

CFA/VISHNO 2016

Comparaison de méthodes d'évaluation perceptive de la tonalité

C. Dendievel, A. Minard, C. Lambourg et P. Boussard
GENESIS, Domaine du Petit Arbois BP69, 13545 Aix En Provence Cedex 04, France
clement.dendievel@gmail.com



LE MANS

La tonalité est un attribut perceptif lié aux composantes tonales (émergences spectrales) présentes dans de nombreux types de bruit (avions, systèmes de climatisation, voiture électrique, ...). Plusieurs facteurs influencent la tonalité perçue (fréquence du ton, niveau d'émergence du ton, etc.). La largeur spectrale du bruit de fond est l'un de ces facteurs. Son impact sur la perception de la tonalité n'est pas nettement caractérisé dans la littérature. S'appuyant sur la théorie du masquage, certains indicateurs de tonalité ne prennent en compte qu'une largeur de bande critique de bruit autour du ton émergent.

D'un point de vue plus pratique, il existe différentes méthodes de test d'écoute pour étudier l'impact d'un facteur sur la tonalité perçue (évaluation directe, méthode adaptative, ...). La durée d'un test ainsi que la précision des résultats perceptifs dépendent en partie de la méthode choisie. Dans le cadre de cette étude, 18 sons ayant des largeurs spectrales de bruit de fond différentes ont été évalués par plusieurs sujets en utilisant trois méthodes de tests d'écoute : une méthode d'évaluation directe, une méthode adaptative à choix forcé (2AFC 1down/1up) et une méthode d'égalisation à iso-tonalité

La méthode d'égalisation à iso-tonalité apporte le meilleur compromis entre la précision des résultats et la durée du test d'écoute. Les résultats perceptifs suggèrent que le bruit contenu en dehors de la bande critique autour du ton devrait être considéré lors de l'évaluation de la tonalité.

1 Introduction

Dans de nombreuses situations (bruit d'avion [1], de climatisation [2], d'ordinateur [3], de train, de voiture électrique...) la tonalité est synonyme de désagrément [4]. Dans certain cas, la présence d'émergence(s) tonale(s) au sein d'un bruit peut être gage de qualité sonore, lors du design des bruits de moteur de voiture par exemple [5] [6]. Elle est également un facteur fonctionnel important dans la perception des sons d'alarme au sein de bruit de fond.

1.1 Facteurs influençant la tonalité perçue

Plusieurs facteurs influencent la tonalité perçue. Un certain nombre d'études montrent que la tonalité perçue augmente en fonction de la fréquence du ton [4] [7] [8].

La perception de la tonalité augmente également en fonction du niveau d'émergence du ton [4] [7] [8]. Cette perception n'est cependant pas toujours maximale en présence d'un ton pur (sans aucun bruit). Certains individus ont par exemple des difficultés à évaluer la tonalité d'un ton pur, et la juge parfois plus faible qu'une tonalité en présence d'un bruit [9].

L'ajout de tons supplémentaires influence la perception de la tonalité. Plus le nombre de tons est élevé, plus la tonalité perçue augmente [8]. Il n'y a a priori pas de différences entre l'ajout d'harmoniques ou de tons désordonnés par rapport à la fondamentale [7].

Une bande étroite au sein du spectre d'un bruit peut agir sur la tonalité perçue au même titre qu'un

sinus pur. Il est prouvé expérimentalement que la tonalité perçue diminue lorsque l'on augmente la largeur fréquentielle du ton [7] [8] [10] [11]. Il est important de noter que l'ordre du filtre utilisé pour créer ces tons a également une influence dans la perception d'un ton. Un ton ayant une largeur de 5 bandes critiques créé à l'aide d'un filtre d'ordre « infini » peut ainsi être perçu comme relativement tonal [3].

La durée du ton a un impact sur le seuil de détection de la tonalité au sein d'un bruit [12]. A fréquence constante, notre seuil de détection diminue lorsque la durée du ton augmente. Ce résultat est précisé pour des valeurs d'émergence au-delà du seuil de détection. La perception d'un ton augmente lorsque la durée du ton augmente [13].

Le déphasage interaurale d'un signal peut agir sur la perception de la tonalité. Le niveau nécessaire à un ton pour être détecté est plus bas lorsque le signal est présenté de manière dichotique déphasé de π , que lorsque le signal est présenté de manière diotique [14].

La largeur spectrale du bruit de fond fait partie de ces facteurs, son influence sur la tonalité perçue n'a pas nettement été définie dans la littérature.

1.2 Méthodes de test d'écoute utilisées pour étudier l'impact d'un facteur sur la tonalité perçue

Différentes méthodes de test d'écoute sont employées pour étudier l'impact d'un facteur sur la tonalité perçue : des méthodes de comparaison par paire [13] [9], des méthodes d'évaluation directe sur une échelle discrète [8], des méthodes de

sémantique différentiel [15], ou des méthodes adaptatives. Les méthodes adaptatives couramment employées utilisent un paradigme de réponse 2AFC (2 Alternative Forced Choice, choix forcé entre 2 réponses possibles). Elles ont initialement été utilisées pour la mesure de seuil. Au cours de ces méthodes, le seuil est déterminé à l'issue d'un certain nombre d'essais (de présentation du stimulus testé) entre lesquels le niveau de présentation du stimulus est ajusté en fonction des réponses précédentes du sujet. Ce type de méthode a été adapté à l'évaluation la tonalité [7] [12] [14].

2 Expériences

Trois méthodes de test d'écoute sont mises en place dans le but d'étudier l'influence de la largeur spectrale du bruit de fond sur la tonalité perçue.

2.1 Stimuli

Dix-huit stimuli sont testés : 3 fréquences de ton (f_{ton}), 3 niveaux d'émergence du ton (ΔL_{ton}), ainsi que 2 largeurs de bande de bruit de fond ($\text{largeur}_{\text{BdF}}$) [Tableau 1]. Les stimuli ont une durée de 2 secondes. Le niveau d'émergence du ton a été calculé de telle sorte que l'énergie du ton soit supérieure de x dB par rapport à l'énergie de sa bande critique. Autrement dit, cela correspond à une valeur de TNR [16] de 5, 10 ou 15dB pour la fréquence du ton. Les largeurs de bande de bruit sont exprimées en bandes critiques (BC) calculées selon le modèle de Zwicker [17]. Les bruits de fonds sont créés à partir d'un bruit uniformément excité (UEN, Uniform Exciting Noise). Un filtre Butterworth d'ordre 6 est utilisé pour créer les largeurs spectrales désirées. Les 18 stimuli ont été égalisés en sonie expérimentalement par 9 sujets.

Tableau 1 - Récapitulatif des paramètres testés lors des tests d'écoute

f_{ton} [Hz]	600	1200	2400
ΔL_{ton} [dB]	5	10	15
$\text{largeur}_{\text{BdF}}$ [BC]	2	8	

2.2 Méthodes

Avant de commencer l'évaluation des 18 stimuli, chaque participant suit une formation lui expliquant ce qu'est l'intensité tonale (le terme de « tonalité » n'est pas présenté aux sujets, et est remplacé par « intensité tonale » [14] [18]). Deux exercices « simples » sont ensuite effectués afin de permettre à l'expérimentateur de valider que chaque

sujet a compris ce qu'est l'intensité tonale. Suite à cette première phase, trois tests sont effectués.

2.2.1 Test 1 : évaluation directe

Lors de ce test, il est proposé à chaque sujet d'écouter les sons un à un (présentation aléatoire des stimuli), puis d'indiquer le niveau d'intensité tonale perçue en positionnant un curseur sur une échelle comportant 5 adjectifs (« très faible », « faible », « moyen », « fort », « très fort ») [Figure 1]. Cette échelle est continue [19].

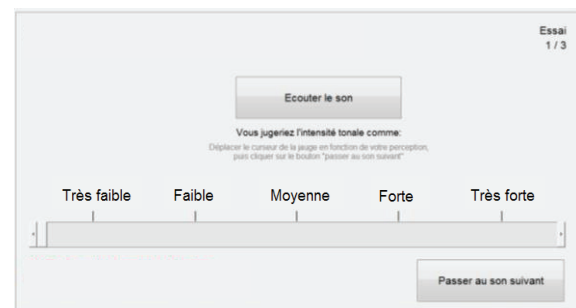


Figure 1 - Interface de test utilisée pour la méthode d'évaluation directe

Les résultats issus de ce test correspondent à une note provenant d'une échelle arbitraire (allant de 0 à 10) pour chaque son.

2.2.2 Test 2 : méthode adaptative à choix forcé (2AFC 1down/1up)

Lors de ce test adaptatif, il est proposé aux sujets d'écouter et de comparer deux sons [Figure 2]. Sur le schéma proposé, le son A correspond au son de référence, le son B au son testé. La méthode utilisée est une méthode 2AFC 1down/1up. Le niveau d'émergence du ton est augmenté (ou diminué) par pas fixe de 1dB, sans modifier la sonie du son de référence.

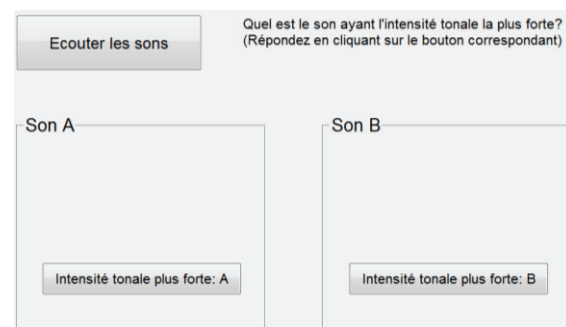
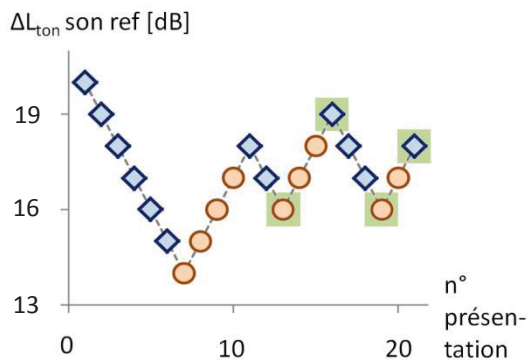


Figure 2 - Interface de test utilisée pour la méthode adaptative 2AFC 1down/1up

Le stimulus de référence utilisé est un bruit large bande [20Hz - 20kHz] UEN, auquel est ajouté un ton ($f_{\text{ton}} = 1\text{kHz}$). Le jugement d'un son se termine après 6 inversions. Le niveau d'émergence du ton du son de référence (son A) correspondant à la tonalité perçue du son testé (son B) est ainsi obtenu pour chaque son. Ce niveau d'émergence est calculé en moyennant les valeurs d'émergence obtenues lors des 4 dernières inversions [Figure 3]. Les stimuli testés sont présentés dans un ordre aléatoire.



◆ : le sujet a répondu que le son de référence à l'intensité tonale la plus forte

○ : le sujet a répondu que le son testé à l'intensité tonale la plus forte

◆ ou ○ : inversion (extremum) prise en compte dans le calcul du niveau du niveau d'émergence du stimulus de référence

Figure 3 – Exemple de résultats issus de la méthode 2AFC 1down/1up

2.2.3 Test 3 : égalisation à iso-tonalité

Lors de ce test, il est proposé aux candidats d'ajuster la tonalité du son de référence (ici le son A), afin qu'elle corresponde à la tonalité perçue du son testé (ici le son B) [Figure 4]. La tonalité du son de référence est ajustable à l'aide d'un curseur, qui contrôle le niveau d'émergence du ton A (ΔL_{ton}), sans en modifier la sonie.

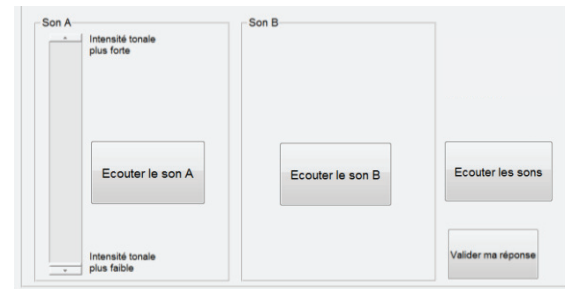


Figure 4 - Interface de test utilisée pour la méthode d'égalisation à iso-tonalité

Tout comme pour la méthode adaptative à choix forcé, le niveau d'émergence du ton de référence (son A) correspondant à la tonalité perçue du son testé (son B) est obtenu pour chaque son.

2.3 Participants

Sept participants (3H/4F, âgés de 22 à 43 ans) ont pris part à l'expérience pour laquelle ils ont été rémunérés. Aucun sujet n'a fait mention d'un problème auditif majeur dont il aurait eu connaissance. Un participant travaille dans un domaine lié à l'audio ou l'acoustique. Les tests seront effectués par d'avantage de participants.

2.4 Matériel

L'expérience a été effectuée au casque dans la salle d'écoute de la société Genesis. Une carte audio Focusrite 2.0 et un casque audio ouvert Sennheiser HD 650 ont été utilisés. Trois interfaces ont été spécialement programmées en Matlab R2011b. Ces interfaces gèrent la lecture des sons (par la librairie Psychtoolbox et sa fonction PsychPortAudio) et la saisie des réponses pour les trois méthodes.

3 Résultats

Les résultats des tests d'écoute sont en cours d'analyse, et nécessitent d'avantage de données avant d'être partagés. Il est possible d'accéder aux résultats et aux conclusions de cette étude grâce au lien fourni ci-après : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01288433>.

Dans un premier temps, la corrélation entre les résultats de chaque méthode sera exposée. Deuxièmement, la durée et la précision des résultats perceptifs seront comparées. Troisièmement, l'influence de la largeur spectrale du bruit de fond sur la tonalité perçue sera décrite. Un commentaire sera apporté sur les indicateurs de tonalité usuels [18] [19] [20].

Références

- [1] L. Brocolini & E. Parizet, Influence of tonal components on the unpleasantness of airplane noise at take-off, *Proceedings of Internoise 2015*, San Francisco, USA, 2015.
- [2] T. Yamaguchi, G. Minorikawa, Masayuki Kihara, Study on evaluation method of the pure tone for small fan, *The 22nd International Congress on Sound and Vibration*, Florence, Italy, 2014
- [3] Roland Sottek, Progress in calculating tonality of technical sounds, *Internoise 2014*, Melbourne, Australia, 2014
- [4] Etienne Parizet, Armand Bolmont, Sebastian Fingerhuth, Subjective Evaluation of tonalness and relation between tonalness and unpleasantness, *Internoise 2009*, Ottawa, Canada, 2009
- [5] Patrick Boussard, Stéphane Molla, François Orang, Comprehensive Process for Car Engine Sound Design: from signal processing to an audio system integrated in the vehicle, *Internoise 2012*, New-York City, USA, 2012
- [6] Patrick Boussard, Rakesh Khurana, Gael Guyader, François Orange, Jeffrey Orzechowski, Implementing digital engine sound enhancement techniques to define and refine vehicle interior sound image/quality, *Internoise 2013*, Innsbruck, Austria, 2013
- [7] M. Vormann, JL Verhey, Volker Mellert, A. Schick, Subjective rating of tonal components in noise with an adaptive procedure, 2002
- [8] Roland Sottek, A new hearing model approach to tonality, *Internoise 2013*, Innsbruck, Austria, 2013
- [9] Matthias Vormann, Markus Meis, Volker Mellert, August Schick, A new approach for the evaluation of tonal noise (tonality), *Psychophysics, Physiology and Models of Hearing* (pp. 109-112), 1998
- [10] Armin Taghipour, Bernd Edler, Masoumeh Armirpour, Jürgen Herre, Dependency of tonality perception on frequency, bandwidth and duration, *21st International Congress on Acoustics*, Montreal, Canada, 2013
- [11] A. Hastings, P. Davies, The Effect of Attenuation Rate and Peak Bandwidth of Tonal Components on Perceived Tonalness, *First International Speech and Communication Association ITRW*, Mont-Cenis, Germany, 2003
- [12] Arne Oetjen, Peter Volk, Steven van de Par, Perception of stationary and transient signals, *Euronoise 2015*, Maastricht, Netherlands, 2015
- [13] Hans Hansen, Reinhard Weber, The influence of tone length and S/N-ratio on the perception of tonal content: an application of probabilistic choice models in car acoustics, *The Acoustical Society of Japan*, 2008
- [14] Jesko L. Verhey, Stephan J. Heise, Suprathreshold perception of tonal components in noise under conditions of masking release, *Acta Acustica united with Acustica*, 2012
- [15] H. Hansen, R. Weber, U. Letens, Quantifying tonal phenomena in interior car sounds, *Forum Acusticum*, Budapest, Hungary, 2005
- [16] ECMA-74, Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment, *13th edition*, 2015
- [17] Fastl, H. & Zwicker, E. *Psychoacoustics: Facts and Models*. Berlin, Germany: Springer, 3rd edition, 2007
- [18] Hans Hansen, Jesko L. Verhey, Reinhard Weber, The Magnitude of Tonal Content. A Review, *Acta Acustica united with Acustica*, 2011
- [19] Etienne Parizet, Nacer Hamzaoui, Guillaume Sabatie, Comparison of some listening test methods : a case study, *Acta Acustica united with Acustica*, 2005
- [20] DIN 45681:2005-03, Acoustics, Detection of tonal components of noise and determination of tone adjustment for the assessment of noise immersions, 2005
- [21] ISO1996-1 Acoustics, Descriptions, measurement and assessment of environmental noise, Part 2 : Determination of environmental noise levels, 2007