Estimation de la distance de sources sonores mobiles simulées

Mathieu Paquier, Clément Rappin, Etienne Hendrickx, Vincent Koehl

▶ **To cite this version:**

Mathieu Paquier, Clément Rappin, Etienne Hendrickx, Vincent Koehl. Estimation de la distance de sources sonores mobiles simulées. 16ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2022, Marseille, France. hal-03648782

HAL Id: hal-03648782
https://hal.science/hal-03648782

Submitted on 21 Apr 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

16ème Congrès Français d'Acoustique
11-15 Avril 2022, Marseille

Estimation de la distance de sources sonores mobiles simulées

M. Paquier [a], C. Rappin [a], E. Hendrickx [a], V. Koehl [a]

[a] Lab-STICC, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

Plusieurs études ont indiqué une sous-estimation de la distance de sources sonores, plus particulièrement pour les sources mobiles s'approchant de l'auditeur, et lorsque celles-ci se déplacent à grande vitesse. Cependant, dans ces études, les sources sonores étaient soit synthétisées et diffusées dans le silence, soit enregistrées en conditions réelles, mais pour des vitesses lentes uniquement. Dans une étude récente, des enregistrements binauraux d'un haut-parleur (diffusant un bruit blanc, un signal carré ou un klaxon de voiture) installé sur un scooter électrique se déplaçant rapidement ont été réalisés dans un stade (extérieur) et dans une salle assez réverbérante. Étonnamment, aucune sous-estimation de la distance n'a été constatée (que les sources soient fixes, se rapprochent ou s'éloignent). Pour mieux comprendre ces résultats, des sons correspondant exactement aux mêmes mouvements ont été synthétisés (sans bruit de fond, contrairement aux enregistrements réalisés dans les environnements réels). Les résultats des estimations de distance de sources réelles et synthétisées seront présentés.

1 Introduction

Dans cet article est tout d'abord présentée une expérience (A) réalisée en 2018, portant sur la perception de la distance de sources sonores réelles se rapprochant ou s'éloignant d'un auditeur. Les résultats n'étaient pas en concordance avec la littérature (dans laquelle les sources étaient très souvent synthétisées). La seconde expérience présentée (B) reprend les conditions expérimentales de l'expérience A, mais avec des sources synthétisées, présentées dans le silence ou dans le bruit présent lors de l'expérience A.

1.1. Indices pour l'évaluation de la distance

Intensité

En champ libre et lointain, si on considère une source sonore produisant une onde sphérique, le niveau sonore décroit de 6dB par doublement de la distance. Un auditeur est capable d'identifier la distance de la source statique si celle-ci est connue (en identifiant son niveau relatif) ou la modification de la distance si la source se déplace (en identifiant la modification de niveau).

Rapport champ direct/champ diffus

En environnement réel, la présence d'éléments réfléchissants (sol, murs, mobilier…) engendre de la réverbération. Lorsqu'une source sonore est éloignée de l'auditeur, celui-ci perçoit plus de champ réverbéré que de champ direct. En analysant le rapport champ direct/champ diffus il est donc possible d'identifier la position absolue de la source. Mershon et King [1] ont montré que la perception de la distance était plus précise en environnement réverbérant qu'en environnement anéchoïque. En revanche, même si le rapport champ direct/champ réverbéré permet l'estimation d'une distance absolue, Zahorik et al. [2] ont démontré que cet indice est moins précis que l'analyse de de l'intensité pour la détection de variation de la position d'une source (source mobile).

Coloration spectrale

En champ libre, et pour les grandes distances, la viscosité de l'air et la conduction thermale entre zones compressées et expansées engendrent une dissipation de l'énergie en haute fréquence [3]. En champ diffus, les sols, murs, mobilier… modifient aussi le spectre de la source. Enfin, en champ proche (source à moins d'un mètre), le corps de l'auditeur (torse, tête) lui-même modifie le spectre en fonction de la distance de la source. Sauf dans le cas d'une connaissance préalable de la source, ces indices de coloration spectrale, comme l'intensité, donnent des informations sur la position relative d'une source et non sur sa position absolue si celle-ci est statique.

Indices binauraux

En analysant l'influence de la rotation de la tête sur l'évolution des différences interaurales de temps, il est possible d'estimer la distance absolue d'une source [4]. Par ailleurs, même sans mouvement de tête, pour les sources proches (moins d'un mètre), la distance peut être estimée en exploitant la différence interaurale de niveau, dont la dépendance à l'azimut augmente quand la source se rapproche [5].

1.2. Sous-estimation de la distance

Selon Cutting et Vishton [6] l'espace nous entourant peut être décomposé en trois régions : le « personnal space » ($d<2m$), l'« action space » ($2<d<30m$) et le « vista space » ($d>30m$).

Plusieurs études ont indiqué que pour des sources sonores statiques, la distance perçue par un auditeur est plus petite que la distance réelle, du moins dans les régions « action space » et « vista space ».

Cette sous-estimation est d'autant plus franche lorsque la source émet en champ libre [2]. Pour les sources proches (« personnal space », $d<2m$), l'estimation est généralement plus juste, voire surestimée.

1.3 Cas des sources mobiles

Plusieurs études ont montré que dans le cas particulier des sources se déplaçant, la distance de la source est davantage sous-estimée lorsque la source se rapproche que lorsqu'elle s'éloigne, et cette sous-estimation asymétrique est d'autant plus flagrante lorsque la vitesse de la source est rapide et lorsque la source est proche de l'auditeur. Cette sous-estimation a été interprétée comme une marge de sécurité nous permettant de réagir dans le cas où la proximité d'une source pourrait être une source de danger [7,8].

Les méthodes d'exploration de la perception de la distance de sources mobiles sont multiples : évaluation de l'instant du contact avec une source se rapprochant [9,10,11] estimation de la vitesse [12], évaluation de la distance égocentrique du point d'arrivée [9], évolution de sonie [13].

Sources généralement synthétisées

De rares études ont utilisé des sources réelles, et les vitesses de déplacement de celles-ci étaient lentes [14]. Pour

la majorité des études, les sources étaient synthétisées, d'une simple variation d'intensité pour refléter le mouvement de la source, à une synthèse complexe intégrant aussi évolution de l'ITD, effet Doppler, réverbération, HRTFs…. Lutfi et Wang 1999 [15] ont indiqué l'importance des différents indices pour l'évaluation de la distance, en fonction de la vitesse de la source : intensité et ITD (source<1m) pour les sources lentes (10m/s ou 36km/h), effet Doppler pour les sources rapides (50m/s ou 180km/h).

2 Expérience A : sources réelles [16]

2.1 Matériel et méthode

Enregistrements

Une enceinte sans fil, embarquée sur une trottinette électrique, s'est rapprochée/éloignée d'une tête artificielle (sur sa droite) en diffusant du bruit blanc, un signal carré ou un klaxon (figure 1). Les enregistrements ont été effectués sur un stade (« champ libre »), et dans un grand hall (« champ diffus » - Tr60=2s).

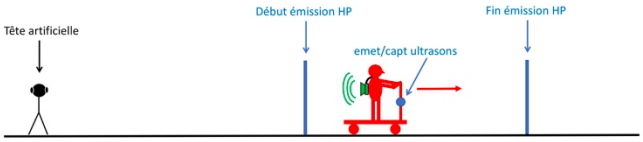

Figure 1 – Dispositif de captation binaurale du son diffusé par l'enceinte embarquée sur la trottinette électrique. Le passage devant des panneaux (en bleu) d'un émetteur/capteur d'ultrasons posé sur la trottinette permettait de déclencher/stopper avec précision l'émission du son par l'enceinte.

Les différentes positions statiques et les différents trajets (et vitesses) de l'enceinte embarquée sont résumés sur la figure 2.

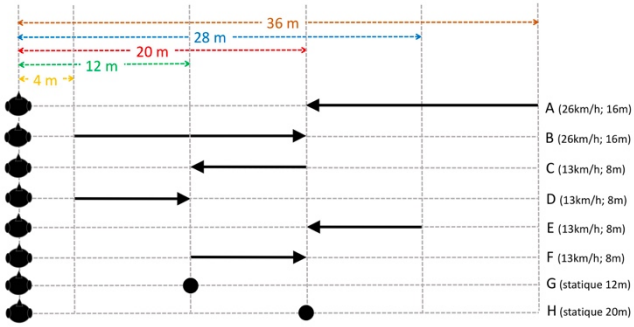

Figure 2 – Différents trajets et vitesses (cas A à F) et positions statiques (cas G et H) utilisés.

Protocole de test

La tâche des sujets, après avoir écouté les enregistrements issus de la tête artificielle, était d'évaluer la distance égocentrique du point d'arrivée de la source (ou le point fixe si la source était statique) en indiquant sur un clavier une distance en mètres.

Le test était décomposé en deux parties (« champ libre » et « champ diffus »), et chaque partie en trois sous-parties (une sous-partie pour chacun des trois extraits).

Pour chacune des sous-parties, avant les séquences de test proprement-dites, un entraînement était effectué : les sujets entendaient l'extrait diffusé à 2m puis à 36m (avec les distances indiquées à l'écran). Cet entraînement permettait au sujet d'établir une sorte d'échelle de distance. Ensuite (et cela pour chaque sous-partie), chacune des 8 sources (statique ou en mouvement) était proposée (et sa distance estimée par le sujet) à 3 reprises.

Le niveau de diffusion était ajusté de façon à obtenir 79 dB SPL pour les stimuli à 2m.

Bruit de fond

Même si une trottinette électrique est relativement peu bruyante, le son de celle-ci avant et après le déclenchement de l'enceinte aurait été perçu par les auditeurs si les enregistrements bruts avaient été diffusés. Les sons enregistrés ont donc été coupés avant le déclenchement de l'enceinte embarquée. En revanche le son de la trottinette après extinction de l'enceinte embarquée ne pouvait être supprimé car il était confondu avec les réflexions (en particulier dans le hall). Pour masquer le bruit de la trottinette après l'extinction du son, le bruit de fond du lieu a été enregistré séparément, amplifié et diffusé, de façon continue, pendant l'ensemble du test (bruit de fond du hall ou bruit de fond dehors, selon la partie concernée).

2.2 Résultats

Surestimation de la distance

L'erreur [distance estimée – distance réelle] s'est révélée positive, que la source soit fixe, qu'elle se rapproche ou qu'elle s'éloigne (tous points d'arrivée réels, vitesse et extraits confondus - figure 3). Cela signifie que les auditeurs ont toujours surestimé la distance de la source (alors que la littérature indique une sous-estimation de la distance des sources sonores [12, 14]).

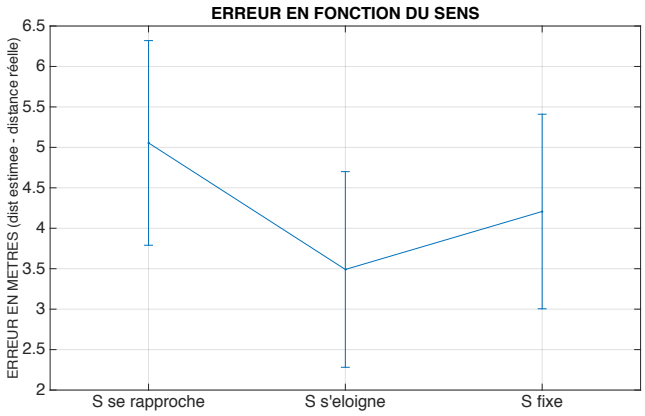

Figure 3 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètres pour une source fixe, se rapprochant ou s'éloignant.

Pas d'effet du mouvement

Aucun effet du mouvement (source statique, se rapprochant ou s'éloignant) n'a été constaté sur l'erreur d'estimation de la distance (figure 3 - p=0.2 indiqué par l'ANOVA à mesures

répétées). En considérant uniquement les sources jouées dans le hall (champ réverbéré), les sources se rapprochant ont été perçues plus éloignées que les sources s'éloignant ou fixes (respectivement p=0.004 et p=0.035 d'après un post-hoc de Bonferroni). D'après la littérature on pouvait s'attendre à ce que les sources se rapprochant soient perçues plus proches que les sources s'éloignant [14].

Effet de la réverbération

L'erreur était significativement plus importante pour les sons enregistrés dans le hall que pour ceux enregistrés dehors (figure 4 - p=0.019). Les sources émettant en champs diffus ont donc été perçues plus éloignées que celles émettant en champ libre. Cela correspond aux données de la littérature [2] (à la différence près que toutes ces distances devraient être sous-estimées et non surestimées).

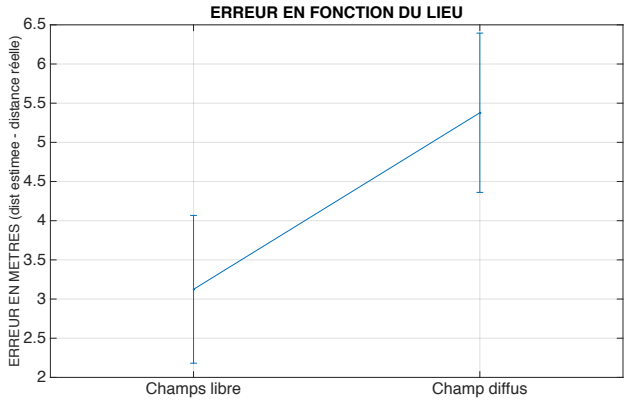

Figure 4 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètres pour les sources émettant en champ libre (dehors) ou en champ diffus (hall).

Effet de l'extrait

L'ANOVA a indiqué un effet significatif de l'extrait (p=0.007) et un post-hoc de Bonferroni a indiqué que l'erreur obtenue avec le klaxon était significativement plus grande que l'erreur obtenue avec le signal carré (figure 5).

Neuhoff avait indiqué que la distance des sons se rapprochant était sous-estimée (par rapport aux sons s'éloignant) pour les signaux harmoniques uniquement [14], ce qui est le cas pour le signal carré, un peu avec le klaxon (contenu de raies distinctes partiellement harmoniques), et pas du tout avec le bruit blanc.

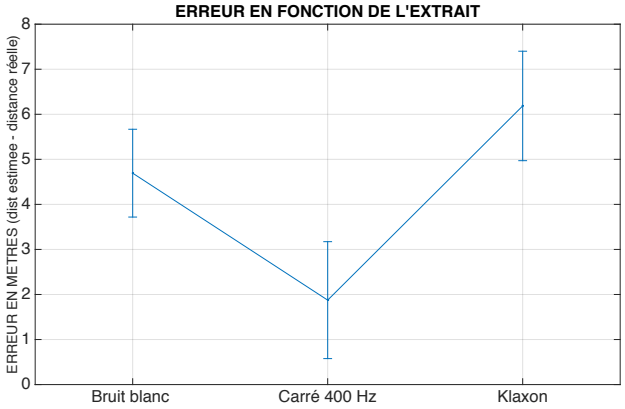

Figure 5 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètre obtenue pour les différents extraits.

Effet du point d'arrivée réel

L'erreur, positive, était plus grande pour les sources cessant d'émettre à 12m que pour les sources cessant d'émettre à 20m (figure 6, p=0.012). Cela signifie que la distance de la source était davantage surestimée lorsque celle-ci était proche de l'auditeur. La littérature indiquait au contraire que la distance d'une source était davantage sous-estimée lorsque celle-ci était proche de l'auditeur [9].

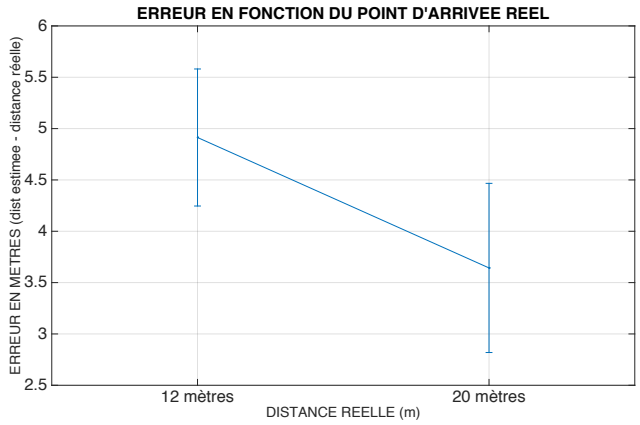

Figure 6 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètres pour les sources cessant d'émettre à 12m et 20m.

Effet de la vitesse

La source était perçue plus proche lorsque la vitesse était grande (p<0,0001). Mais –contrairement à ce qui pouvait être attendu- cette observation était moins flagrante pour les sources se rapprochant (figure 7).

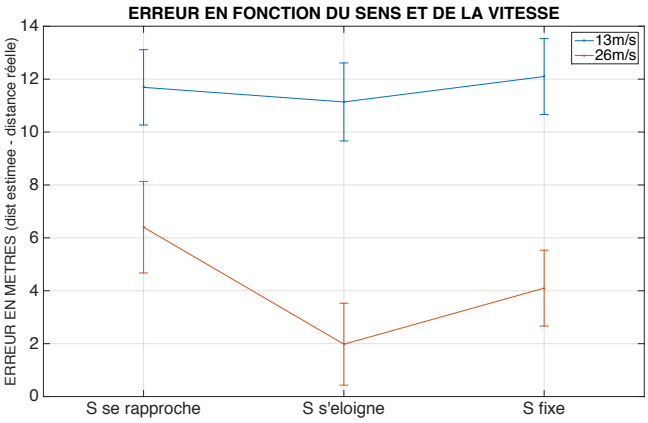

Figure 7 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètres en fonction de la vitesse et du mouvement.

2.3 Discussion (Expérience A)

Cette étude avec des sources réelles n'a vérifié ni la sous-estimation de la distance de sources statiques [2], ni l'augmentation de cette sous-estimation lorsque les sources se rapprochent de l'auditeur [12,14]. Les différences avec les études passées peuvent avoir plusieurs origines :

- un bruit de fond était présent dans les enregistrements réels et non dans les stimuli de synthèse de la littérature.
- les signaux carré et bruit blanc sont non « réalistes » et les sujets devaient établir leur échelle de distance uniquement d'après les stimuli étalon à 2m et 36m, en début de chaque

sous-partie du test. Il est possible que cet « entrainement » soit insuffisant… mais il était tout aussi sommaire (voire absent) dans les études précédentes (qui utilisent le même type de sources).
- Dans cette expérience, les trajets étaient courts comparés à ceux utilisés dans les études précédentes. La décroissance de niveau était inférieure à 5 dB en champ libre, et encore moins en champ diffus. De plus la durée des trajets était courte et la vitesse lente, par rapport à la plupart des études précédentes. Il est imaginable qu'avec des trajets si courts, les sujets aient effectué une sorte de moyenne des points d'arrivée et de départ, ce qui expliquerait l'absence de sous-estimation pour les sons en mouvements… mais pas pour les sons statiques.

3 Expérience B : sources synthétiques

3.1 Matériel et méthode

Pour vérifier si la non-concordance des résultats de l'expérience A avec les études précédentes était due à la présence de bruit de fond, une nouvelle expérience a été menée avec des sources synthétiques (en champ libre), présentées AVEC ou SANS bruit de fond. Dans cette seconde expérience, les caractéristiques des sources (position des sources statiques, vitesses et points de départ et d'arrivée des sources en mouvement) étaient exactement les mêmes que dans l'expérience A (figure 2), et le bruit de fond ajouté était celui enregistré en extérieur lors de l'expérience A (son identique, même niveau et rapport signal/bruit).
Les sons ont été synthétisés d'après la méthode utilisée par Neuhoff et al [9] : Cette synthèse intègre la contribution de l'onde directe entre la source et le récepteur, ainsi que celle de l'onde se réfléchissant sur le sol. Elle intègre aussi l'effet Doppler, la dispersion de l'air (filtrage coupe-haut pour les sources lointaines), et la convolution par les HRTF de la tête artificielle KU100 (pour les positions de la source réelle et la source image liée à la réflexion sur le sol).
Les niveaux de diffusion des sources statiques et du bruit sont indiqués sur la figure 8.
Notons que dans la condition « bruit de fond », le bruit était diffusé de façon continue, tout au long du test.
19 sujets entre 20 et 23 ans ont participé à l'étude. Le protocole de test était absolument semblable à celui utilisé dans l'expérience A.

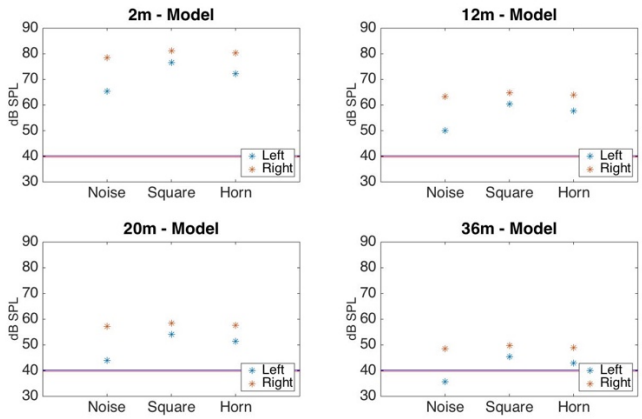

Figure 8 – Niveaux de diffusion des sources statiques et du bruit de fond (extérieur) déjà utilisé dans l'expérience A.

3.2 Résultats

Effet du bruit de fond
L'erreur [distance estimée – distance réelle] est apparue significativement plus grande pour les sources écoutées dans le bruit que pour les sources écoutées dans le silence (figure 9 - p=0.019). Néanmoins l'erreur était positive (donc la distance surestimée) que le bruit de fond soit présent ou non. La présence de bruit de fond augmente donc la distance perçue, mais ne suffit pas pour expliquer la surestimation de la distance observée dans l'expérience A.

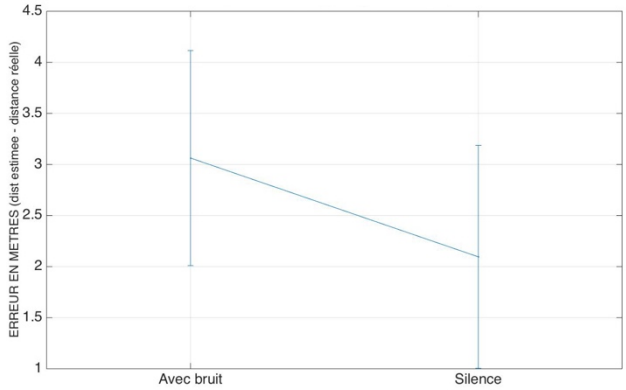

Figure 9 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètres pour des sources présentées dans un bruit de fond ou dans le silence.

Effet de l'extrait
Comme pour l'expérience A, L'ANOVA a indiqué un effet significatif de l'extrait (p<0001) et un post-hoc de Bonferroni a indiqué que les erreurs de localisation étaient significativement différentes entre les trois extraits (p<0.0001 quel que soit la paire comparée). La différence avec l'expérience A est qu'une translation vers l'avant de la distance perçue est observée : ainsi, la distance de la source diffusant un signal carré n'est pas surestimée. Cet effet a été observé que les sources soient présentées dans du bruit ou non (pas d'interaction fond/extrait : p=0.188).

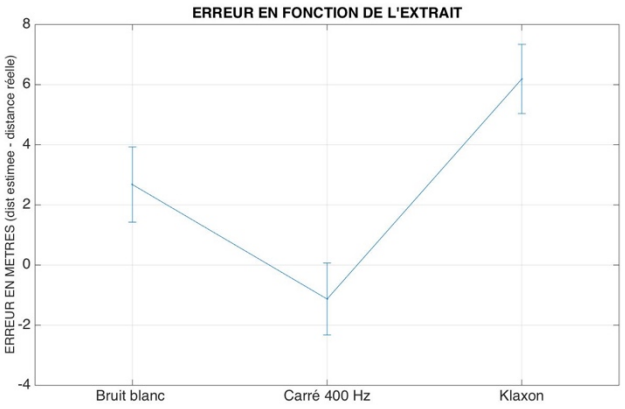

Figure 10 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètre obtenue pour les différents extraits.

Effet du mouvement

Le mouvement de la source a eu un effet significatif sur l'erreur (figure 11 - p<0.0001 pour l'ANOVA et les post-hoc de Bonferroni). L'erreur s'est révélée positive pour les sources statiques et se rapprochant, et négative pour les sources s'éloignant. La distance des sources a donc été légèrement sous-estimée pour les sources s'éloignant, légèrement surestimée pour les sources fixes, et encore plus surestimée pour les sources se rapprochant. Cette différence entre les mouvements a été observé que les sources soient présentées dans du bruit ou non (pas d'interaction mouvement/fond : p=0.115), et pour tous les extraits (malgré une interaction significative mouvement/extrait : p=0.008 – figure 12),

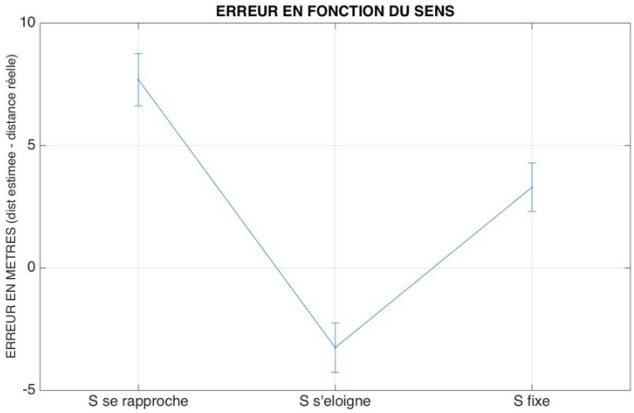

Figure 11 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètres pour une source fixe, se rapprochant ou s'éloignant.

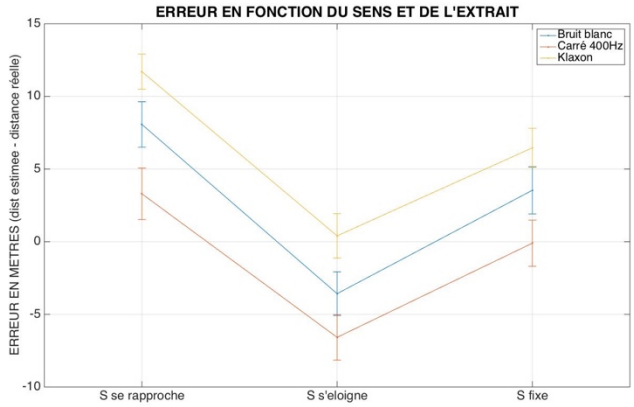

Figure 12 – Erreur (distance estimée – distance réelle) en mètres pour une source fixe, se rapprochant ou s'éloignant, pour les trois extraits Bruit blanc, signal carré, et klaxon.

Effet de la vitesse

L'erreur [distance estimée – distance réelle] s'est révélée positive quelle que soit la vitesse, néanmoins la source était perçue plus proche lorsque la vitesse était grande (p<0,001). Cet effet de la vitesse a été observé que les sources soient présentées dans du bruit ou non (pas d'interaction vitesse/fond : p=0.361), et pour tous les extraits et les mouvements (malgré des interactions significatives vitesse/extrait: p=0.115 et vitesse/mouvement : p<0.001– figure 13).

Effet du point d'arrivée réel

Les points d'arrivée des sources cessant d'émettre à 20m ont logiquement été perçus plus éloignés que ceux des sources cessant d'émettre à 12m. Néanmoins aucune différence significative entre les erreurs [distance estimée – distance réelle] n'a été observée entre les deux points d'arrivée (p=0.8). Le degré d'erreur sur la perception de la distance ne dépend donc pas de la distance physique de la source synthétisée. Cela est globalement valable quels que soient l'extrait et le mouvement de la source (figure 14), malgré des interactions significatives point d'arrivée/extrait (p=0,002) et point d'arrivée/mouvement (0.006).

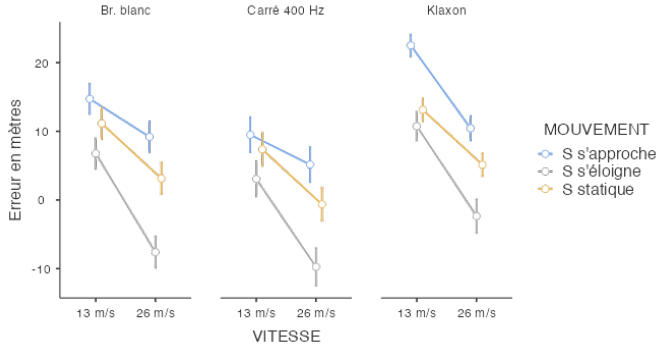

Figure 13 – Erreur en mètres en fonction de la vitesse, de l'extrait et du mouvement.

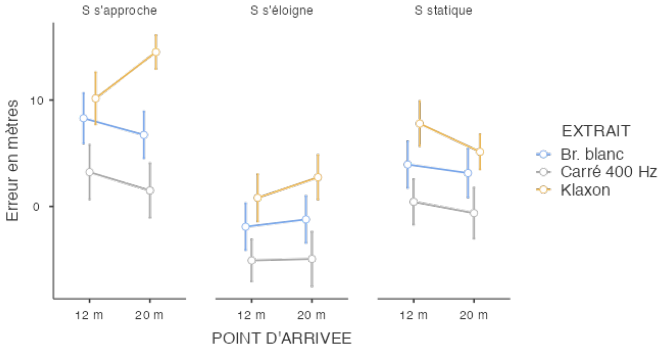

Figure 14 – Erreur en mètres en fonction du point d'arrivée physique, de l'extrait et du mouvement.

4 Discussion générale et conclusion

Surestimation inattendue de la distance des sources

Dans la plupart des cas (en omettant le cas d'un signal carré s'éloignant à vitesse rapide), la distance du point d'arrivée des sources a été surestimé. Cette observation n'est pas en accord avec plusieurs études passées, que les sources soient statiques [2] ou mobiles [14]. Pourtant elle a été observée dans l'expérience A (sources réelles) et dans l'expérience B (sources synthétiques, avec ou sans bruit ajouté).

Le bruit blanc et le signal carré ont été choisis car utilisés dans les études précédentes sur l'influence de la vitesse ou du sens de déplacement des sources [9,12,14]. Néanmoins celles-ci utilisaient rarement une tâche de report de la distance en mètres. Ces signaux n'étant associé à aucune

référence dans la vie réelle (en niveau, en spectre…), l'échelle de distance des auditeurs était uniquement donnée par les sources fournies en début de sous-partie à 2m et 36m (simultanément indiquées à l'écran et jouées au casque). Il est possible que cet entrainement ne soit pas suffisant et soit à l'origine de l'absence de sous-estimation. Il a en effet été indiqué que des sources non familières sont mal localisées en distance [17]. Le klaxon est un extrait réel, mais pour des raisons de protection de l'audition, son niveau de diffusion a été rabaissé pendant le test : celui-ci a été fixé à 79dB SPL pour une source à 2m (distance la plus courte testée, donc niveau le plus fort). Or les klaxons réels produisent généralement des niveaux plus élevés (100 à 120 dB SPL à 2m). Ainsi, si les sujets ne se sont pas basés sur les concordances niveau-distance indiquées en début de test, mais sur leur expérience réelle, les distances ont logiquement été surestimées pour le klaxon.

Effet inattendu du sens de déplacement

Pour les sources réelles comme synthétisées, présentées ou non dans du bruit, et quel que soient la vitesse et l'extrait, le point d'arrivée des sources se rapprochant a été perçu plus éloigné que celui des sources s'éloignant (que le point d'arrivée réel soit à 12m ou 20m). Cela s'oppose aux données de plusieurs études passées, néanmoins celles-ci utilisaient des vitesses et longueurs de trajet nettement plus élevées [12] que dans la présente étude. Comme nos trajets étaient courts (en distance et en temps), les sujets pourraient avoir effectué une sorte de moyenne de la distance perçue sur l'ensemble du trajet, au lieu d'estimer le point d'arrivée. Cette hypothèse est confortée par le fait que plusieurs sujets ont indiqué avoir rarement perçu des sources en mouvement (alors que les sources statiques ne constituaient que 2 essais sur 8). Dans le cas d'une source voyageant de 4 à 12m, la distance moyenne est de 8m, alors que pour une source se déplaçant de 20m à 12m, la distance moyenne est de 16m. Ce phénomène pourrait compenser la sous-estimation de la distance de source se rapprochant observée dans des études utilisant des vitesses et trajets plus grands [9].

Par ailleurs les méthodes de report de la distance utilisées dans les études passées [9, 14] étaient souvent différentes du report direct en mètres. On peut imaginer que l'utilisation d'une méthode de report plus simple (par exemple un curseur très proche←→très éloigné [9]) pourrait avoir une influence sur l'effet du sens de déplacement.

Effet de la proximité de la source

Pour les sources réelles de l'expérience A, la distance de la source était davantage surestimée lorsque celle-ci était proche de l'auditeur. Au contraire, pour les sources synthétisées de l'expérience B, l'erreur sur la perception de la distance ne dépendait pas de la distance physique de la source synthétisée. Et d'après la littérature, on pouvait s'attendre à ce que la distance des sources proches soit davantage sous-estimée que celle des sources éloignées [14]. Les petits trajets et vitesses utilisés dans les présentes expériences pourraient justifier ce désaccord.

Pour conclure, une expérience supplémentaire, avec des trajets plus longs et des vitesses plus rapides doit être menée, pour vérifier si ces paramètres sont à l'origine des désaccords entre la littérature et les résultats de la présente étude.

Références

[1] Mershon D, King L. Intensity and reverberation as factors in the auditory perception of egocentric distance. Percep Psychophys 1975;18:409–15.

[2] Zahorik P, Brungart D, Bronkhorst A. Auditory distance perception in humans: a summary of past and present research. Acta Acust united with Ac 2005;91 (3):409–20.

[3] Blauert J. Spatial hearing: the psychophysics of human sound localization. The MIT Press; 1997. [1] Cutting J, Vishton P. Perception of space and motion, chapter perceiving layout and knowing distances: the integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. New-York, USA: Academic Press; 1995. p. 69–117.

[4] Coleman P. Dual rôle of frequency spectrum in determination of auditory distance. J Acoust Soc Am 1968;44(2):631–2.

[5] Brungart D, Durlach N, Rabinowitz W. Auditory localization of nearby sources. II. Localization of a broadband source. J Acoust Soc Am 1999;106(4):1956–68.

[6] Cutting J, Vishton P. Perception of space and motion, chapter perceiving layout and knowing distances: the integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. New-York, USA: Academic Press; 1995. p. 69–117.

[7] Ghazanfar A, Neuhoff J, Logothetis N. Auditory looming perception in rhesus monkeys. Proc Nat Acad Sci USA 2002;99(24):15755–7.

[8] Guski, R. (1992). Acoustic tau: An easy analogue to visual tau? Ecological Psychology, 43, 189–197.

[9] Neuhoff, J. G., Planisek, R., & Seifritz, E. (2009). Adaptive sex differences in auditory motion perception: Looming sounds are special. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35(1), 225 234.

[10] Gordon, M., Edewaard, D., Pacailler, M. (2013) Time-to-arrival discrimination of multiple sound sources. Proceedings of Meetings of Acoustics, Vol.19.

[11] McGuire, A. B., Gillath, O., & Vitevitch, M. S. (2016). Effects of mental resource availability on looming task performance. Attention, Perception, & Psychophysics, 78(1), 107–113.

[12] Neuhoff, J. G. (2016). Looming Sounds are Perceived as Faster than Receding Sounds. Cognitive Research: Principles and Implications 1:15.

[13] Bach, D. R., Neuhoff, J. G., Perrig, W., Seifritz, E. (2008). Looming sounds as warning signals: The function of motion cues. International Journal of Psychophysiology, 74(1) 28-33.

[14] Neuhoff, J. G. (2001). An adaptive bias in the perception of looming auditory motion. Ecological Psychology, 13(2), 87–110.

[15] Lutfi, R. A., & Wang, W. (1999). Correlational analysis of acoustic cues for the discrimination of auditory motion. Journal of the Acoustical Society of America, 106(2), 919–928.

[16] M. Paquier, N. Le Bigot, T.-G. Bara, E. Hendrickx, V. Koehl, Perception de la distance de sources sonores se rapprochant vs. s'éloignant de l'auditeur, Congrès Français d'Acoustique, 23-27 avril 2018, Le Havre, France.

[17] P. McGregor, A. G. Horn, and M. A. Todd, "Are familiar sounds ranged more accurately?," Percept. Mot. Skills, vol. 61, pp. 1082, 1985.