

SOURCES ULTRASONORES DE PUISSANCE POUR L'ÉTUDE DES NON-LINÉARITÉS DE L'AIR

J. Roux

▶ **To cite this version:**

J. Roux. SOURCES ULTRASONORES DE PUISSANCE POUR L'ÉTUDE DES NON-LINÉARITÉS DE L'AIR. Journal de Physique Colloques, 1972, 33 (C6), pp.C6-285-C6-288. 10.1051/jphyscol:1972661 . jpa-00215179

HAL Id: jpa-00215179
https://hal.science/jpa-00215179

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SOURCES ULTRASONORES DE PUISSANCE POUR L'ÉTUDE DES NON-LINÉARITÉS DE L'AIR

J. ROUX

Laboratoire de Mécanique Physique. Université de Bordeaux I, 33405-Talence, France

Résumé. — Ces sources monochromatiques sont des auto-oscillateurs à ondes stationnaires utilisant un mode propre particulier d'un volume métallique excité électrodynamiquement. Des coefficients de surtension de 30 000 sont obtenus avec des cylindres ou des cubes en alliages d'aluminium placés dans une enceinte accordée ouverte sur la face utilisée.

Dans une gamme de fréquences de 15 kHz à 100 kHz le rendement électroacoustique atteint 20 % et la puissance totale rayonnée est de l'ordre de 20 W.

En mode isovolumique fondamental, le niveau de pression sonore est équivalent à 165 dB en ondes progressives quasi planes sur l'axe.

On peut alors observer l'évolution caractéristique de l'onde vers la forme en dent de scie ainsi que l'entraînement continu du milieu dans la direction de propagation. Les formes d'ondes sont directement visualisées sur oscilloscope par strioscopie linéaire à miroir.

Abstract. — By electrodynamic excitation and suitable amplification loop, stationnary oscillations of particular modes in metallic volumes are maintained.

The Q factors obtained with aluminium alloys cylinders and cubes, situated in a tuned cavity open on the used face are about 30 000.

In the frequency range from 15 kHz to 100 kHz, the electroacoustical efficiency is 20 % and the available radiated power is about 20 W. For a fundamental Sommerfeld isovoluminal mode, the sound pressure level on the axis is about 165 dB SPL with a quasi-plane progressive wave in free field.

It is possible to observe the characteristic evolution of the waveform to the sawtoothed form and the acoustic streaming. Using a linear schlieren technique associated with a television device, the waveforms are directly monitored on the oscilloscope.

1. **Introduction.** — L'étude des effets non linéaires en champ libre dans l'air nécessite des sources de grande puissance susceptibles de fournir des nombres de Mach acoustiques $> 10^{-2}$ avec une structure d'onde la plus simple possible dont le rayonnement soit raisonnablement assimilable à une onde plane.

Les volumes métalliques vibrants du type Saint-Clair [1] avec les perfectionnements du CRP de Marseille [2] sont très bien adaptables à cet usage.

Ce sont des auto-oscillateurs à onde stationnaire dont le résonateur est un volume de forme simple, cylindre ou cube, entretenu par excitation électrodynamique.

Par l'étendue de la face rayonnante comparativement à la longueur d'onde rayonnée, ce type de source donne, avec une bonne approximation, un champ d'ondes planes dans la région de Fresnel, faiblement divergent dans la région de Fraunhofer. Alors que les émetteurs piézoélectriques ou magnétostrictifs ont un très mauvais rendement dans l'air, l'intensité rayonnée par ces cylindres ou ces cubes peut être très importante entre 15 et 100 kHz.

2. **Résonateurs.** — 2.1 CHOIX DU MATÉRIAU ET DU MODE. — L'éventail des matériaux possibles est restreint par le fait qu'ils doivent être non magnétiques et bons conducteurs de l'électricité pour le système d'excitation sans contact. Les pertes d'énergie par frottement interne doivent être minimales et le matériau doit pouvoir supporter des taux de déformation élevés sans dislocations internes.

L'alliage d'aluminium AU4G rassemble ses propriétés et ses paramètres mécaniques varient peu d'un échantillon à l'autre. Les paramètres utiles sont rassemblés dans le tableau de la figure 1.

Alliage AU4G	Caractéristiques mécaniques à 20 °C
$V_l = 6\,402 \pm 7$ m/s	$V_T = 3\,122 \pm 4$ m/s
$\rho = 2{,}78 \pm 0{,}01$ g/cm^3	$\sigma = 0{,}344 \pm 0{,}001$
$\lambda = (5{,}97 \pm 0{,}06) \times 10^{10}$ N/m^2	$E = (7{,}28 \pm 0{,}04) \times 10^{10}$ N/m^2
$\mu = (2{,}71 \pm 0{,}02) \times 10^{10}$ N/m^2	$V_E = 5\,118 \pm 7$ m/s

FIG. 1.

Le choix du mode propre est guidé par les impératifs suivants :

2.1.1 *Acuité maximale de la résonance.* — Elle est obtenue par un dimensionnement amenant la dégénérescence triple de la valeur propre corres-

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1972661

pondante ; d'autre part, les pertes par frottement interne sont minimales pour les solutions isovolumiques :

$$\text{div } u = 0 , \qquad u : \text{vecteur déplacement} .$$

2.1.2 La structure de l'onde rayonnée sera la plus proche de celle du piston plan si tous les points de la section rayonnante vibrent en phase, donc pas de lignes nodales sur cette section.

2.1.3 La multiplicité du mode doit être telle que l'on dispose d'au moins un nœud dans le volume ou sur sa surface limite pour assurer les liaisons de position sans amortir l'oscillation.

Le premier mode fondamental de Sommerfield [3] répond à ces impératifs avec les cylindres et les cubes pour des conditions aux limites de contrainte nulle sur la surface libre. Ce sont les solutions de :

$$(\Delta + q^2)\, u = 0 \qquad \forall M \in V \qquad (1)$$

avec les conditions :

$$\text{div } u = 0 \Rightarrow q = \omega / C_T : C_T = \sqrt{\mu/\rho} \qquad (2)$$

$$\sigma_{ij} = 0 \qquad \forall M \in S(v) . \qquad (3)$$

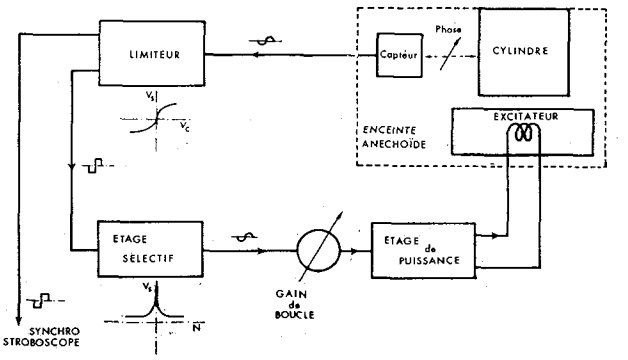


FIG. 2. — Synoptique de la boucle d'entretien.

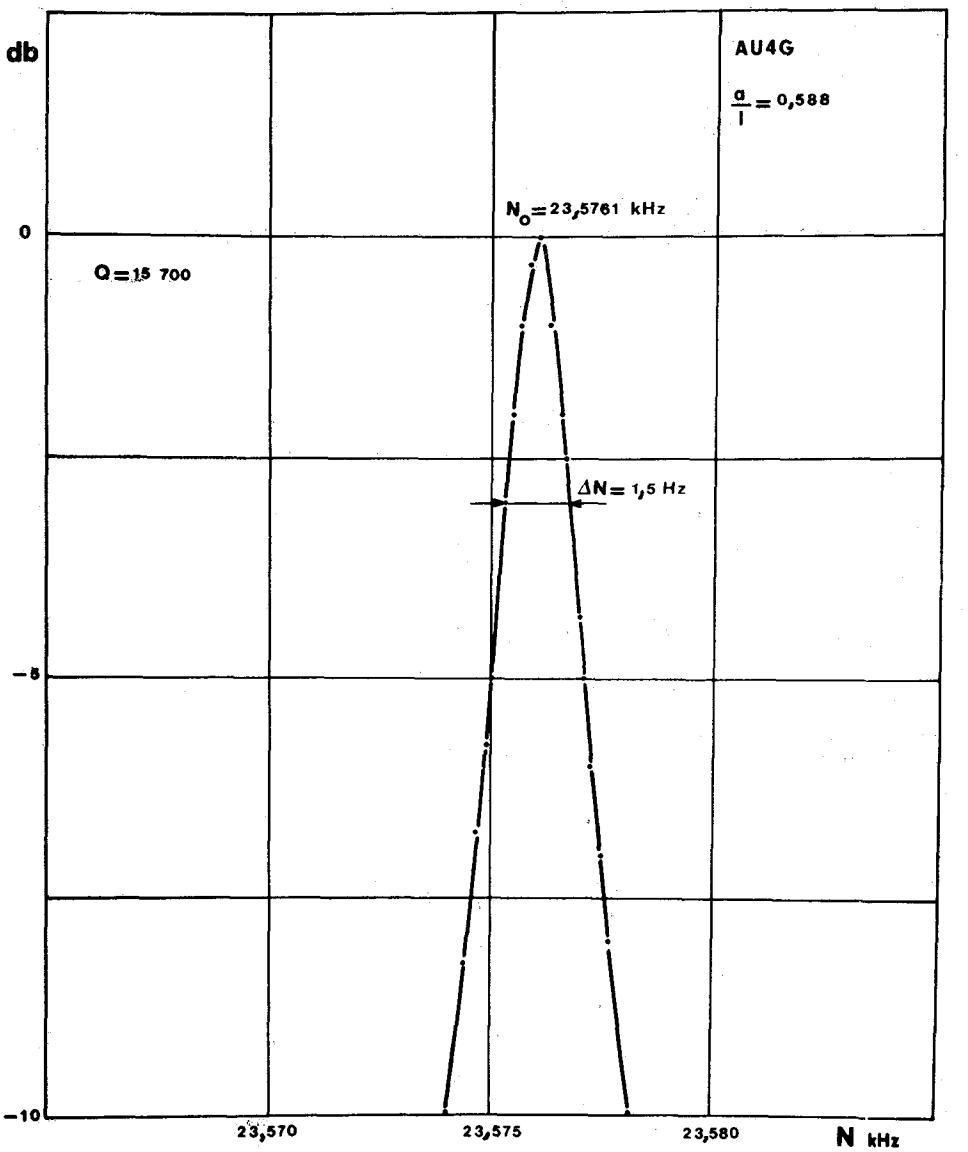


FIG. — 3. Cylindre AU4G, $a/1 = 0{,}586$.

Soit l, la longueur du volume dont les faces terminales sont dans les deux plans $z = \pm l/2$ et K la valeur propre correspondante ; H la valeur propre commune aux deux autres coordonnées (x, y) ou (r, θ). La séparation des variables de (1) amène $q^2 = K^2 + H^2$. La dégénérescence a lieu lorsque

$$K = H = q/\sqrt{2}\,. \tag{4}$$

2.2. CYLINDRES. — Dans des travaux antérieurs [4] nous avons montré que la dégénérescence a lieu pour un cylindre de rayon a et de longueur l lorsque :

$$Kl = \pi\,, \qquad Ha = 1{,}84 \tag{5}$$

première racine de

$$x.J_0(x) - J_1(x) = 0$$

alors d'après (4)

$$a/l = 0{,}586$$

les composantes du déplacement u sont alors

$$\left.\begin{aligned} u_r &= -\,AJ_1(Kr).\cos Kz \\ u_\theta &= 0 \\ u_z &= A.J_0(Kr).\sin Kz\,. \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

Seul le centre de gravité $z = r = 0$ est un nœud mis à profit pour soutenir le cylindre sur une tige engagée dans un trou axial.

La distribution de vitesse normale sur la face rayonnante $z = l/2$ est alors :

$$V_z = B.J_0(Kr)\,. \tag{7}$$

Fréquence de confusion :

$$N_0 = \frac{\sqrt{2}\,C_T}{2\,l}\,.$$

2.3 CUBES. — La symétrie cubique amène la dégénérescence triple pour un cube d'arête $2\,a$ avec $2\,Ka = \pi$, les déplacements sont :

$$\left.\begin{aligned} u_x &= -\sin Kx.\cos Kz \\ u_y &= -\sin Ky.\cos Kz \\ u_z &= (\cos Kx + \cos Ky).\sin Kz \end{aligned}\right\}. \tag{8}$$

Les huit sommets sont donc des nœuds et le positionnement dans l'excitateur en est plus facile et plus précis que pour les cylindres.

Sur la face rayonnante, la vitesse normale est de la forme

$$V_z = B(\cos Kx + \cos Ky)\,. \tag{9}$$

Fréquence de confusion :

$$N_0 = \frac{\sqrt{2}\,C_T}{4\,a}\,.$$

3. **Autoentretien.** — Le synoptique de la boucle d'entretien est représentée sur la figure 2.

Le réglage correct de phase est obtenu par déplacement du capteur dans le champ d'ondes progressives.

Un circuit sélectif passe-bande élimine les fréquences indésirables qui pourraient prendre naissance.

Enfin le réglage de gain en aval du limiteur assure

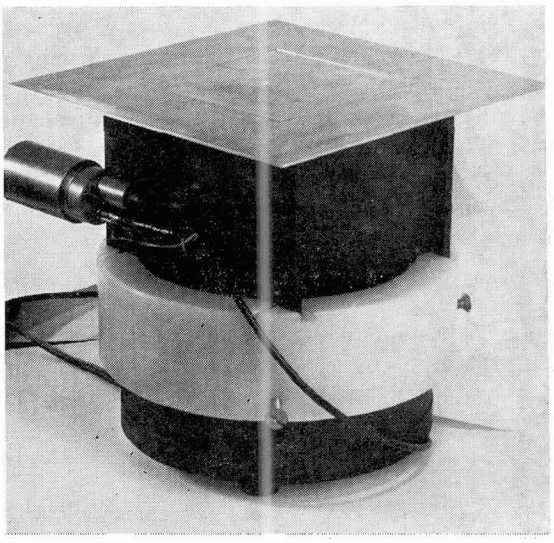


FIG. 4. — Cube monté dans son enceinte avec excitateur et capteur.

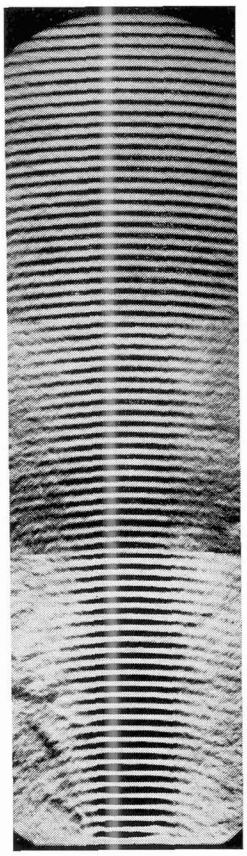


FIG. 5. — Structure de l'onde rayonnée par un cylindre à 23,57 kHz.

le contrôle d'amplitude pour tout cycle limite stable possible. Le gain linéaire autour de zéro est suffisant pour avoir un accrochage doux à toutes les puissances.

L'étage de puissance AF transistorisé ayant une puissance disponible de 100 VA jusqu'à 200 kHz épuise la capacité du système électrodynamique.

La figure 3 montre l'acuité de la résonance d'un cylindre émettant à 23 576 Hz.

Pour des cubes placés dans une enceinte réfléchissante (Fig. 4) accordée, la surtension atteint des valeurs de l'ordre de 35 000. Leur efficacité en pression à la limite de la zone de Fresnel est équivalente à 170 dB SPL. (Cube de 10 cm d'arête, $N_0 = 22\,072$ Hz.)

4. **Rayonnement.** — Compte tenu du rapport de la vitesse de mode à la célérité dans l'air :

$$\sqrt{2}\, C_T/C_0 \simeq 13$$

l'étendue physique de ces sources est importante : $ka = 20$ pour un cube, 24 pour un cylindre. L'onde rayonnée figure 5 est quasi plane dans la région de Fresnel, faiblement divergente dans le champ éloigné.

Les effets non linéaires sont importants : onde en dent de scie et entraînement du milieu. Leur mise en évidence directe et leur étude par strioscopie linéaire est possible [4].

5. **Conclusion.** — Avec un rendement électroacoustique supérieur à 25 % ces générateurs sont actuellement, à notre connaissance, les plus puissantes sources monochromatiques d'ultrasons dans l'air. Notre attention se porte plus particulièrement sur les cubes qui présentent assez de points nodaux pour être convenablement positionnés. D'autre part, ces volumes remplissent l'espace et permettent la réalisation d'arrangements compacts. Des résultats récents [5] montrent l'existence d'une plage de synchronisation qui peut être exploitée pour conserver la cohérence dans des arrangements en ligne ou en tapis.

Bibliographie

[1] SAINT-CLAIR H. W., *Rev. Sci. Instrum.* (1941) 250.
[2] GAVREAU V. et MIANE M., *Acustica* **4** (1954) 387.
[3] SOMMERFIELD A., Sitzber, Math. Naturw. Muenchen (1945/46).
[4] ROUX J., Thèse, Bordeaux, septembre 1970.
[5] JOUBERT J., Synchronisation d'un émetteur ultrasonore par couplage unilatéral. Rapport DEA. Bordeaux, juin 1972.