

CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018
14^{ème} Congrès Français d'Acoustique



**Impact de différentes portions temporelles de bruits de survol
d'avions sur le désagrément global**

A. Minard^a, B. Mellot^b, P. Boussard^a et J.-F. Sciabica^c

^aGENESIS, Domaine du Petit Arbois, Bâtiment Gérard Mégie BP69, 13545 Aix-En-Provence, France

^bASSYSTEM France, 13 rue Marie-Louise Dissard, 31024 Toulouse, France

^cAIRBUS, 316 route de Bayonne, 31060 Toulouse Cedex 09, France

aminard@optis-world.com

La problématique du bruit de passages d'avions au voisinage des aéroports est centrale dans l'industrie aéronautique. Bien que le niveau de bruit perçu au sol a été significativement réduit, il apparaît encore primordial pour améliorer les prochaines générations d'avion d'identifier et comprendre les caractéristiques responsables du désagrément perçu par les riverains. Toutefois, le bruit de passage d'avion présente de larges variations de niveau sonore et de contenu spectral pendant sa durée. En effet, certaines composantes, telles que les Fréquences Multiples de Rotation, n'apparaissent pas, en fonction de leurs directivités, durant la totalité du signal. Il est par conséquent important de s'intéresser aux aspects temporels du bruit de passage d'avion et à leur relation avec l'évaluation du désagrément. La présente étude aborde cette question en comparant les évaluations de désagrément de différentes portions temporelles du signal de différentes longueurs. Quatre sons de survols de références, dont 2 présentent des Fréquences Multiples de Rotation, ont été resynthétisés. Différentes portions de signal, de 5, 10 et 20 secondes et centrées sur différentes parties du survol, ont ensuite été extraites. Le désagrément de chaque morceau de signal a alors été évalué à l'aide d'une méthode d'évaluation comparative, où plusieurs stimuli sont présentés en même temps. Les résultats révèlent principalement qu'aucun segment de 5 secondes n'est représentatif du survol complet en termes de désagrément, tandis que seuls les 2 premiers segments de 10 secondes (début et milieu du survol) donnent des évaluations comparables aux signaux entiers. D'un point de vue pratique, ces résultats ouvrent d'intéressantes possibilités pour les travaux futurs sur la perception des sons de survol d'avion, où des extraits plus courts pourraient remplacer les signaux complets. Cependant, ces résultats obtenus sur des signaux de synthèse nécessitent d'être généralisés sur des enregistrements, et sur une plus grande variété de signatures sonores.

1 Introduction

La réduction du bruit des avions demeure un axe important d'amélioration pour l'industrie aéronautique. Les diminutions d'émissions sonores obtenues au cours de ces dernières décennies grâce aux nouvelles technologies aéronautiques ont contribué à réduire significativement les niveaux d'expositions aux bruits. Néanmoins, la croissance régulière du trafic aérien et le développement des constructions résidentielles autour des aéroports a entraîné l'augmentation du nombre de personnes affectées quotidiennement par le bruit aérien. En accord avec « l'approche balancée » pour la gestion du bruit des avions proposée par l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile, et en parallèle au développement de technologies visant à réduire le bruit des avions à la source en opération, l'effort d'Airbus se tourne également vers la compréhension de la gêne sonore ressentie par les riverains. Cette gêne sonore dépend de différents facteurs acoustiques (niveau sonore, contenu fréquentiel) et non-acoustiques [1] [2] (sensibilité individuelle au bruit, facteurs sociaux et environnementaux). Ainsi, réduire la contribution des facteurs acoustiques (appelée désagrément dans la suite de cet article) autrement qu'en diminuant uniquement le bruit global des avions demeure un levier pour réduire la gêne sonore. C'est pourquoi il est désormais important de pouvoir estimer et comprendre quelles sont les caractéristiques du bruit d'un avion qui créent le plus de désagrément pour les riverains d'aéroports.

Le bruit des avions est un signal complexe d'une durée comprise entre 30 et 60 secondes, constitué de sources non stationnaires. Les phénomènes non-stationnaires sont produits par la trajectoire de l'avion au-dessus de l'auditeur combinée à la propagation du bruit de l'avion jusqu'au sol. Le bruit d'avion est principalement constitué de bruits large-bande (bruit aérodynamique, bruit de jet, etc.), de composantes tonales (produites par la soufflante, la turbine, etc.). Au décollage, un peigne de raies harmoniques appelées Fréquences Multiples de la Rotation (FMR) peut être entendu quand la vitesse en bout de pale de la soufflante devient supersonique. Ces FMR sont notamment à l'origine du phénomène perceptif de rugosité, appelé *Buzz-Saw Noise*, entendu dans le bruit de certains avions au décollage. La compréhension de l'impact des FMR sur le

désagrément global du bruit avion reste une question ouverte. Les FMR n'apparaissent en effet qu'au début du survol et disparaissent de manière générale quand l'avion est au-dessus de l'auditeur.

L'approche dite de Qualité Sonore a déjà été appliquée aux bruits des avions [3], dans le but d'analyser les dimensions perceptives du bruit d'avions et de définir des indicateurs permettant de les quantifier. Cependant, cette approche ne permet pas d'évaluer l'influence relative sur le désagrément de sources séparées ou combinées du bruit global. Pour cette raison, une méthode d'évaluation continue [4] a été développée pour mieux comprendre la perception des sons non-stationnaires. Récemment, elle a été appliquée à un ensemble de bruits d'avions [5]. Les résultats de l'évaluation continue ont été comparés à l'évaluation globale du désagrément. Les résultats montrent que le maximum du désagrément est perçu quand l'avion est au-dessus de l'auditeur et qu'il est principalement corrélé au désagrément global. Cette étude a également montré que les autres portions du bruit de survol avaient un impact limité sur le désagrément global, tout du moins sur l'ensemble de sons considérés. Un seul stimulus contenait en effet des FMR.

Une suite naturelle de ces travaux serait de répéter cette expérience avec des sons contenant majoritairement des FMR. Cependant, le déroulement du protocole expérimental utilisé est long en pratique. Chaque participant doit évaluer le désagrément global et le désagrément instantané. Comme méthode alternative, nous proposons ici de comparer le désagrément évalué sur différentes portions du signal de survol d'avion, avec des durées différentes, au désagrément global du signal complet. Dans la 2^{ème} partie de ce papier, le protocole expérimental est décrit. Dans la 3^{ème} partie, les résultats en termes de différences individuelles, d'analyse des facteurs expérimentaux et de comparaison de durées sont présentés. Enfin, la 4^{ème} partie détaillera les principales conclusions de cette étude.

2 Protocole expérimental

2.1 Stimuli

Nous nous intéressons ici à l'impact de la durée des stimuli sur l'évaluation du désagrément, et à la contribution au jugement global des différentes portions du signal de survol. C'est pour cette raison que différents extraits de différentes longueurs, ont été définis à partir de signaux de référence plus longs.

Les sons de références ont été créés à l'aide d'une méthode de synthèse additive, dont le principe est expliqué dans [6]. Tous les sons considérés ont en communs leur bruit large-bande (correspondant aux différentes sources considérées comme « non-tonales »), dont les niveaux ont été fixés pour correspondre à l'enregistrement d'un survol d'un avion de référence, et diffèrent uniquement par leur contenu tonal (1 ou 2 harmoniques à différentes fréquences) et leur trajectoire. Les phénomènes de divergence géométrique, d'absorption atmosphérique et d'effet Doppler sont reproduits. En revanche, l'effet de réflexion au sol et les turbulences n'ont pas été reproduits pour limiter l'impact d'autres phénomènes temporels.

Tous les stimuli considérés au cours de l'expérience (signaux complets ou portions de signal) ont été créés à partir de deux synthèses de référence. Deux synthèses additionnelles ont été créées à partir de ces deux signaux de référence, en y ajoutant une composante de Fréquences Multiples de Rotation (FMR). Enfin, une des 2 synthèses de référence (c'est-à-dire sans FMR) a été modifiée de sorte à réduire l'émergence de la tonale de la soufflante (*Blade-Passing Frequency* – BPF) vers la fin du passage. Les 4 signaux résultant, dont la durée a été fixée à 20 secondes sont listée dans le Tableau 1. En guise d'exemples, les Figures 1 et 2 affichent les spectrogrammes des 2 sons où la composante FMR a été synthétisée (BPF1FMR et BF2FMR dans le Tableau 1).

Tableau 1: Description des 4 synthèses de références.

Nom	BPF	Niveau d'émergence du BPF	FMR
BPF1	1400 Hz	constant	Non
BPF1FMR	1400 Hz	constant	Oui
BPF2dec	2800 Hz	réduit après passage	Non
BPF2FMR	2800 Hz	constant	Oui

Des portions de 5 et 10 secondes ont été extraites de ces 4 synthèses d'origine. Pour les sons de 10 secondes. Ces extraits ont été pris entre :

- 0 s et 10 s ;
- 5 s et 15 s ;
- 10 s et 20 s.

La base de sons contient donc 12 signaux de 10 secondes.

Les portions de 5 s ont été extraites entre :

- 0 et 5s ;
- 5 et 10 s ;
- 7,5 s et 12,5 s ;
- 10 s et 15 s ;
- 15 s et 20 s.

Ainsi, la base de sons contient 20 sons de 5 secondes.

Pour les sons complets de 20 secondes, 5 exemplaires additionnels de la base originale de synthèses de survol ont

été ajoutés aux 4 signaux de référence. La base de sons de l'expérience contient donc 9 sons de 20 secondes¹.

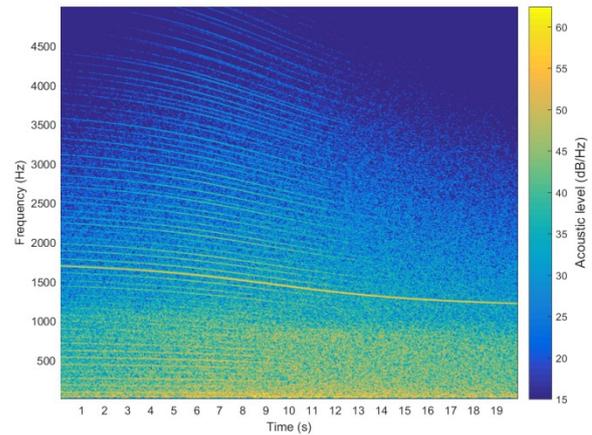


Figure 1: Spectrogramme de la synthèse BPF1FMR (voir Tableau 1).

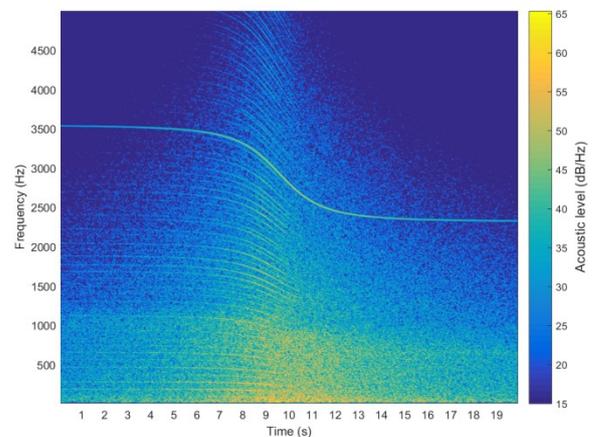


Figure 2: Spectrogramme de la synthèse BPF2FMR (voir Tableau 1).

2.2 Procédure

L'expérience réalisée utilise une méthode dite « d'évaluation comparative », où plusieurs signaux sont présentés et évalués sur un même écran [7].

Toutefois, uniquement des sons d'une même durée pouvaient être présentés sur un même écran. Ainsi, le test d'écoute réalisé était composé de 3 « sous-tests », chacun dédié à une des 3 durées considérées – 5, 10 et 20 secondes. De plus, le nombre de sons de 5 secondes étant relativement élevé, ceux-ci ont été séparés en 2 sessions effectuées l'une après l'autre par chaque participant. Chacune de ces 2 sessions contenait au moins 2 extraits où les FMR étaient audibles (parmi 6 sons possibles, correspondant aux 3 premiers extraits des synthèses BPF1FMR et BPF2FMR). De plus, 2 « ancres », haute et basse, ont été ajoutées aux sons présentés au cours des 2 sessions, afin de pouvoir associer les 2 échelles de réponses obtenues sur une échelle commune. Ces ancres ont été identifiées au cours de sessions d'écoute préliminaires comme étant les sons de 5 s le plus et le moins désagréables. Afin de s'assurer que ces sons soient également identifiés comme tels au cours de l'expérience, des gains de +3 et -3 dB, respectivement, ont été appliqués.

¹ Ces sons supplémentaires ont été ajoutés dans un but de comparaison avec les résultats obtenus au cours d'une précédente étude, non-publiée.

Au final, chaque participant a eu à effectuer 4 sessions d'évaluation comparative : une de 9 sons de 20 secondes, une de 12 sons de 10 secondes, et 2 de 12 sons de 5 secondes, ancrés inclus. L'ordre de présentation de ces 4 sessions était aléatoire pour chaque participant.

2.3 Participants

Trente-sept volontaires ont pris part à l'expérience (8 femmes, 29 hommes, avec un âge moyen de 35 ans). Aucun n'a mentionné avoir un problème majeur d'audition dont il aurait eu connaissance.

2.4 Apparatus

Les stimuli sont reproduits dans le simulateur sonore 3D de survol d'Airbus (voir Figure 3). Ce simulateur utilise 12 haut-parleurs, dont 8 sont positionnés sur un demi-cercle au-dessus de la position d'écoute de sorte à reproduire une trajectoire au-dessus de la tête à l'aide d'une technique VBAP (*Vector Based Amplitude Panning*). Un caisson de basses est utilisé pour la zone fréquentielle 10-80 Hz, et un bruit de fond extérieur représentatif est diffusé en permanence dans les 4 haut-parleurs restants. Chaque haut-parleur est calibré individuellement à la position d'écoute, tout comme le caisson.



Figure 3: Simulateur sonore 3D d'Airbus.

3 Analyse des résultats

Cette section détaille l'analyse statistique des résultats de l'expérience. Elle consiste en l'analyse des différences individuelles, l'analyse de l'influence des facteurs du plan d'expérience, et la comparaison des résultats obtenus pour les différentes durées. Les données de sortie de l'expérience prennent la forme de 37 évaluations du désagrément de chaque son entre 0 et 100.

3.1 Analyse individuelle

Evaluation des ancrés (sessions sur sons de 5 s)

Chacune des 2 ancrés est présentée au cours des 2 sessions pour les sons de 5 s, et est donc évaluée 2 fois par chaque participant. Presque tous les participants ont évalué ces 2 ancrés de manière attendue, c'est-à-dire l'ancre basse à 0 et l'ancre haute à 100, sachant qu'il leur était demandé dans les instructions du test d'évaluer à chaque session au moins un son à ces 2 valeurs. Seuls 4 participants ont

chacun évalué ponctuellement une ancre avec une déviation entre 5 et 10 points de l'évaluation attendue.

Compte tenu du faible nombre d'ancres non-identifiées et des faibles déviations le cas échéant (moins de 10% de l'échelle de notation), les évaluations des 20 sons n'ont pas été corrigées pour tenir compte de ces déviations.

Corrélations inter-individuelles

Un coefficient de corrélation de Bravais-Pearson a été calculé entre les évaluations de chaque paire de participants du test. Une analyse de regroupement hiérarchique (voir [8] pour plus de détails) a été appliquée à la matrice de corrélation obtenue. Cette analyse regroupe les participants en groupes hiérarchiques selon la proximité (en termes de corrélation) de leurs évaluations. Cela permet donc d'identifier des tendances différentes de notations, qu'elles concernent des participants isolés (*outlier*) ou des groupes de participants. La Figure 4 présente le dendrogramme obtenu, c'est-à-dire la représentation de cette hiérarchie entre les évaluations des participants. Cette figure montre un consensus général entre les participants, étant donné que la hiérarchie est située assez bas sur le dendrogramme, à l'exception des résultats du participant 34 qui semblent légèrement s'écarter du reste du panel. Au total, 92 % des corrélations sont significatives (avec un taux d'erreur de première espèce α de 0,05).

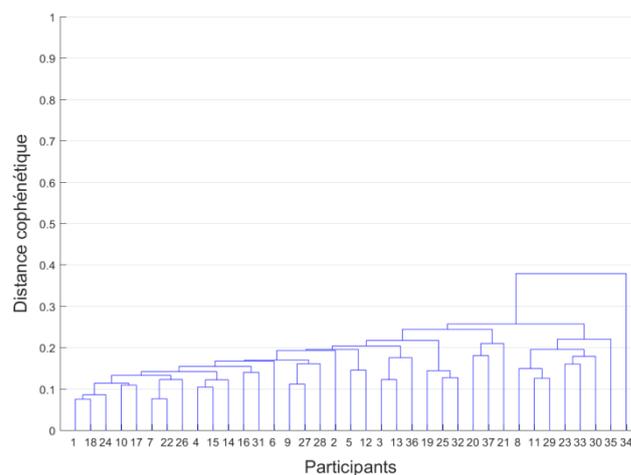


Figure 4: Dendrogramme du panel de participants.

Afin d'analyser plus précisément cette divergence des résultats du participant 34, la même analyse a été répétée séparément pour chaque durée de stimuli. Les résultats du participant 34 sont systématiquement les plus divergents ou parmi les plus divergents. Ces analyses supplémentaires montrent également que le degré de consensus entre les participants augmente lorsque la durée des stimuli est réduite : pour les sons de 5s, 96 % des coefficients de corrélations sont significatifs ($\alpha=0,05$), et la distance cophénétique moyenne (c'est-à-dire la hauteur de fusion sur la Figure 4 entre les clusters contenant 2 participants) est 0,16, tandis que pour les sons de 20 s, le pourcentage est réduit à seulement 30 %, et la distance cophénétique moyenne est à peu près 2 fois plus grande (voir Tableau 2).

Tableau 2: Métriques de consensus du panel de participants.

Durée	Coef. de corrélation moyen	% de corrélations significatives	Distance cophénétique moyenne
20 s	0,44	30 %	0,30
10 s	0,49	48 %	0,26
5 s	0,69	96 %	0,16
Global	0,54	92 %	0,22

Normalité des distributions

Un test de Jarque-Bera ($\alpha=0,05$) a été appliqué sur la distribution des évaluations de chaque son, afin d'en évaluer la normalité. L'hypothèse de normalité des distributions est rejetée pour 9 des 41 sons du test (1 des 9 sons de 20 s, 2 des 12 sons de 10 s, et 6 des 20 sons de 5 s). Cependant, le fait de retirer spécifiquement les résultats du participant 34, ne réduit pas cette proportion (celle-ci augmente même à 10 sons sur 41). Pour cette raison, il n'apparaît pas de raison suffisante pour rejeter les résultats de ce participant. L'ensemble des résultats des 37 participants est donc conservé dans la suite des analyses.

3.2 Analyse des facteurs expérimentaux

Préambule

Cette section expose les résultats d'analyse de variance (ANOVA). Il convient au préalable de définir les plans d'expérience sur lesquels sont appliquées ces analyses de variance et de vérifier les hypothèses conditionnant l'application d'ANOVA.

Les résultats obtenus sur les 3 durées de son considérées sont analysés séparément car ils correspondent à 3 plans d'expérience distincts :

- Sons de 20 secondes : ANOVA à mesures répétées avec 1 seul facteur : 'Survol' avec 9 modalités (9 survols d'avion dans la base de synthèse) ;
- Sons de 10 secondes : ANOVA à mesures répétées avec 2 facteurs : 'Survol' avec 4 modalités (voir Tableau 1), et 'Portion' avec 3 modalités (0 à 10 s, 5 à 15 s, et 10 à 20 s) ;
- Sons de 5 secondes : ANOVA à mesures répétées avec 2 facteurs : 'Survol' avec 4 modalités (voir Tableau 1), et 'Portion' avec 5 modalités (0 à 5 s, 5 à 10 s, 7,5 à 12,5 s, 10 à 15 s, et 15 à 20 s) ;

Comme mentionné en section 3.1, l'hypothèse de normalité des distributions est vérifiée au moyen du test de Jarque-Bera ($\alpha=0,05$) pour 78 % des données (32 sons sur 41).

L'hypothèse d'hétéroscédasticité des données, c'est-à-dire d'homogénéité des variances, a été évaluée à l'aide du test de Levene. Celui-ci révèle que cette hypothèse n'est pas vérifiée ($F(19,720) = 2.90$, $p < 0.01$). Cependant, l'ANOVA est robuste à la violation de cette hypothèse lorsque les échantillons sont de tailles similaires, ce qui, par construction, est le cas d'un plan à mesure répétées (nombre identique d'observations, c'est-à-dire ici de participant, dans chaque distribution).

Enfin, le test de Mauchly a été utilisé pour vérifier l'hypothèse de sphéricité. Celle-ci est vérifiée pour le seul facteur 'Survol' du plan d'expérience pour les sons de 20 s ($\chi^2(35) = 47.1$, $p = 0.09$). Pour les sons de 10 s, elle est

vérifiée pour le facteur 'Survol' ($\chi^2(5) = 8.50$, $p = 0.13$) et l'interaction ($\chi^2(20) = 28.934$, $p = 0.09$), mais pas pour le facteur 'Portion' ($\chi^2(2) = 6.17$, $p < 0.05$). Enfin pour les sons de 5 s, elle est vérifiée pour le facteur 'Survol' ($\chi^2(5) = 5.95$, $p = 0.31$), mais ne l'est pas pour le facteur 'Portion' ($\chi^2(9) = 41.3$, $p < 0.01$) et pour leur interaction ($\chi^2(77) = 99.5$, $p < 0.05$). Dans les cas où l'hypothèse de sphéricité n'est pas vérifiée, une correction de Greenhouse-Geisser est utilisée pour compenser l'augmentation du taux d'erreur de première espèce.

ANOVA

L'ANOVA pour les 9 sons de 20 s révèle un effet significatif du survol sur le désagrément ($F(8,288) = 31.55$, $p < 0.001$). Aucune autre analyse spécifique à ces sons n'est considérée ici, puisque nous nous intéressons principalement à l'effet des différentes portions de signal et à la comparaison des résultats obtenus avec différentes durées de signal (abordée en section 3.3).

Pour les sons de 10 s, l'ANOVA révèle des effets significatifs des 2 facteurs 'Portion' et 'Survol' (resp. $F(1,7,62) = 60.48$, $p < 0.001$ et $F(3,108) = 55.76$, $p < 0.001$), tout comme leur interaction ($F(6,216) = 13.22$, $p < 0.001$). Ces effets sont illustrés sur la Figure 5 qui montre les évaluation moyennes avec leur intervalle de confiance à 95 % pour les 12 sons de 10 s. Cette figure montre également l'effet des FMR, qui augmentent le désagrément mesuré de 20-30 points pour les deux sons d'origine BPF1 et BPF2, principalement pour la portion centrale pour le cas du son BPF2, comme la composante FMR y est plus tardive. On peut également observer une diminution conséquente (environ 60 points) lorsque la composante BPF est retirée (portion finale du son BPF2dec).

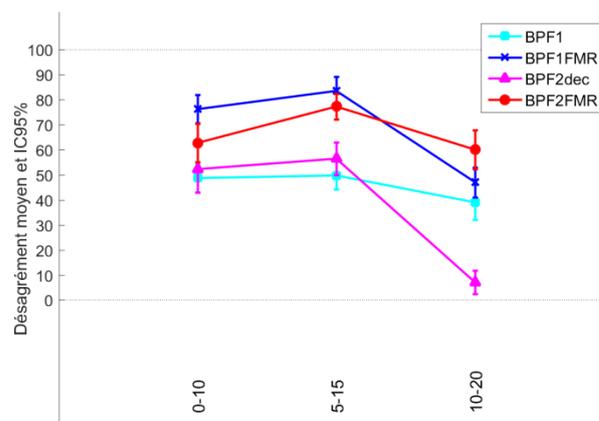


Figure 5: Désagrément moyen et intervalle de confiance à 95 % pour chacun des 12 sons de 10 secondes.

Enfin, pour les sons de 5 s, l'ANOVA révèle des effets significatifs des 2 facteurs ($F(2,4,86.9) = 209.52$, $p < 0.001$ pour le facteur 'Portion', et $F(3,108) = 51.93$, $p < 0.001$ pour le facteur 'Survol'), et de leur interaction ($F(7,4,267.9) = 32.23$, $p < 0.001$). Ces effets sont illustrés sur la Figure 6. De nouveau, celle-ci montre une augmentation du désagrément dû aux FMR d'environ 20 points pour le survol BPF1, et d'environ 15 points pour le survol BPF2, ainsi qu'une réduction du désagrément lorsque la composante BPF disparaît (environ 35 points).

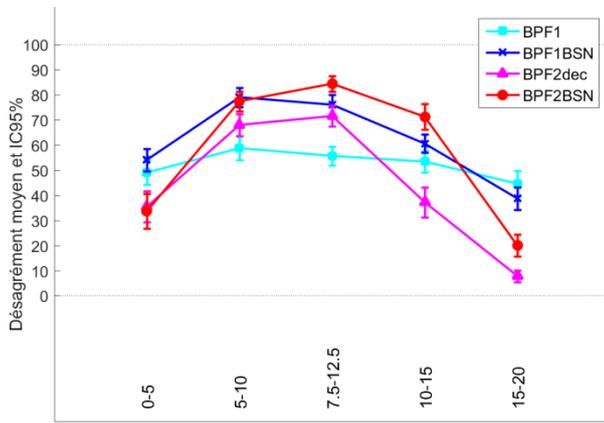


Figure 6: Désagrément moyen et intervalle de confiance à 95 % pour chacun des 20 sons de 5 secondes.

3.3 Comparaison des durées

Il importe de s'intéresser à la comparaison des résultats obtenus avec des signaux de 20,10 ou 5 s. L'idée est ici de savoir si des extraits plus courts, centrés sur une portion particulière des signaux, permettent d'obtenir des évaluations représentatives de celles obtenues avec les signaux plus longs. Ainsi les évaluations des 4 survols de référence, présents dans chaque « sous-test », sont comparées entre les sons de 20 s et ceux de 10/5 s. Chaque portion de signal est considérée séparément. Il importe de noter que les sons de différentes durées ont été évalués sur des échelles distinctes, et ne peuvent donc être comparés que de manière relative.

Pour les sons de 10 s, les diagrammes de dispersion entre les évaluations des sons de 20 s et, respectivement, les 1^{ère} (0 à 10 s), 2^e (5 à 15 s) et 3^e (10 à 20 s) portions de signal, pour chacun des 4 survols d'origine, sont affichés sur les 3 graphes du haut de la Figure 7. Ces graphes indiquent que les évaluations semblent cohérentes entre les 2 premières portions de signal et les sons de 20 s. En effet, les 4 points sur les graphes correspondants semblent relativement alignés (l'inversion de rang entre BPF1 et BPF2dec peut probablement être ignorée compte tenu du recouvrement des intervalles de confiance). En revanche,

les évaluations de la 3^e portion ne correspondent pas à celles des sons de 20 s.

Si l'utilisation de portions de signal de 10 s, prises au début ou centrées autour du passage à la verticale, pourrait donc sembler suffisante pour obtenir des résultats représentatifs, cette conclusion souffre du faible nombre de points (c'est-à-dire de survols). Ce résultat nécessite d'être confirmé sur un nombre bien plus élevé d'exemples sonores (au moins une dizaine), avec plus grande variété de sons de survols.

Pour les sons de 5 s, les graphes du bas de la Figure 7 montrent les diagrammes de dispersion entre les évaluations des sons de 20 s et, respectivement, celles des 1^{ère} (0 à 5 s), 2^e (5 à 10 s), 3^e (7,5 à 12,5 s), 4^e (10 à 15 s), et 5^e (15 à 20 s) portions, pour chacun de 4 survols. Aucune de ces portions de signal ne donne des évaluations comparables à celles obtenues sur les sons de 20 s, puisqu'aucun de ces graphes n'affiche 4 points alignés. Des tentatives de combinaison de portions de 5 s successives ont également été effectuées, sans parvenir à améliorer ce résultat.

L'usage d'extraits de 5 s pour évaluer le désagrément de survols semble donc inapproprié. Le désagrément instantané semble dépendre trop fortement de l'évolution temporelle du son de survol.

4 Conclusion

Au cours de l'expérience présentée dans cet article, les participants ont dû évaluer le désagrément sonore sur 3 bases de sons de différentes durées. L'une de ces bases contenait 4 sons de survol complets de référence, durant 20 secondes chacun. Ces 4 sons ont ensuite été découpés en 3 portions de 10 secondes et 5 portions de 5 secondes, pour former les 2 autres bases constituées respectivement de 12 sons de 10 secondes et 20 sons de 5 secondes.

L'analyse des résultats a principalement révélé qu'aucune des portions de signal de 5 secondes n'était représentative des signaux complets en termes de désagrément. En revanche, les 2 premières portions des sons de 10 secondes (entre 0 et 10 s, et entre 5 et 15 s) semblent fournir des évaluations de désagrément similaires à celles obtenues pour les signaux complets. Par ailleurs, il a été observé que les extraits plus courts permettaient d'obtenir un plus fort degré de consensus parmi les participants, ce qui a pour conséquences de réduire les

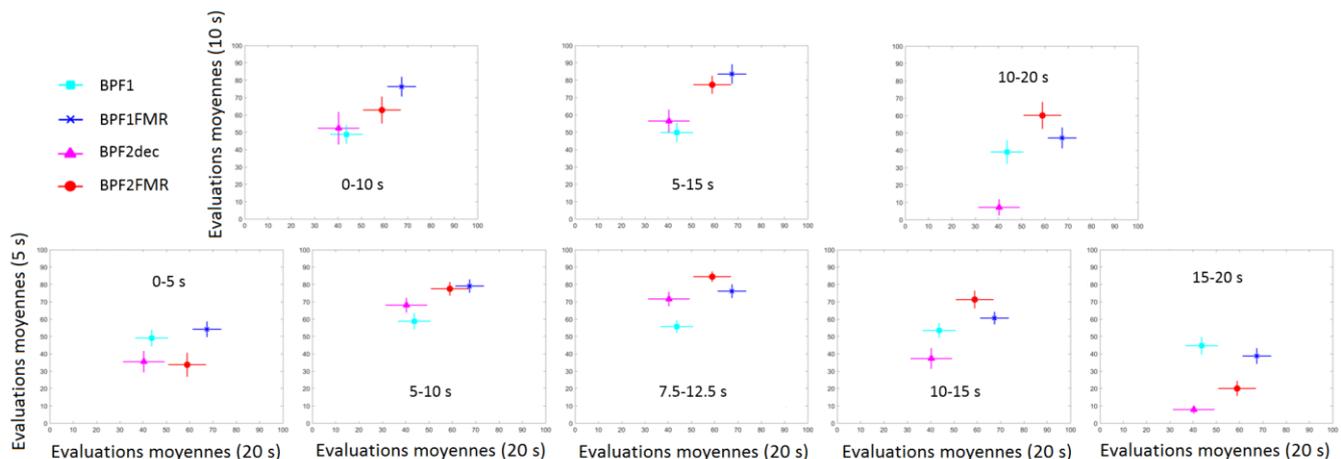


Figure 7: Comparaison des évaluations moyennes entre les sons de 20 s (sur l'axe des abscisses) et leurs extraits de 5 et 10 s (sur l'axe des ordonnées). Les graphes du haut montrent la comparaison avec les sons de 10 s, et les graphes du bas, avec ceux de 5 s. Les barres horizontales et verticales correspondent aux intervalles de confiance à 95%.

Intervalles de confiance, et donc d'améliorer la pertinence des valeurs moyennes calculées. D'un point de vue méthodologique, ces résultats semblent intéressants, dans la mesure où une longueur importante de stimuli complique en pratique la réalisation d'expériences perceptives. Cependant, l'apparente viabilité observée ici des extraits de 10 secondes nécessite d'être confirmée sur un corpus de sons de survol élargi avant d'être généralisable.

En outre, cette étude a révélé de fortes variations d'évaluation lorsqu'une composante FMR est ajoutée au signal. Ces variations sont observables quelle que soit la durée des signaux, mais ne sont pas toujours comparables entre signaux longs et courts : notamment, les extraits de 5 s pris au centre des signaux de 20 secondes ont des évaluations assez différentes de ces derniers (graphe central du bas de la Figure 7). Ces observations apparaissent en contradiction avec les résultats obtenus dans [5], où le désagrément instantané maximal semblait suffire pour expliquer les jugements globaux. Deux hypothèses (pas nécessairement exclusives) peuvent être émises pour expliquer cette contradiction :

- Les différences observées ici entre sons longs et courts sont la conséquence de l'inclusion de sons contenant une composante FMR dans les corpus de sons considérés, tandis que ce phénomène n'était que très peu représenté dans les sons de [5].
- Les différences obtenues viennent du fait que les participants n'ont pas connaissance, à l'écoute d'extraits de 5 s, de l'évolution passée des signaux avant ces extraits. Ceci signifierait que l'évaluation produite à chaque instant d'un son de survol n'est pas indépendante des évaluations aux instants passés

De plus amples recherches sont nécessaires afin d'explorer ces 2 possibilités. Dans un premier temps, ceci pourrait passer par la reproduction de l'expérience conduite dans [5] sur une plus grande variété de sons, notamment en termes de composante FMR.

Références

- [1] R. Guski, U. Felscher-Such, R. Schuemer: The concept of noise annoyance, how international expert see it. *Journal of Sound and Vibration*, **223**(4). (1999).
- [2] T. J. Schultz: Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J. Acoust. Soc. of Am.*, **64** (1978).
- [3] B. Barbot: *Aircraft noise perceptual characterization*. PhD Thesis of Cergy-Pontoise university, (2008).
- [4] P. Susini, S. McAdams: Psychophysical validation of proprioceptive device by cross-modal matching of loudness. *Acta Acustica united with Acustica*, **86**, 515-525 (2000).
- [5] G. Lemaitre, J.-F. Sciabica, S. Moal, L. Vion, M. Zekri, S. Hourcade, P. Boussard : Développement d'un dispositif d'évaluation continue du désagrément acoustique généré par un survol d'avion. *Actes du Congrès Français d'Acoustique 2014*. (2014).
- [6] A. Minard, S. Hourcade, C. Lambourg P. Boussard, Controllable sound simulations of aircraft flyovers, *Proc. Internoise 2015*, San Francisco, USA, 2015.
- [7] P. Chevret, E. Parizet. An efficient alternative to the paired comparison method for the subjective evaluation of a large set of sounds. *Proc. 19th ICA*, Madrid, Spain, 2007.
- [8] P. Legendre, L. Legendre: *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam, 1975.