

REALISATION D'UN GENERATEUR D'ULTRASONS A 20 kHz

L. GAUDRIOT et G. COMTE-BELLOT

Laboratoire de Mécanique des Fluides, Ecole Centrale de Lyon, 69—Ecully (France)

(Received: 19 October, 1970)

RÉSUMÉ

Ce générateur fonctionne dans l'air et fournit un niveau de pression de 135 dB à 20 cm de son embouchure. Il est composé d'un transducteur magnétostrictif, d'un transformateur de vitesse solide, d'une chambre de compression et d'un pavillon exponentiel. L'onde émise à ce niveau présente une distorsion à prédominance d'harmonique deux.

SUMMARY

This generator, composed of a magnetostrictive transducer, a velocity transformer, a compression chamber, and an exponential horn, operates in air and delivers a 135 dB pressure-level at 20 cm from its outlet. The wave emitted at this level shows a distortion which prevails in the second harmonic.

INTRODUCTION

Le générateur décrit est conçu pour une application de recherche particulière: l'étude de l'influence d'un faisceau ultrasonore sur la couche limite d'un profil bidimensionnel placé dans la veine d'essais d'une soufflerie. Le faisceau dont on souhaite disposer doit être intense (environ 135 dB à 20 cm), homogène dans la direction transversale à l'écoulement et relativement concentré dans la direction longitudinale.

Le principe choisi pour la réalisation est celui du haut-parleur à chambre de compression et pavillon, l'excitation acoustique de la chambre étant obtenue par un transformateur de vitesse solide, à propagation, animé à la résonance par un

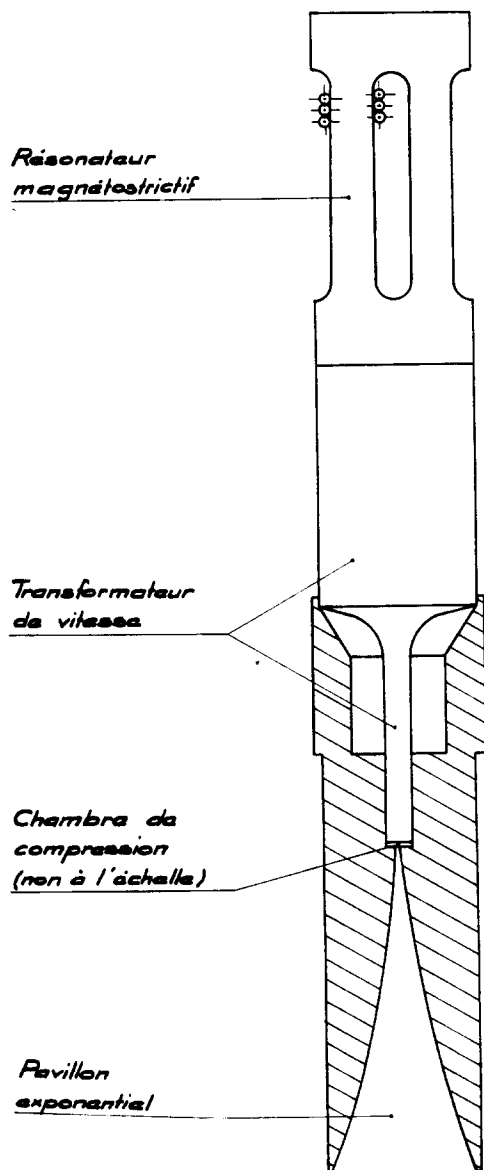


Fig. 1. Schéma de principe.

transducteur magnétostrictif (Fig. 1). L'ensemble constitue une chaîne d'adaptation d'impédance mécanique destinée à assurer un accroissement suffisant des vitesses vibratoires, entre le ferrite magnétostrictif moteur et le milieu aérien récepteur, pour que le niveau de pression recherché dans l'air soit atteint. Le pavillon produisant le rayonnement acoustique est circulaire; son profil est exponentiel et son embouchure de 40 mm de diamètre affleure un baffle rigide.

La réalisation pratique de ce générateur est subordonnée à la mise au point de la chambre de compression qui est l'élément le plus délicat de la chaîne. Cette

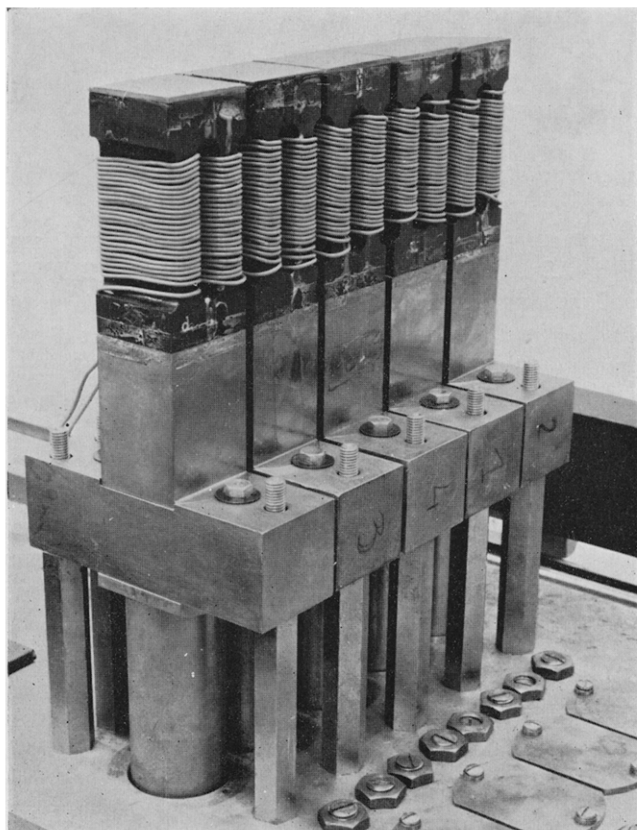


Fig. 2. Vue d'ensemble des cinq générateurs.

chambre constitue en effet un multiplicateur de vitesse entre l'extrémité cylindrique vibrante du transformateur solide de vitesse, extrémité agissant comme un piston, et le petit orifice d'entrée du pavillon (diamètre: 1 mm), selon le principe usuel du vérin. Pour approcher ce principe de fonctionnement on doit donc, d'une part assurer l'étanchéité de la chambre autour du piston et, d'autre part, donner à cette

chambre une épaisseur aussi petite que possible de façon à éviter une perte d'efficacité par effet de compressibilité de l'air emmagasiné. Cette épaisseur, ajustée dans le générateur décrit à une valeur légèrement supérieure à l'amplitude crête de déplacement du piston, est égale à 0,1 mm. Le montage mécanique de l'ensemble doit évidemment être conçu pour que cet ajustement soit possible.

Le générateur complet est constitué par cinq ensembles identiques juxtaposés transversalement pour couvrir la largeur de la veine d'essais (Fig. 2). Cette disposition nécessite un 'réglage à l'unisson' des cinq générateurs utilisés, aussi bien sur le plan des fréquences de résonance que sur celui des efficacités dans le cas d'un amplificateur d'excitation commun.

DESCRIPTION TECHNIQUE D'UN GENERATEUR

Le schéma mécanique d'un générateur assemblé est indiqué sur la Fig. 3 et les différentes pièces composantes sont présentées sur Fig. 4.

L'ensemble moteur est constitué par un élément ferrite magnétostrictif (FERROXCUBE 7A2 de COPRIM) résonant en demi-onde à $21\,500\text{ Hz} \pm 100\text{ Hz}$ et couplé par collage à un transformateur de vitesse. Ce transformateur, qui est à variation brusque de section, est composé de 2 éléments quart d'onde de section différente, l'élément de plus petite section étant un cylindre de 8 mm de diamètre. Son coefficient d'amplification théorique, égal au rapport des aires des 2 sections extrêmes, est de 35. Le noeud de vitesse correspondant à la transition des sections est utilisé comme point de fixation de l'ensemble grâce à deux pattes débordant latéralement. Le raccordement de ces sections est effectué par un congé portant sur une longueur de 10 mm. Ce transformateur est usiné au tour et à la meule dans un alliage au titane (UTA 6V UGINE KUHLMANN) présentant une limite de rupture à la fatigue égale à $6,5 \times 10^8\text{ N/m}^2$. Les cotes de longueur sont assurées à $2 \times 10^{-2}\text{ mm}$ près et un polissage très fin est effectué dans la zone de raccordement afin que soient évitées les amorces de rupture par entaille en cette région où la contrainte est maximale. Cependant l'imparfaite homogénéité du métal utilisé (rond laminé au lieu de plat forgé) a entraîné une petite disparité entre les fréquences de résonance des ferrites et celles des transformateurs de vitesse, ces dernières s'étalant dans l'intervalle $20\,900\text{ Hz} \pm 90\text{ Hz}$. Ces fréquences sont mesurées au maximum de déplacement de l'extrémité rapide, au moyen d'un capteur micrométrique capacitif DISA, l'excitation étant produite par un résonateur magnétostrictif simplement posé sur la section lente. La fréquence de résonance des ferrites a alors été ramenée à la valeur de $20\,900\text{ Hz}$ par adjonction d'une plaque de titane collée sur leur extrémité libre et usinée jusqu'à obtention du résultat voulu, le contrôle étant encore effectué à l'aide d'un capteur de déplacement.

Le collage des pièces de titane sur le ferrite est réalisé à l'aide de résine SCOTCH-WELD EC 1469 MINNESOTA, polymérisée, sans catalyseur, par maintien à

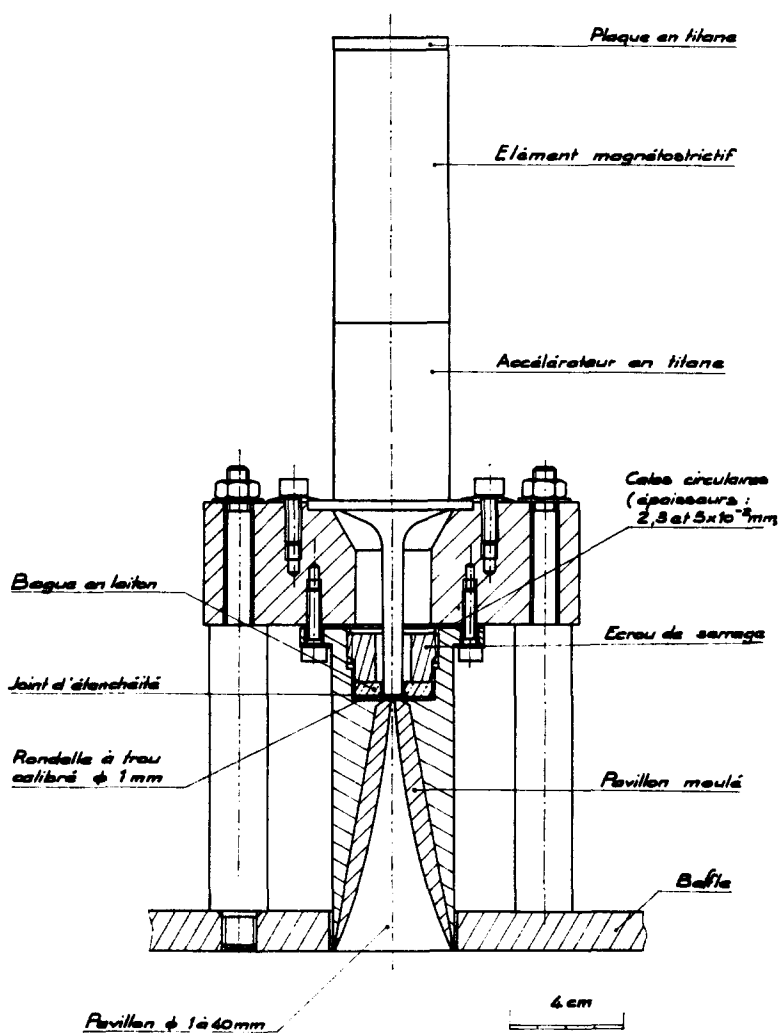


Fig. 3. Schéma de la réalisation mécanique.



Fig. 4. Vue des constituants du générateur.

175° C pendant 1 heure. Il faut noter que la faible valeur du coefficient de dilatation de l'alliage au titane ($8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) voisin de celui du ferrite ($6 \text{ à } 7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) évite l'apparition de contraintes thermiques destructives pour le ferrite au refroidissement.

En ce qui concerne la chambre de compression le problème de son étanchéité a été résolu par l'emploi de joints toriques à quatre lobes Q RING $\times$ SEL de BERWING ajustés dans une bague de laiton. Ce choix n'a d'ailleurs été fait qu'après de nombreuses tentatives portant sur d'autres matériaux, néoprène ou teflon par exemple; mais l'intense frottement du piston provoquait rapidement leur dégradation par fusion. Le réglage de l'épaisseur de la chambre est obtenu par

mesure du niveau acoustique en fonctionnement et par ajustements successifs de la profondeur de pénétration de l'ensemble moteur dans la cavité solidaire de l'embase portant le pavillon. On réalise ces ajustements en interposant, entre ces deux parties, des cales circulaires en acier d'épaisseurs calibrées (2, 3 et 5×10^{-2} mm).

Les pavillons exponentiels ont une fréquence de coupure de 2 kHz. Ils sont moulés en alliage DARCET à l'aide d'une forme exponentielle usinée en acier. On effectue le moulage en plongeant la forme dans la cavité cylindrique de l'embase, remplie d'alliage en fusion, et en provoquant un refroidissement très rapide de l'ensemble.

RESULTATS

Les cinq générateurs étant réalisés, les mesures de pression ont été effectuées sur une plaque métallique plane située à 20 cm des embouchures. Le matériel utilisé est un microphone BRUEL et KJAER, $\frac{1}{4}$ inch, type 4135, associé au spectromètre type 2112. Des trous sont percés dans la plaque pour permettre de loger le microphone en faisant affleurer sa surface. Pour atténuer les réflexions multiples entre la plaque d'essais et le baffle des générateurs, on a recouvert ce dernier plan d'une couche de laine de verre (SONOBEL 205 SAINT-GOBAIN) ayant 1,5 cm d'épaisseur. La dimension du microphone (diamètre: $2a = 6,3$ mm) fait qu'il constitue une fenêtre spectrale présentant une atténuation en $J_1(\vec{k}|a|)/\vec{k}|a|$ dans le domaine bidimensionnel des nombres d'ondes $\vec{k}$, à la surface de la plaque. Les mesures de pression peuvent ainsi être entachées d'une erreur par défaut qui dépend de la distribution spatiale du champ à 20 kHz et qui atteint 15 dB dans le cas le plus défavorable.

La carte du champ des pressions relevées à la paroi de la plaque est indiquée sur Fig. 5. Le niveau maximal atteint est égal à 137 dB environ et il est obtenu dans l'axe des pavillons. En observant la zone des niveaux supérieurs à 127 dB (zone hachurée sur la figure 5) on constate, en plus de la non uniformité générale provenant de la proximité des sources, une tendance à une inhomogénéité transversale due aux disparités existant entre les différents générateurs. Ces disparités, qui étaient initialement plus accentuées, ont été atténuées par réglage du circuit électrique d'alimentation. Les cinq générateurs sont en effet attaqués en série par un amplificateur à forte impédance de sortie (de l'ordre de 10 k Ω) et sont compensés individuellement par des capacités placées en parallèle. Pour égaliser les niveaux de sortie, on agit, pour chaque générateur, simultanément sur le nombre des spires entourant le magnétostrictif et sur la capacité correspondante. Il en résulte que les impédances à 20 900 Hz varient en module entre 20 et 60 Ω et que les coefficients de surtension en charge sont de l'ordre de 100. La puissance électrique d'excitation de chaque générateur est alors de 10 W environ. Il faut signaler

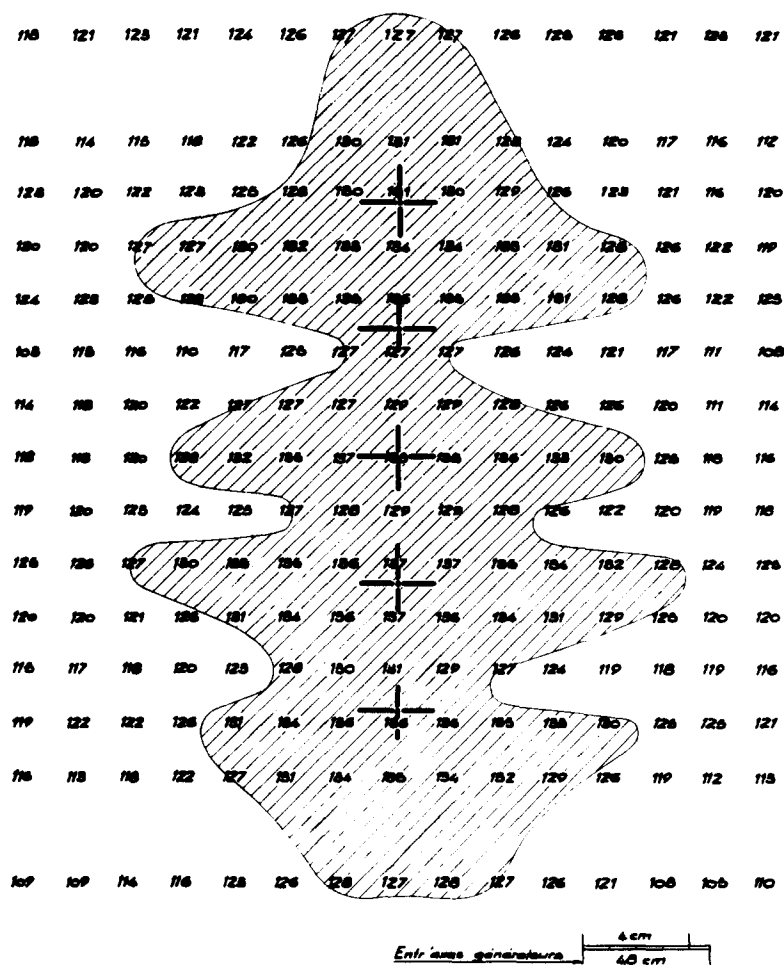


Fig. 5. Carte des pressions à la paroi de la plaque d'essais (en dB).

que l'impédance évolue au cours d'un essai pour se stabiliser au bout d'une heure environ. Dans ces conditions la durée de vie des joints toriques utilisés est de 20 heures.

L'analyse de l'onde de pression reçue fait apparaître un taux d'harmoniques deux appréciable (Fig. 6). La production de cet harmonique est à attribuer aux phénomènes non linéaires d'écoulement au niveau du petit orifice de la chambre de compression. Elle devient rapidement négligeable lorsque le niveau de fonctionnement du générateur est réduit.

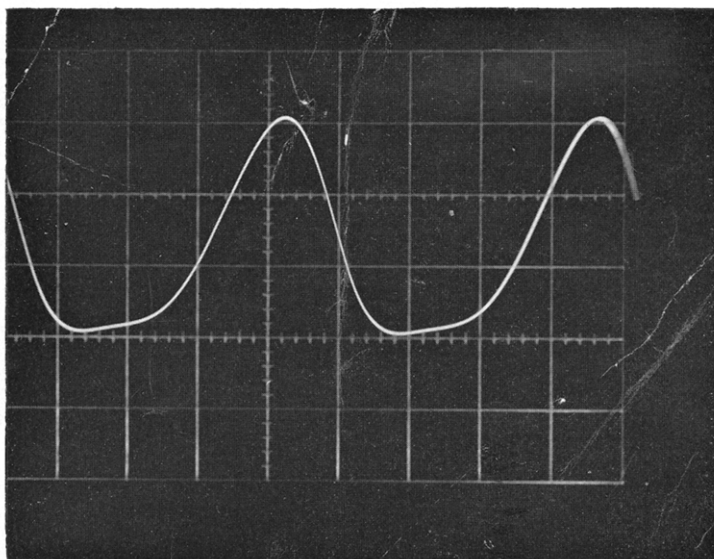


Fig. 6. Forme de l'onde de pression à la paroi de la plaque d'essais.

Outre son emploi dans l'application considérée, ce générateur pourrait être utilisé dans d'autres problèmes: étalonnage de microphones à forte intensité, étude de la diffraction des ultrasons par les milieux turbulents, mesure de vitesse de mobiles par effet DOPPLER.

ACKNOWLEDGEMENT

Nos remerciement vont à MM. F. LAFAY et A. LEPINE qui ont successivement assuré la mise au point du générateur et à la Direction des Recherches et Moyens d'Essais qui a bien voulu apporter une contribution financière à sa réalisation.