



Développement d'un dispositif d'évaluation continue du désagrément acoustique généré par un survol d'avion

G. Lemaitre^a, J.-F. Sciabica^b, S. Moal^b, L. Vion^c, M. Zekri^d, S. Hourcade^a et P. Boussard^a

^aGenesis Acoustics, Domaine du petit Arbois, 13045 Aix En Provence, France

^bAIRBUS Operations S.A.S., 316 route de Bayonne, 31060 Toulouse Cedex 09, France

^cSafran-SNECMA, SNECMA Site Villaroche, Rond-point René Ravaud, 77550 Moissy-Cramayel, France

^dSafran Engineering services, Rond-point René Ravaud, 77550 Moissy-Cramayel, France
guillaumejlemaitre@gmail.com

Réduire le bruit des avions à proximité des aéroports est une préoccupation majeure de l'industrie aéronautique. Des diminutions des niveaux d'exposition au bruit des riverains ont notamment été réalisées grâce aux efforts conjoints des acteurs de ce secteur. En complément des gains réalisés ces dernières années et afin d'améliorer l'optimisation des avions du futur, il apparaît maintenant important de pouvoir estimer et comprendre quelles sont les caractéristiques du bruit d'un avion qui créent le désagrément pour les riverains d'aéroports. Cet article décrit les protocoles développés lors d'une étude visant à évaluer le désagrément de plusieurs configurations d'avions existantes ou futures. Un ensemble de stimuli correspondant à des bruits de passage de différentes configurations d'avions lors du décollage et de l'atterrissage a été créé par synthèse sonore. Ces stimuli étaient restitués sur un simulateur de bruit de survol reproduisant la trajectoire de l'avion à proximité de l'aéroport. L'étude a testé deux types d'évaluation du désagrément perçu. D'une part, le groupe de sujets produisait une évaluation globale du désagrément, suivant une procédure utilisée pour l'évaluation de la qualité sonore. D'autre part, ce même groupe de sujets évaluait le désagrément causé par les passages d'avion de manière continue au cours du temps. Cet article propose d'abord une évaluation méthodologique de deux méthodes de jugements perceptifs continus (appariement intermodal et échelle d'intervalles au cours du temps). Il rapporte ensuite les résultats d'une expérience mesurant le désagrément causé par des passages d'avion au moyen d'une échelle d'intervalles au cours du temps.

1 Introduction

Diminuer le bruit des avions est un axe de progrès majeur dans l'industrie aéronautique. Avant sa mise en service, tout nouveau modèle d'avion fait l'objet de mesures de certification acoustique précises normalisées par l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale). Ces mesures sont réalisées sur trois points de contrôle des niveaux de bruit perçu au sol (1 en approche et 2 au décollage) situés à des distances proches de la piste. L'unité standardisée de certification acoustique est l'EPNL (Effective Perceived Noise Level), qui caractérise le niveau de bruit global produit par le passage d'un avion au-dessus du point de contrôle concerné.

La croissance régulière du trafic aérien, de l'ordre de 5% par an, a un impact significatif sur le niveau de gêne perçu au sol autour des aéroports. En parallèle, le développement des constructions résidentielles autour des aéroports a entraîné l'augmentation du nombre de personnes affectées quotidiennement par le bruit aérien. Cependant, la relation entre le bruit et la gêne n'est pas simple. La gêne ressentie par les riverains des aéroports dépend non seulement du niveau et du contenu fréquentiel du bruit, mais également d'autres facteurs non acoustiques appelés modérateurs [11][22]. Il est couramment admis que les facteurs acoustiques décrivent 1/3 de la gêne exprimée tandis que les 2/3 restants sont décrits en partie par la sensibilité individuelle au bruit et les facteurs sociaux environnementaux. Afin de la distinguer des autres modérateurs, la contribution des facteurs purement acoustiques à la gêne est appelée « désagrément ». Le levier sur lequel agit l'industrie aéronautique pour réduire la gêne est donc de minimiser le désagrément produit par le passage des avions. En complément des gains réalisés ces dernières années sur le niveau global de bruit, il apparaît désormais important de pouvoir estimer et comprendre quelles sont les caractéristiques du bruit d'un avion qui créent le désagrément par le biais d'études psychoacoustiques. L'importance de cette problématique ne fait que croître et les travaux menés jusqu'ici (projets européens SEFA¹ et COSMA²) n'ont pas encore permis d'appréhender toute la complexité du phénomène.

Historiquement, les concepts psychoacoustiques ont été intégrés lors de la définition de l'EPNL il y a plus de 50 ans

[14]. En effet, les phénomènes contribuant de manière importante au désagrément causé par les bruits d'avions sont bien identifiés quand on se place à iso-sonie [1]:

- La répartition spectrale de l'énergie
- L'émergence des composantes tonales
- Les fluctuations temporelles du bruit dues aux turbulences.

L'EPNL prend en compte deux des caractéristiques perceptives principales responsables du désagrément : le niveau de sonie globale et l'émergence des raies tonales des turboréacteurs. Il s'agit alors d'étendre le modèle de désagrément à d'autres phénomènes. Par exemple, More propose d'intégrer tous les paramètres perceptifs caractéristiques du bruit des avions dans une version dérivée du modèle du désagrément de Zwicker [18][26].

La robustesse de ces modèles est un défi important pour l'industrie aéronautique car le bruit d'avion est un signal complexe. Il est composé de bruit large bande et de composantes tonales dont le niveau et les fréquences varient en fonction du temps. Ce dernier aspect temporel est particulièrement problématique. Différents protocoles ont été utilisés pour évaluer le désagrément causé par des passages d'avion [1]. Ces différentes études ont mis en évidence l'influence du niveau maximum du son au cours du temps [2], des fluctuations locales d'amplitude liées aux turbulences atmosphériques, de la rapidité d'augmentation de la sonie quand l'avion approche, de la présence des composantes tonales [1], de la présence de sifflement, et de la rapidité du passage [21].

Ces exemples montrent donc bien que différents événements et différentes phases *localisés dans le temps* contribuent chacun à leur manière au désagrément global causé par les passages d'avion. Les méthodes citées précédemment cherchent à mesurer une appréciation *globale* du son. C'est la démarche la plus classique en qualité sonore (voir [17] pour un état de l'art). Mais elle ne permet pas de séparer et comparer l'influence relative des différents événements d'un passage d'avion.

Cette étude a pour but d'évaluer le désagrément causé par des passages d'avion en mesurant la réponse des sujets de manière instantanée et continue au cours du temps. Dans un premier temps, l'article compare différentes méthodes d'évaluation continue du désagrément. Il rapporte ensuite les résultats d'une expérience où les sujets jugeaient le bruit de passage d'avion de manière continue.

¹ http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/sefa_en.htm

² <http://www.fp7-cosma.eu/>

2. Mesures perceptives instantanées : méthodologie

La question de la relation entre perception instantanée et globale a été étudiée pour plusieurs phénomènes sonores, et tout d'abord pour la sonie [16][5][9][24]. Ces études montrent deux résultats importants : les événements les plus *saillants* et les plus *récents* vont contribuer de manière prépondérante à l'impression globale créée par une séquence sonore. On retrouve ces résultats pour l'évaluation des dégradations de la communication audio[10][13]) et audio-visuelle [12] ainsi que pour le désagrément produit par des bruits de circulation [6][7][20]. En ce qui concerne plus particulièrement les bruits de passage d'avion, l'étude de Dickson [4] montre tout l'intérêt d'utiliser un curseur rotatif de manière continue pour localiser dans le temps l'effet de modifications spectrales, mais la relation entre désagrément instantané et global reste ouverte pour les bruits d'avion.

D'un point de vue méthodologique, il y a deux familles de méthode pour évaluer la perception d'un phénomène de manière continue : les méthodes à base d'échelles et de curseur, et les méthodes utilisant l'appariement intermodal.

Les méthodes à base d'échelles sont les plus courantes. Il s'agit de la généralisation de la méthode d'estimation de grandeur utilisée couramment pour juger la qualité sonore, le désagrément, etc. Plusieurs méthodes existent selon la manière de quantifier le ressenti du sujet. Citons entre autres la méthode « analogue catégorielle » [25] utilisée dans la plupart des études. Pour juger le son, les sujets déplacent un curseur muni d'étiquettes. Le résultat de cette méthode est une échelle d'intervalles.

La méthode d'appariement intermodal consiste à associer une sensation à une autre [23]. Dans notre étude, il s'agit d'associer la force exercée sur un dispositif (une poignée, un levier, etc.) à une sensation auditive (la sonie, le désagrément, etc.). Contrairement au curseur, l'échelle n'est pas bornée : une absence d'effort sur la poignée correspond à une sensation nulle, un doublement de pression correspond à un doublement de la sensation auditive. Le résultat est donc une échelle de ratio, et c'est là son principal avantage. Néanmoins, il est nécessaire de calibrer le dispositif pour chaque sujet, afin de déterminer la fonction d'appariement, qui relie la force à la sensation auditive.

En résumé, l'avantage de la méthode utilisant des échelles est qu'elle est simple à mettre en œuvre. Son inconvénient est qu'elle ne permet pas d'obtenir des résultats qui possèdent la propriété de ratio. Il faut toutefois noter que la plupart des études en qualité sonore utilisent des échelles d'intervalle sans que cela ne pose de problème. La méthode d'appariement intermodale est très intuitive et permet d'obtenir des scores qui possèdent les propriétés de ratio. Par contre, elle nécessite de déterminer la fonction qui relie la force à la sensation auditive pour chaque auditeur. La section suivante décrit une courte évaluation empirique de ces méthodes.

3. Etude empirique d'un dispositif de mesure continue

3.1 Appariement intermodal

Dans l'appariement intermodal les sujets perçoivent une sensation auditive (la sonie) Ψ_L liée à la pression acoustique (Φ_L), et une sensation proprioceptive Ψ_F (la sensation du retour d'effort) liée à la force en Newton (Φ_F), mesurée par la poignée dynamométrique. Pour des stimuli aussi simples, le lien entre les sensations et les grandeurs physiques est gouverné par une loi de Stevens

- $\Psi_L = k_L \Phi_L^{\alpha_L}$ pour la sonie
- $\Psi_F = k_F \Phi_F^{\alpha_F}$ pour la force

Le principe de l'appariement intermodal est que l'on mesure Φ_F (la force exercée sur la poignée) pour connaître Ψ_L (la sonie). Apparier les deux sensations signifie que pour les sujets $\Psi_L = \Psi_F$, ce qui revient à dire qu'il existe une relation linéaire entre $\log(\Phi_L)$ et $\log(\Phi_F)$ dont la pente est α_F/α_L (fonction d'appariement). Il suffit donc de mesurer cette pente et de connaître α_F (le coefficient de Stevens pour la force exercée sur la poignée) pour mesurer la sonie perçue par les auditeurs, et/ou déterminer α_L .

Ici nous allons procéder de manière inverse. Nous avons déterminé le coefficient de Stevens α_L pour la sonie d'un son pur à 1000 Hz à l'aide d'une méthode psychophysique non biaisée [3] pour quatre sujets, dans une expérience préliminaire. La valeur moyenne est de 0.53 (proche de la valeur moyenne 0.55 observée par Stevens). Nous avons donc ensuite utilisé la méthode de l'appariement pour déterminer α_F/α_L et donc α_F pour chaque sujet.

Méthode

Les sons étaient diffusés au casque. Les sujets répondaient en pressant une poignée Sensix PGM 0-150 N permettant de mesurer la pression exercée. L'acquisition était réalisée à l'aide d'une carte Arduino Uno à une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz sur 10 bits (1024 valeurs). Le test utilisait dix sons purs à 1000Hz de 10 s chacun, avec une intensité variant par paliers de 3 dB par rapport au son le plus fort.

La consigne était d'ajuster la pression exercée sur la poignée de telle manière que la pression corresponde à la sonie des sons écoutés. Il était spécifié qu'un doublement de sonie devait correspondre à un doublement de pression sur la poignée.

Les sujets jugeaient les sons du plus fort au moins fort (descendant), puis du moins fort au plus fort (ascendant), deux fois (quatre passages au total). L'estimation de sonie est très sensible à l'ordre de présentation des stimuli [3]. Nous avons moyenné les résultats pour les présentations ascendantes et descendantes. Cette procédure n'élimine pas complètement le biais, mais est moins longue qu'une procédure complètement non biaisée.

Analyse

La consigne n'a pas posé de problèmes pour les sujets qui ont trouvé l'expérience intuitive.

Les résultats de chaque sujet ont d'abord été calibrés afin que la valeur maximale donnée par chaque sujet soit égale à 1. Les valeurs obtenues pour chaque palier ont alors été moyennées (moyenne géométrique) après que la pression fut stabilisée. La pente de la droite de régression entre le logarithme de la pression acoustique et le

logarithme de la pression sur la poignée a alors permis d'évaluer le rapport (α_F / α_L).

La détermination des rapports de coefficients (α_F / α_L) a été faite pour chaque sujet et chaque répétition, puis moyennée au travers des quatre répétitions. Les valeurs α_F / α_L moyennes sont rapportées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Rapports (α_L / α_F) déterminés pour les quatre sujets, moyennés pour les quatre passages des 10 sons stationnaires. Le coefficient de sonie (α_L) obtenu dans une expérience préliminaire est rappelé, ainsi que l'estimation d' α_F .

Sujet	1	2	3	4	Moyenne
α_L / α_F	0.56	0.34	0.63	0.67	0.55
α_L	0.33	0.46	0.51	0.81	0.53
α_F	0.59	1.35	0.81	1.21	0.96

La valeur moyenne du coefficient α_F est de 0.96. Les valeurs individuelles varient de 0.59 à 1.35. On ne peut donc pas faire l'hypothèse que la fonction d'appariement est identique pour tous les sujets.

3.2 Echelle analogue catégorielle

Le principe d'une échelle catégorielle est de demander aux sujets de classer des stimuli dans C catégories, avec le son le plus fort correspondant à la catégorie maximale, le son le moins fort à la catégorie la moins élevée, et de telle manière que les C catégories partagent de manière régulière le continuum sensoriel entre le son le plus fort et le moins fort. Les échelles catégorielles classiques ont entre 5 et 7 catégories. Dans le cas d'une échelle analogue (curseur continu) on considère simplement que le nombre de catégories est très grand (c'est la résolution du curseur).

En pratique cependant, les échelles catégorielles sont très sensibles au nombre de catégories et les sujets ne partagent pas forcément le continuum de manière régulière[19]. La méthode du curseur continu permet de limiter l'influence du nombre de catégories.

Méthode

Le test utilisait un curseur Saitek Throttle Quadrant. Il s'agit d'un joystick utilisé pour les simulateurs d'avion, pour la manette des gaz. Trois sujets ont jugé la sonie des mêmes sons que précédemment. En préalable, ils entendaient le son le plus fort et le son le moins fort, et étaient invités à placer le curseur à la position maximale et minimale du curseur. Ils écoutaient ensuite les 10 sons quatre fois (deux fois par paliers ascendants, deux fois par paliers descendants) il leur était demandé de partager la gamme du curseur en intervalles perceptifs réguliers. La position du curseur devait donc correspondre à la sonie relative du son testé par rapport aux deux références.

Analyse

Les sujets ont trouvé la consigne moins intuitive que pour l'échelle de ratios. La Figure 1 représente les estimations de sonie pour les trois sujets. On observe que ceux-ci ont relativement bien partagé le continuum en intervalles réguliers, même si des effets de saturation sont présents aux extrémités du curseur.

3.3 Bilan

Au final, cette courte évaluation empirique confirme la comparaison a priori entre les deux méthodes :

- La méthode d'appariement intermodal est très intuitive pour les sujets et permet d'obtenir des résultats qui possèdent la propriété de ratio
- Elle nécessite cependant une calibration individuelle de chaque sujet
- La méthode du curseur continu est moins intuitive mais tout de même faisable pour les sujets
- Les résultats de cette dernière méthode n'ont pas la propriété de ratio.

Nous décidons donc de choisir le curseur continu, car la propriété de ratio n'est pas indispensable pour notre étude. Par contre le besoin de calibration individuelle demeure rédhibitoire, notamment pour la durée totale du test.

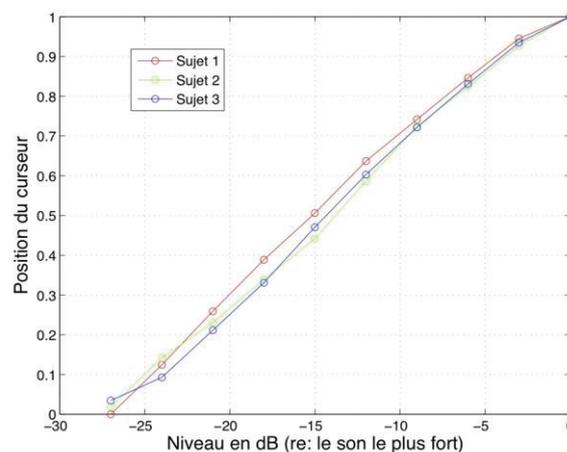


Figure 1. Estimation de la sonie à l'aide du curseur continu

4. Application à une expérience d'évaluation continue du désagrément perçu lors de passage d'avions

4.1 Présentation de l'expérience

Cette expérience a été menée dans le but d'objectiver le désagrément perçu par des sujets lors de passages d'avions et d'analyser le lien entre désagrément instantané et désagrément global. Dans le cadre de cet article, seule l'analyse du lien entre désagrément instantané et désagrément global sera abordée.

Le test mis en œuvre a consisté à demander aux sujets d'évaluer continuellement le désagrément perçu lors du passage simulé de différents avions. Pour ce faire, le même curseur que précédemment a été utilisé (Saitek Throttle Quadrant) et le son restitué en 3D par un simulateur de trajectoire. Ce simulateur était composé de 12 haut-parleurs, dont 8 disposés en arc de cercle au-dessus de l'auditeur pour restituer les passages d'avions en utilisant la technologie VBAP (Vector Based Amplitude Panning). Un caisson était utilisé pour la restitution des basses fréquences (10-80 Hz), et un bruit de fond enregistré en extérieur était restitué en continu par le simulateur (technologie ambisonique) afin d'accroître le réalisme des passages. Chaque haut-parleur a été calibré individuellement, en amplitude et réponse fréquentielle, à la position d'écoute, de même que le caisson de basse. Le niveau de chaque son a été vérifié par mesure microphonique du niveau maximum en dB(A) à la position d'écoute.



Figure 2: Dispositif pour l'expérience psychoacoustique menée dans le studio de simulation d'environnements sonores 3D du laboratoire d'acoustique d'AIRBUS à Toulouse (département des essais en vol).

Avant et après chaque évaluation continue d'un passage d'avion, il était demandé aux sujets d'évaluer le désagrément global relatif à ce son, sur une échelle de 0 à 10 (0 étant défini comme « pas du tout désagréable » et 10 comme « extrêmement désagréable »). 42 sujets ont été recrutés dans le cadre de ce test, âgés de 25 à 55 ans et sans problème auditif déclaré. 30 sons ont été évalués au total, d'une durée de 40 secondes chacun et correspondant à différentes configurations de vol. Tous les sons étaient des sons de synthèse. L'interface de test se présentait comme montré sur la Figure 3 :

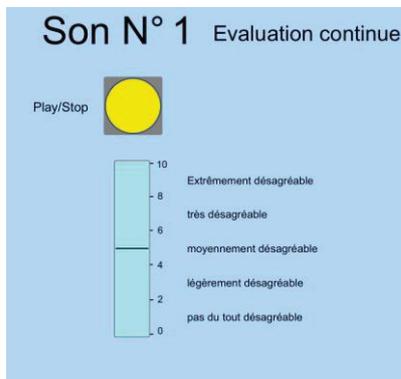


Figure 3: Présentation de l'interface de test lors d'une évaluation continue du désagrément provoqué par un passage d'avion.

4.2 Résultats obtenus

Pour chacun des 30 sons du test, une courbe représentative du désagrément continu a été obtenue en 2 étapes :

- Un recalage temporel a été effectué en alignant les maxima des courbes pour s'affranchir des temps de réaction propres à chacun des sujets [16].
- Une moyenne a ensuite été effectuée sur l'ensemble des sujets après élimination des sujets considérés comme trop singuliers.

La courbe représentative du désagrément instantané est alors représentée sur la Figure 4 :

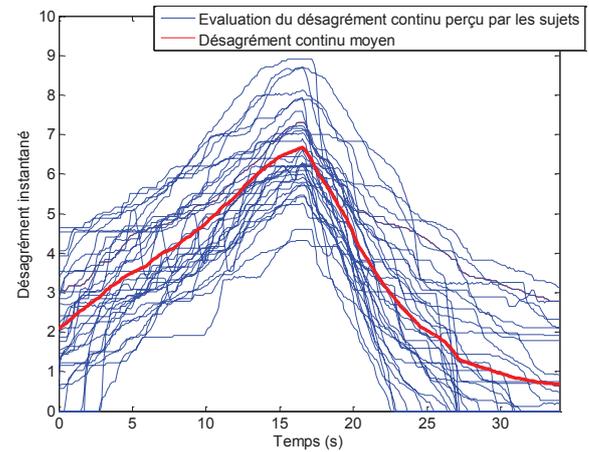


Figure 4: Courbes de désagrément instantané pour chacun des sujets (en bleu) et courbe moyenne de désagrément (en rouge) pour un exemple de passage d'avion. Trois secondes sont coupées en début et fin de signal pour ne pas prendre en compte les effets associés au fade-in et fade-out sur chaque son.

Pour analyser le lien entre désagrément instantané et désagrément global, plusieurs indicateurs ont été développés. La littérature suggère que le désagrément global d'une longue séquence est influencé par deux phénomènes : la prépondérance des événements les plus forts et les plus récents. Les indicateurs testés se sont concentrés sur le premier phénomène. En effet, les passages d'avion ont un pattern temporel caractérisé par une phase d'approche et d'éloignement, et un maximum situé vers le milieu de séquence. La littérature ainsi que des écoutes informelles suggèrent fortement que c'est cette phase maximale de la séquence qui influence le plus le désagrément global, et que la partie la plus tardive de la séquence, beaucoup moins forte, n'a que peu d'influence. Les indicateurs testés ont donc ciblé la partie maximale de la séquence de désagrément instantané. Ils sont calculés comme différentes moyennes autour de ce maximum :

$$I_1 = \frac{1}{N} \sum_{k_1}^{k_2} D(k) \quad \text{moyenne arithmétique}$$

$$I_2 = \sqrt[N]{\prod_{k_1}^{k_2} D(k)} \quad \text{moyenne géométrique}$$

$$I_3 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k_1}^{k_2} D^2(k)} \quad \text{moyenne quadratique}$$

D étant le désagrément instantané, N le nombre d'échantillons sur l'intervalle $[k_1 \ k_2]$ et k_1 et k_2 étant définis comme présenté sur la Figure 6 :

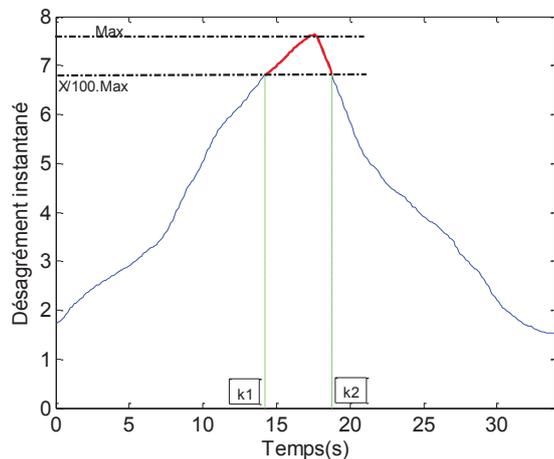


Figure 5: Définition des bornes k_1 et k_2 pour la zone de calcul des indicateurs.

Les indices k_1 et k_2 définissent la zone utile sur laquelle s'effectue le calcul des indicateurs, qui correspond ainsi aux valeurs de désagrément instantané comprises dans l'intervalle $[\frac{X}{100}\max(D); \max(D)]$, X étant un indice variable. Lorsque X est égal à zéro, toute la séquence est considérée et les indicateurs sont des simples moyennes de cette séquence. Lorsque X est égal à 100, les trois indicateurs consistent en la valeur maximale du désagrément instantané.

Pour chacun des sons du test, les indicateurs précédents ont pu être tracés en fonction du désagrément global moyen associé à ce son, et le calcul du coefficient de corrélation de Pearson effectuée comme montré sur la Figure 6 :

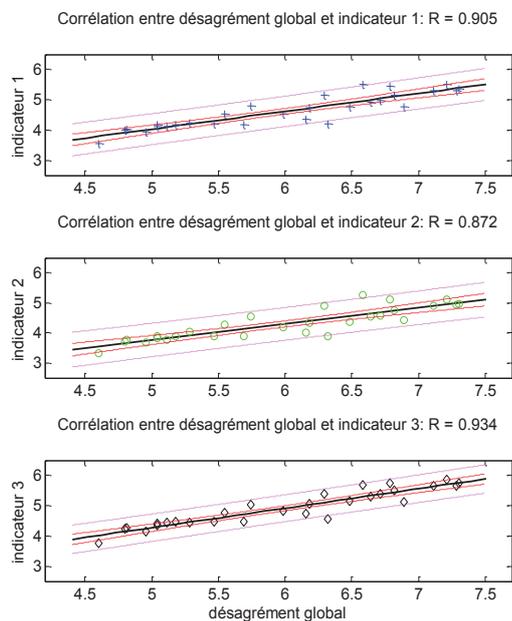


Figure 6: Calculs des coefficients de corrélation de Pearson entre les 3 indicateurs et le désagrément global. Chaque point correspond à la valeur de l'indicateur calculé sur la courbe moyenne de désagrément instantané d'un son, en fonction de la note moyenne de désagrément global donnée par les sujets pour ce son. Dans cet exemple, $X = 25$. Les tirets et pointillés représentent respectivement les intervalles de confiance à 95% sur le modèle de régression et sur les données.

Les résultats de la Figure 6 montrent une corrélation forte entre le désagrément global estimé par les sujets et les valeurs des indicateurs retenus. Les zones de désagrément instantané maximum jouant un rôle prépondérant dans l'évaluation du désagrément global [9], les 3 indicateurs

précédents sont calculés pour les valeurs de X comprises entre 5 et 100, par pas de 1. Afin de déterminer la portion du signal la plus pertinente pour le calcul des indicateurs précédents, les courbes des coefficients de corrélation des indicateurs au désagrément global ont été tracées en fonction de X :

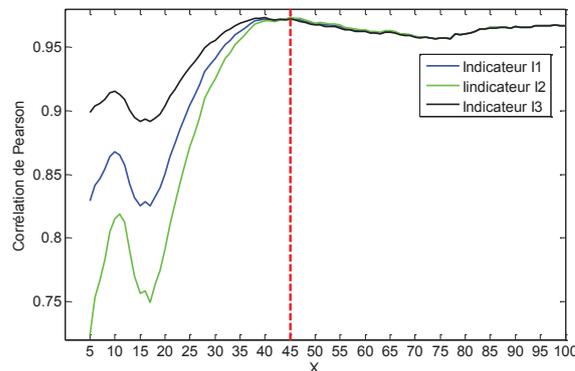


Figure 7: Evolution du coefficient de corrélation de Pearson entre les 3 indicateurs et le désagrément global, pour X allant de 5 à 100.

Pour $X = 100$, les 3 indicateurs se résument à la valeur maximum du désagrément instantané. Plus X diminue, plus la dynamique de désagrément autour du maximum est grande dans le calcul des indicateurs. La Figure 7 montre ainsi l'importance du désagrément instantané maximal dans le jugement du désagrément global, et confirme les résultats d'études précédentes ([5],[9]) en montrant que la moyenne du désagrément instantané sur la totalité ou quasi-totalité du signal n'est pas l'indicateur le mieux corrélié au désagrément global. Dans cette étude, l'intervalle optimal de calcul de moyenne pour les 3 indicateurs a été obtenu pour $X = 45$. Les résultats des 3 indicateurs sont sensiblement identiques au-dessus de $X = 40$. Au-delà de cette valeur les coefficients de corrélation varient toutefois très peu, ce qui montre que les indicateurs testés ne sont pas significativement mieux corrélés au désagrément global que le maximum du désagrément instantané.

5. Conclusions

L'analyse du désagrément sonore associé aux passages d'avions fait partie des problématiques actuelles de l'industrie aéronautique. Dans l'étude présentée dans cet article, un protocole de mesure du désagrément instantané a été mis en place au moyen d'un curseur continu. Les sujets ont pu évaluer le désagrément instantané et donner une note globale de désagrément pour chaque passage d'avion simulé. A partir des évaluations des sujets, 3 indicateurs de moyenne (arithmétique, géométrique et quadratique) ont été calculés sur différents intervalles autour du maximum de désagrément instantané. Pour ces 3 indicateurs de très fortes corrélations ont pu être obtenues avec le désagrément global (>0.95), mais ces résultats ne se sont pas avérés significativement meilleurs que ceux obtenus avec la valeur maximum du désagrément instantané. Cette étude confirme donc que le désagrément global d'une séquence de passage d'avion est très fortement lié au désagrément instantané maximal ressenti par les auditeurs. Le reste de la séquence semble donc avoir une influence beaucoup plus faible. La suite de ces travaux sera dédiée à l'objectivation du désagrément instantané et du désagrément global au moyen d'indicateurs acoustiques.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier Bertrand Mellot du laboratoire d'acoustique d'Airbus pour la passation des tests perceptifs.

Références

- [1] B. Barbot, Aircraft noise perceptual characterization, PhD Thesis, Cergy-Pontoise university, 2008
- [2] B. Berglund, U. Berglund, and T. Lindvall. Scaling loudness, noisiness and annoyance of aircraft noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 57(4), 930–934 (1975).
- [3] D. V. Cross. Sequential dependencies and regression in psychophysical judgments. *Perception and Psychophysics*, 14(3): 547-552 (1973).
- [4] C. Dickson. A method for time-varying annoyance rating of aircraft noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 126(1), 1–3 (2009).
- [5] H. Fastl. Evaluation and measurement of perceived average loudness. In A. Schick, J. Hellbrück, and R. Weber (eds), *Results of the fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*, 205–216. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, Oldenburg, Germany (1991).
- [6] E. Geissner, E. Parizet, and V. Nosulenko. Perception du bruit d'un camion de livraison. In *Actes du Congrès Français d'Acoustique CFA06*, 1005–1008, Tours, France (2006).
- [7] E. Geissner and E. Parizet. Relation between the overall unpleasantness of a long duration sound and the one of its events: application to a delivery truck. *Proceedings of the Acoustics 08 conference*, Paris, 1225-1230 (2008).
- [8] E. Geissner and E. Parizet. Continuous assessment of the unpleasantness of a sound. *Acta Acustica united with Acustica*, 93: 469-476 (2007).
- [9] G. Gottschling. On the relation of instantaneous and overall loudness. *Acta Acustica united with Acustica*, 85, 427–429, (1999).
- [10] L. Gros and N. Chateau. Instantaneous and overall judgments for time-varying speech quality: assessment and relationships. *Acta Acustica united with Acustica*, 87, 367-377 (2001).
- [11] R. Guski, U. Felscher-Such, and R. Schuemer. The concept of noise annoyance: how international expert see it. *Journal of Sound and Vibration*, 223(4), 513-527 (1999).
- [12] R. Hamberg and H. de Ridder. Time varying image quality: modeling the relation between instantaneous and overall quality. *The SMPTE Motion and imaging journal*, 108(11): 802–811 (1999).
- [13] M. Hansen and B. Kollmeier. Continuous assessment of time-varying sound quality. *Journal of Acoustical Society of America*, 106(5): 2888-2899, (1999).
- [14] International civil aircraft organization, Annex 16, Chapter 3, 6th edition (2011).
- [15] K. Janssens, et al. Synthesis of Aircraft Flyover Noise for Target Sound Design. *Proceedings of the Forum Acusticum*, Budapest, Hungary (2005).
- [16] S. Kuwano and S. Namba. Continuous judgments of level-fluctuating sounds and the relationship between overall loudness and instantaneous loudness. *Psychological Research*, 47, 27-37 (1985).
- [17] G. Lemaître, P. Susini, S. Winsberg, B. Letinturier, S. McAdams, The sound quality of car horns: a psychoacoustical study of timbre, *Acta Acustica united with Acustica*, 93 (3) 457–468 (2007).
- [18] S. E. More. *Aircraft Noise Characteristics and Metrics*, PhD thesis of the Purdue University (2010).
- [19] A. Parducci and D. H. Wedell. The category effect with rating scales: number of categories, number of stimuli and method of presentation. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, 12(4), 496–516 (1986).
- [20] E. Parizet, N. Hamzaoui, L. Ségaud and J. R. Koch. Continuous evaluation of noise uncomfot in bus. *Acta Acustica united with Acustica*, 89, 900-907 (2003).
- [21] M. Schütte, U. Müller, S. Sandrock, B. Greifahn, C. Lavandier, and B. Barbot. Perceived quality features of aircraft sounds: An analysis of the measurement characteristics of a newly-created semantic differential. *Applied Acoustics*, 70, 903–914 (2009).
- [22] T. J. Schultz. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 377-405 (1978).
- [23] S. S. Stevens, S. S. The psychophysics of sensory function. *American scientist*, 48(2): 226-253 (1960).
- [24] P. Susini and S. McAdams. Psychophysical validation of proprioceptive device by cross-modal matching of loudness. *Acta Acustica united with Acustica*, 86, 515-525 (2000).
- [25] R. Weber. The continuous loudness judgement of temporally variable sounds with an “analog” category procedure. In A. Schick, J. Hellbrück, and R. Weber, (eds), *Results of the fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*, 267–294. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, Oldenburg, Germany (1991).
- [26] E. Zwicker and H. Fastl H. *Psychoacoustics Facts and Models*. Springer (1999).