*. — L'excursion en fréquence du jazzoflûte va de 330 à 1100 Hz. Comme dans toutes les flûtes l'énergie est concentrée dans le fondamental.

17. *Sirène*. — En soufflant doucement on produit un son grave de faible intensité, mais très inattendu pour l'auditeur. L'énergie est concentré en dessous de 1000 Hz. Avec un souffle puissant la sirène monte jusqu'à 3000 Hz. On notera que l'harmonique 2 est plus intense que le fondamental.

SONS PROLONGEABLES, DE HAUTEUR FIXE, A SPECTRE BIEN LOCALISÉ  
(Planche 8)

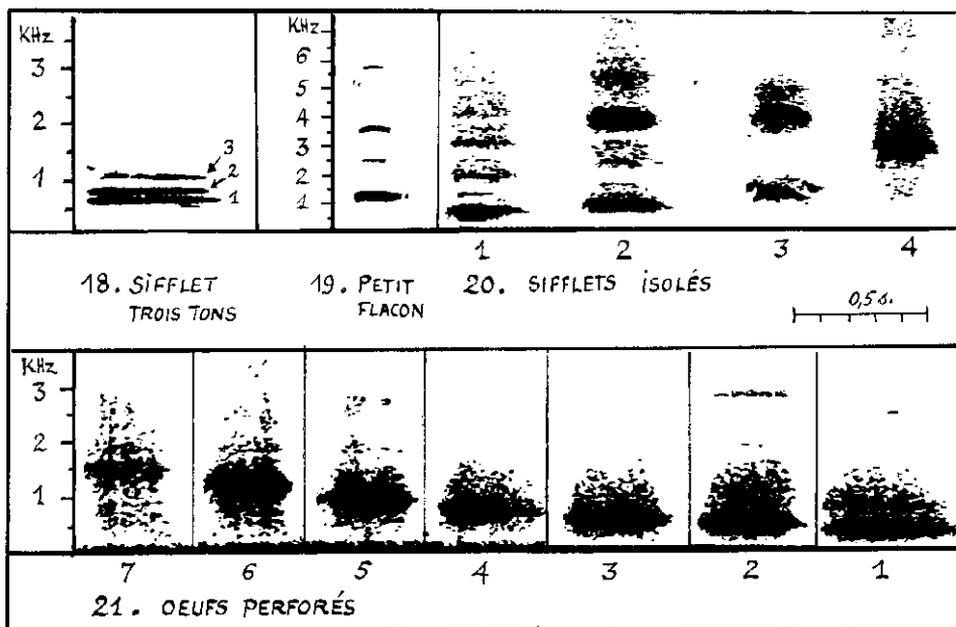


Planche 8

18. *Sifflet 3 tons.* — Ici les trois sifflets sont émis simultanément; le son est quasi sinusoïdal.

19. *Petit flacon.* — Son aigu, 1200 Hz, dont l'énergie est concentrée dans le fondamental.

20. *Sifflets isolés.* — Il importe de ne pas souffler trop fort. Les n<sup>os</sup> 1 et 4 sont émis correctement; au contraire, les tuyaux 2 et 3, trop forcés ont tendance à quintoyer. Le fondamental passe de 500 (n<sup>o</sup> 1) à 4000 Hz (n<sup>o</sup> 4).

21. *Oeufs perforés.* — Cet ensemble d'objets permet de produire une succession de bruits colorés allant de 500 à 1500 Hz. Lorsqu'on souffle correctement comme c'est le cas ici, les partiels supérieurs sont inexistantes.

ANALYSE ACOUSTIQUE DU TEST AUX BRUITS BOREL-MAISONNY

SONS DE LA BANDE ENREGISTRÉE (Planche 9)

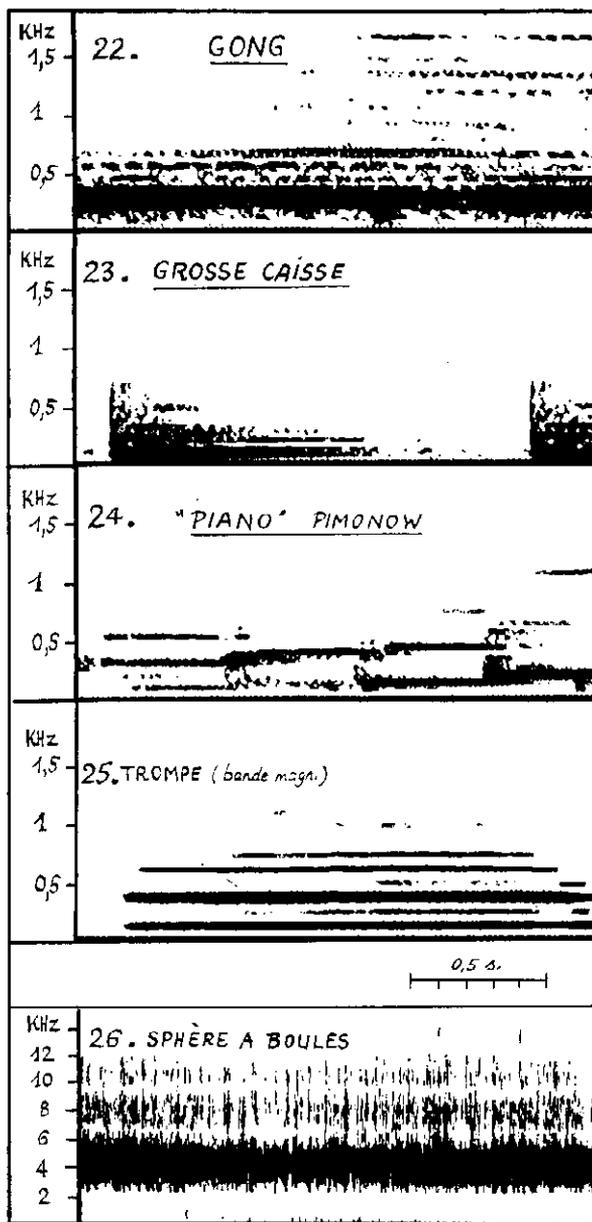


Planche 9

Il s'agit de sons produits par des objets trop volumineux et trop coûteux pour être inclus dans une valise de test. Si le haut-parleur d'écoute reproduit correctement les basses fréquences on pourra utiliser avec profit les n<sup>os</sup> 22 et 23 pour les sons très graves. Le n<sup>o</sup> 25 donne un son de hauteur grave (130 Hz), mais dont l'harmonique 3 (390 Hz) est prédominant. La sphère à boules (n<sup>o</sup> 26) produit un son particulièrement agressif, concentré sur la bande 3 à 6 Khz.

### Conclusion

Les sons des instruments traditionnels présentent sur les sons électroniques actuellement disponibles l'avantage incontestable de fournir des signaux changeants, évolutifs, intéressant l'auditeur. En revanche, ils sont complexes. L'emploi de jouets sonores pour un dépistage auditif suppose à la fois un apprentissage du maniement des jouets pour bien contrôler l'émission du son en intensité et en coloration spectrale, et une bonne connaissance de leur contenu fréquentiel. Nous pensons que les sonagrammes présentés dans cette étude pourront aider les utilisateurs dans leur travail.