

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Effet du Rapport Signal-sur-Bruit sur l'Angle Minimum Audible en présence d'un son Distracteur

Adrien Daniel^{1,3}, Catherine Guastavino², Stephen McAdams³

¹ Orange Labs - Lannion, Technopole Anticipa, 2 Avenue Pierre Marzin, 22300 Lannion, France, adrien.daniel@orange-ftgroup.com

² CIRMMT, Ecole des sciences de l'information, Université McGill, 3661 rue Peel, Montréal H3A 1X1, QC, Canada, catherine.guastavino@mcgill.ca

³ CIRMMT, Ecole de Musique Schulich, Université McGill, 555 rue Sherbrooke ouest, Montréal H3A 1E3, QC, Canada, smc@music.mcgill.ca

De nombreuses situations sollicitent notre capacité à localiser des sources sonores dans une scène auditive complexe. La précision de localisation de sources sonores est bien documentée pour des sources isolées et en présence de sources interférantes. En revanche, la capacité à discriminer deux sources dans l'espace (une mesure nommée « angle minimum audible ») en présence de sources interférantes a reçu beaucoup moins d'attention, malgré l'intérêt qu'elle présente dans un contexte de codage audio. Ainsi cette étude, impliquant dix sujets non-experts, vise à estimer l'angle minimum audible d'une source sonore cible en présence d'un distracteur, en fonction de leur rapport énergétique. Les sources sont des bruits blancs filtrés de largeur d'une bande critique, et de fréquence centrale variable pour le distracteur. La séparation angulaire cible testée est centrée en 0° (en face de l'auditeur avec les sons présentés symétriquement de part et d'autre), et le distracteur est positionné à 0°. Une mesure de l'effet de démasquage spatial de la cible (diminution du seuil d'audibilité avec la distance angulaire au distracteur) est également réalisée dans une tâche séparée. Les résultats montrent un effet significatif du rapport signal-sur-bruit sur l'angle minimum audible (environ 0.4° par dB). De plus, l'effet de démasquage spatial est confirmé (−0.30 dB par degré), ainsi que l'effet de la fréquence relative du distracteur sur le masquage de la cible (−8.48 dB par bande critique). Ce travail a des applications potentielles pour le codage audio multicanal : il permet d'obtenir d'une part un seuil de masquage d'une source cible en fonction de sa fréquence et position relatives aux sources distractrices. D'autre part, lorsque cette source demeure audible (c'est-à-dire non-masquée), la mesure obtenue de la dégradation spatiale non-déetectable d'une source cible dans diverses configurations de la scène auditive (l'angle minimum audible) constitue un masquage supplémentaire à exploiter.

1 Introduction

La capacité de localisation du système auditif humain a été longuement étudiée jusqu'à présent. Les erreurs de localisation d'une unique source frontale reportées se situent autour de 1° [1, 2]. La résolution spatiale auditive (c'est-à-dire la capacité à discriminer deux sources dans l'espace) a également été étudiée en détail. L'étude de référence par Mills [3] a été soutenue par plusieurs autres études plus récentes [4, 5], qui s'accordent sur un angle minimum audible (MAA, *Minimum Audible Angle*) compris entre 1° et 3° pour les sources frontales, en fonction du contenu fréquentiel de celles-ci.

Cependant, la majorité des situations d'écoute réelles impliquent la présence de plusieurs sources sonores simultanément. Les erreurs de localisation ont été estimées en présence d'une source distractrice ou plus [6], et il a été montré que la position perçue de la source cible est systématiquement et significativement écartée de sa position réelle dans la direction opposée à la source distractrice. En revanche, à notre connaissance, la résolution spatiale auditive en présence de distracteurs a uniquement été estimée avec des sources complexes [7, 8]. Ces études montrent l'effet de la présence d'un distracteur sur la performance de l'auditeur, et l'impact

de son attention est également évalué, mais elle n'apportent pas d'information sur l'effet du contenu fréquentiel de la cible ou du distracteur, ni sur l'effet du niveau sonore de présentation des stimuli. De plus, ces études utilisent des systèmes de spatialisation qui peuvent introduire des artefacts de localisation par rapport à des sources réelles [9, 10].

Dans une précédente étude [11], nous avons étudié la résolution spatiale auditive en présence d'un distracteur, en utilisant des sources réelles. Les résultats ont montré un effet du contenu fréquentiel de la cible et du distracteur sur le MAA. Cependant, dans cette étude, les stimuli avaient un niveau sonore maintenu constant, de sorte que la cible était toujours jouée à 52 dBA, le distracteur étant ajusté en sonie avec la cible. La présente étude a pour but d'estimer l'effet du rapport signal-sur-bruit (RSB, le rapport de niveau sonore entre la cible et le distracteur) sur le MAA.

Cette étude fournit également une estimation du seuil d'audibilité de la cible en présence d'un distracteur, ou seuil de masquage, pour différentes séparations angulaires.

Fréquence centrale (Hz)	# bande critique	ERB (Hz)	Gain eg. en sonie (dB)
1400	0	176	0
1586	1	196	1,2
2281	4	271	0,7

TAB. 1: Fréquence centrale et largeur de bande des stimuli distracteurs utilisés dans cette expérience, ainsi que le gain appliqué pour l'égalisation en sonie avec le stimulus cible. Le numéro de bande critique est relatif à la fréquence centrale de la cible. La ligne en caractères gras indique les caractéristiques partagées avec le stimulus cible.

Numéro HP	Position	Numéro HP	Position
1	-11°	7	3°
2	-9°	8	5°
3	-7°	9	7°
4	-5°	10	9°
5	-3°	11	11°
6	0°		

TAB. 2: Position des haut-parleurs en azimuth. Le haut-parleur distracteur est en caractères gras. Tous les haut-parleurs ont une élévation nulle (0°).

2 Méthode

2.1 Sujets

Dix sujets rémunérés (six femmes, quatre hommes), ayant une écoute normale, et non-impliqués dans le domaine du son, ont participé à cette expérience.

2.2 Stimuli

Les stimuli étaient des bruits blancs filtrés sur une unique bande ERB (*Equivalent Rectangular Bandwidths*), suivant les recommandations de Glasberg et Moore [12]. Ces filtres, qui simulent le filtrage du signal d'entrée en bandes critiques effectué par la cochlée, ont été implémentés en utilisant les filtres gammatone proposés par Patterson et coll. [13]. Les stimuli avaient une attaque et une terminaison sinusoïdales d'une durée de 5 ms. En ce qui concerne le stimulus cible, une seule fréquence centrale a été utilisée durant le processus de filtrage : 1400 Hz. À côté de cela, trois stimuli distracteurs ont été générés. Leur fréquence centrale a été choisie de façon à obtenir des distracteurs situés 0, 1, et 4 bandes critiques adjacentes plus haut que la fréquence centrale de la cible. Les stimuli ont été ajustés en amplitude de manière à produire chacun la même sonie, et ce suivant le procédé suivant. Dans les conditions décrites en 2.3 et représentées sur la figure 1, en utilisant le haut-parleur distracteur, sept sujets ont été invités à égaliser en sonie chaque stimulus distracteur avec le stimulus cible joué à 52 dBA. Les caractéristiques résultantes des stimuli sont reportées au tableau 1.

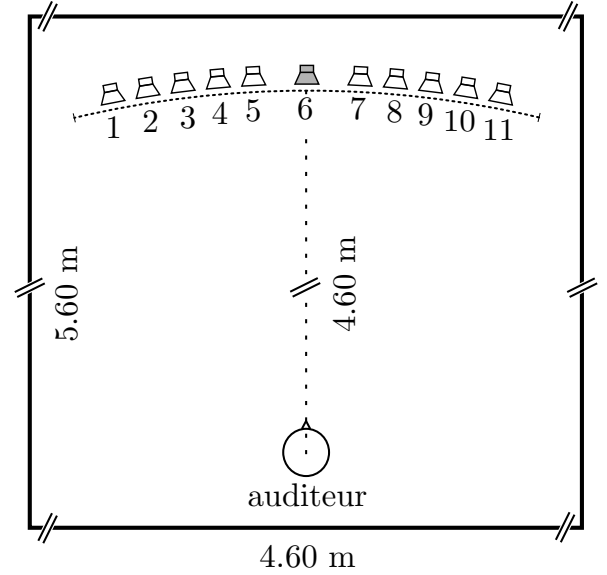


FIG. 1: Vue de dessus du montage expérimental (voir le tableau 2 pour la position exacte des haut-parleurs cibles). Le haut-parleur représenté en gris au centre est le haut-parleur distracteur.

2.3 Montage

Une représentation schématique du montage expérimental est donnée sur la figure 1. Cette expérience a été menée dans une salle semi-anechoïque de 4,6 m × 5,6 m × 3,6 m (h), traitée acoustiquement sur les murs et le plafond avec des dièdres en mousse, et entièrement recouverte de moquette au sol.

Tous les haut-parleurs ont été au préalable égalisés en niveau avec un bruit rose à 65 dBA à la position du haut-parleur cible (voir figure 1), à l'aide d'un microphone positionné à trois mètres. Les haut-parleurs ont ensuite été positionnés suivant le tableau 2 (avec une élévation de 0°). Le niveau global a été ajusté de manière à produire environ 52 dBA au centre de la tête de l'auditeur lorsqu'un haut-parleur est alimenté avec le stimulus cible à son niveau sonore de base. Un tel niveau sonore a été choisi de façon à ce que l'expérience ne soit pas pénible dans la durée.

2.4 Procédure générale

L'objectif principal de cette expérience était d'obtenir une mesure du MAA en fonction du RSB. Cependant, pour des raisons pratiques, nous n'avons pas choisi de mesurer directement le MAA pour différentes valeurs de RSB fixées. En effet, mesurer directement le MAA dans une condition donnée nécessite de discrétiser l'espace avec un ensemble de haut-parleurs à positions fixes¹ (comme celui proposé sur la figure 1). Malheureusement, la méthode adaptative que nous souhaitons utiliser requiert une variable dépendante qui soit continue (voir section 2.7). Par conséquent, nous avons choisi de fixer un ensemble de séparations angulaires, et de mesurer pour chacune de celles-ci le RSB pour lequel cette séparation est effectivement le MAA. Ainsi, le RSB de-

¹À moins de disposer d'un système mécanique permettant un déplacement d'un couple de haut-parleurs sans bruit.

vient la variable dépendante et, présentant l'avantage d'être continue, une méthode adaptative peut donc être appliquée pour le faire varier et extraire une valeur seuil.

Nous avons cependant noté que dans certaines conditions et pour des séparations angulaires importantes, la discrimination spatiale semble assurée tant que la cible reste audible. Dans de telles situations, le critère de faisabilité de la tâche n'est donc plus la discriminabilité spatiale, mais l'audibilité des cibles, et l'on mesure donc en réalité le seuil d'audibilité de la cible. Il était donc nécessaire de pouvoir distinguer ces situations particulières de celles pour lesquelles le sujet entend clairement la cible mais présente des difficultés à discriminer la séparation angulaire présentée. Cette première remarque motive la mesure séparée du seuil d'audibilité de la cible en présence du distracteur comme point de comparaison.

Deuxièmement, cette mesure du seuil d'audibilité en présence du distracteur étant faite pour différentes séparations angulaires entre la cible et le distracteur, on peut en déduire le démasquage spatial résultant (*binaural release from masking*, voir par exemple [14]), ce qui est une information utile en termes de codage.

Cette expérience a été organisée en blocs. Un bloc consiste en une procédure adaptative produisant une valeur seuil pour une condition expérimentale donnée. Une condition expérimentale est constituée de trois paramètres : type de tâche (discrimination de direction de changement de la position spatiale ou seuil d'audibilité), bande de distracteur (0, 1 ou 4 bandes ERB par rapport à la cible), et séparation angulaire (6, 10, 14, 18 ou 22 degrés). Basé sur un schéma à mesures répétées, l'expérience était ainsi constituée de 30 blocs pour chaque sujet.

L'ordre de présentation des blocs a été organisée sur trois niveaux, utilisant trois boucles imbriquées : une première sur les trois bandes de distracteur, une seconde sur les deux types de tâche, et enfin une troisième sur les cinq séparations angulaires. Pour chaque sujet, la boucle sur la bande du distracteur, les trois boucles sur le type de tâche, et les six boucles sur la séparation angulaire, ont été randomisées séparément. En d'autres termes, un sujet donné a fait toutes les séparations angulaires pour un type de tâche et une bande de distracteur donnés avant de passer à l'autre type de tâche pour cette même bande de distracteur. De plus, il a dû faire les deux types de tâche d'une bande de distracteur donnée avant de passer à la prochaine bande.

L'entraînement donné à chaque sujet était très faible. Lors du passage d'une bande de distracteur à une autre, chaque sujet a fait une vingtaine d'essais factices, quel que soit le premier type de tâche abordé. Cela signifie que lors du passage à l'autre type de tâche au sein d'une même bande de distracteur, aucun entraînement additionnel n'a été reçu.

2.5 Procédure de la tâche 1

Cette tâche a utilisé un paradigme classique pour estimer un MAA : une tâche dans laquelle le sujet doit décider si la position de deux sons présentés séquentiellement passe de gauche à droite ou de droite à gauche (GD/DG). Cela a été réalisé en suivant un paradigme « 2 sources, 2 intervalles » (2S2I), comme proposé

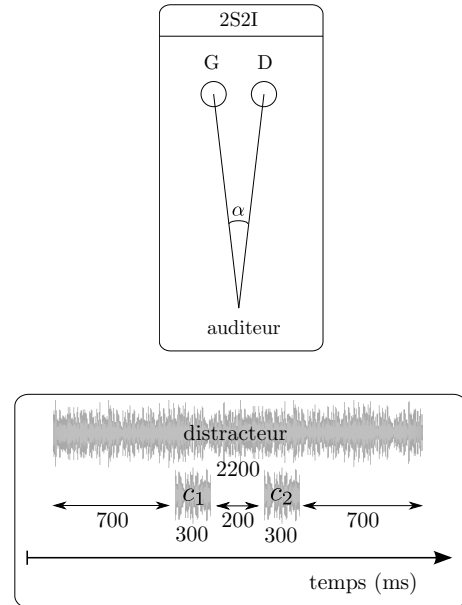


FIG. 2: Haut : paradigme expérimental « 2 sources, 2 intervalles » utilisé pour cette expérience. Les séquences de cibles présentées au sujet sont GD (gauche-droite) et DG (droite-gauche). Bas : organisation temporelle d'un essai.

Numéro de séparation	Séparation angulaire	Paire de HP
1	6°	5, 7
2	10°	4, 8
3	14°	3, 9
4	18°	2, 10
5	22°	1, 11

TAB. 3: Séparations angulaires utilisées dans cette expérience, et la paire de haut-parleurs impliquée. On obtient la séparation cible-distracteur en divisant ces angles par deux.

dans [15] (voir figure 2).

Comme illustré au bas de la figure 2, cette tâche utilisait une procédure 2AFC (deux alternatives à choix forcé). Pour un essai donné, le haut-parleur distracteur était alimenté en premier et maintenu durant la totalité de l'essai. Son attaque était suivie après 700 ms par l'attaque de la première cible, maintenue 300 ms, puis suivie après 200 ms par l'attaque de la seconde cible, également maintenue 300 ms. Le distracteur continuait à être joué 700 ms après la fin de la seconde cible, si le sujet n'avait pas répondu entre-temps. Les deux cibles étaient jouées sur des haut-parleurs différents, en fonction de la séparation angulaire désirée (voir le tableau 3). La tâche du sujet était d'indiquer, pour chaque essai et à l'aide d'un clavier, si la séquence formée des deux sons cibles était une séquence gauche-droite ou droite-gauche. Aucun retour sur l'exactitude de sa réponse ne lui était fourni.

Le seuil de RSB faisant d'une séparation donnée un MAA a été obtenu en utilisant une méthode adaptative détaillée en section 2.7.

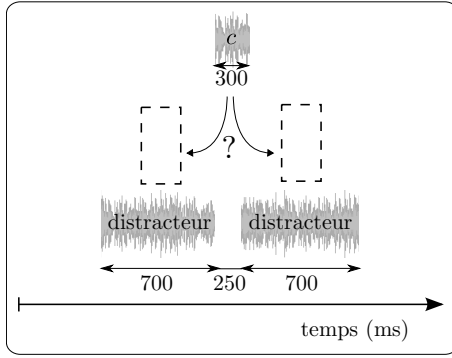


FIG. 3: Organisation temporelle d'un essai pour la tâche d'audibilité.

2.6 Procédure de la tâche 2

Comme illustré figure 3, et calqué sur la tâche 1, cette tâche utilisait une procédure 2AFC. Pour chaque essai, deux intervalles contenant chacun un son distracteur/masqueur de 700 ms étaient présentés au sujet, séparés par un silence de 250 ms. Dans un de ces deux intervalles était ajouté un son cible de 300 ms, centré temporellement sur l'intervalle. La cible était jouée aléatoirement dans le haut-parleur de gauche ou de droite de la paire impliquée dans la séparation angulaire désirée (voir la table 3). La tâche du sujet était d'indiquer lequel des deux intervalles contenait la cible à l'aide d'un clavier. Aucun retour sur l'exactitude de sa réponse ne lui était fourni.

Le RSB de masquage de la cible a été obtenu en utilisant une méthode adaptative détaillée en section 2.7.

2.7 Paramétrage de la méthode adaptative

Pour chacune des deux tâches décrites précédemment, le niveau de la cible était ajusté d'essai en essai en utilisant une méthode adaptative composée d'un escalier à pas fixes. Le niveau du distracteur était quant à lui maintenu fixe (égalisé en sonie avec le stimulus cible à 52 dBA). Comme décrit par García-Pérez [16, 17], les paramètres de l'escalier ont été choisis avec attention pour assurer une convergence fiable vers le niveau de performance théorique escompté.

Suivant au plus près ses recommandations, les escaliers utilisés dans cette expérience ont été paramétrés comme suit. Ils étaient basés sur une règle du type 2-descendant/1-montant. La taille des pas montant et descendant étaient inégaux (respectivement 3 dB et 1.6464 dB) et choisis de manière à respecter un rapport optimal² de 0.5488, visant ainsi une performance du sujet de 80.35 %. Chaque bloc était composé de deux escaliers entrelacés de 14 renversements chacun. Avant ces deux escaliers était réalisée une phase préliminaire constituée d'un escalier de type 1-descendant/1-montant avec une valeur initiale confortablement au-dessus du seuil présumé, et arrêté après 3 renversements, afin d'approcher rapidement la région seuil. Ensuite, la paire

²Selon García-Pérez, il est nécessaire de respecter ce rapport optimal pour s'assurer que la performance théorique visée est bien celle obtenue en pratique.

d'escaliers prenait le relais avec le niveau de stimulus cible suivant. Aucune limite n'était imposée au niveau de présentation du stimulus cible, mais en pratique les rapports de signal-sur-bruit oscillaient entre 26 dB et -50 dB.

2.8 Analyse des données

Les pics et les vallées de tous les renversements (excepté la phase préliminaire) ont été utilisés pour estimer les seuils de performance à 80.35 %.

En plus des dix sujets qui ont participé à cette expérience, trois ont été abandonnés en raison de leur incapacité à réaliser la tâche dans certaines des conditions, et de leur faible performance globale comparé aux autres sujets. Huit cas marginaux sur 150 valeurs seuil (c'est-à-dire 5.3 % des données) ont été remplacés par la moyenne du groupe correspondant pour la tâche GD/DG, et un cas marginal sur 150 valeurs seuil (0.6 % des données) pour la tâche d'audibilité.

Deux analyses de variances (ANOVA) à mesures répétées ont été menées (une pour chaque type de tâche), la bande de distracteur et la séparation angulaire traitées comme variables indépendantes, et le RSB comme variable dépendante.

Des comparaisons par paires ont été réalisées avec des tests *t* en utilisant la correction de Bonferroni, pour tester la significativité des différences de moyennes entre les deux types de tâches, ainsi que des moyennes entre les bandes de distracteur.

Une analyse de tendance a été réalisée en utilisant des contrastes linéaires. Cela a permis de tester l'effet de la séparation angulaire au sein d'une bande de distracteur, ainsi que l'effet de la bande de distracteur pour une séparation donnée.

Des régressions linéaires ont également été réalisées pour estimer l'importance de l'effet de la bande de distracteur et de la séparation angulaire sur le RSB, pour la tâche GD/DG comme pour la tâche d'audibilité.

3 Résultats

La figure 4 donne les valeurs seuil moyennes sur tous les participants, groupés par bande de distracteur.

D'après l'analyse de variance, la bande de distracteur et la séparation angulaire ont un effet significatif pour les deux types de tâches, respectivement $F(2, 18) = 36,9$, $p < 0,001$ et $F(4, 36) = 52,2$, $p < 0,001$ pour la tâche GD/DG, et $F(2, 18) = 1310,7$, $p < 0,001$ et $F(4, 36) = 24,7$, $p < 0,001$ pour la tâche d'audibilité. Leur interaction est également significative pour la tâche GD/DG ($F(8, 72) = 12,2$, $p < 0,001$); cependant ce n'est pas le cas pour la tâche d'audibilité.

Le tableau 4 donne les niveaux de significativité des différences entre les moyennes des deux types de tâche pour chaque séparation de chaque bande de distracteur, obtenues avec les comparaisons par paires.

Concernant l'effet de la bande du distracteur sur le seuil d'audibilité (tâche 2), les comparaisons par paires indiquent systématiquement, pour chaque séparation, un effet significatif ($p < 0.001$).

L'analyse de tendance montre que quel que soit le type de tâche considéré, l'effet de la séparation angulaire

BD →	0	1	4
Séparation 6°	*	**	***
10°		*	***
14°			**
18°	**		*
22°	**	*	

TABLE 4: Comparaison par paires des différences entre les moyennes des deux types de tâche, en utilisant des tests t avec la correction de Bonferroni. Codes de significativité : *** 0 – 0.001, ** 0.001 – 0.01, * 0.01 – 0.05.

a une tendance linéaire significative ($p < 0,001$) pour toutes les bandes de distracteur. En ce qui concerne plus particulièrement la tâche d’audibilité, l’effet de la bande du distracteur a une tendance linéaire significative ($p < 0,001$) pour toutes les séparations.

Pour la tâche GD/DG, l’effet de la bande du distracteur n’a de sens que lorsque le seuil mesuré est significativement supérieur au seuil d’audibilité, autrement cela signifie que derrière la tâche GD/DG se cache en réalité une tâche d’audibilité de la cible (c’est-à-dire tant que le sujet entend la cible, il parvient à faire la tâche). Ainsi, en ne considérant que les séparations pour lesquelles le seuil mesuré est significativement supérieur au seuil d’audibilité, ces résultats n’apportent aucune preuve de l’effet de la bande du distracteur pour la tâche GD/DG. En ne retenant que les parties non-asymptotiques des courbes (c’est-à-dire les valeurs seuil significativement supérieures au seuil d’audibilité), l’importance de l’effet de la séparation angulaire est de -2.2 dB et -2.5 dB par degré respectivement pour les bandes de distracteur 1 et 4 (autrement dit, $0.45^\circ/\text{dB}$ et $0.39^\circ/\text{dB}$). Il n’est pas possible de calculer cette valeur pour la bande 0, puisqu’une seule séparation angulaire (6°) donne une valeur seuil significativement supérieure au seuil d’audibilité.

Parce que l’analyse de variance n’a montré aucune interaction significative entre la séparation angulaire et la bande de distracteur pour la tâche d’audibilité, l’importance de ces effets sont donnés par séparations angulaires ou bandes de distracteur groupés. L’effet de la séparation angulaire est de -0.30 dB/°. Cette valeur correspond à une mesure de démasquage spatial. L’effet de la bande du distracteur est de -8.48 dB/ERB.

4 Discussion

Comme attendu, pour chaque bande de distracteur, à partir d’une certaine séparation angulaire, la différence entre les seuils obtenus par les deux types de tâche devient non-significative. Cependant, un phénomène intéressant est que, pour la séparation la plus large avec la bande de distracteur à 0 ou 1 ERB, le seuil de RSB moyen pour la tâche GD/DG est significativement sous le seuil d’audibilité. Cela pourrait être dû au fait que pour la tâche GD/DG, les sujets portent plus d’attention aux aspects spatiaux de la scène que lors de la tâche d’audibilité (à cause de la nature même de la tâche), ce qui pourrait les aider à améliorer leur ségrégation de la cible et du distracteur. Cela signifierait que la tâche utilisée dans cette expérience pour mesurer le seuil d’audi-

bilité sous-estime le démasquage spatial pour les larges séparations angulaires.

5 Conclusion

Ces résultats ont une application directe dans le domaine du codage audio multicanal, en donnant d’une part un seuil de masquage d’une source cible en fonction de sa fréquence et position relatives aux sources distractrices. Mais surtout, lorsque cette source demeure audible (c’est-à-dire que son niveau sonore est supérieur à son seuil d’audibilité dans cette même condition), la connaissance de son MAA constitue un masquage supplémentaire à exploiter. Le gain le plus conséquent semble donc se situer là où les écarts fréquentiels entre la cible et le distracteur sont importants, car le masquage énergétique y est faible.

Il est également possible d’appliquer ces résultats au mixage ambiophonique, puisqu’ils donnent à l’ingénieur du son une idée des régions qui assurent une résolution spatiale fine à un instant donné. Par conséquent il ou elle peut essayer de privilégier celles-ci lorsqu’il souhaite une perception maximale de l’espace pour mettre en valeur un effet particulier.

Une étude en cours vise à étendre celle-ci à d’autres fréquences cibles (notamment 700 et 5000 Hz), ainsi qu’à des positions azimutales du distracteur autres que 0° .

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les sujets qui ont participé au pilotage de cette expérience, ainsi que l’équipe technique du CIRMMT.

Références

- [1] Blauert J. *Spatial Hearing : The Psychophysics of Human Sound Localization*. Mit Press, 1997.
- [2] Oldfield S.R., Parker S.P.A. “Acuity of sound localization : a topography of auditory space. I. Normal hearing conditions”. *Perception*, 13(5) :581—600, 1984.
- [3] Mills A.W. “On the Minimum Audible Angle”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 30(4) :237–246, April 1958.
- [4] Hafter E.R., Buell T.N., Basiji D.A., Shriberg E.E. “Discrimination of direction in the free field”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83(S1) :S122, May 1988.
- [5] Perrott D.R., Saberi K. “Minimum audible angle thresholds for sources varying in both elevation and azimuth”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87(4) :1728–1731, April 1990.
- [6] Braasch J., Hartung K. “Localization in the Presence of a Distracter and Reverberation in the Frontal Horizontal Plane. I. Psychoacoustical Data”. *Acta Acustica united with Acustica*, 88 :942–955, November 2002.

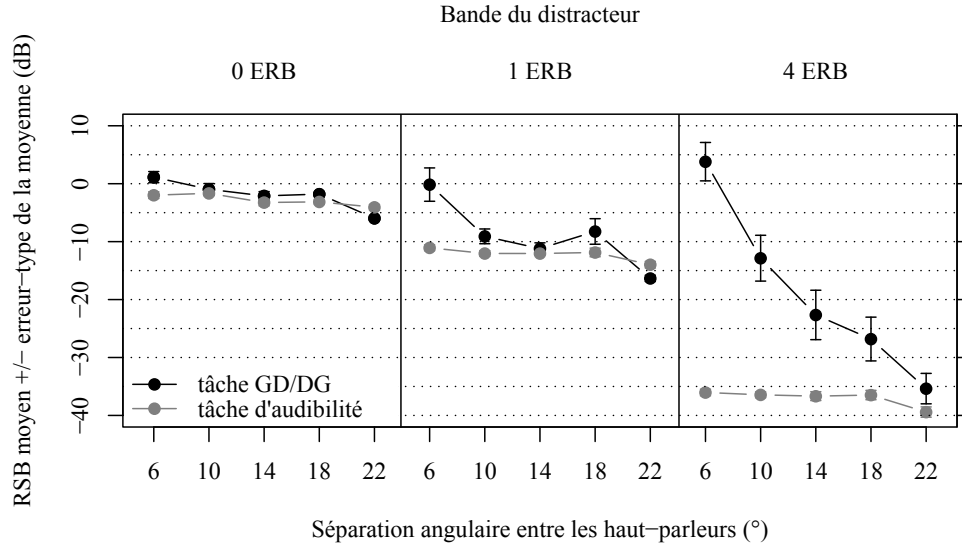


FIG. 4: Seuils de rapport signal-sur-bruit (RSB) moyens sur tous les participants pour une fréquence centrale cible de 1400 Hz. Les barres verticales représentent l'erreur type de la moyenne. À noter qu'un RSB de 0 dB correspond à un distracteur et une cible joués aux niveaux donnés dans la colonne de gain de la table 1.

- [7] Kelly M.C., Tew A.I. “A novel method for the efficient comparison of spatialization conditions”. *Audio Engineering Society*; 1999, 2003.
- [8] Marentakis G., Griffiths C., McAdams S. “Spatial change in musical scenes”. (*in preparation*).
- [9] Marentakis G., Peters N., McAdams S. “Auditory resolution in auditory virtual environments”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(5) :3054, November 2007.
- [10] Marentakis G., Peters N., McAdams S. “Auditory resolution in virtual environments : Effects of spatialization algorithm, off-center listener positioning and speaker configuration”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5) :3798, May 2008.
- [11] Daniel A., Marentakis G., Guastavino C., McAdams S. “Minimum audible angle in the presence of one distracter”. (*in preparation*).
- [12] Glasberg B.R., Moore B.C. “Derivation of auditory filter shapes from notched-noise data”. *Hearing Research*, 47(1-2) :103–38, August 1990. PMID : 2228789.
- [13] Patterson R.D., Robinson K., Holdsworth J., McKeown D., Zhang C., Allerhand M. “Complex sounds and auditory images”. *Auditory Physiology and Perception*, page 429–446, 1992.
- [14] Saberi K., Dostal L., Sadralodabai T., Bull V. “Free-field release from masking”. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90(3) :1355–1370, 1991.
- [15] Hartmann W.M., Rakerd B. “On the minimum audible angle—A decision theory approach”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85(5) :2031–2041, May 1989.
- [16] García-Pérez M.A. “Forced-choice staircases with fixed step sizes : asymptotic and small-sample properties”. *Vision Research*, 38(12) :1861–1881, June 1998.
- [17] García-Pérez M.A. “Optimal setups for forced-choice staircases with fixed step sizes”. *Spatial Vision*, 13(4) :431–448, 2000. PMID : 11310536.