



HAL
open science

Etude expérimentale de l'effet d'échelle sur le rayonnement acoustique des propulseurs à poudre

D. Gély, J. Varnier, J.-F. Piet, M. Prévost

► **To cite this version:**

D. Gély, J. Varnier, J.-F. Piet, M. Prévost. Etude expérimentale de l'effet d'échelle sur le rayonnement acoustique des propulseurs à poudre. *Journal de Physique IV Proceedings*, 1994, 04 (C5), pp.C5-1017-C5-1020. 10.1051/jp4:19945224 . jpa-00252910

HAL Id: jpa-00252910

<https://hal.science/jpa-00252910>

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.

Etude expérimentale de l'effet d'échelle sur le rayonnement acoustique des propulseurs à poudre

D. GÉLY, J. VARNIER, J.-F. PIET et M. PRÉVOST

Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales, BP. 72, 92322 Châtillon cedex, France

Abstract

Experiments have been carried out at various scales on rockets using solid propellant. The results show that the granulometric characteristics of the jet have no influence on acoustic noise radiated.

However, the total radiated acoustic power seems to increase slightly faster than the mass flow. The sound level differences resulting from this phenomenon are small but can be taken into account using the experimental law from ref. [4], when it comes to transpose results obtained at reduced scale to the real scale.

1 - INTRODUCTION

La caractérisation de l'environnement acoustique d'un lanceur au décollage passe habituellement par la réalisation d'essais à échelle réduite. L'extrapolation à l'échelle 1 des résultats obtenus sur maquette suppose une parfaite similitude des caractéristiques géométriques et aérodynamiques.

Dans le cas de propulseurs à poudre, la combustion de propergol solide contenant de l'aluminium donne naissance à des écoulements de nature diphasique. Lorsqu'on réalise des essais à échelle réduite avec ce type de propulseur, on ne peut malheureusement pas assurer la similitude de la phase condensée. Les particules d'alumine présentes dans la phase gazeuse ayant tendance à s'agglomérer au cours de la combustion, il est probable que pour des propulseurs de tailles différentes, chargés avec le même propergol, la taille des particules, leur répartition dans la phase gazeuse et leur débit unitaire ne respectent pas les règles de similitude.

L'ONERA a réalisé au centre du Fauga-Mauzac (Toulouse) une étude expérimentale afin de vérifier si ces défauts de similitude aérodynamique sont susceptibles d'altérer la similitude des caractéristiques de rayonnement acoustique d'une échelle à une autre [1].

2 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais sont réalisés sur une série de maquettes représentant les échelles 1/80, 1/40, 1/20 et 1/10,6 d'un propulseur d'appoint à poudre.

Les propulseurs sont implantés dans la cellule de tir de façon à ce que le plan de la sortie de la tuyère soit dégagé par rapport aux murs. Ainsi, la quasi-totalité du rayonnement acoustique aval est mesurable en champ libre. Le sol est traité acoustiquement par des panneaux de mousse en forme de dièdre d'épaisseur 10 cm. Les microphones sont situés dans le plan horizontal passant par l'axe du propulseur qui est à 1 m du sol. Ils sont disposés par pas de 5° sur un arc de cercle centré sur la sortie de la tuyère et couvrant l'ouverture angulaire 30 - 75°. Le rayon de mesure est égal à 20 fois le diamètre de la sortie de tuyère. D'une échelle à l'autre, les microphones se trouvent donc à des distances homothétiques.

3 - EXPLOITATION DES RESULTATS

La durée de chaque tir est d'environ 1 seconde. Le champ acoustique aléatoire est caractérisé par

l'intermédiaire de la matrice interspectrale des signaux échantillonnés sur 400 ms. La partie utile du signal est sélectionnée en repérant sur les courbes de pression génératrice la phase correspondant à la pression nominale de 60 bars. Pour le tir à l'échelle 1/80 les signaux sont exploités sur une plage correspondant à une pression de 52 bars puisque la pression nominale n'a pas été atteinte. Une correction de 0,6 dB est effectuée pour tenir compte de cette variation de débit.

3.1. Analyse spectrale et directivité

Les signaux temporels sont numérisés avec une fréquence d'échantillonnage inversement proportionnelle à l'échelle de façon à pouvoir comparer directement les spectres. Les niveaux par tiers d'octave sont obtenus à partir des spectres en bandes fines en sommant les raies dans chaque bande de fréquence. La figure 1 réunit les spectres en bandes fines obtenus aux angles de 30° et 70° pour tous les propulseurs essayés. L'échelle de fréquence est adimensionnalisée en nombre de Strouhal St.

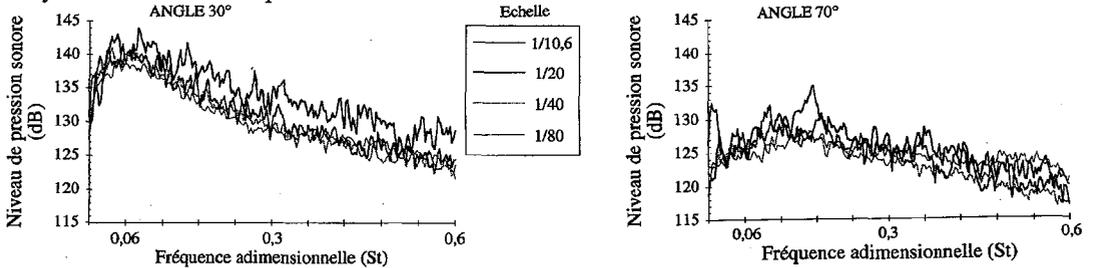


Figure 1 - Spectres en bandes fines pour différentes échelles du propulseur.

On remarque une bonne conservation des allures spectrales avec toutefois un niveau systématiquement plus fort pour l'échelle 1/10,6.

Les niveaux acoustiques sont très proches pour les trois autres échelles et il n'apparaît pas d'évolution nette du niveau sonore en fonction de la taille du propulseur. On peut noter que les fluctuations d'amplitude croissent avec la taille des engins. Ceci est dû à la réduction du nombre de moyennes sur la période d'analyse de 400 ms, puisque la fréquence d'échantillonnage diminue proportionnellement au diamètre de la tuyère.

Une comparaison quantitative des niveaux acoustiques peut être plus facilement menée à partir des niveaux sonores par bande de tiers d'octave, présentés pour les angles de 30° et 70° sur la figure 2.

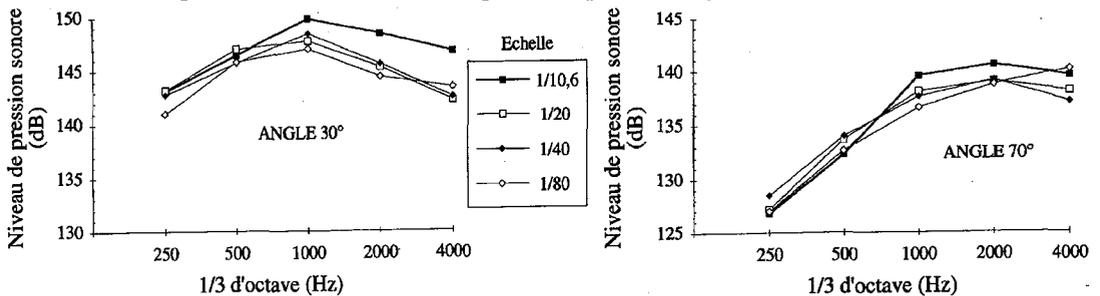


Figure 2 - Niveaux en tiers d'octave pour différentes échelles du propulseur.

Les fréquences sont toutes ramenées à l'échelle 1/10,6. On remarque que les niveaux acoustiques produits en haute fréquence par l'engin à l'échelle 1/10,6 sont supérieurs de 2 à 5 dB suivant les tiers d'octave. Ces écarts sont observés pour tous les angles de mesure comme le montre la figure 3, qui présente la directivité aval du rayonnement acoustique en niveau de pression sonore global. On peut retenir qu'en moyenne les niveaux globaux mesurés pour l'échelle 1/10,6 sont supérieurs de 3 dB alors que les écarts n'excèdent pas ± 1 dB pour les trois autres tailles de propulseur.

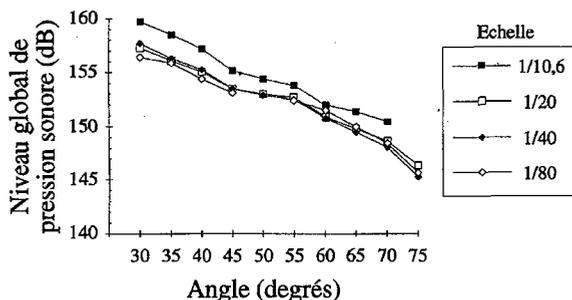


Figure 3 - Directivité aval du rayonnement acoustique à différentes échelles du propulseur

3.2. Influence du temps de séjour des particules dans le propulseur

Pour vérifier l'influence de la grosseur des particules d'alumine sur le rayonnement acoustique, nous avons fait varier le temps de séjour des particules en allongeant le corps des propulseurs. Ainsi, le temps de séjour moyen des particules est augmenté, ce qui favorise l'agglomération et accroît, finalement, la taille des particules. Trois tirs à l'échelle 1/80 ont été réalisés avec des longueurs différentes conduisant à des temps de séjour T_s de 6, 16 et 51 ms. Il n'y a pas eu de mesures granulométriques au cours de ces essais mais la référence [2] indique qu'une évolution du temps de séjour de 5 à 35 ms conduit à une augmentation du diamètre des plus grosses particules de 12 à 60 μm . Nous pouvons donc espérer avoir au moins un rapport 5 sur la taille des particules.

La comparaison des spectres en bandes fines aux angles 30 et 70° (figure 4) montre une parfaite similitude des résultats.

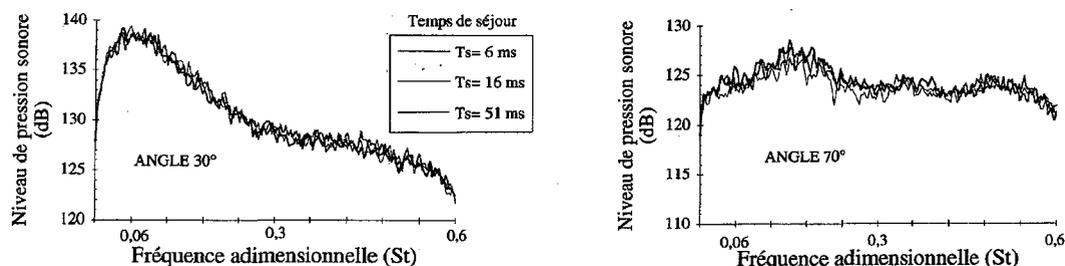


Figure 4 - Spectres en bandes fines pour différents temps de séjour (échelle 1/80).

La comparaison des niveaux par tiers d'octave pour ces trois tirs à l'échelle 1/80 montre que les écarts sont toujours inférieurs à 1 dB quel que soit l'angle d'observation.

3.3. Comparaison des puissances acoustiques

La puissance acoustique des jets chauds très fortement supersoniques est essentiellement rayonnée dans l'arc aval [3]. Le réseau de capteurs couvrant les angles de 30° à 75° permet d'obtenir par intégration une bonne estimation de la puissance acoustique totale. Pour tenir compte du rayonnement amont et comparer ces valeurs expérimentales $L_{w,mes}$ avec les puissances acoustiques calculées $L_{w,cal}$ nous avons appliqué une correction de + 0,8 dB basée sur les caractéristiques du propulseur RITA II [3].

Le calcul des puissances acoustiques est issu de la puissance mécanique mesurée (W_{mec}) et de l'efficacité acoustique η , tirée de la référence [4]. Ce document indique notamment que l'efficacité acoustique augmente avec la puissance mécanique des propulseurs. Il regroupe les résultats obtenus pour divers lanceurs, mais le cas d'un propulseur à des échelles différentes n'est pas traité.

Le tableau 1 récapitule les grandeurs caractéristiques des propulseurs que nous avons testés. On peut remarquer un excellent accord entre les puissances acoustiques mesurée et calculée puisque les écarts sont toujours inférieurs à 1 dB, excepté pour le propulseur à l'échelle 1/80. Pour ce petit propulseur, nous

avons extrapolé l'efficacité acoustique et retenu une valeur de 0,15 ‰. Il semble qu'il serait plus correct, pour les engins de faible puissance, de retenir une valeur minimale de l'ordre de 0,20 ‰.

Ech.	Ø tuyère (cm)	Débit (kg/s)	Wméc (MW)	η (‰)	L_w cal (dB)	L_w mes (dB)
1/10,6	26,7	23,6	147,4	0,32	176,8	176,4
1/20	14,2	5,9	36,2	0,26	169,7	169,0
1/40	7,1	1,6	9,4	0,20	162,7	162,8
1/80	3,6	0,3	1,8	0,15*	154,3	156,0

valeur extrapolée

Tableau 1 - Grandeurs caractéristiques des propulseurs.

La figure 5 compare ces résultats avec une loi d'évolution de la puissance acoustique de 3 dB par doublement du débit. On remarque que cette loi, couramment admise, est progressivement mise en défaut au fur et à mesure que le débit augmente.

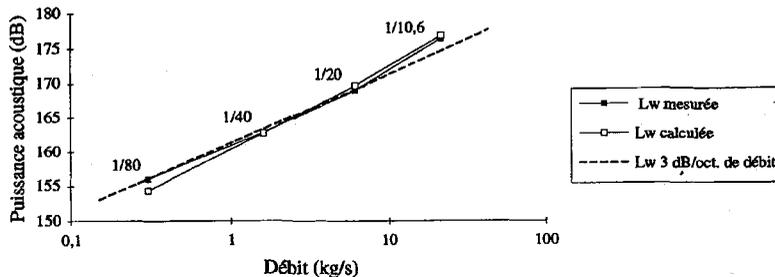


Figure 5 - Evolution des puissances acoustiques calculées et mesurées en fonction du débit.

Il semble donc que l'augmentation de l'efficacité acoustique en fonction de la puissance mécanique soit très liée à la variation du débit. Bien entendu, les variations de niveau acoustique sont faibles, mais elles sont significatives.

4 - CONCLUSION

La série d'essais réalisée sur des propulseurs à poudre de différentes échelles montre qu'une variation importante des caractéristiques granulométriques de la phase condensée ne modifie pas le rayonnement acoustique du jet. La nature diphasique de l'écoulement n'introduit pas d'effet d'échelle du point de vue acoustique.

En revanche, il semble que la puissance acoustique rayonnée augmente dans un rapport plus grand que celui des débits. Les variations de niveau sonore qui en résultent sont faibles mais une correction, basée sur les lois expérimentales de la référence [4], peut être prise en compte lors de la transposition à l'échelle 1 des résultats d'essais obtenus sur maquette.

Cette étude a reçu le soutien du CNES.

Les auteurs remercient toutes les personnes ayant participé aux essais et contribué à leur réussite.

REFERENCES

- [1] - D. Gély, J. Varnier, J.F. Piet, "Etude de l'effet d'échelle sur le rayonnement acoustique des propulseurs à poudre", Rapport Technique ONERA à paraître, 1er semestre 1994.
- [2] - J.C. Traineau, P. Kuentzmann, M. Prévost, P. Tarin, A. Delfour, "Mesure de la distribution des tailles de particules dans un moteur à échelle réduite", AIAA/SAE/ASME/ASEE, 28th Joint Conference and Exhibit, Nashville, 6-8 juillet 1992.
- [3] - D. Gély, J.F. Piet, J. Varnier, "Essai acoustique sur un propulseur RITA II", Rapport Final ONERA n° 39/3643 PY, novembre 1992.
- [4] - S.H. Guest "Acoustic efficiency trends for high thrust boosters", NASA TN D-1999, 1964.