

LA MESURE DU

Où, quand, comment l'effectuer, et que représente-t-elle ?



La Souris-Bulle ULM biplace de l'auteur porte de longues pipes d'échappement pour réduire sa signature sonore

La pratique de nos activités aériennes ne peut plus être menée sans réfléchir sur les nuisances sonores du point de vue du voisinage... Si, à la question simple du niveau sonore maximal autorisé pour un ULM on peut simplement répondre par un nombre de décibels mesurés à une certaine distance par un sonomètre, la réalité du bruit ressenti n'est, elle, pas si simple...

Définitions et appréciations

La force du son est une pression acoustique mesurée en μPa (microPascals) qui, pour faciliter les calculs, seront convertis en une échelle standard logarithmique de base 10 (les fameux décibels acoustiques notés dB).

Il s'agit d'une puissance acoustique. La loi logarithmique, correspondant à la sensation de notre oreille, nous simplifiera la vie par la suite en évitant de compter les zéros et en remplaçant des multiplications par de simples addi-

tions (cf. tableau en page suivante)... On constate donc que 10 dB sont un rapport de 10 en pression acoustique (ou en puissance), 20 dB un rapport de 100, 30 dB un rapport de 1 000...

Un rapport de 10 dB (10 fois) entre deux bruits est seulement perçu comme un doublement de l'intensité par un être humain. Une différence de niveau sonore de 3 dB (soit du simple au double) est le minimum de différence entre deux sources sonores perceptibles. Une différence de 6 dB (du simple au quadruple) est un peu plus nettement perçue.

L'échelle logarithmique peut dérouter, mais il faut garder à l'esprit, par exemple, que si deux sources sonores de 50 dB fonctionnent ensemble, l'intensité de leur somme est égale 53 dB, 3 dB correspondant à un doublement de la puissance...

D'autre part, si la différence de niveau des sources sonores additionnées est supérieure à 10 dB, seul le niveau de la plus puissante sera tenu en compte, la source la plus faible étant de toute façon masquée. On voit donc que pour réduire le niveau sonore de quelques dB, soit de façon à peine perceptible, les efforts à faire seront toujours importants...

La distance entre la source sonore et l'endroit de mesure influence dans une grande mesure le niveau sonore. Cette pression (alternative) est une variation de pression qui s'additionne à la pression atmosphérique (continue de 100 000 Pascals).

Dans le cas de mesures où un bruit ambiant existe, il faudra soustraire la valeur du bruit ambiant.

Le cas le plus défavorable est celui d'un bruit perçu sous la trajectoire, l'appareil venant de décoller, à pleine puissance à la vitesse de montée optimale... C'est donc celui-ci qu'il faut choisir, car toutes les autres configurations ne peuvent donner qu'une mesure inférieure.

Les détails d'une mesure quantitative

Une grande part des résultats étonnamment bas du relevé de bruit de ma Souris-Bulle est à mettre au compte de l'hélice et de la structure en bois résonnant très peu. Il est à noter que les silencieux à absorption ne réduisent que de 6 à 7 dB par rapport à la longue pipe de 1 400 mm vide.

Exemple pratique

L'ULM considéré est un biplace tandem MB-04 Souris-Bulle à moteur VW 2030 cm^3 non réduit, pourvu de quatre pipes d'échappement de 1 400 mm de longueur totale munies de silencieux à absorption, et équipé d'une hélice en bois Evra.

On a relevé à l'aide d'un sonomètre par vent faible un bruit L_m de 69 dB sous trajectoire au décollage à une hauteur h_m de 50 m.

$$L_h = L_m - 22 \log (h/h_m)$$

Le bruit perçu à 100 m sera donc de $69 - 22 \log (100/50)$, soit 62,38 dB.

A 150 m, il sera de 58,5 dB.

BRUIT D'UN ULM

Si on considère que 65 dB est le maximum de bruit qui doit être perçu au sol, on évitera le survol de personnes à moins de 75 m avec cette machine en particulier, si la réglementation, pour d'évidentes raisons de sécurité, ne l'interdisait déjà...

Ce système de mesure permet une évaluation correcte de la nuisance réellement perçue par les riverains, contrairement à la réglementation belge (basée sur le BCAR sect. S des Anglais) qui fixe la norme à 90 dB pour un monoplace et 92 dB pour un biplace, cette valeur étant mesurée au sol, sur un cercle de 10 m autour de la machine plein gaz au sol.

En effet, en orientant l'échappement vers le gazon, le bruit mesuré peut être très facilement atténué de plusieurs dB pour la mesure... en augmentant la nuisance réelle en vol. Si l'échappement donne sur le côté ou le haut, la nuisance au sol sera bien moindre... mais la machine ne réussira pas forcément le test à la belge.

Suivant la norme belge et anglaise, le bruit perçu à 100 m sera de 70 dB(A) au maximum, et à 150 m (altitude minimale de survol) de 66 dB pour un biplace et 64 dB pour un monoplace. Il apparaît donc que la norme serait autour de 65 dB, perçus au sol à l'altitude minimale de survol autorisée de 150 m avec le moteur plein gaz... Un niveau aussi bas reste difficile à mesurer en réalité par un riverain. En effet, les bruits ambiants (vent sur le sonomètre, sur les feuillages, etc.) s'additionnent à la mesure d'un niveau assez bas ils la poussent vers le haut...

Quelques repères

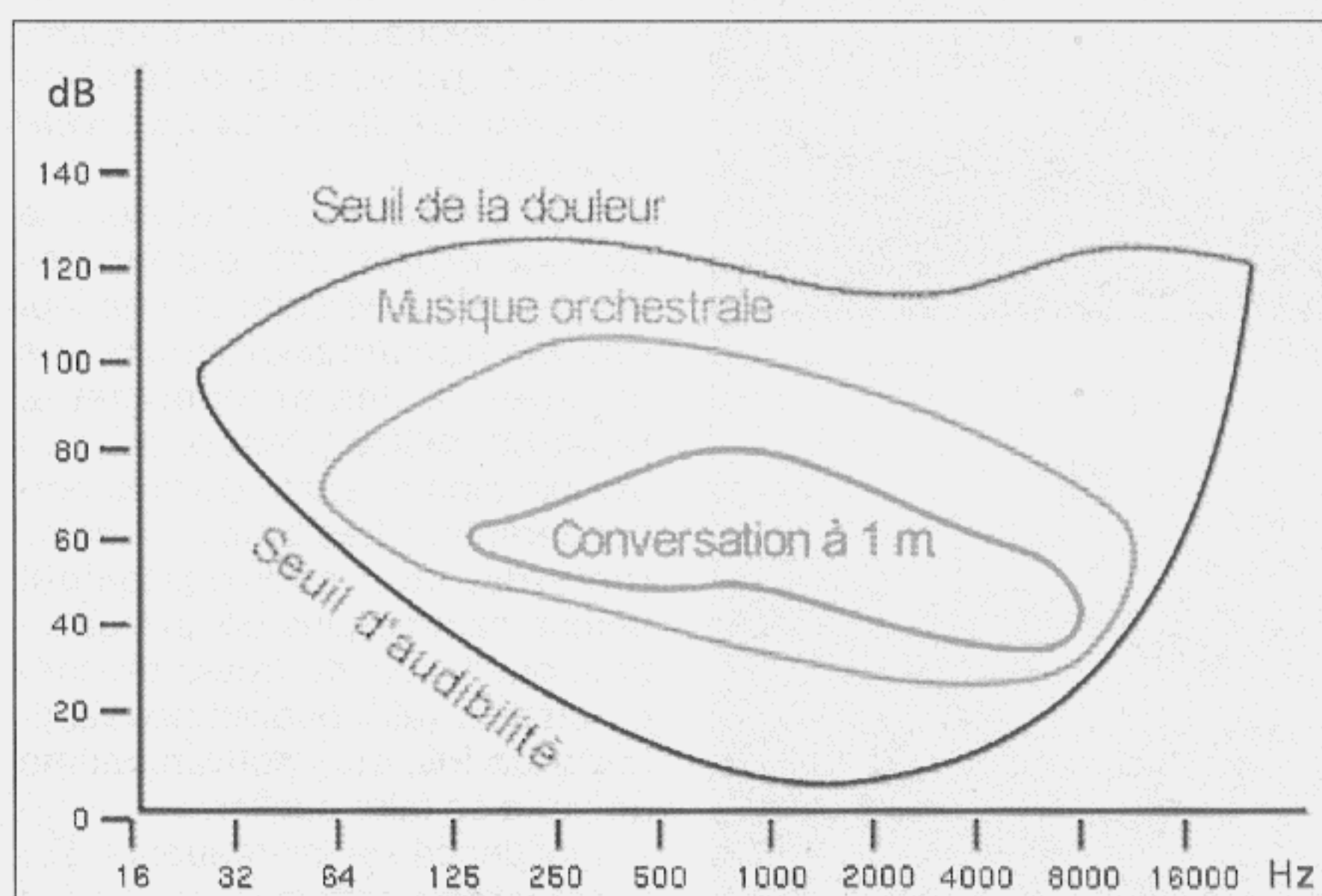
1 bar (millibar) est égal à 100 Pascals (ou un hectoPascal)

1 μ Pa est égal à 1 millionième de Pascal

1 mPa (milliPascal) est égal à un millièème de Pascal

	μ Pa	dB
Laboratoire d'acoustique parfait	0	0
Studio d'enregistrement	10	10
Seuil d'audition	20	
Chambre à coucher bien isolée	100	20
Appartement vide	1 000	(1 mPa) 30
Chuchotements	10 000	(10 mPa) 40
Conversation à voix basse, PC	100 000	(100 mPa) 50
Conversation normale	1 000 000	(1 Pascal) 60
Restaurant	10 000 000	(10 Pa) 70
Rue active, voiture particulière	100 000 000	(100 Pa/1 bar) 80
Gros camion, métro, scooter	1 000 000 000	90
Circulation intense, scie à ruban	10 000 000 000	100
Raboteuse, concert de rock	100 000 000 000	110
Voiture de F1, marteau-piqueur	1 000 000 000 000	120
Seuil de la douleur, sirène à 1 m	10 000 000 000 000	130
Turboréacteur au décollage (30 m)	100 000 000 000 000	140

Un rapport 10 entre deux bruits est seulement perçu comme un doublement de l'intensité par un être humain



La nuisance est fonction de l'intensité du son (en dB) et de sa fréquence (en Hz). Un son très faible de fréquence médiane est facilement perçu

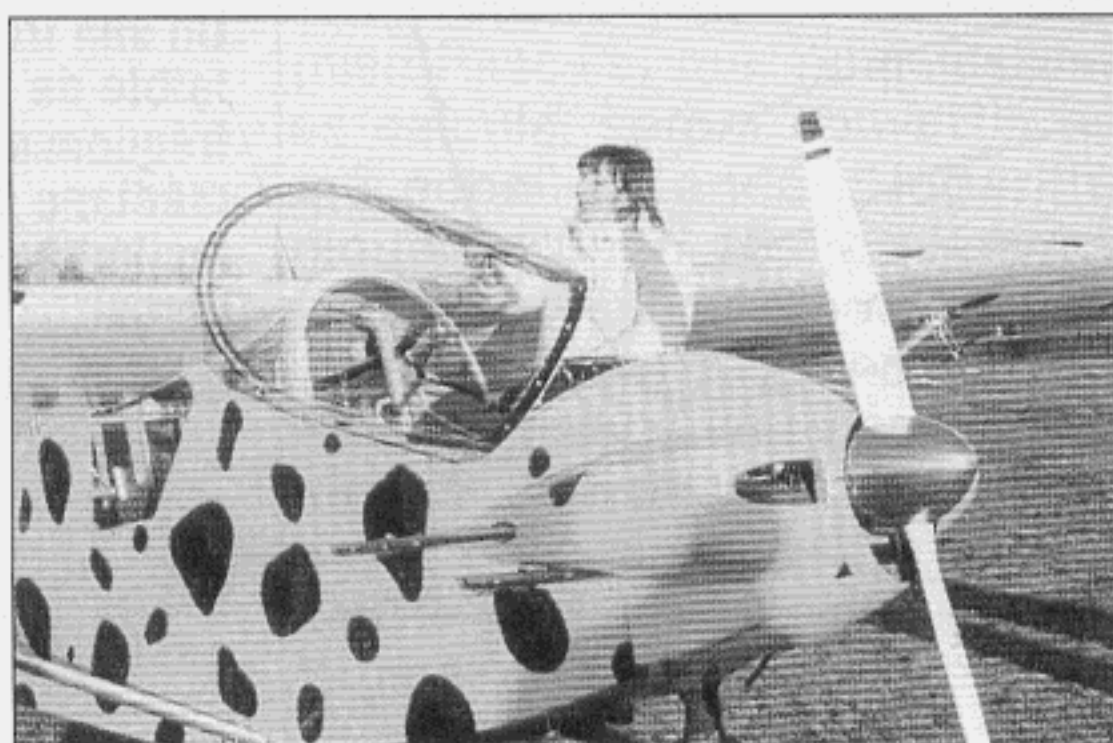
Fréquences 2 et 4-temps

Deux exemples de motorisation
de faible puissance

VW 4-cylindres 4-temps
au décollage à 3 000 t/mn :
100 Hz
(50 tours par seconde
et quatre explosions par tour)

Rotax 2-cylindres 2-temps
au décollage à 6 500 t/mn :
216 Hz
(108 tours par seconde
et deux explosions par tour)

L'hélice Evra et la structure
bois de la Souris-Bulle
participent grandement à sa
discrétion sonore.
La sonorité d'un 4-temps
tournant à bas régime est
perçue par les riverains
comme moins agressive par
les riverains que celle d'un
2-temps pourvu d'un pot
d'échappement



Un aspect physiologique intervient en défaveur du 2-temps qui, à la mesure au sonomètre, ne fait pas plus de bruit qu'un 4-temps, mais qui, en raison de sa vitesse de rotation plus élevée et d'une explosion à chaque tour, donne une fréquence plus élevée considérée, à niveau égal, comme plus dérangeante. La différence est de plus d'une octave... Sur un piano, la puissance sonore des notes basses est beaucoup plus grande que celle des aiguës pour que l'impression sonore soit uniforme. Sur une chaîne hi-fi, la correction physiologique et le « loudness » répondent à la même nécessité. On constate donc qu'un Piper Cub à échappement libre décollant à 2 500 tours sera perçu comme moins gênant par les riverains qu'un Rotax décollant à 6 500 tours, pourtant bien moins bruyant en réalité...

Sur ce même Piper Cub, la différence de niveau sonore entre la puissance maximum et la puissance de croisière (90 ch et 60 ch) devrait être de l'ordre de 6 à 9 dB à répartir entre échappement et hélice. La mesure concrète a révélé 108 dB à 2 500 tours et 101 dB à 2 200 tours, mesurés à 10 m...

Les mesures sur le Rotax ont donné 91 dB à 6 500 tours et 83 dB à 5 800 tours mesurés à 10 m. Pour les personnes présentes, c'était pourtant le Rotax 2-temps qui était perçu comme le plus bruyant au décollage et en vol. Un résultat totalement contradictoire, puisque la différence mesurée est de 17 dB en faveur du Rotax !

Ces différences sont donc à considérer lors des éventuelles discussions à ce sujet et il ne faut pas se fier uniquement à des mesures brutes au sonomètre, puisque la fréquence du son semble bien être une donnée prépondérante... Les bruits soudains (pétards, etc.) sont également perçus comme plus gênant qu'un bruit quasi continu (route proche) ou continu (air conditionné, ventilateur de PC, etc.) pouvant même arriver à se faire oublier...

L'influence de la fréquence sur la perception sonore est tout à fait

visible sur le graphique de la page précédente : pour être tout juste perçu, un son de 32 Hz doit faire près de 95 dB, alors qu'à 500 Hz, 10 dB suffisent.

Dans le cas du Rotax au décollage, par rapport au Lycoming, (respectivement 216 Hz et 83 Hz), en prenant en compte la perception réelle (physiologique), on voit sur la courbe que ces valeurs de seuil minimal d'audition sont séparées de plus de 20 dB...

Les filtres de pondération

On commence donc à tenir un début d'explication concernant l'avis des gens qui entendent les ULM plus fort que les avions, malgré le fait que les premiers respectent les normes ! Il est possible et même recommandé de tenir compte de la perception physiologique au moment de la mesure en appliquant un filtrage inverse de la courbe du graphique : ces filtres sont appelés filtres de pondération. Ils sont destinés à ramener la mesure réelle à une valeur proche de ce qui est normalement perçu par un être humain jeune et en parfaite santé auditive.

Le filtre le plus courant est la pondération A qui atténue la mesure dans les basses fréquences d'une vingtaine de dB par octave. Conventionnellement, on notera cette mesure avec la pondération correspondante (dB(A), dB(C), etc.). Les filtres classiquement disponibles sur des sonomètres de prix abordables sont A et C.

La réponse du filtre A se rapproche de la perception subjective humaine. Dès lors, il serait logique d'appliquer un filtrage de pondération A lors de mesures destinées à apprécier un niveau de bruit perçu.

Malheureusement ce n'est pas toujours le cas, suivant que les mesures sont effectuées par des services officiels, ou par des privés. Cela explique bon nombre de contradictions lors de mesures effectuées par des personnes différentes.

Influence de l'échappement et de l'hélice

La conception d'un système d'échappement efficace du point de vue du voisinage ne devrait donc pas oublier de tenir compte de la tonalité du bruit. Un système d'échappement accordé sur la pulsation de sortie du moteur devrait idéalement résonner en quart d'onde sur celle-ci.

Par exemple, à 50 Hz pour 3000 tours correspond une longueur brute, sans tenir compte des corrections (T° etc.) et accessoires (silencieux à absorption, etc.) de l'ordre de 1,7 m pour une pipe lisse par cylindre (proche du cas de la Souris-Bulle « Marsupilami » avec 1,4 m et silencieux à absorption à l'extrémité). La longueur de tuyau avant jonction dans le cas du quatre en un (spécifique au moteur 4-temps) est du même ordre.

L'accord de la tonalité de l'échappement sur la fréquence sonore la plus grave possible (qui par chance correspond à un échappement accordé...) privilégiera les fréquences basses physiologiquement moins audibles.

Ce n'est qu'après cette longueur que l'on placera un silencieux (à absorption) qui diminuera la puissance de l'onde sonore. Ce silencieux sera réalisé de façon à ne pas entrer en résonance. Les lourdes boîtes à chicanes ne sont pas forcément beaucoup plus efficaces, de plus elles font perdre de la puissance...

C'est pour cette raison que les silencieux de motos efficaces et légers sont réalisés à partir d'un tube carbone tenant à la chaleur et rendant un son très mat par rapport à un tube de métal.

Cet article n'étant pas consacré aux échappements en tant que tels, je renvoie ceux qui désirent mettre au point ou affiner cet élément à leur moteur de recherche favori sur Internet. En composant « aircraft engine exhaust » en guise de mots à rechercher, les anglophones trouveront des merveilles...

L'hélice est, elle-même, source de bruit à une fréquence corres-

pondant à son régime de rotation multiplié par le nombre de pales. Plus la vitesse en circonférence s'approche de la vitesse du son, plus l'onde de pression est importante. Au-delà de 290 m/s, le niveau sonore s'accroît rapidement et le rendement propulsif diminue. Sur les racers, les petites hélices à régime élevé font à elles seules plus de bruit que le moteur...

Ce bruit est en fait un claquement sec (comme un fouet ou un coup de marteau) à chaque passage de la pale. Ce claquement contient des fréquences harmoniques abondantes, et justement celles qui font partie de la zone à laquelle l'oreille est la plus sensible (de 500 à 3000 Hz)...

Seul l'hélicier, par un dessin approprié de l'extrémité de la pale, est à même d'améliorer ce niveau sonore.

Certains, comme Evra et Arplast, sont très conscients de ces nuisances et tentent de les limiter le plus possible.

La chasse au bruit

En réalité, le bruit généré par un aéronef est extrêmement complexe. Le moteur secouant allégrement la cellule, celle-ci va entrer en résonance, et ces résonances peuvent être sources de bruits s'ajoutant au bruit d'échappement et d'hélice...

C'est pour cette raison que certains avions semblent bruyants à l'intérieur, et pas à l'extérieur, ou inversement...

Il n'y a pas de solutions miracle. Les améliorations se font au cas par cas après avoir cherché et identifié la source, ce qui est loin d'être évident car elle est souvent multiple...

Jean-François MUSSEN

Photos de l'auteur

Bibliographie :

- « Environmental noise » de Bruel & Kjaer.
- « How to hot rod VW engines ».
- Manuel d'utilisation de la Souris-Bulle.
- Références Internet sur le bruit et les systèmes d'échappement.

Aviasport

Des informations du monde entier sur toutes les formes de vol...



... mais aussi « le » cahier technique du Pilote, destiné aux pratiquants de l'aviation générale



ABONNEZ-VOUS!

Et vous recevrez gratuitement la carte VFR France Jour de Jean Bossy*

* Offre valable uniquement pour la France et dans la limite des stocks disponibles, Dom-Tom et étranger nous consulter

39 €/an** seulement et la certitude de recevoir chaque mois la revue chez soi

** 12 numéros, tarif valable pour la France, Dom-Tom et étranger nous consulter

Bulletin d'abonnement sous la couverture