

Sonie directionnelle en basse fréquence

Effet sur des sons purs latéralisés uniquement par des différences de temps

Vincent Koehl et Mathieu Paquier (vincent.koehl@univ-brest.fr)

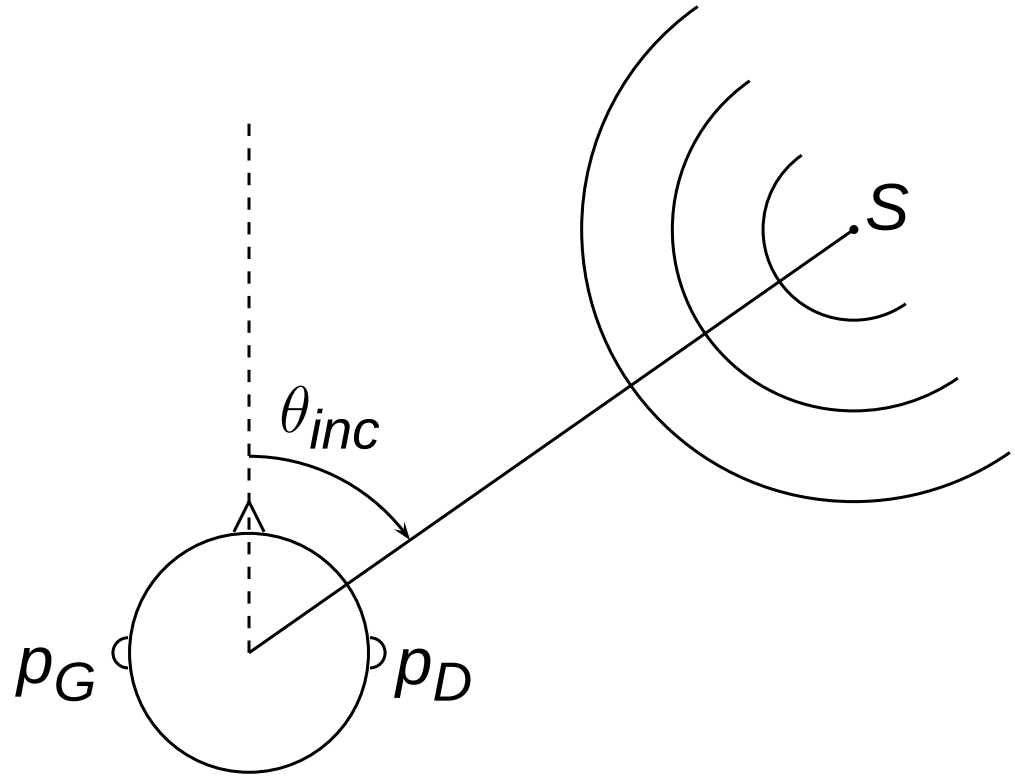
Université de Bretagne Occidentale^{UEB}, Lab-STICC UMR CNRS 6285
6, avenue Victor Le Gorgeu - CS 93837 - 29238 Brest Cedex 3

Résumé

En hautes fréquences, l'ombre acoustique de la tête d'un auditeur modifie le champ sonore et génère des différences de pression entre ses deux oreilles. Ce phénomène est notamment responsable des différences interaurales de niveau (*ILD*) qui nous permettent de localiser des sources pour des fréquences supérieures à 1500 Hz. De plus, la différence de pression entre oreilles droite et gauche étant variable selon l'azimut de la source, la sonie globale issue d'un processus de sommation entre les deux signaux varie elle aussi en fonction de l'azimut. Ce phénomène est connu en tant que sonie directionnelle et a donc surtout été observé au-delà de 1500 Hz. Cependant, des études ont montré que ce phénomène avait lieu dès 400 Hz (où l'influence de la tête de l'auditeur sur le champ sonore est faible) et que la variation de sonie observée pour différents azimuts était supérieure à ce qui pouvait être attendu des mesures de pression sur chaque oreille. Ainsi on peut supposer que les différences interaurales de pression ne sont pas les seules responsables du phénomène de sonie directionnelle et que le simple fait de localiser une source dans une direction donnée peut modifier sa sonie. Afin de vérifier cette hypothèse, des sons purs de fréquence 200 et 400 Hz ont été spatialisés (-90° , -60° , -30° , 0° , $+30^\circ$, $+60^\circ$, $+90^\circ$) au casque en appliquant uniquement des différences interaurales de temps (*ITD*), la pression étant la même sur chaque oreille. Les auditeurs devaient ajuster la sonie des sons tests sur une référence frontale présentée à 40 ou 70 phones. Les résultats montrent qu'à bas niveau et quelle que soit la fréquence, les sons provenant du côté ($\pm 90^\circ$) sont perçus significativement plus forts que la référence frontale. En revanche, aucun effet significatif de l'azimut sur la sonie n'est relevé à 70 phones.

Introduction

Sonie directionnelle : $N(\theta_{inc})$



- ▶ En hautes fréquences (i.e. $f > 1500$ Hz), $p_G \neq p_D$ si $\theta_{inc} \neq 0$, la sonie N est variable en fonction de l'azimut de la source S .
- ▶ En basses fréquences (i.e. $f < 1500$ Hz), $p_G \approx p_D$ quel que soit θ_{inc} , pourtant une variation de la sonie en fonction de l'azimut a été observée dès 400 Hz par Sivonen et Ellermeier (2006) :
 - ▶ $\Delta p_{GD} \approx 0$, mais variable selon les auditeurs (8 sujets),
 - ▶ pour certains auditeurs, la variation de N en fonction de θ_{inc} est supérieure à ce qui pouvait être attendu des mesures de pression sur chaque oreille.

Effets de sonie directionnelle :

- ▶ pas uniquement dûs à des différences interaurales de niveau ?
- ▶ causés également par des différences interaurales de temps ?
- ▶ altérant le processus de sommation binaurale de la sonie.

But de l'étude

- Observer si le phénomène de sonie directionnelle (dépendance de N à θ_{inc}) peut avoir lieu alors que $\Delta p_{GD} = 0$:
- ▶ pour des sons purs en basses fréquences (200 et 400 Hz)
 - ▶ pour lesquels les différences interaurales de niveau sont naturellement faibles voire négligeables,
 - ▶ latéralisés uniquement par des différences de temps,
 - ▶ en s'affranchissant des différences de pression par une diffusion au casque,
 - ▶ à deux niveaux de référence (40 et 70 phones),
 - ▶ le processus de sommation de sonie pouvant dépendre du niveau.

Stimuli

Sons purs (200 et 400 Hz) latéralisés en introduisant une *ITD* selon le modèle de Kuhn (1977) :

$$ITD = \frac{3a}{c_0} \sin \theta_{inc}$$

avec $a = 8.75$ cm (rayon de la tête) et $c_0 = 340$ m.s⁻¹ (célérité du son dans l'air).

Stimulus	f (Hz)	θ_{inc} (°)	ITD (μ s)
1	200	-90	-772
2	200	-60	-669
3	200	-30	-386
4	200	0	0
5	200	+30	+386
6	200	+60	+669
7	200	+90	+772
8	400	-90	-772
9	400	-60	-669
10	400	-30	-386
11	400	0	0
12	400	+30	+386
13	400	+60	+669
14	400	+90	+772

Une différence interaurale de temps négative signifie que le stimulus est latéralisé à gauche.

- ▶ de durée 1.6 s,
- ▶ restitués sur casque Sennheiser HD650 (circumaural, ouvert).

Expérience

Egalisation de sonie

Procédure adaptative :

- ▶ deux intervalles,
 - ▶ signal à égaliser (azimut variable),
 - ▶ signal de référence (0°),
- ▶ choix forcé,
 - ▶ son A ou son B plus fort,
- ▶ règle "1-up 1-down" convergeant vers le point d'égalité subjective.

Niveau du stimulus à égaliser :

- ▶ aléatoirement fixé à 10 dB au-dessus ou en-dessous du niveau de la référence,
- ▶ diminué ou augmenté (selon la réponse de l'auditeur),
 - ▶ de 4 dB au départ,
 - ▶ de 1 dB (supérieur au seuil différentiel) après deux inversions (i.e. changement de direction dans la courbe d'égalisation).

Après 8 inversions :

- ▶ arrêt de la procédure d'égalisation,
- ▶ niveau égalisé (point d'égalité subjective) obtenu par la moyenne arithmétique des 6 dernières inversions.

Test :

- ▶ divisé en deux sessions en fonction du niveau de référence (40 ou 70 phones),
 - ▶ 14 procédures adaptatives d'égalisation (2 fréquences, 7 azimuts) par session,
 - ▶ entrelacées aléatoirement pour éviter toute stratégie de réponse,
- ▶ répété 2 fois pour chaque auditeur, sur 2 jours différents.

Auditeurs

11 sujets "experts" :

- ▶ étudiants-ingénieurs du son, audition normale vérifiée le mois précédant le test,
- ▶ invités à ne pas retirer ni même modifier la position du casque pendant toute la durée du test.

Résultats

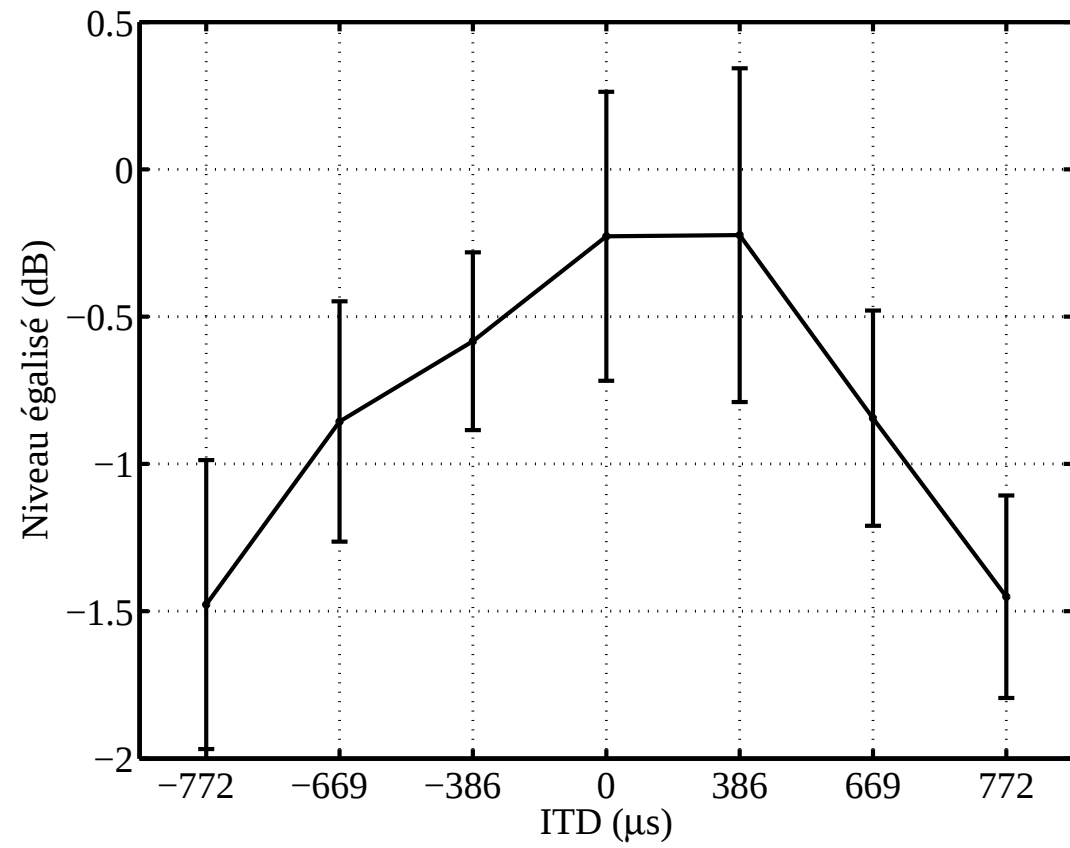
ANOVA : effets des variables expérimentales sur l'égalisation de sonie, pour chaque session.

40 phones					
Variable	SC	DL	CM	F	p
Auditeur	21.804	10	2.1804	1.01	0.4482
Test	3.644	1	3.6437	1.68	0.1995
f	0.040	1	0.0398	0.02	0.8926
ITD	70.140	6	11.690	5.40	0.0002***
;	;	;	;	;	;
Erreur	129.808	60	2.1651		
Total	680.012	307			

Effet significatif de l'ITD

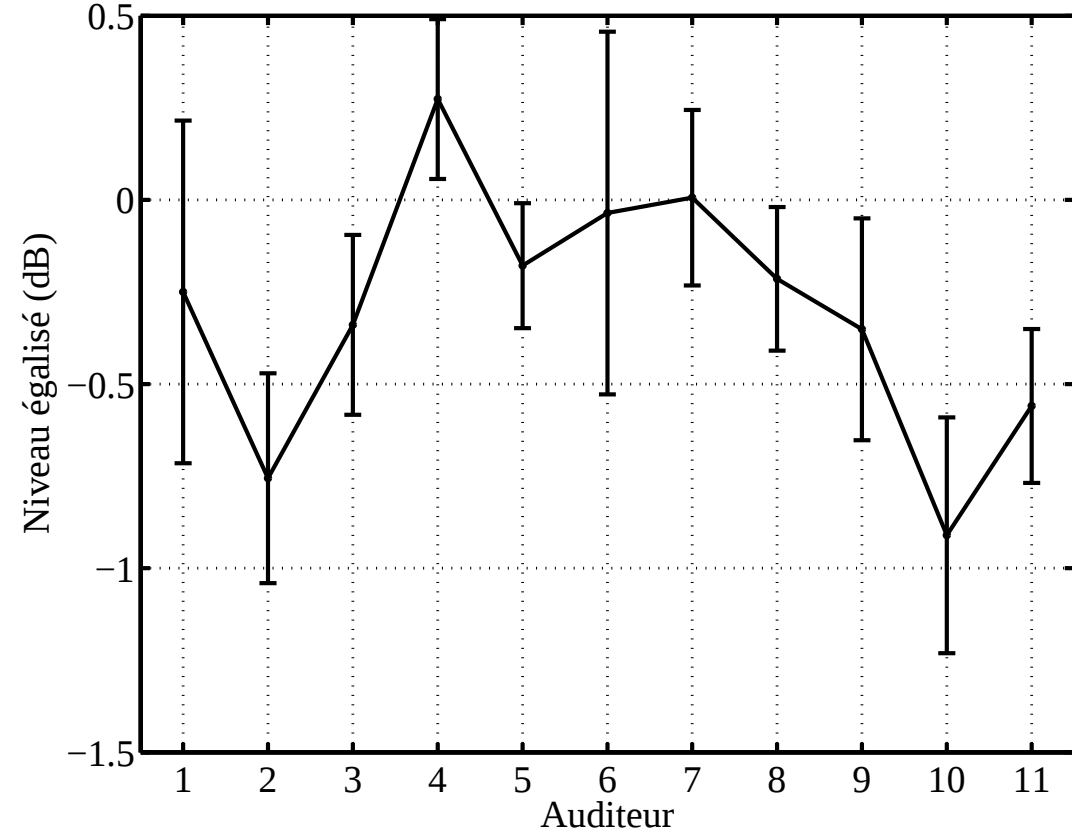
Sons provenant des côtés ($\pm 90^\circ$) :

- ▶ égalisés perceptivement à un niveau significativement plus faible que la référence (0°),
- ▶ perçus plus fort si présentés au même niveau que la référence.

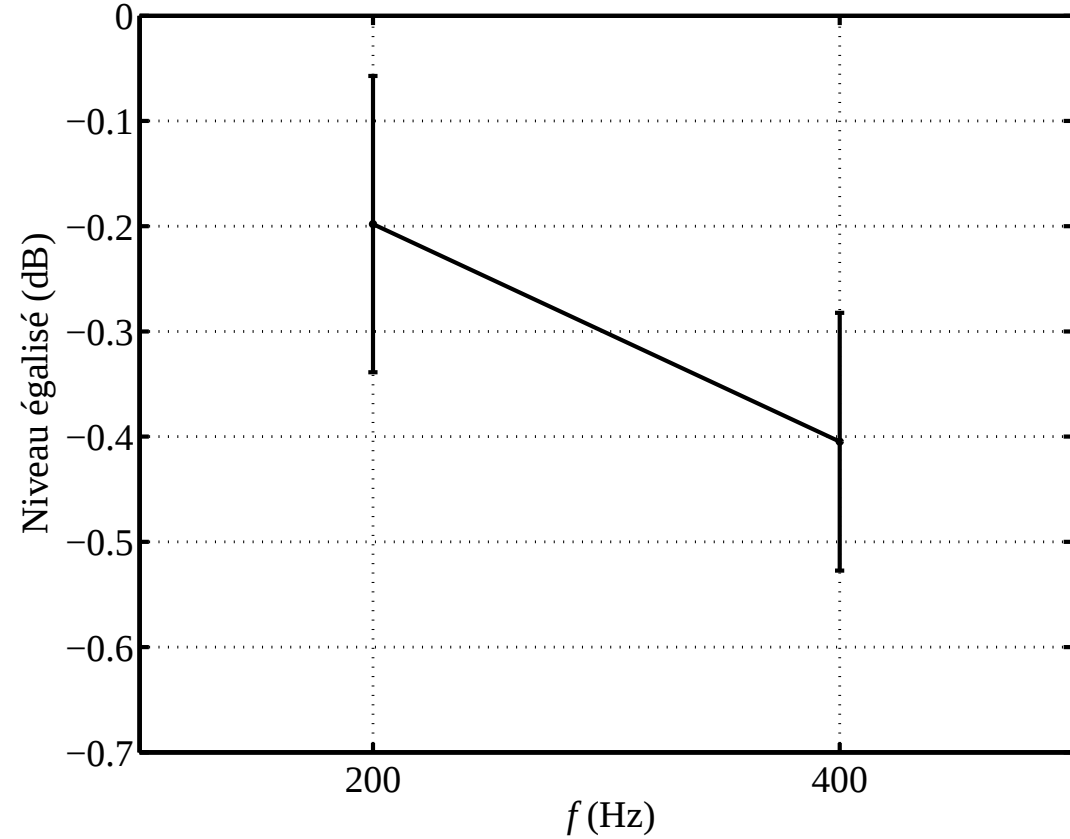


70 phones					
Variable	SC	DL	CM	F	p
Auditeur	32.751	10	3.2750	5.33	0.0000***
Test	1.072	1	1.0715	1.74	0.1918
f	3.290	1	3.2901	5.35	0.0242*
ITD	5.680	6	0.9467	1.54	0.1809
;	;	;	;	;	;
Erreur	36.892	60	0.6147		
Total	213.603	307			

Effet significatif de l'auditeur



Effet significatif de la fréquence



Conclusion

Effet de l'ITD sur la sonie des sons purs en basse fréquence :

- ▶ effet significatif à bas niveau (40 phones),
- ▶ pas d'effet à niveau moyen (70 phones).

La pression étant identique sur les deux oreilles, la sonie varie en fonction de l'ITD à bas niveau.

Amplification des sons de faible niveau perçus comme provenant des côtés ?

Références

- G. F. Kuhn. Model for the interaural time differences in the azimuthal plane. *J. Acoust. Soc. Am.*, 62(1) :157–167, 1977.
- V. P. Sivonen et W. Ellermeier. Directional loudness in an anechoic sound field, head-related transfer functions, and binaural summation. *J. Acoust. Soc. Am.*, 119(5) : 2965–2980, 2006.