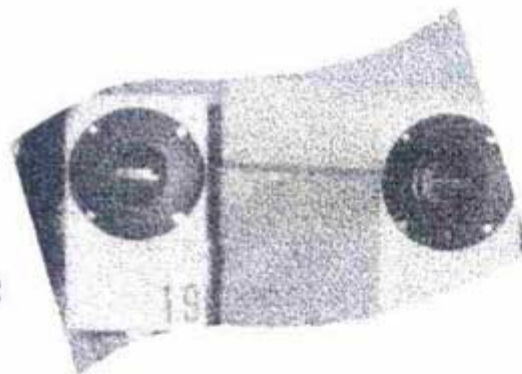


**Rapport sur la conception
de signaux sonores
et sur la mesure inductive
de la capacité
de localisation auditive
des avertisseurs sonores
de danger en milieux industriels**

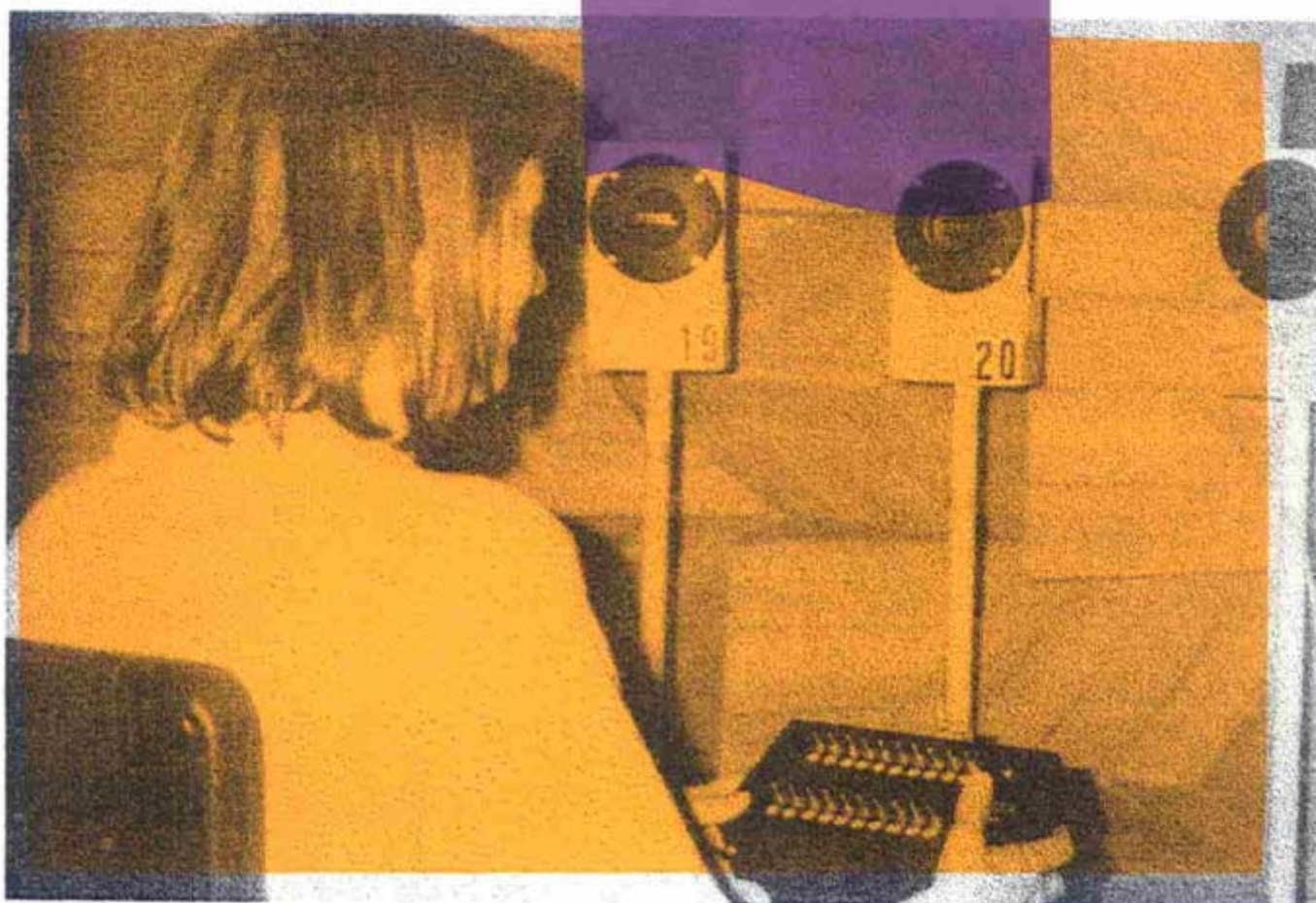


**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Jean-Pierre Gagné
Hung Tran Quoc
Stéphane Denis
Maude Leblanc

Septembre 2000 R-248

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Rapport sur la conception
de signaux sonores
et sur la mesure inductive
de la capacité
de localisation auditive
des avertisseurs sonores
de danger en milieux industriels**

Jean-Pierre Gagné, Hung Tran Quoc,
Stéphane Denis et Maude Leblanc,
Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site internet de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

DÉDICACE

Le présent projet de recherche a été formulé par Raymond Hétu dont le décès est survenu en septembre 1995. Ce dernier avait obtenu une subvention de l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail (IR SST) afin de réaliser le projet de recherche. Après le décès de Raymond Hétu, l'IR SST a jugé important de maintenir sa subvention au GAUM afin que l'équipe de recherche puisse mener à terme le projet. Les membres de l'équipe désirent dédier sa réalisation ainsi que la présentation du rapport final à la mémoire de Raymond Hétu, fondateur du Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (GAUM). Le professeur Hétu a consacré la majeure partie de sa carrière à l'amélioration des conditions de santé et de sécurité des travailleurs. Ce projet de recherche, traitant de la localisation des avertisseurs sonores de danger, constitue le troisième d'une trilogie de travaux portant sur les avertisseurs sonores utilisés dans des milieux de travail bruyants. Les résultats de ces travaux ont permis une meilleure compréhension de la problématique et des besoins des travailleurs ainsi que l'identification des solutions possibles eu égard à l'utilisation des avertisseurs sonores en milieux de travail.

REMERCIEMENTS

La réalisation du projet de recherche a nécessité la collaboration de plusieurs personnes. D'abord, nous voulons remercier tous les sujets qui ont collaboré à cette recherche et particulièrement les personnes ayant une déficience auditive qui ont participé à la deuxième expérimentation. Aussi, nous tenons à remercier monsieur Benoît Jutras pour sa participation à la préparation du rapport final. Nous voulons aussi remercier madame Sylvie Mathieu, secrétaire au GAUM, qui a lu et relu le rapport final et qui en a préparé la mise en page. Le projet de recherche n'aurait pu être réalisé sans la collaboration de chacune de ces personnes. Finalement monsieur Louis Bousquet, conseiller en projets de recherche et de développement à la direction de la recherche externe à l'IRSSST, dont les commentaires sur une version préliminaire du rapport ont été grandement appréciés. Aussi, nous désirons souligner la participation de madame Chantal Laroche qui a agit en tant que conseiller scientifique tout au long de la réalisation du projet de recherche.

SOMMAIRE

La présente étude consiste à identifier les caractéristiques des signaux sonores avertisseurs les plus favorables à la localisation auditive en milieu bruyant. Par ailleurs, une procédure d'examen clinique sera en outre disponible pour mesurer cette capacité chez des personnes malentendantes.

L'étude comprend trois volets :

A) Quantifier la performance de localisation auditive chez les auditeurs normaux en utilisant les signaux typiques des avertisseurs sonores de danger.

La capacité de localisation des signaux sonores a été mesurée chez 21 auditeurs ayant une sensibilité auditive normale. Les signaux utilisés ont été conçus selon les principes de conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger proposés par le Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (GAUM). Spécifiquement, quatre types de signaux ont été étudiés : (1) des sons continus, (2) des sons pulsés, (3) des sons modulés en amplitude, et (4) des sons modulés en fréquence. Toutes les conditions de mesures ont été effectuées dans le silence et en présence d'un bruit de 65 dBA. Le bruit avait un spectre plat sur une bande fréquentielle allant de 0,25 à 8,0 kHz. Pour les conditions de mesures dans le bruit, le niveau sonore des signaux a été réglé de façon à ce que chaque composante du signal soit présentée à 12 dB au-dessus du niveau spectral du bruit (+12 dB).

Les résultats permettent de tirer les conclusions suivantes :

- 1) En général, les erreurs de localisation sur le plan horizontal sont de type intra-quadrant (moins que 90°). En excluant ce type d'erreur, les taux de réussite varient de 80 à 100%.
- 2) Pour les signaux dont le contenu spectral contient seulement une composante spectrale (des sons purs), les habiletés de localisation sont meilleures lorsque la tâche est effectuée dans le silence plutôt qu'en présence d'un bruit de fond.
- 3) Pour les signaux dont le contenu spectral contient plusieurs harmoniques (des signaux complexes), les performances de localisation sont très élevées et ce, tant dans le silence qu'en présence d'un bruit de fond.
- 4) Lorsque le signal contient plusieurs harmoniques (signaux complexes), un rapport signal/bruit de +12 dB est suffisant pour assurer une bonne localisation sur le plan horizontal.

En résumé, la présente étude indique qu'au moins chez les personnes ayant une sensibilité auditive normale, les signaux conformes au guide de conception des avertisseurs sonores de danger proposés par le GAUM permettent une localisation auditive optimale.

B) Quantifier la performance de localisation auditive chez les auditeurs ayant une surdité en utilisant les signaux typiques des avertisseurs sonores de danger.

- 1) En général les erreurs de localisation, sur le plan horizontal, sont de type intra-quadrant (moins que 90°). En excluant ce type d'erreur, les taux de réussite varient de 70 à 95%. Les sons modulés en fréquence constituent les meilleures conditions de localisation avec des taux de réussite qui dépassent 90%.
- 2) Pour les signaux dont le spectre fréquentiel contient une seule composante (des sons purs), en général, les habiletés de localisation sont meilleures lorsque la tâche est effectuée dans le silence plutôt qu'en présence d'un bruit de fond.
- 3) Pour les signaux dont le spectre fréquentiel contient plusieurs harmoniques (des signaux complexes), les performances de localisation excluant les erreurs intra-quadrants sont très élevées et ce, tant dans le silence qu'en présence d'un bruit de fond.
- 4) Lorsque le signal contient plusieurs harmoniques (signaux complexes), un rapport signal/bruit de +12 dB est suffisant pour assurer une bonne localisation sur le plan horizontal.
- 5) Pour tous les types de signaux et pour toutes les conditions d'écoute, les performances de localisation auditive chez les auditeurs ayant une surdité sont moins bonnes que les performances obtenues chez les auditeurs normaux.

C) Mise au point d'une procédure de mesure clinique de la localisation auditive et quantification de la performance normative.

Dans le cadre du présent projet de recherche, un dispositif de mesure de localisation auditive adapté aux contraintes d'examen cliniques a été mis au point. Ce dispositif a été utilisé pour mesurer la performance de localisation auditive de 106 auditeurs normaux afin d'établir des valeurs normatives pour la localisation auditive d'un bruit de bande large dont la durée est de 0,25 s. ou de 1,5 s.

Pour le bruit de bande large de 0,25 s., la moyenne globale varie entre 85% et 93% pour les conditions d'écoute de confusion avant-arrière, et elle est de 98% pour les conditions d'écoute de confusion gauche-droite.

Quant aux valeurs obtenues avec un bruit de bande large de 1,5 s., la moyenne globale est de 93% pour les conditions d'écoute de confusion avant-arrière, et est de 100% pour les conditions d'écoute de confusion gauche-droite.

Le dispositif développé, ainsi que les données normatives obtenues serviront éventuellement à l'évaluation des limites fonctionnelles relatives à la localisation auditive chez les travailleurs ayant une surdité.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	iii
INTRODUCTION.....	1
1 PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Les principaux facteurs qui gouvernent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger.....	4
2 PRINCIPES DE CONCEPTION ERGONOMIQUE DES AVERTISSEURS SONORES DE DANGER	7
3 OBJET DE LA RECHERCHE.....	9
4 MÉTHODOLOGIE.....	10
4.1 Conception des signaux.....	10
4.1.1 Signaux continus	10
4.1.2 Signaux pulsés	11
4.1.3 Signaux modulés en amplitude (MA)	11
4.1.4 Signaux modulés en fréquence (MF).....	13
4.2 Approche expérimentale	15
4.3 Dispositif expérimental.....	15
4.4 Dépouillement et traitement des données.....	16
5 ÉPREUVES DE LOCALISATION CHEZ LES AUDITEURS NORMAUX.....	18
5.1 Stimuli et conditions expérimentales	18
5.2 Participants.....	19
5.3 Déroulement	19
5.4 Résultats.....	20
5.4.1 Pourcentage global de réussite.....	21
5.4.2 Pourcentage de réussite excluant les erreurs intra-quadrants.....	25
5.4.3 Erreur angulaire de localisation auditive	29
6 ÉPREUVES DE LOCALISATION AUDITIVE CHEZ LES AUDITEURS AYANT UNE SURDITÉ	34
6.1 Stimuli et conditions expérimentales	34
6.2 Participants.....	34
6.3 Déroulement	35
6.4 Résultats.....	37
6.4.1 Pourcentage global de réussite.....	37
6.4.2 Pourcentage de réussite excluant les erreurs intra-quadrants.....	41
6.4.3 Erreur angulaire de localisation auditive	45
6.5 Effet du bruit et du contenu spectral du signal sur la capacité de localisation	49
7 MISE AU POINT D'UNE PROCÉDURE D'EXAMEN CLINIQUE.....	51
7.1 Principe de conception du dispositif	51
7.2 Mise en opération du dispositif et de la procédure d'examen	52
7.3 Fidélité de mesure de la localisation utilisant la procédure d'examen clinique.....	53
7.3.1 Bruit de bande large d'une durée de 0,25 s.....	53
7.3.2 Bruit de bande large d'une durée de 1,5 s.....	54
7.4 Effet de la cabine audiométrique sur la performance de localisation auditive.....	56
7.4.1 Résultats des épreuves de localisation auditive chez les auditeurs normaux.....	56
7.4.2 Résultats des épreuves de localisation auditive chez les auditeurs ayant une surdité	60

8 ADOPTION DE VALEURS NORMATIVES POUR LA CAPACITÉ DE LOCALISATION AUDITIVE.....	65
8.1 Méthodologie.....	65
8.2 Résultats et discussion.....	65
8.2.1 Pourcentage global de réussite.....	66
8.2.2 Pourcentage de réussite excluant les erreurs intra-quadrants.....	67
8.2.3 Erreur angulaire de localisation auditive	68
RÉSUMÉ ET CONCLUSION	70
RÉFÉRENCES.....	74
ANNEXE A	76
ANNEXE B	85
ANNEXE C	108
ANNEXE D.....	111
ANNEXE E	129

INTRODUCTION

En milieux industriels, les avertisseurs sonores sont utilisés pratiquement partout pour remplir diverses fonctions [1]. D'une part, la sécurité des travailleurs est directement liée à la détection, à la reconnaissance et à la localisation des signaux avertisseurs de danger. D'autre part, des personnes ayant une surdité peuvent perdre ou se voir refuser un emploi en milieu potentiellement bruyant sous prétexte qu'elles risquent d'être incapables de percevoir les avertisseurs sonores de danger [2]. Le respect des droits de la personne et la prévention d'une discrimination auprès des personnes atteintes d'incapacités auditives nécessitent une adaptation des postes de travail aux contraintes imposées par la surdité. En matière de perception d'avertisseurs sonores, ces contraintes sont déterminées par les capacités d'un individu donné à percevoir un signal spécifique dans un milieu de travail bruyant et réverbérant.

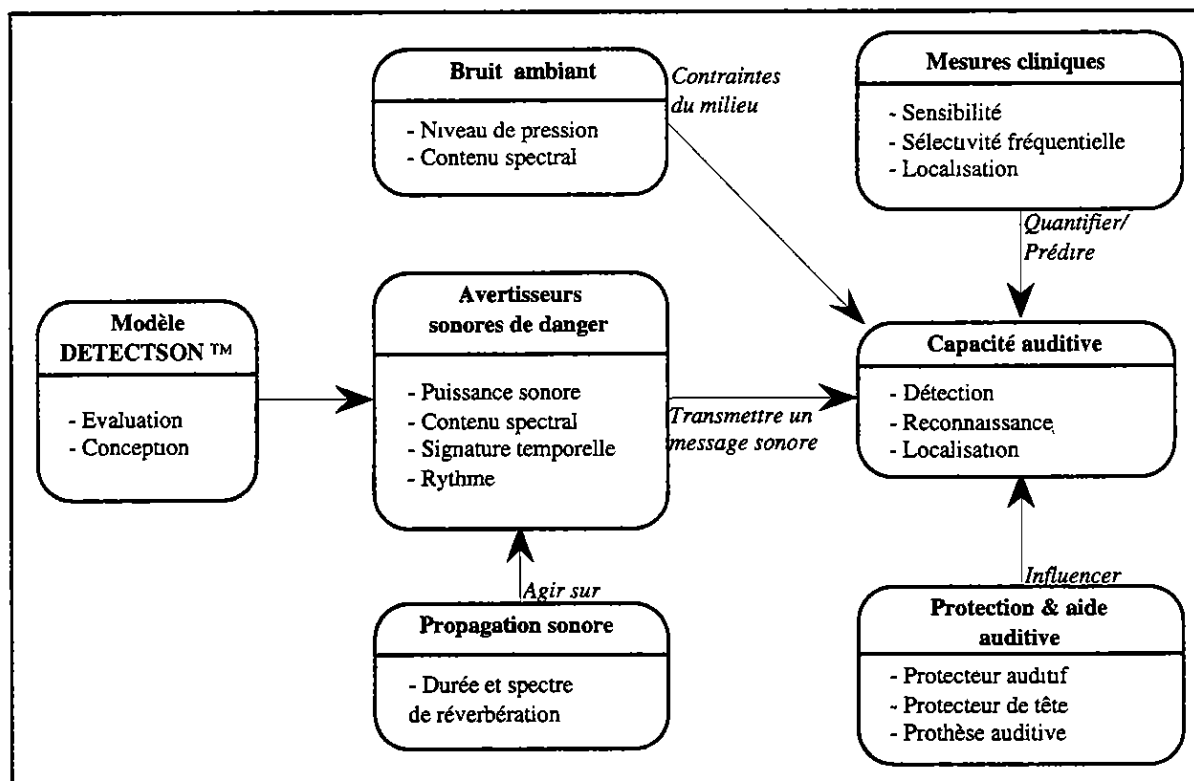


Figure 1. Schéma d'analyse de la compatibilité entre exigences et capacité de perception des avertisseurs sonores de danger en milieu bruyant.

Dans le cadre de l'axe de recherche *Bruit et sécurité en milieu de travail*, les chercheurs du GAUM ont entrepris un examen en profondeur des caractéristiques ergonomiques des avertisseurs sonores de danger afin d'identifier des solutions qui favorisent la sécurité des travailleurs en fonction de leurs capacités auditives. La figure 1 représente les facteurs qui gouvernent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger en soulignant que les différentes capacités auditives exigées par une tâche varient selon :

- 1) le type de signal sonore à traiter;
- 2) les conditions environnementales;
- 3) les modes de transmission de tels signaux.

Il s'agit d'une perspective ergonomique permettant l'examen de la compatibilité entre les exigences du poste de travail et les capacités auditives des travailleurs. Ce cadre d'analyse est particulièrement utile puisque typiquement les recherches expérimentales portant sur la perception auditive sont poursuivies indépendamment des questions d'ordre pratique telles que la signalisation acoustique en milieux industriels. De façon générale, on peut considérer que la psychoacoustique a étudié la perception sonore en mettant l'accent sur le fonctionnement du système auditif, tandis que l'utilisation des avertisseurs sonores en milieu de travail repose sur des pratiques intuitives. Ainsi, à la figure 1, on note que les caractéristiques des sources sonores, du milieu ambiant, des conditions de propagation et des conditions de réception des signaux sonores, imposent des contraintes spécifiques qu'il faut confronter aux capacités auditives d'auditeurs normaux ou de personnes ayant une atteinte auditive.

Les capacités auditives constituant les caractéristiques non modifiables, l'objectif principal du projet de recherche et de développement est d'identifier les paramètres acoustiques des signaux et les conditions d'écoute qui permettront la perception (détection, reconnaissance et localisation) des signaux d'avertisseurs sonores dans les milieux de travail bruyants.

1 Problématique

Dans les milieux industriels, dans les chantiers de construction, dans les mines et sur les sites d'opérations forestières, le déplacement de véhicules ou de charges constitue un danger pour les personnes qui circulent dans les aires de déplacement. Les travailleurs sont informés de tels déplacements par les signaux avertisseurs tels que les klaxons ou signaux de recul. Une réponse adéquate à ces signaux suppose de localiser rapidement sa provenance. Or, les signaux utilisés présentement ne sont pas conçus de manière à faciliter la localisation de leur provenance. Au contraire, leur composition en fréquences fait en sorte que l'on réunit les conditions parmi les plus défavorables à la localisation auditive et ce, pour des gens qui ont une excellente audition. Il y a de très bonnes raisons de croire que la situation est encore plus défavorable pour les travailleurs malentendants. On connaît en fait très mal les capacités de localisation des gens qui ont une perte auditive.

Avec l'appui de l'IRSST, dans le cadre de l'axe de recherche *Bruit et sécurité en milieu de travail*, le GAUM a développé un dispositif et une procédure d'évaluation de l'efficacité des avertisseurs sonores en milieux industriels. Entre autres, les travaux ont mené au développement d'un logiciel commercial (*Déetectson^{MC}*[3,4]) actuellement disponible. Cet outil permet de déterminer si un avertisseur existant est audible malgré la présence d'un bruit ambiant défini et ce, tant chez les personnes ayant une sensibilité auditive normale que chez celles ayant une surdité. De plus, le logiciel dispose d'une banque de données concernant l'atténuation sonore offerte par les protecteurs individuels contre le bruit et permet d'évaluer l'efficacité des avertisseurs sonores en tenant compte de l'influence des protecteurs.

Par ailleurs, les guides de conception ergonomique de signaux sonores sur lesquels a été fondé le logiciel *Déetectson^{MC}* ont mis l'accent sur l'audibilité du signal et sur son pouvoir de sollicitation de l'attention sans prendre en compte les contraintes imposées par la nécessité de localiser sa provenance. Il est donc primordial de pouvoir informer les concepteurs des sources d'avertisseurs sonores des caractéristiques que doivent rencontrer les signaux afin d'en faciliter la localisation. Toutefois, les travaux de recherche menés en psychoacoustique ont, à ce jour, porté essentiellement sur la description du mécanisme de la localisation auditive normale plutôt que sur l'optimisation des signaux en vue de la localisation de leur provenance. Il y a donc lieu d'entreprendre une étude descriptive qui conduira à la définition de critères de conception de signaux sonores pour les fins spécifiques de localisation par des travailleurs tant entendants que malentendants.

1.1 Les principaux facteurs qui gouvernent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger

Il est maintenant établi qu'une lésion au niveau de l'oreille interne entraîne une détérioration de différentes fonctions du système auditif. En plus d'une baisse de la sensibilité auditive, les déficiences auditives neurosensorielles sont généralement accompagnées d'autres phénomènes de distorsions temporelles et fréquentielles. Ces distorsions ont un impact direct sur la capacité de percevoir des avertisseurs sonores de danger en milieu de travail bruyant :

- 1) La *perte de sensibilité auditive* représente le type de détérioration du système auditif qui est le plus facile à quantifier. Le seuil de sensibilité auditive représente le niveau minimal de pression acoustique d'un son pur nécessaire afin qu'un individu puisse le détecter dans le silence. Le son ne sera pas perçu lorsque le niveau de pression acoustique d'un signal est inférieur au seuil d'audition de la personne. Les données permettant d'évaluer la sensibilité auditive d'un individu sont typiquement rapportées sur un audiogramme.
- 2) La *sélectivité fréquentielle* gouverne la capacité de détecter un signal dans un bruit de fond quelconque. Une question de recherche qui a retenu l'intérêt des chercheurs a été de définir la relation existant entre la sensibilité auditive et la sélectivité fréquentielle [5,6,7,8,9]. Plusieurs études démontrent une corrélation significative entre ces deux facteurs. Cependant, la relation entre la sensibilité auditive et la sélectivité fréquentielle d'un individu n'est pas univoque même chez des groupes de sujets soigneusement sélectionnés et entraînés [10,11,12]. Deux personnes peuvent avoir un audiogramme semblable mais leurs capacités de sélectivité fréquentielle peuvent différer substantiellement [13,14,15]. Donc, il importe de mesurer ces deux types d'habileté auditive chez chaque individu.
- 3) La *reconnaissance* d'un signal sonore représente la capacité d'attribuer immédiatement à ce signal une signification non ambiguë. Des principes de conception des avertisseurs sonores qui maximisent leur reconnaissance ont été proposés par Patterson [16]. Cette recherche a été effectuée dans le cadre d'un projet de rationalisation d'avertisseurs sonores dans les cabines de pilotage d'avions commerciaux. Ces principes ont été retenus par la communauté scientifique et sont proposés dans certains manuels d'ergonomie au chapitre de la conception des avertisseurs sonores [17]. Récemment, certains principes de conception d'avertisseurs sonores proposés par Patterson [16] ont été modifiés en vue de maximiser la perception d'avertisseurs sonores utilisés dans des salles d'urgence [18].

Si les caractéristiques spectrales des signaux gouvernent la capacité de détecter un son, leurs caractéristiques temporelles en déterminent la capacité de reconnaissance. En effet, la configuration temporelle d'un son impose une empreinte sonore distinctive à chaque signal et contribue largement à sa reconnaissance. Par exemple, des signaux sonores très distincts peuvent être créés en leur attribuant certaines caractéristiques temporelles s'apparentant à une phrase musicale facile à retenir. D'ailleurs, les essais en laboratoire ont démontré que des auditeurs peuvent apprendre très rapidement à distinguer sans erreur jusqu'à sept signaux différents [16]. Ces principes ont été appliqués à la conception de signaux sonores pour des cabines de pilotage d'avions civils et militaires [19], de même que pour différents équipements utilisés en salle de chirurgie ou de soins intensifs en milieu hospitalier [20].

Chez les personnes ayant une surdité, la capacité de reconnaître des avertisseurs sonores utilisés en milieux industriels n'a pas été étudiée de façon systématique. Il y a lieu de croire que les personnes ayant une surdité seraient en mesure de reconnaître une signature temporelle si les signaux acoustiques sont présentés dans des conditions d'écoute idéales (par exemple dans le silence et dans un milieu non réverbérant) et si l'intervalle inter-pulsation (IP) des signaux est supérieur à 0,1 s. Cependant, les lois gouvernant la propagation sonore font en sorte que les intervalles IP sont systématiquement diminués dans des milieux réverbérants [21,22]. Par conséquent, il est possible d'émettre l'hypothèse que les personnes ayant une surdité de type neurosensoriel seront plus vulnérables à la reconnaissance des avertisseurs sonores en milieu réverbérant puisqu'il est connu que leur capacité de résolution temporelle est diminuée [23].

- 4) La *localisation* d'un signal sonore représente la capacité d'identifier la source d'un signal acoustique dans l'espace. La capacité de localiser des avertisseurs sonores de danger est très importante dans les milieux de travail. Dans des milieux industriels, des klaxons ou autres types d'avertisseurs sonores sont utilisés pour signaler le mouvement de véhicules (chariots élévateurs, chargeuses, etc.) ou de charges (ponts roulants, échafaudages mobiles, etc.). Sur les chantiers de construction, les avertisseurs sonores sont utilisés pour signaler le recul des camions. En contexte de sécurité du travail, ces situations exigent que les travailleurs soient aptes non seulement à détecter la présence des avertisseurs sonores mais aussi qu'ils soient capables d'identifier leur provenance.

La capacité de localiser des sources sonores dans l'espace exige une comparaison d'indices acoustiques disponibles aux deux oreilles. Sur le plan horizontal, la localisation d'une source sonore est accomplie à partir d'une comparaison de :

- 1) La différence dans la phase du signal entre les deux oreilles. Cette différence de phase s'explique par le décalage du temps d'arrivée de l'onde sonore à chaque oreille.
- 2) La différence dans l'intensité du son entre les deux oreilles. Cette différence s'explique par un effet d'écran de la boîte crânienne [24].

Des modifications dans les caractéristiques spectrales du signal, dues à la fonction de transfert de l'oreille externe, sont utilisées pour différencier une source sonore venant de l'avant, d'une source sonore venant de l'arrière. En champ réverbérant, la localisation des sources sonores est en général gouvernée par l'effet d'antériorité [25,26]. Plus précisément, la direction apparente d'une source sonore est identifiée du côté de la provenance d'origine du signal.

En milieu de travail bruyant, la capacité de localisation dépendra aussi de la sélectivité fréquentielle du système auditif. Pour obtenir une même performance de localisation, on doit prévoir que le niveau du signal sonore pour les auditeurs ayant une surdité, soit présenté à un niveau d'intensité supérieur à celui destiné aux auditeurs ayant une sensibilité auditive normale [27]. La capacité de percevoir la distance et la direction de déplacement d'une source sonore provenant d'un objet mobile s'avère importante en milieux industriels. Cette capacité est accomplie par une analyse du niveau du

son en fonction du temps (le niveau d'intensité d'un signal augmente lorsque la source sonore se déplace vers la personne et il diminue lorsque la source sonore s'éloigne de la personne).

Chez les gens ayant une acuité auditive normale, la capacité d'analyser le niveau d'une source sonore mobile (donc de percevoir la distance et la direction de déplacement d'un signal acoustique) est diminuée lorsque le signal est présenté dans un environnement bruyant et réverbérant [28,29]. Les personnes ayant une surdité neurosensorielle sont affectées au plan de la sonie (perception de l'ampleur -- la force -- d'un signal acoustique en fonction de son intensité) [30]. Puisque la capacité de perception de la distance et de la direction de déplacement d'un signal s'effectuant par une analyse fine de l'intensité d'un signal en fonction du temps, il est permis de soupçonner que, chez ces personnes, l'accomplissement de cette tâche sera réduite.

2 Principes de conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger

Les avertisseurs sonores sont utilisés à des fins multiples dans un même lieu de travail. Il est nécessaire pour les personnes travaillant dans ces milieux d'être en mesure non seulement de les détecter mais aussi de les reconnaître de façon immédiate afin de poser le geste approprié dans les délais indiqués. Par ailleurs, la capacité de localiser la source d'un avertisseur sonore est très importante, puisqu'elle permet aux travailleurs de juger immédiatement la provenance de la source sonore et d'éviter, s'il y a lieu, une situation potentielle de danger. Rappelons que les déplacements de véhicules et d'équipements sont la cause de nombreuses blessures chez les travailleurs manuels québécois [31].

Le logiciel *DéTECTSON^{MC}*, mis au point par le GAUM [3,4], permet d'évaluer l'efficacité des avertisseurs sonores. Au besoin, il peut également servir pour concevoir de nouveaux avertisseurs pouvant être plus facilement détectés et pouvant solliciter l'attention des personnes qui doivent les entendre. Afin d'assurer qu'un signal avertisseur soit reconnu parmi plusieurs, il est important de vérifier que chaque signal possède des caractéristiques distinctives. Des principes ergonomiques de développement de signaux avertisseurs ont été proposés par Patterson [16,20] dans le cadre d'un projet portant sur l'utilisation des avertisseurs sonores dans les cabines de pilotage d'avions de lignes commerciales. En général, ces principes ont été retenus par la communauté scientifique et ils sont repris dans certains manuels d'ergonomie au chapitre de la conception des avertisseurs sonores [17]. Récemment, certains principes de conception d'avertisseurs sonores proposés par Patterson [16] ont été modifiés en vue de maximiser la perception d'avertisseurs sonores utilisés dans des salles d'urgence [18].

Les lignes directrices retenues pour le développement d'avertisseurs sonores se résument de la façon suivante :

- 1) Spécification des niveaux sonores : il s'agit de déterminer le niveau sonore auquel le signal doit être présenté (en tenant compte du niveau et du spectre du bruit ambiant) afin qu'il soit détecté et reconnu. Le logiciel *DéTECTSON^{MC}*, [3,4] permet de répondre à ces exigences.
- 2) Spécification des caractéristiques spectrales : il s'agit de définir les caractéristiques spectrales du signal. Celui-ci devrait comporter au moins quatre composantes audibles dans la bande passante appropriée. Le choix de la fréquence fondamentale et celui de la structure harmonique contribuent au caractère distinctif des signaux créés.
- 3) Spécification des caractéristiques temporelles : ce sont ces caractéristiques qui offrent le plus de possibilités pour créer des signaux avertisseurs distinctifs. Elles sont de trois ordres :

- a) Il s'agit de définir les caractéristiques temporelles d'une pulsation sonore. Chaque pulsation doit être d'une durée totale spécifiée (supérieure à 0,1 s.; soit la durée d'intégration de l'oreille humaine) et des durées de montée et de descente spécifiques (entre 0,2 et 0,3 s. pour éviter les effets de sursaut).
- b) Il s'agit de définir les caractéristiques d'une bouffée sonore ayant une durée totale d'environ deux secondes. Une bouffée sonore est composée d'une séquence de pulsations séparées par des intervalles de temps spécifiés et de niveaux sonores fixes ou variés.
- c) Il s'agit de définir les caractéristiques du signal au complet. Le signal avertisseur est composé d'une série de bouffées sonores présentées dans une séquence temporelle précise et à des niveaux fixes ou variés. Dans son ensemble, la durée totale d'un signal avertisseur peut s'échelonner sur une période de plusieurs dizaines de secondes.

L'application des lignes directrices retenues pour le développement d'avertisseurs sonores permet de générer de nombreux signaux avertisseurs distinctifs. Ainsi, chaque signal contient certaines caractéristiques acoustiques uniques, s'apparentant à une phrase musicale facile à identifier. Des recherches antérieures permettent de conclure que des auditeurs peuvent distinguer sans erreur jusqu'à sept signaux différents [16]. Les lignes directrices décrites ci-haut ont été appliquées à la conception de signaux avertisseurs utilisés dans des cabines de pilotage d'avions civils et militaires [19] et dans des salles de chirurgie ou de soins intensifs en milieu hospitalier [20].

On constate que les principes de conception d'avertisseurs sonores reposent principalement sur l'utilisation de la séquence temporelle de pulsations sonores. Outre les signaux pulsés, différents types de signaux sont couramment utilisés en milieux industriels. Plus précisément, les signaux avertisseurs utilisés le plus souvent dans les milieux industriels sont : les sons modulés en amplitude (MA), les sons modulés en fréquence (MF) et les sons continus. Il n'existe pas actuellement de lignes directrices pour guider la conception d'avertisseurs sonores pour ces trois types de signaux. Au mieux, on s'entend pour dire que les caractéristiques physiques retenues pour développer des avertisseurs sonores avec ces signaux devraient être compatibles avec les capacités de résolution du système auditif humain.

À ce jour, toutes les lignes directrices portant sur la conception d'avertisseurs sonores de danger ont été développées dans le but d'assurer la détectabilité et la reconnaissance des signaux. Il existe peu de données permettant de vérifier si ces signaux sont facilement repérés dans l'espace. Un des buts du présent projet de recherche est d'identifier les types de signaux avertisseurs qui permettent une localisation optimale.

3 Objet de la recherche

Les objectifs spécifiques de la présente étude sont de répondre aux questions suivantes :

- 1) Dans quelle mesure les signaux avertisseurs couramment utilisés en milieux industriels sont-ils localisés (sur le plan horizontal) par des personnes ayant une sensibilité auditive normale et par celles ayant une surdité neurosensorielle?
- 2) Dans quelle mesure les signaux conçus selon le protocole de conception ergonomique développé par le GAUM sont-ils localisés (sur le plan horizontal) par des personnes ayant une sensibilité auditive normale et par celles ayant une surdité neurosensorielle?
- 3) Est-il possible de concevoir des signaux avertisseurs sonores conformes au protocole de conception du GAUM, permettant aux personnes ayant une surdité neurosensorielle de localiser normalement les sources d'avertisseurs sonores en milieux non bruyant et bruyant?
- 4) Est-ce qu'un signal avertisseur présenté à un rapport signal/bruit de +12 dB, permettant la reconnaissance d'avertisseurs sonores, assure également sa localisation auditive et ce, tant chez les personnes ayant une sensibilité auditive normale que chez celles ayant une surdité neurosensorielle?
- 5) Est-il possible de développer un examen clinique permettant d'évaluer les capacités individuelles de localisation (sur le plan horizontal) chez les personnes ayant une surdité?

Le présent rapport résume donc les travaux menés sur l'évaluation des habiletés de localisation dans le silence et dans le bruit pour différents types de signaux acoustiques conçus suivant les principes de conception des avertisseurs sonores de danger développés par le GAUM [32] (voir Annexe D pour consulter le *Guide de conception d'avertisseurs sonores pour les milieux industriels*). Spécifiquement, il présente les résultats observés auprès de sujets ayant une sensibilité auditive normale et auprès de sujets ayant une surdité neurosensorielle.

4 Méthodologie

4.1 Conception des signaux

Un programme de conception de signaux numériques a été mis au point sur un ordinateur IBM-PC. Ce programme permet de générer quatre familles de signaux avertisseurs sonores différents, soit :

- 1) des signaux pulsés;
- 2) des signaux modulés en amplitude (MA);
- 3) des signaux modulés en fréquence (MF);
- 4) des signaux continus.

Tous les signaux numériques ont été générés à une fréquence d'échantillonnage de 16 kHz afin d'assurer une reproduction acoustique fidèle des stimuli pour une bande fréquentielle passante de 0 à 8 kHz.

4.1.1 Signaux continus

Les sons continus doivent satisfaire des contraintes particulières pour le contenu spectral. Le contenu spectral du son lui confère un trait distinctif. Des sons purs de fréquences 0,5, 1,0, 1,5 et 3 kHz ont été retenus pour la présente étude. Cette étendue de fréquences regroupe la gamme de fréquences normalement utilisée pour la conception d'avertisseurs sonores. Deux signaux ayant des harmoniques ont été utilisés : un premier ayant une fréquence fondamentale de 0,5 kHz et comportant quatre composantes harmoniques; un second ayant une fréquence fondamentale de 0,4 kHz et comportant huit composantes harmoniques.

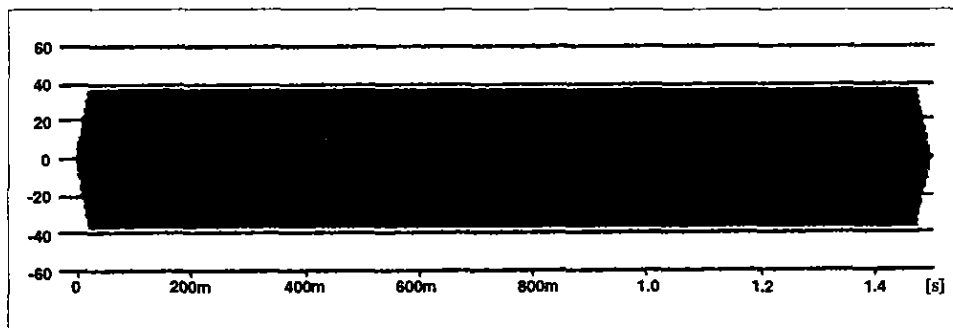


Figure 2. Représentation de la signature temporelle d'un signal continu de 1,5 s. en fonction de son amplitude (dB-SPL).

Tous les signaux continus utilisés dans la présente étude étaient d'une durée totale de 1,5 s. comprenant des durées de montée et de descente de 0,25 s. La figure 2 illustre un signal continu utilisé pour l'expérimentation.

4.1.2 Signaux pulsés

Le guide de conception des signaux sonores proposé par Patterson [16] préconise l'utilisation de signaux pulsés. Il s'agit de constituer des séquences temporelles distinctives en faisant varier, d'une part, la durée, le niveau et le contenu spectral des pulsations et, d'autre part, les intervalles inter-pulsations (IP).

Dans le présent projet, nous avons utilisé des signaux à une seule tonalité, couvrant une large gamme fréquentielle. Les résultats obtenus seront toutefois applicables à des signaux comportant plus d'une tonalité. Dans le cas des sons purs, quatre fréquences ont été utilisées (0,5, 1,0, 1,5 et 3,0 kHz).

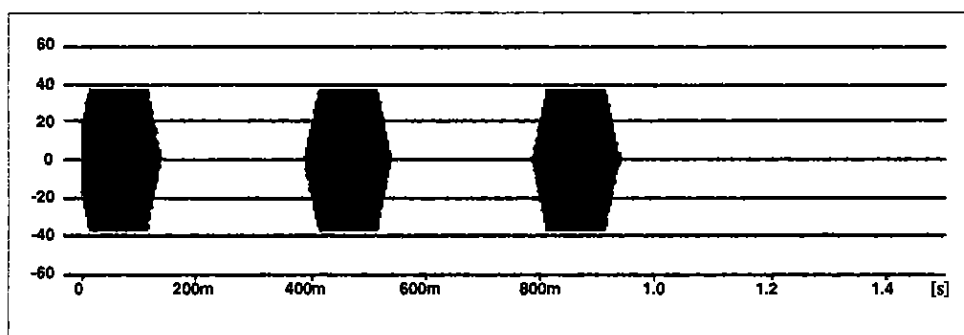


Figure 3. Représentation de la signature temporelle d'un signal pulsé de 1,5 s. en fonction de son amplitude (dB-SPL).

Cette étendue de fréquences regroupe la gamme de fréquences normalement utilisée pour la conception d'avertisseurs sonores. Deux signaux ayant des harmoniques ont été utilisés : un premier ayant une fréquence fondamentale de 0,5 kHz et comportant quatre composantes harmoniques; un second ayant une fréquence fondamentale de 0,4 kHz et comportant huit composantes harmoniques. La figure 3 illustre un signal pulsé utilisé pour l'expérimentation.

4.1.3 Signaux modulés en amplitude (MA)

Les sons modulés en amplitude (MA) sont des signaux dont le niveau sonore varie de façon cosinusoidale entre une valeur minimale et maximale. L'étendue de la variation est déterminée par l'indice de modulation (b). La vitesse à laquelle le niveau sonore varie dépend de la fréquence de

modulation (F_m). La forme mathématique du signal MA utilisée dans la présente étude est définie de la façon suivante :

$$P(t) = A[1+b*\cos(2\pi F_m t)] P_t(t)$$

où

- $P(t)$ représente le signal résultant modulé en MA
- t représente le temps
- $P_t(t)$ représente la forme acoustique du son modulant. Dans le cas d'un son pur, $P_t(t)$ prend la forme d'un cosinus ($\cos(2\pi F_p t)$) où F_p représente la fréquence porteuse, et dans le cas d'un son complexe, il prendra la forme d'une somme de plusieurs cosinus
- A correspond à l'amplitude du signal modulé (la porteuse)
- $b = (A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\max} + A_{\min})$, soit l'indice de modulation ($0 \leq b \leq 1$). $A_{\max}$ et $A_{\min}$ représentent respectivement l'amplitude maximale et minimale de l'enveloppe du signal $P(t)$
- F_m correspond à la fréquence de modulation

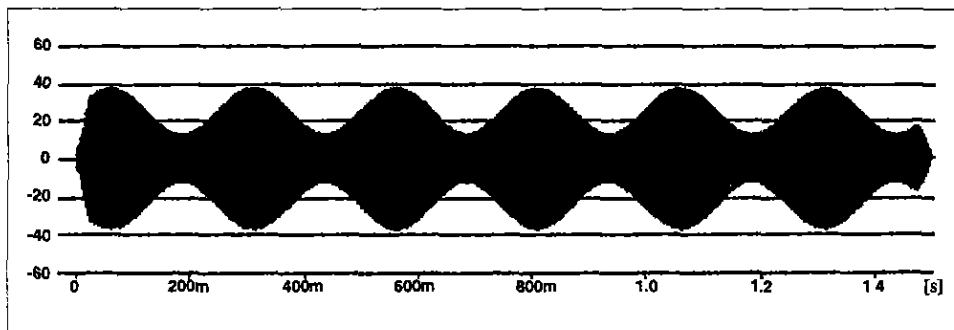


Figure 4. Représentation d'une signature temporelle d'un signal modulé en amplitude (MA) de 1,5 s. en fonction de son amplitude (dB-SPL).

Il s'avère que le système auditif est capable de suivre la variation du niveau d'un signal MA seulement quand la modulation est lente [31,32], c'est-à-dire quand la fréquence de modulation (F_m) se situe entre 1 et 5 Hz. Lorsque la fréquence de modulation excède 5 Hz, le système auditif n'est plus capable de suivre les variations d'amplitude. La modulation est alors perçue à travers la raucité du son. En conséquence, un avertisseur sonore de type MA doit nécessairement être modulé à une fréquence inférieure ou égale à 5 Hz. L'indice de modulation d'un signal MA détermine l'ampleur de la variation de niveau du signal. La variation juste audible dépend de deux facteurs : le niveau sonore et la fréquence du signal. Plus le niveau du signal est faible, plus le taux de modulation doit être élevé. Pour un niveau sonore fixe, les signaux de basses fréquences (inférieures à 0,25 kHz) et de hautes fréquences (supérieures à 5 kHz) doivent avoir un taux de modulation plus élevé qu'aux fréquences médianes.

Dans le présent projet, nous limitons notre étude à une seule fréquence de modulation (F_m), soit 4 Hz. L'oreille humaine est très sensible à cette fréquence de modulation. Quatre fréquences porteuses (F_p) ont été étudiées pour des sons purs, soit 0,5, 1, 1,5 et 2 kHz. Cette bande de fréquences couvre la gamme normalement utilisée pour la conception de signaux avertisseurs sonores de danger. Pour les sons complexes, les fréquences fondamentales de 0,4 et 0,5 kHz ont été retenues. La première série de sons complexes comprenait huit harmoniques. La seconde série de sons complexes comprenait quatre harmoniques. Dans les deux cas, le taux de modulation était de 50% ($b = 0,5$). Ce rythme de modulation facilite la perception de la modulation d'amplitude. La figure 4 illustre un signal MA utilisé pour l'expérimentation.

4.1.4 Signaux modulés en fréquence (MF)

Les sons modulés en fréquence (MF) sont des signaux dont la tonie varie continuellement entre une valeur minimale et une valeur maximale ($2\Delta F$). L'étendue de la variation fréquentielle est déterminée par l'indice de modulation (b). La vitesse à laquelle la fréquence du signal varie dépend de la fréquence de modulation. Les sons MF utilisés dans la présente étude ont la forme mathématique suivante :

$$P(t) = A \cos[2\pi F_p t + b P t(t)]$$

où

- $P(t)$ représente le signal résultant modulé en MF
- $P t(t)$ représente la pression acoustique du signal modulant. Dans le cas d'un son pur, $P t(t)$ prend la forme d'un sinus ($\sin(2\pi F_p t)$), F_p étant la fréquence porteuse, et dans le cas d'un son complexe, il prendra la forme d'une somme de plusieurs sinus
- t représente le temps
- A : Amplitude du signal modulé ou de la porteuse
- $b = \Delta F / F_m$: index de modulation
- F_m : Fréquence de modulation
- ΔF représente l'écart de variation de fréquence du signal par rapport à la fréquence du signal modulé

Comme pour les sons MA, le système auditif est plus sensible aux modulations de fréquences lorsque la fréquence de modulation est faible, soit entre 1 à 5 Hz [33,34,35].

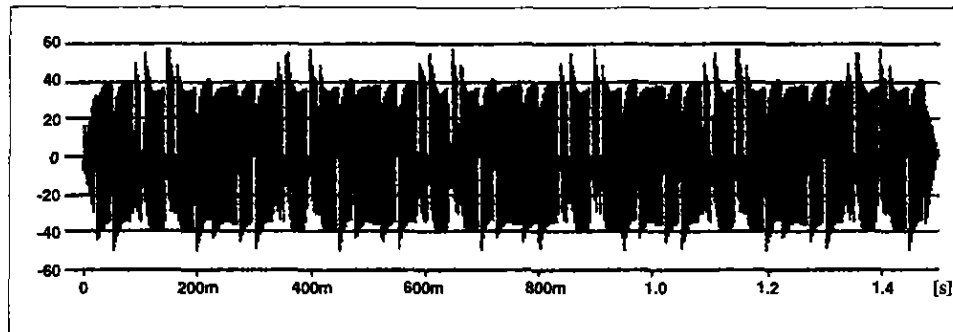


Figure 5. Représentation d'une signature temporelle d'un signal modulé en fréquence (MF) de 1,5 s. en fonction de son amplitude (dB-SPL).

L'écart de fréquence (ΔF) minimal perceptible dépend de deux facteurs :

1) Le niveau de pression acoustique du signal

Pour une fréquence de modulation (F_m) fixe, ΔF diminue lorsque le niveau sonore du signal augmente et ce, jusqu'à une valeur asymptotique d'environ 3,0 Hz. La perception d'une modulation fréquentielle est meilleure lorsque le niveau du signal excède 30 dB SPL.

2) Fréquence de la porteuse

Pour une fréquence de modulation (F_m) fixe, ΔF diminue quand F_p diminue et ce, jusqu'à ce que la fréquence du signal soit inférieure à 0,5 kHz. La perception d'une modulation fréquentielle est meilleure lorsque la fréquence porteuse est inférieure à 0,5 kHz. Au-delà de cette fréquence, ΔF augmente proportionnellement en fonction de la fréquence porteuse et correspond approximativement à la fonction mathématique suivante :

$$\Delta F = 3,5 \cdot 10^{-3} F_p$$

Par conséquent, la conception de signaux avertisseurs de type MF doit respecter certaines contraintes qui se résument comme suit :

- F_m doit être entre 1 et 5 Hz
- ΔF doit être supérieur à 2 Hz si F_p est inférieure à 0,5 kHz; Si F_p est supérieure à 0,5 kHz, $\Delta F = 3,5 \cdot 10^{-3} F_p$
- si le niveau du signal est supérieur à 30 dB SPL, ΔF doit être supérieur à 3 Hz; lorsque le niveau du signal est inférieur à 30 dB SPL, ΔF augmente selon une fonction inversement proportionnelle au niveau du signal

Dans le présent projet, nous limitons notre étude à une seule fréquence de modulation (FM), soit 4 Hz. L'oreille humaine est très sensible à cette fréquence de modulation. Une seule fréquence porteuse (F_p) a été étudiée pour les sons purs, soit 1,5 kHz. De plus, un seul son complexe ayant une fréquence fondamentale de 0,5 kHz et composé de quatre harmoniques a été inclus dans le protocole d'évaluation. La figure 5 illustre un signal MF utilisé pour l'expérimentation.

4.2 Approche expérimentale

Une tâche d'identification (ou plus précisément de catégorisation) de sources sonores visibles a été retenue pour l'expérimentation. Cette approche expérimentale permet de quantifier la capacité globale de localisation. De plus, elle permet d'analyser systématiquement les confusions avant-arrière et gauche-droite lorsqu'elles sont observées dans les réponses des sujets. Une analyse de ces types d'erreurs est pertinente pour l'application des résultats à un contexte de localisation de sources sonores dans un milieu de travail industriel. Le dispositif comportait 20 sources sonores, numérotées de 1 à 20 et espacées de 18° dans un cercle ayant un rayon de 90 cm. Un espacement de 18° correspond approximativement à l'erreur maximale en condition de jugement absolu [36]. Le dispositif permettait ainsi de caractériser les erreurs intra-quadrants ainsi que les erreurs inter-quadrants sur une circonférence de 360° . De plus, le nombre de sources choisies permettait d'éliminer la possibilité qu'un auditeur puisse répartir ses réponses d'une manière qui dépend plus de la distribution spatiale des stimuli que de la distribution des positions apparentes [37]. Toutefois, la principale faiblesse de cette procédure réside dans la possibilité que le jugement forcé de l'auditeur ne corresponde pas à la position apparente de la source sonore. Par conséquent, il est possible que plusieurs positions spatiales apparentes aient été associées à une même source sonore. Les résultats d'une recherche antérieure ont démontré que la familiarité des sujets avec la tâche n'améliore pas significativement le niveau de performance, celle-ci étant maximale dès les premiers essais [38]. Néanmoins, dans la présente étude, nous avons effectué une permutation de l'ordre de présentation des conditions expérimentales afin d'éviter tout biais éventuel dû à l'effet de familiarité avec la tâche.

4.3 Dispositif expérimental

Tel qu'illustré à la figure 6 (voir aussi les illustrations à l'Annexe C), le dispositif expérimental était constitué de 20 haut-parleurs d'un diamètre de 10 cm à gamme intégrale, placés en cercle à 18° d'intervalle et à une distance de 90 cm du centre de la tête du sujet. Le tout était installé dans une cabine semi-anéchoïque. Les signaux ont été conçus numériquement par un micro-ordinateur. Ceci permettait une manipulation des paramètres acoustiques des signaux afin de compenser pour les variations dans la courbe de réponses fréquentielles des haut-parleurs. Les signaux numériques passaient successivement par un convertisseur numérique/analogique, un amplificateur, une boîte de commutation de fabrication maison et l'un ou l'autre des haut-parleurs. Le bruit ambiant utilisé (lorsque nécessaire) était produit par un générateur de bruit aléatoire (B&K 1405). Les participants devaient répondre au moyen d'une boîte de réponses comportant 20 interrupteurs. Chaque

interrupteur était associé à un des 20 haut-parleurs. De plus, la boîte de réponses était munie d'un bouton de validation. Après avoir indiqué sa réponse, le sujet devait appuyer sur le bouton de validation afin de confirmer sa sélection. Les réponses étaient compilées automatiquement par le micro-ordinateur. Une caméra de surveillance a été utilisée afin de permettre à l'expérimentateur d'observer le comportement du sujet durant l'expérimentation. Finalement, l'expérimentateur et le sujet pouvaient communiquer verbalement par l'entremise d'un interphone.

4.4 Dépouillement et traitement des données

La variable dépendante, à savoir l'identification de sources sonores, a été traitée de trois façons :

- 1) le pourcentage global de bonnes réponses;
- 2) le pourcentage global de bonnes réponses en excluant les erreurs intra-quadrants;
- 3) les erreurs angulaires de localisation.

Pour ces trois traitements de données, le taux de réussite de chaque sujet a été calculé en fonction des variables indépendantes suivantes : conditions d'écoute, caractéristiques spectrales des signaux sonores et type de signal.

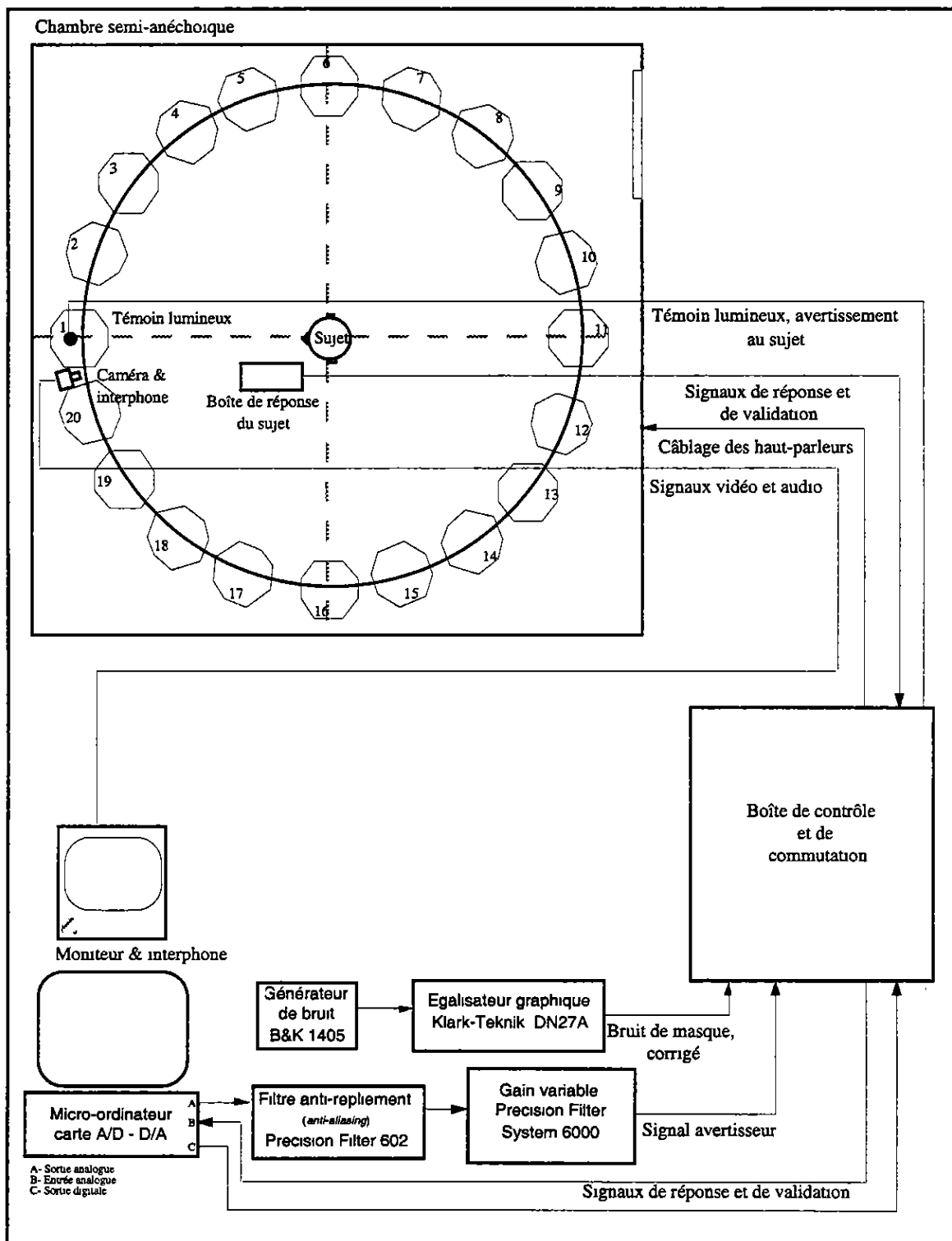


Figure 6. Schéma du dispositif expérimental utilisé pour la mesure de la capacité de localisation auditive dans le plan horizontal.

5 Épreuves de localisation chez les auditeurs normaux

Cette section rapporte les résultats de l'expérimentation portant sur les habiletés de localisation chez un groupe de sujets ayant une sensibilité auditive normale. Elle présente une appréciation descriptive des résultats observés pour chacune des conditions d'écoute (dans le silence et dans le bruit) et ce, pour chaque type de signaux utilisés durant l'expérimentation.

5.1 Stimuli et conditions expérimentales

Le tableau 1 représente un sommaire des caractéristiques de tous les stimuli évalués auprès des sujets ayant une acuité auditive normale.

Tableau 1. Caractéristiques temporelles et fréquentielles des signaux utilisés pour évaluer la capacité de localisation auditive d'auditeurs normaux. Les acronymes représentent l'identification de chacun des signaux utilisés dans le présent rapport

Caractéristiques temporelles	Caractéristiques fréquentielles					
	Son pur				Son harmonique	
	0,5 kHz	1,0 kHz	1,5 kHz	2,0 kHz	0,4 kHz (8 composantes)	0,5 kHz (4 composantes)
Continue	S1C	S2C	S3C	S4C	S5C	S6C
Pulsée	P1C	P2C	P3C	P4C	P5C	P6C
Modulée en MA	A1C	A2C	A3C	A4C	A5C	A6C
Modulée en MF	-	-	F3C	-	F5C	-

La durée totale de tous les stimuli était de 1,5 s.; il s'agit d'une durée compatible avec des avertisseurs sonores utilisés en milieux industriels. Pour les évaluations effectuées dans le silence, les signaux étaient présentés à un niveau sonore de 55 dB SPL (étalonnés acoustiquement à l'endroit où était positionnée la tête des sujets). Une variation aléatoire des signaux (± 2 dB) a été ajoutée aux signaux afin d'éviter tout biais lié à la variation de la sonie en fonction de l'azimut. Pour les évaluations dans le bruit, le niveau sonore de chaque composante du signal a été calculé afin que chacune des composantes spectrales soit présentée à un niveau correspondant à +12 dB par rapport au niveau du bruit ambiant. Un bruit de bande large ayant un spectre plat (de 0,25 à 8 kHz; étalonné acoustiquement à l'endroit où était positionnée la tête des sujets) a servi de bruit de masque pour la présente étude. Le niveau du bruit de masque était fixe et présenté à un niveau global de 65 dBA. Pour chacune des bandes de 1/3 d'octave le niveau spectral était de 53 dB SPL. Le niveau de chaque signal a été fixé à 65 dB SPL afin d'atteindre la cible visée de +12 dB par rapport au niveau spectral du bruit masquant. La figure 7 représente le spectre du bruit masquant et d'un signal continu complexe composé de quatre composantes spectrales (0,5, 1, 1,5, et 2 kHz). Les données représentent les niveaux acoustiques observés à l'emplacement de la tête du sujet.

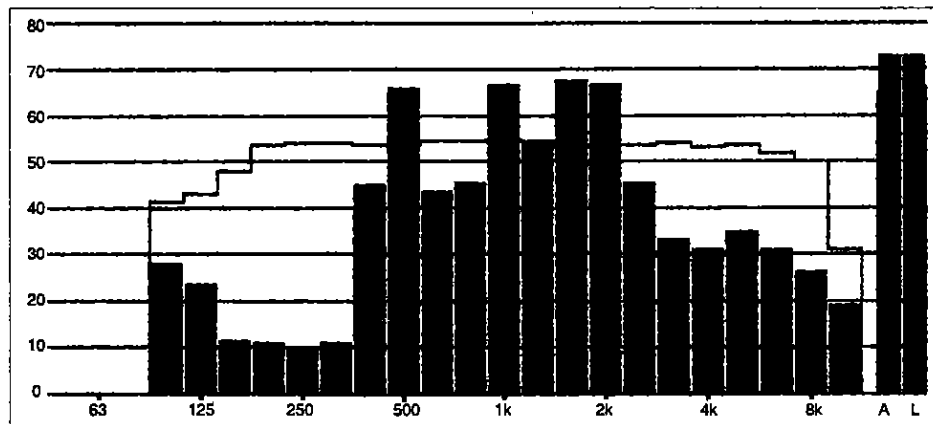


Figure 7. Spectre du bruit masquant superposé au signal continu de quatre composantes harmoniques. (dB-SPL)

5.2 Participants

Vingt-et-un (21) auditeurs ayant une acuité auditive normale ont participé à l'expérimentation.

Les participants devaient satisfaire les critères de sélection suivants :

- 1) présenter aux deux oreilles des seuils audiométriques inférieurs à 20 dB HL (re: AINSI-S3.6 [39]) aux fréquences suivantes : 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 6,0 kHz;
- 2) présenter un tympanogramme normal à chacune des oreilles;
- 3) présenter une histoire négative d'exposition professionnelle au bruit;
- 4) présenter une histoire négative de maladie pouvant affecter l'audition.

5.3 Déroulement

En général, les sujets ont visité le laboratoire du GAUM à cinq reprises pour compléter l'expérimentation. Lors de la première visite, une lettre explicative était présentée au sujet afin de le renseigner sur les objectifs du projet et des activités qu'il aurait à compléter s'il acceptait de participer à l'expérimentation (voir Annexe A). En plus, l'expérimentateur était disponible pour répondre à toutes les questions du sujet. Les sujets acceptant de participer à l'expérimentation devaient signer un formulaire de consentement leur expliquant le but de leur participation, le nombre et la durée des rencontres, le caractère libre et volontaire de leur collaboration, l'absence de préjudice même s'il y avait abandon en cours d'expérimentation, les bénéfices qu'ils pouvaient en tirer, la possibilité d'un suivi par des professionnels en cas de besoin et la nature confidentielle des résultats (voir Annexe A). De plus, le sujet devait compléter une évaluation audiométrique de dépistage ainsi qu'une évaluation d'impédancemétrie. Finalement, durant cette première visite, les sujets ont participé à quelques essais de localisation afin de les familiariser avec la tâche qu'ils allaient

compléter durant les visites subséquentes. Le signal utilisé pour les essais de familiarisation était un bruit de bande large de 1,5 s.

L'expérimentation comme telle a été complétée durant les quatre visites subséquentes (visites 2 à 5). Au total, chaque sujet a complété 40 séances d'évaluation. Pour la moitié des séances, l'évaluation a été effectuée dans le silence tandis que pour l'autre moitié, l'évaluation a été complétée en présence du bruit masquant. Pour chacune des conditions d'écoute (silence et bruit masquant), 13 séances ont été menées avec des sons purs et sept séances ont été effectuées avec des sons complexes. Quarante (40) stimuli (deux présentations du signal à chacun des 20 haut-parleurs), étaient présentés dans un ordre aléatoire à chaque séance. De cinq à huit minutes étaient nécessaires pour compléter une séance d'évaluation.

Durant l'expérimentation, toutes les conditions (avec ou sans bruit de masque), les types de stimuli et la durée des stimuli ont été permutés et présentés dans un ordre aléatoire afin d'éviter un biais de réponse lié à l'ordre de présentation ou à un effet d'apprentissage de la tâche.

En général, chaque sujet a complété l'expérimentation en cinq sessions d'environ 60 minutes. Les sujets ont reçu une rétribution pour leur participation.

Durant chaque séance, le sujet était assis sur un fauteuil situé à une distance égale de chacun des haut-parleurs. Le siège du fauteuil était réglé afin que les oreilles du sujet soient à la hauteur des haut-parleurs. Avant la présentation de chaque stimulus, le sujet devait fixer du regard le haut-parleur n°1. Un signal lumineux, d'une durée de une seconde, situé au-dessus du haut-parleur n°1, précédait la présentation d'un stimulus (voir figure 6). Ensuite le stimulus était présenté. Dès l'amorce du stimulus, le sujet était libre de se déplacer la tête et le torse, sans toutefois quitter le fauteuil. Le sujet indiquait sa réponse à l'aide de la boîte de réponses. Ensuite, il devait valider sa réponse en appuyant sur le bouton de validation situé sur la boîte de réponses (cette procédure visait à diminuer le risque d'erreurs de manipulation). Une fois la validation de la réponse complétée, un intervalle de une seconde précédait le retour du signal avertisseur lumineux et la présentation d'un nouveau stimulus. Toutes les réponses étaient enregistrées par le micro-ordinateur. Les sujets n'étaient pas informés de leurs niveaux de performance durant l'expérimentation.

5.4 Résultats

Cette section présente les résultats obtenus auprès de sujets ayant une audition normale. Elle rapporte également une appréciation descriptive des résultats observés pour chacune des conditions d'écoute (dans le silence et dans le bruit) et ce pour chaque type de signaux utilisés durant l'expérimentation.

5.4.1 Pourcentage global de réussite

Les données ont d'abord été compilées en calculant les pourcentages globaux de réussite. Ces résultats tiennent compte de tous les types d'erreurs et permettent d'identifier les performances globales de la localisation auditive des auditeurs normaux.

5.4.1.1 Signaux continus

Le tableau b1 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux continus. Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 8 ainsi que le tableau 2 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux continus.

Ces données permettent de constater que pour les sons purs (S1C, S2C, S3C, S4C), la performance des sujets est meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. De plus, lorsque ce type de signal est présenté dans le bruit, la performance des sujets diminue lorsque la fréquence du signal augmente. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (S5C, S6C), les taux de réussite sont semblables lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

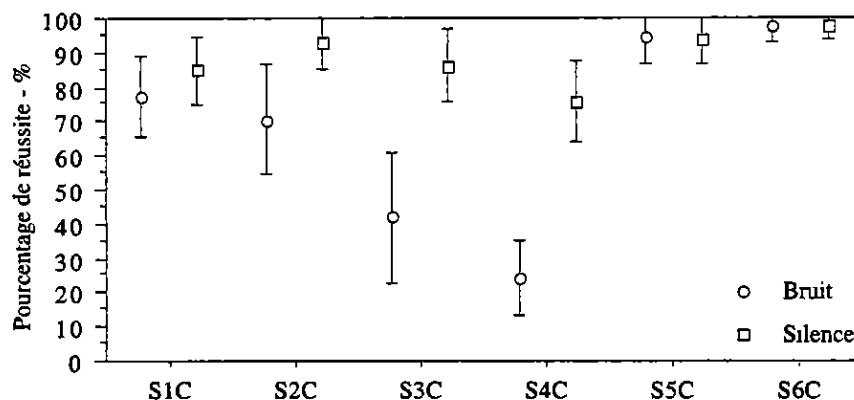


Figure 8. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 2. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
S1C / Bruit	77,143	11,680	2,549	60,000	100,000
S2C / Bruit	70,476	15,883	3,466	45,000	100,000
S3C / Bruit	41,905	19,071	4,162	15,000	85,000
S4C / Bruit	24,286	10,873	2,373	5,000	45,000
S5C / Bruit	94,762	8,288	1,809	65,000	100,000
S6C / Bruit	97,381	4,068	0,888	85,000	100,000
S1C / Silence	85,000	9,618	2,099	70,000	100,000
S2C / Silence	92,857	7,838	1,710	70,000	100,000
S3C / Silence	85,952	10,562	2,305	60,000	100,000
S4C / Silence	75,952	11,578	2,527	45,000	90,000
S5C / Silence	94,048	7,684	1,677	75,000	100,000
S6C / Silence	97,619	4,068	0,888	90,000	100,000

5.4.1.2 Signaux pulsés

Le tableau b2 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux pulsés. Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 9 ainsi que le tableau 3 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux pulsés.

Les résultats obtenus pour les signaux pulsés sont semblables à ceux observés pour les sons continus. Plus précisément, pour les sons purs (P1C, P2C, P3C, P4C), la performance des sujets est meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. De plus, lorsque ce type de signal est présenté dans le bruit, la performance des sujets diminue lorsque la fréquence du signal augmente. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (P5C, P6C), les taux de réussite sont semblables lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

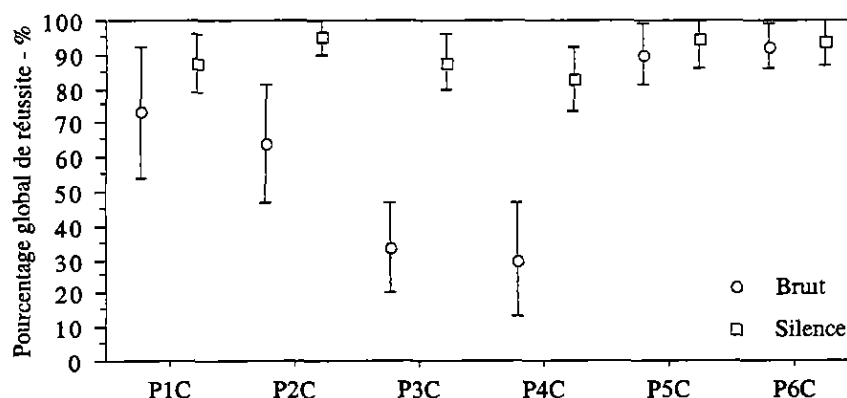


Figure 9. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 3. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
P1C / Bruit	73,095	19,266	4,204	25,000	100,000
P2C / Bruit	64,048	16,854	3,678	30,000	100,000
P3C / Bruit	33,810	13,314	2,905	10,000	70,000
P4C / Bruit	30,000	17,103	3,732	10,000	90,000
P5C / Bruit	90,000	9,083	1,982	70,000	100,000
P6C / Bruit	92,381	6,823	1,489	80,000	100,000
P1C / Silence	87,619	8,459	1,846	70,000	100,000
P2C / Silence	95,000	5,477	1,195	80,000	100,000
P3C / Silence	87,857	8,150	1,779	65,000	100,000
P4C / Silence	83,095	9,284	2,026	65,000	100,000
P5C / Silence	94,286	8,409	1,835	65,000	100,000
P6C / Silence	94,048	7,180	1,567	75,000	100,000

5.4.1.3 Signaux modulés en amplitude (MA)

Le tableau b3 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux modulés en amplitude (MA). Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 10 ainsi que le tableau 4 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux MA.

Les résultats obtenus pour les signaux MA sont semblables à ceux observés pour les sons continus et les sons pulsés. Plus précisément, pour les sons purs (A1C, A2C, A3C, A4C), la performance des sujets est meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. De plus, lorsque ce type de signal est présenté dans le bruit, la performance des sujets diminue lorsque la fréquence du signal augmente.

Pour les signaux à composantes spectrales (A5C, A6C), les taux de réussite sont semblables lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

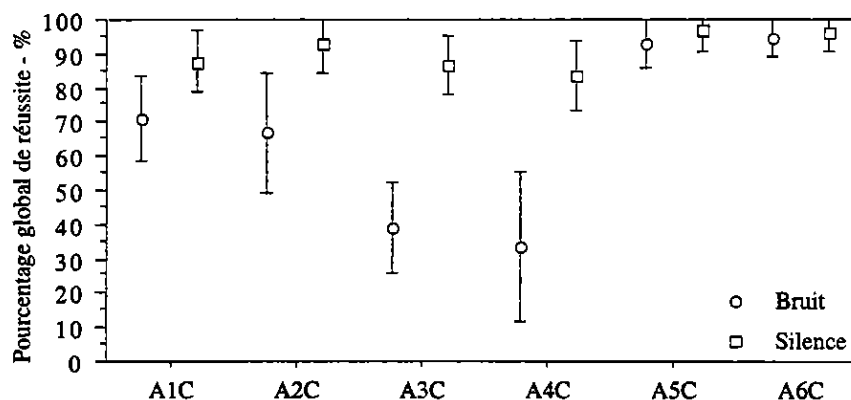


Figure 10. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 4. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
A1C / Bruit	71,190	12,640	2,758	45,000	95,000
A2C / Bruit	66,905	17,570	3,834	35,000	90,000
A3C / Bruit	39,286	13,443	2,934	15,000	60,000
A4C / Bruit	33,810	21,732	4,742	5,000	100,000
A5C / Bruit	93,333	7,638	1,667	70,000	100,000
A6C / Bruit	94,524	5,680	1,239	80,000	100,000
A1C / Silence	87,857	9,297	2,029	70,000	100,000
A2C / Silence	92,857	8,302	1,812	65,000	100,000
A3C / Silence	86,667	8,266	1,804	70,000	100,000
A4C / Silence	83,810	10,235	2,234	65,000	100,000
A5C / Silence	96,667	5,986	1,306	75,000	100,000
A6C / Silence	96,429	5,732	1,251	80,000	100,000

5.4.1.4 Signaux modulés en fréquence (MF)

Le tableau b4 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux modulés en fréquence (MF). Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 11 ainsi que le tableau 5 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux MF. Les résultats obtenus pour les signaux MF démontrent que les taux de réussite sont meilleurs lorsque la tâche est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit et ce, tant pour le signal ayant une seule composante spectrale (F3C) que pour le signal ayant quatre composantes spectrales (F5C). Cependant, l'effet du bruit de masque semble légèrement plus néfaste lorsque le signal est formé d'une seule composante (F3C) que lorsqu'il est constitué de quatre composantes (F5C).

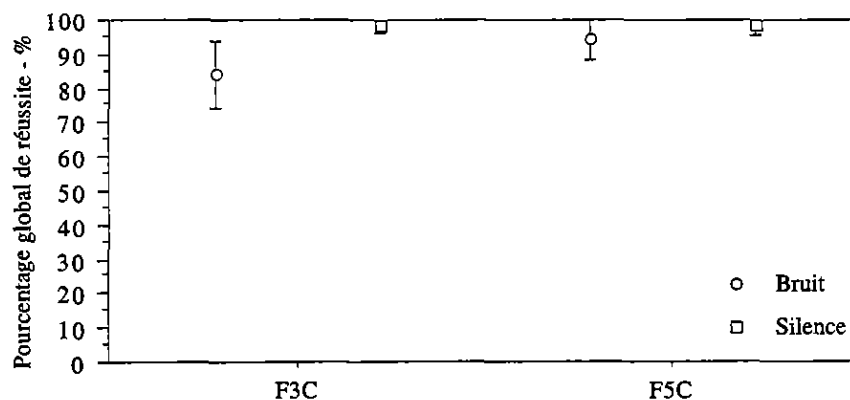


Figure 11. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux FM en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 5. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
F3C / Bruit	84,048	9,826	2,144	65,000	100,000
F5C / Bruit	94,524	6,501	1,419	80,000	100,000
F3C / Silence	98,810	2,695	0,588	90,000	100,000
F3C / Silence	98,810	3,502	0,764	85,000	100,000

5.4.2 Pourcentage de réussite excluant les erreurs intra-quadrants

Dans un contexte de perception d'avertisseurs sonores en milieux industriels, des erreurs fines de localisation (ex : des erreurs intra-quadrants) ont peu d'impacts sur la sécurité des travailleurs. Par contre, des erreurs plus grossières de type confusion avant-arrière ou gauche-droite peuvent avoir des conséquences importantes sur la sécurité des travailleurs. Dans une deuxième analyse, les données brutes ont été réexaminées en excluant les erreurs de type intra-quadrant. Le traitement de données a été effectué à l'aide de matrices de confusion. Toutes les réponses qui étaient émises dans le même quadrant (90°) que la source sonore ont été considérées comme étant de bonnes réponses.

5.4.2.1 Signaux continus

Le tableau b5 (voir Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux continus. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 12 ainsi que le tableau 6 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux continus.

Ces données permettent de constater un effet de plafonnement dans la performance des sujets pour trois des six types de signaux utilisés (S1C, S5C, S6C). Pour trois sons purs (S2C, S3C, S4C), la performance des sujets est meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Cependant, pour le son pur de 500 Hz (S1C), tout comme pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (S5C, S6C), des résultats similaires sont observés dans le silence et dans le bruit.

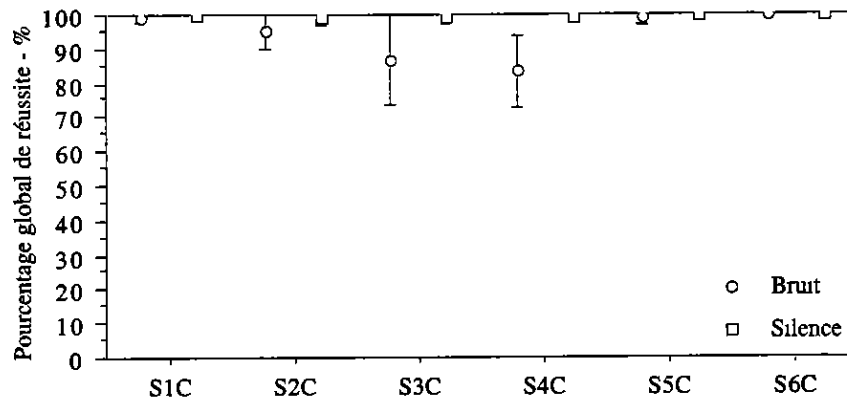


Figure 12. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 6. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
S1C / Bruit	99,524	1,504	0,328	95,000	100,000
S2C / Bruit	95,476	5,455	1,190	85,000	100,000
S3C / Bruit	86,905	13,645	2,978	50,000	100,000
S4C / Bruit	83,333	10,763	2,349	55,000	100,000
S5C / Bruit	99,286	2,390	0,522	90,000	100,000
S6C / Bruit	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
S1C / Silence	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
S2C / Silence	99,286	2,390	0,522	90,000	100,000
S3C / Silence	99,286	1,793	0,391	95,000	100,000
S4C / Silence	99,524	1,504	0,328	95,000	100,000
S5C / Silence	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
S6C / Silence	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000

5.4.2.2 Signaux pulsés

Le tableau b6 (Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux pulsés. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 13 ainsi que le tableau 7 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux pulsés.

Les résultats obtenus pour les signaux pulsés sont semblables à ceux observés pour les sons continus. Plus précisément, un effet de plafonnement est observé dans la performance des sujets pour trois des six types de signaux utilisés (P1C, P5C, P6C). Pour trois des sons purs (P2C, P3C, P4C), la performance des sujets est meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Cependant, pour le son pur de 500 Hz (P1C), tout comme pour les

signaux à plusieurs composantes spectrales (P5C, P6C), des résultats similaires sont observés dans le silence et dans le bruit.

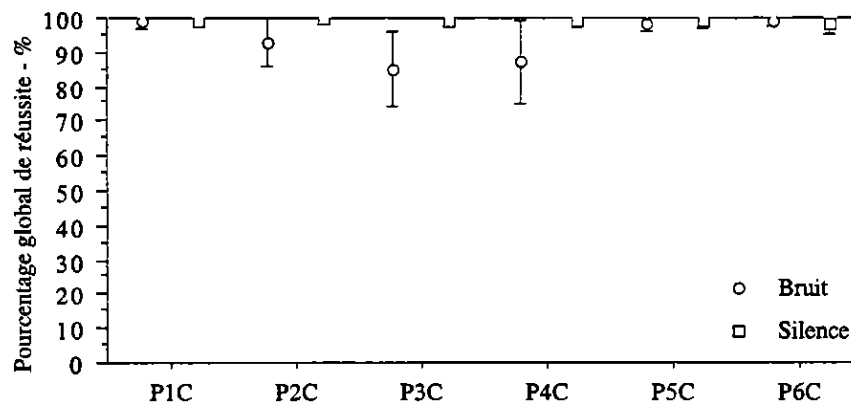


Figure 13. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 7. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
P1C / Bruit	99,048	2,559	0,558	90,000	100,000
P2C / Bruit	93,095	7,327	1,599	80,000	100,000
P3C / Bruit	85,238	10,779	2,352	60,000	100,000
P4C / Bruit	87,143	11,997	2,618	50,000	100,000
P5C / Bruit	98,571	2,803	0,612	90,000	100,000
P6C / Bruit	99,286	1,793	0,391	95,000	100,000
P1C / Silence	99,286	1,793	0,391	95,000	100,000
P2C / Silence	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
P3C / Silence	99,524	1,504	0,328	95,000	100,000
P4C / Silence	99,524	1,504	0,328	95,000	100,000
P5C / Silence	99,286	2,390	0,522	90,000	100,000
P6C / Silence	98,571	3,218	0,702	90,000	100,000

5.4.2.3 Signaux modulés en amplitude (MA)

Le tableau b7 (voir Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux MA. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 14 ainsi que le tableau 8 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux MA.

Les résultats obtenus pour les signaux MA sont semblables à ceux observés pour les sons continus et les sons pulsés. Plus précisément, un effet de plafonnement est observé dans la performance des sujets pour trois des six types de signaux utilisés (A1C, A5C, A6C). Pour trois sons purs (A2C,

A3C, A4C), la performance des sujets est meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Cependant, pour le son pur de 500 Hz (A1C), tout comme pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (A5C, A6C), des résultats similaires sont observés dans le silence et dans le bruit.

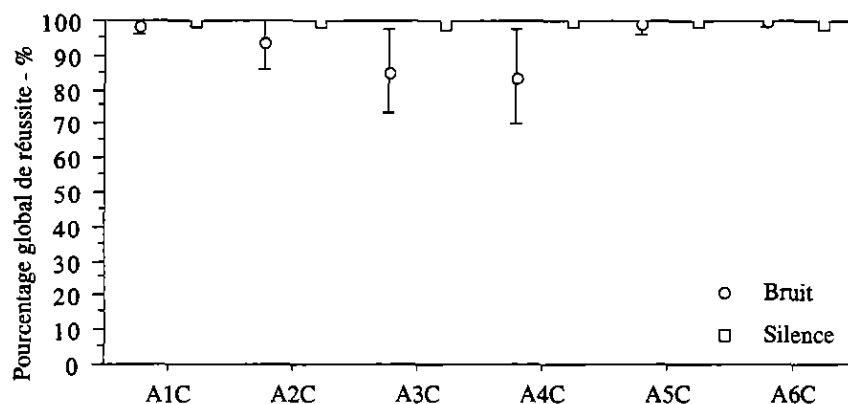


Figure 14. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 8. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
A1C / Bruit	98,571	2,803	0,612	90,000	100,000
A2C / Bruit	93,571	7,440	1,624	75,000	100,000
A3C / Bruit	85,476	11,927	2,603	55,000	100,000
A4C / Bruit	83,810	13,593	2,966	55,000	100,000
A5C / Bruit	99,048	3,008	0,656	90,000	100,000
A6C / Bruit	99,762	1,091	0,238	95,000	100,000
A1C / Silence	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
A2C / Silence	99,762	1,091	0,238	95,000	100,000
A3C / Silence	99,286	1,793	0,391	95,000	100,000
A4C / Silence	99,762	1,091	0,238	95,000	100,000
A5C / Silence	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
A6C / Silence	99,524	1,504	0,328	95,000	100,000

5.4.2.4 Signaux modulés en fréquence (MF)

Le tableau b8 (voir Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux MF. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 15 ainsi que le tableau 9 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour les deux types de signaux MF.

Les résultats obtenus pour les signaux MF indiquent que lorsque les erreurs intra-quadrants sont exclues, le bruit n'affecte pas la capacité de localisation chez des sujets ayant une sensibilité auditive normale.

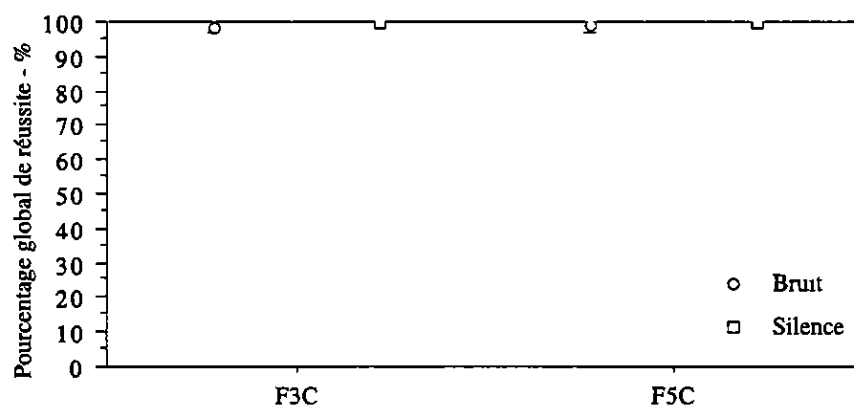


Figure 15. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 9. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
F3C / Bruit	98,810	2,182	0,476	95,000	100,000
F5C / Bruit	99,286	2,390	0,522	90,000	100,000
F3C / Silence	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
F5C / Silence	99,762	1,091	0,238	95,000	100,000

5.4.3 Erreur angulaire de localisation auditive

Lorsque les habiletés de localisation sont définies en fonction du pourcentage global de réussites (voir section 5.1), les résultats tiennent compte de toutes les erreurs commises par les sujets. Cependant, ce traitement de données ne permet pas d'apprécier l'ampleur des erreurs commises. Par exemple, une erreur d'identification de la source sonore de 18° est comptabilisée au même titre qu'une erreur d'identification de la source sonore de 72° et ce, même si la magnitude de l'erreur est beaucoup plus importante dans la dernière situation. Nous avons développé une troisième façon de traiter les données qui permet non seulement de prendre en compte la présence d'une erreur de localisation mais de quantifier l'ampleur de cette erreur. L'erreur angulaire est obtenue en calculant la différence (en degré) entre la position de la source sonore et la position du haut-parleur identifié par le sujet. Les données brutes obtenues des sujets ont été réexaminées afin de calculer l'erreur angulaire observée pour chaque sujet en fonction de la condition d'écoute et du type de signaux utilisés.

5.4.3.1 Signaux continus

Le tableau b9 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux continus. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 16 ainsi que le tableau 10 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour chaque type de signaux continus. Pour trois des sons purs (S2C, S3C, S4C), la magnitude de l'erreur angulaire est plus importante lorsque les signaux sont présentés dans le bruit que lorsqu'ils sont présentés dans le silence. Cependant, pour le son pur de 500 Hz (S1C) tout comme pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (S5C, S6C), des résultats similaires sont observés dans le silence et dans le bruit.

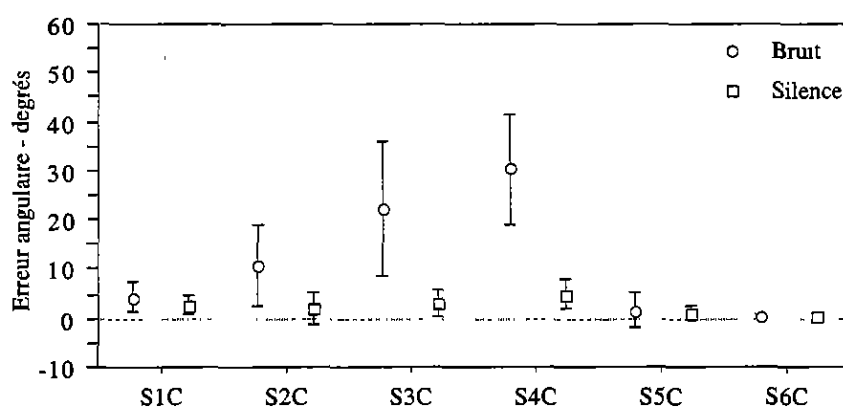


Figure 16. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux continus en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 10. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
S1C / Bruit	4,457	2,824	0,616	0,000	11,700
S2C / Bruit	10,971	8,207	1,791	0,000	27,900
S3C / Bruit	22,114	13,760	3,003	4,500	54,900
S4C / Bruit	30,243	11,077	2,417	13,500	61,200
S5C / Bruit	1,671	3,371	0,736	0,000	13,500
S6C / Bruit	0,471	0,732	0,160	0,000	2,700
S1C / Silence	2,743	1,765	0,385	0,000	5,400
S2C / Silence	2,014	3,366	0,735	0,000	14,400
S3C / Silence	3,257	2,853	0,623	0,000	10,800
S4C / Silence	4,843	2,978	0,650	1,800	13,500
S5C / Silence	1,071	1,383	0,302	0,000	4,500
S6C / Silence	0,429	0,732	0,160	0,000	1,800

5.4.3.2 Signaux pulsés

Le tableau b10 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux pulsés. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 17 ainsi que le tableau 11 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour chaque type de signaux pulsés. Les résultats obtenus pour les signaux pulsés sont semblables à ceux observés pour les sons continus. Plus précisément, pour trois sons purs (P2C, P3C, P4C), la magnitude de l'erreur angulaire est plus importante lorsque les signaux sont présentés dans le bruit plutôt que présentés dans le silence. Cependant, pour le son pur de 500 Hz (P1C) tout comme pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (P5C, P6C), des résultats similaires sont observés dans le silence et dans le bruit.

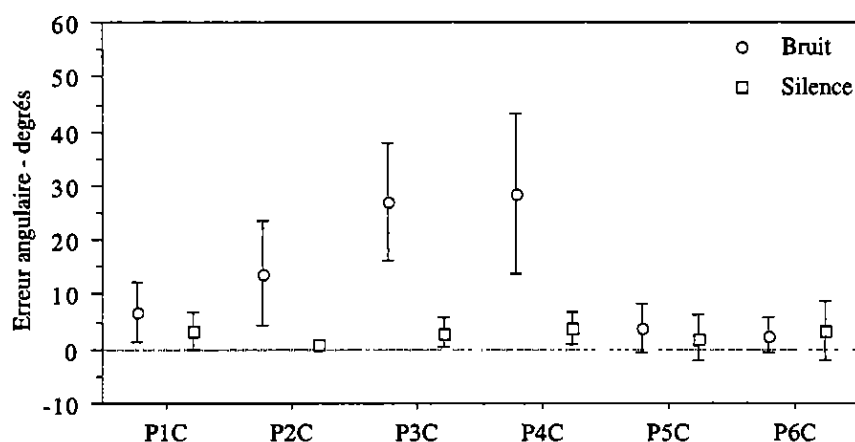


Figure 17. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux pulsés en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 11. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
P1C / Bruit	6,686	5,508	1,202	0,000	21,600
P2C / Bruit	13,714	9,601	2,095	0,000	33,300
P3C / Bruit	26,871	10,909	2,381	9,900	51,300
P4C / Bruit	28,329	14,777	3,224	10,800	77,400
P5C / Bruit	3,814	4,315	0,942	0,000	13,500
P6C / Bruit	2,529	3,007	0,656	0,000	9,000
P1C / Silence	3,214	3,434	0,749	0,000	11,700
P2C / Silence	0,900	0,986	0,215	0,000	3,600
P3C / Silence	2,959	2,747	0,599	0,000	9,900
P4C / Silence	3,729	2,989	0,652	0,000	12,600
P5C / Silence	2,057	4,076	0,890	0,000	17,100
P6C / Silence	3,214	5,552	1,212	0,000	17,100

5.4.3.3 Signaux modulés en amplitude (MA)

Le tableau b11 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux MA. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 18 ainsi que le tableau 12 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour chaque type de signaux MA. Les résultats obtenus pour les signaux MA sont semblables à ceux observés pour les sons continus et les sons pulsés. Plus précisément, pour trois sons purs (A2C, A3C, A4C), la magnitude de l'erreur angulaire est plus importante lorsque les signaux sont présentés dans le bruit plutôt que présentés dans le silence. Cependant, pour le son pur de 500 Hz (A1C) tout comme pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (A5C, A6C), des résultats similaires sont observés dans le silence et dans le bruit.

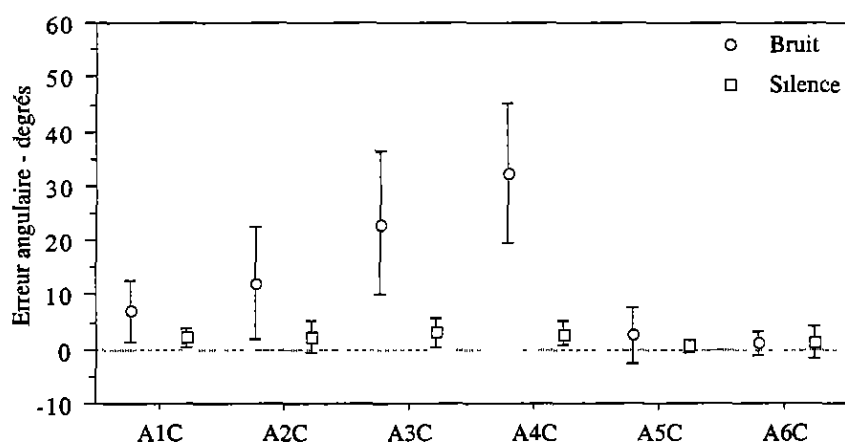


Figure 18. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MA en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 12. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
A1C / Bruit	7,114	5,656	1,234	0,900	23,400
A2C / Bruit	12,043	10,381	2,265	1,800	36,900
A3C / Bruit	23,186	13,036	2,845	7,200	61,200
A4C / Bruit	32,186	12,826	2,799	14,400	69,300
A5C / Bruit	2,571	5,387	1,176	0,000	19,800
A6C / Bruit	1,200	2,155	0,470	0,000	9,900
A1C / Silence	2,100	1,739	0,379	0,000	5,400
A2C / Silence	2,357	3,072	0,670	0,000	10,800
A3C / Silence	3,171	2,841	0,620	0,000	10,800
A4C / Silence	3,000	2,078	0,454	0,000	6,300
A5C / Silence	0,600	1,077	0,235	0,000	4,500
A6C / Silence	1,371	2,993	0,653	0,000	11,700

5.4.3.4 Signaux modulés en fréquence (MF)

Le tableau b12 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux MF. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 19 ainsi que le tableau 13 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour les deux types de signaux MF. Les résultats obtenus pour les signaux MF indiquent que la magnitude de l'erreur angulaire est semblable lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

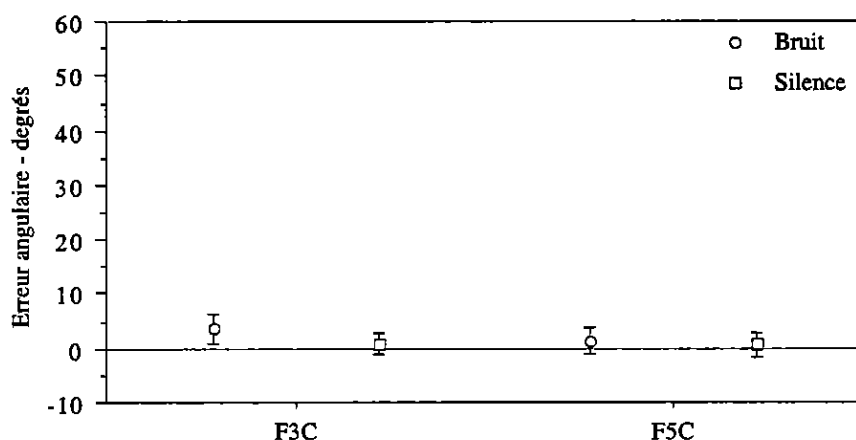


Figure 19. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MF en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 13. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
F3C / Bruit	3,557	2,600	0,567	0,000	8,100
F5C / Bruit	1,329	2,392	0,522	0,000	10,800
F3C / Silence	0,686	1,970	0,430	0,000	8,100
F5C / Silence	0,600	2,019	0,441	0,000	9,000

6 Épreuves de localisation auditive chez les auditeurs ayant une surdité

6.1 Stimuli et conditions expérimentales

Le tableau 14 représente un sommaire des caractéristiques de tous les stimuli évalués auprès des sujets ayant une surdité.

Tableau 14. Caractéristiques temporelles et fréquentielles des signaux utilisés pour évaluer la capacité de localisation d'auditeurs malentendants. Les acronymes représentent l'identification de chacun des signaux utilisés dans le présent rapport.

Caractéristiques temporelles	Caractéristiques fréquentielles		
	Son pur	Son avec harmoniques	
	1,5 kHz	0,4 kHz (8 composantes)	0,5 kHz (4 composantes)
Continue	S3C	S5C	S6C
Pulsée	P3C	P5C	P6C
Modulée en MA	A3C	A5C	-
Modulée en MF	F3C	F5C	-

Pour les évaluations effectuées dans le silence, les signaux étaient présentés à un niveau sonore de 55 dB SPL (étalonnés acoustiquement à l'endroit où était positionnée la tête du participant). Une variation aléatoire des signaux (± 2 dB) a été ajoutée aux signaux afin d'éviter tout biais lié à la variation de la sonie en fonction de l'azimut. Pour les évaluations dans le bruit, le niveau sonore de chaque composante du signal a été calculé afin que chacune des composantes spectrales soit présentée à un niveau correspondant à +12 dB par rapport aux seuils masqués préalablement mesurés pour chaque participant. Un bruit de bande large ayant un spectre plat (de 0,25 à 8,0 kHz; étalonné acoustiquement à l'endroit où était positionnée la tête du participant) a servi de bruit de masque pour la présente étude. Le niveau du bruit de masque était fixe et transmis à un niveau global de 55 dBA. Pour chacune des bandes de 1/3 d'octave, le niveau spectral était de 43 dB SPL.

6.2 Participants

Les essais auprès des personnes malentendantes ont essentiellement pour but d'évaluer leur capacité de localisation auditive lorsque les différentes composantes des signaux sont clairement audibles malgré la perte auditive. Il s'agit donc de recruter des gens qui présentent des seuils auditifs supérieurs à 20 dB HL (entre 0,25 et 4,0 kHz). La perte de sensibilité auditive est généralement associée à une perte de sélectivité fréquentielle [5,15]. Il est par ailleurs souhaitable de limiter le degré de la perte auditive de façon à :

- 1) pouvoir présenter les signaux sonores à des niveaux qui ne sont pas susceptibles de causer une fatigue auditive;
- 2) pouvoir évaluer l'effet d'un bruit de masque sans que celui-ci n'induit de fatigue auditive.

Des seuils d'audition égaux ou inférieurs à 55 dB HL permettent de satisfaire ces deux conditions pour un bruit de masque de 55 dBA.

Les participants ont été recrutés parmi ceux qui ont déjà contribué à un projet antérieur réalisé dans nos laboratoires. Ce projet portait sur la détection sonore en conditions bruyantes [32].

L'échantillon des participants malentendants comprenait 21 personnes ayant une perte auditive satisfaisant les critères d'inclusion suivants : seuils audiométriques entre 0,25 et 4,0 kHz supérieurs à 20 dB HL à au moins une fréquence et inférieurs à 60 dB HL. Le minimum de 20 dB nous assure d'une perte de sélectivité fréquentielle et, par conséquent, d'une élévation des seuils masqués par comparaison à des auditeurs normaux. Le maximum de 60 dB permet d'obtenir un effet de masque du bruit de large bande de fréquences présenté à un niveau de 75 dBA (lequel prévient la fatigue auditive).

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- 1) tympanogramme anormal;
- 2) écart supérieur à 10 dB entre le seuil tonal aérien et le seuil tonal osseux pour toutes les fréquences testées;
- 3) indice d'atteinte rétro-cochléaire;
- 4) âge supérieur à 66 ans (les données devant servir à prédire les capacités auditives d'une population en emploi);
- 5) perception d'un acouphène persistant (afin d'éviter l'exacerbation de celui-ci par l'exposition au bruit).

Le recrutement des participants malentendants a été fait par contact téléphonique. Le projet a été expliqué de façon à ce que les participants soient mis au courant de la tâche à réaliser et de la durée de la participation. Aux personnes qui ont accepté de participer, nous avons à nouveau expliqué la nature du projet et de leur participation avant qu'elles signent le formulaire de consentement (voir Annexe A).

6.3 Déroulement

En général, les participants ont visité le laboratoire du GAUM à trois reprises pour compléter l'expérimentation. Lors de la première visite, une lettre explicative était présentée aux participants afin de les renseigner sur les objectifs du projet et des activités qu'ils auraient à compléter s'ils acceptaient de participer à l'expérimentation (voir Annexe A). En plus, l'expérimentateur était

disponible pour répondre à toutes les questions des participants. Les sujets acceptant de participer à l'expérimentation devaient signer un formulaire de consentement leur expliquant le but de leur participation, le nombre et la durée des rencontres, le caractère libre et volontaire de leur collaboration, l'absence de préjudice même s'il y avait abandon en cours d'expérimentation, les bénéfices qu'ils pouvaient en tirer, la possibilité d'un suivi par des professionnels en cas de besoin et la nature confidentielle des résultats (voir Annexe A). De plus, les participants devaient compléter une évaluation audiométrique de dépistage ainsi qu'une évaluation d'impédancemétrie. Finalement, durant cette première visite, les sujets ont participé à quelques essais de localisation afin de les familiariser avec la tâche qu'ils allaient compléter durant les visites subséquentes. Le signal utilisé pour les essais de familiarisation était un bruit de bande large de 1,5 s.

L'expérimentation a été complétée durant les deux visites subséquentes (visites 2 et 3). Au total, chaque participant a complété 20 séances d'évaluation. Pour la moitié des séances, l'évaluation a été effectuée dans le silence tandis que pour l'autre moitié, l'évaluation a été complétée en présence du bruit masquant. Pour chacune des conditions d'écoute (silence et bruit masquant), quatre séances ont été menées avec un son pur et six séances ont été effectuées avec des sons complexes. Quarante (40) stimuli (deux présentations du signal à chacun des 20 haut-parleurs), étaient présentés dans un ordre aléatoire à chaque séance. De cinq à huit minutes étaient nécessaires pour compléter une séance d'évaluation.

Durant l'expérimentation, toutes les conditions (avec ou sans bruit de masque), les types de stimuli et la durée des stimuli ont été permutés et présentés dans un ordre aléatoire afin d'éviter un biais de réponse lié à l'ordre de présentation ou à un effet d'apprentissage de la tâche.

En général, chaque sujet a complété l'expérimentation en trois sessions d'environ 60 minutes. Les sujets ont reçu une rétribution pour leur participation.

Durant chaque séance, le sujet était assis sur un fauteuil situé à une distance égale de chacun des haut-parleurs. Le siège du fauteuil était réglé afin que les oreilles du sujet soient à la hauteur des haut-parleurs. Avant la présentation de chaque stimulus, le sujet devait fixer du regard le haut-parleur n°1. Un signal lumineux, d'une durée de une seconde, situé au-dessus du haut-parleur n°1, précédait la présentation d'un stimulus (voir figure 6). Ensuite le stimulus était présenté. Dès l'amorce du stimulus, le sujet était libre de se déplacer la tête et le torse, sans toutefois quitter le fauteuil. Le sujet indiquait sa réponse à l'aide de la boîte de réponses. Ensuite, il devait valider sa réponse en appuyant sur le bouton de validation situé sur la boîte de réponses (cette procédure visait à diminuer le risque d'erreurs de manipulation). Une fois la validation de la réponse complétée, un intervalle de une seconde précédait le retour du signal avertisseur lumineux et la présentation d'un nouveau stimulus. Toutes les réponses étaient enregistrées par le micro-ordinateur. Les sujets n'étaient pas informés de leurs niveaux de performance durant l'expérimentation.

6.4 Résultats

Cette section présente les résultats obtenus auprès de sujets ayant une surdité. Elle rapporte également une appréciation descriptive des résultats observés pour chacune des conditions d'écoute (dans le silence et dans le bruit) et ce pour chaque type de signaux utilisés durant l'expérimentation.

6.4.1 Pourcentage global de réussite

Les données ont d'abord été compilées en calculant les pourcentages globaux de réussites. Ces résultats tiennent compte de tous les types d'erreurs et permettent d'identifier les performances globales de la localisation auditive des auditeurs ayant une surdité.

6.4.1.1 Signaux continus

Le tableau b13 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux continus. Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 20 ainsi que le tableau 15 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux continus. Ces données permettent de constater que pour le son pur (S3C), la performance des sujets est légèrement meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Cependant, même dans le silence, la performance moyenne n'atteint que 35%. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (S5C, S6C), les performances de localisation s'améliorent contrairement aux performances obtenues pour les conditions d'écoute avec le son pur. Les taux de réussite sont très semblables lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

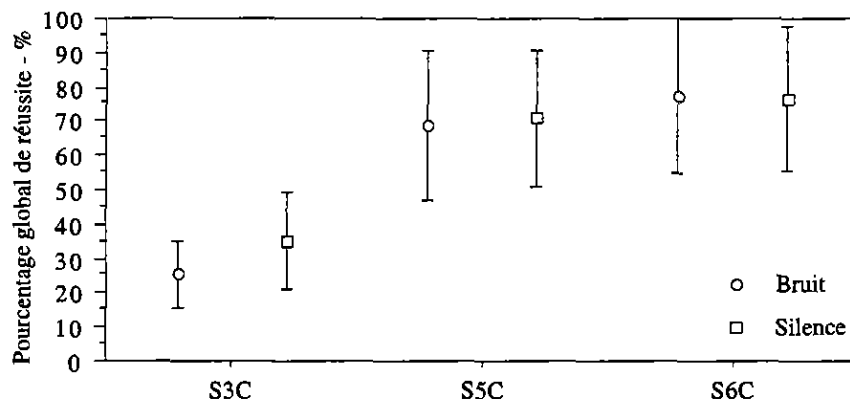


Figure 20. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 15. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
S3C / Bruit	25,714	9,783	2,135	5,000	50,000
S5C / Bruit	68,571	21,745	4,745	25,000	100,000
S6C / Bruit	77,368	22,507	5,164	25,000	100,000
S3C / Silence	35,000	14,053	3,067	10,000	75,000
S5C / Silence	70,714	20,142	4,395	25,000	100,000
S6C / Silence	76,316	21,005	4,819	30,000	100,000

6.4.1.2 Signaux pulsés

Le tableau b14 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux pulsés. Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 21 ainsi que le tableau 16 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux pulsés. Les résultats obtenus pour les signaux pulsés sont semblables à ceux observés pour les sons continus. Plus précisément, pour le son pur (P3C), la performance des sujets est légèrement meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (P5C, P6C), les performances de localisation s'améliorent contrairement à celles obtenues pour les conditions d'écoute avec le son pur. De plus, pour ces deux conditions expérimentales, la différence du taux de réussite est négligeable lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

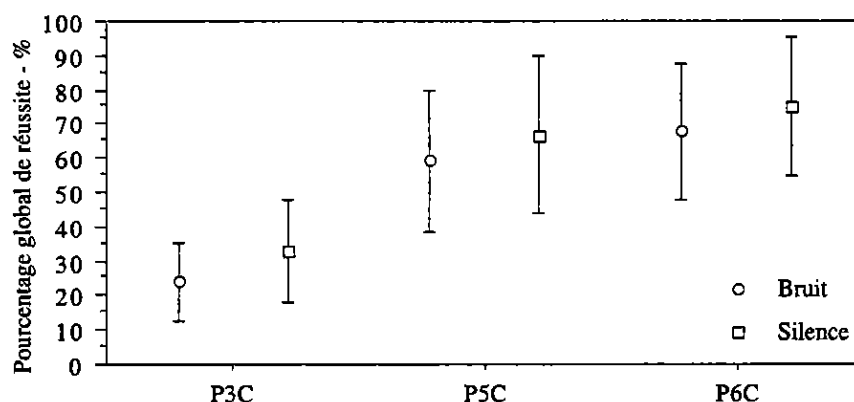


Figure 21. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 16. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
P3C / Bruit	24,048	11,469	2,503	0,000	45,000
P5C / Bruit	59,048	20,532	4,480	10,000	85,000
P6C / Bruit	67,619	19,914	4,345	20,000	95,000
P3C / Silence	32,857	15,130	3,302	10,000	70,000
P5C / Silence	66,667	22,822	4,980	20,000	95,000
P6C / Silence	74,762	20,216	4,412	25,000	100,000

6.4.1.3 Signaux modulés en amplitude (MA)

Le tableau b15 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux modulés en amplitude (MA). Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 22 ainsi que le tableau 17 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux MA. Les résultats obtenus pour les signaux MA sont semblables à ceux observés pour les sons continus et les sons pulsés. Plus précisément, pour le son pur (A3C), la performance des sujets est légèrement meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Pour le signal à plusieurs composantes spectrales (A5C), le taux de réussite s'améliore et est semblable lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

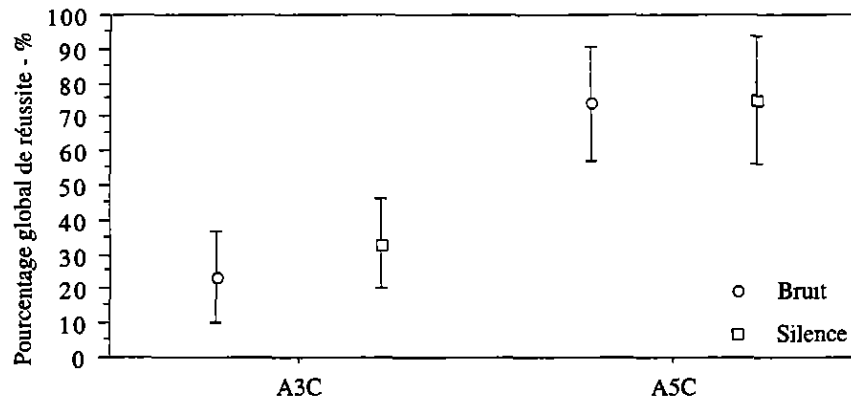


Figure 22. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 17. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
A3C / Bruit	23,571	13,336	2,910	0,000	40,000
A5C / Bruit	74,048	16,928	3,694	30,000	95,000
A3C / Silence	33,095	13,084	2,855	10,000	50,000
A5C / Silence	75,000	18,507	4,039	30,000	100,000

6.4.1.4 Signaux modulés en fréquence (MF)

Le tableau b16 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour les signaux modulés en fréquence (MF). Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 23 ainsi que le tableau 18 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux MF. Les résultats obtenus pour les signaux MF démontrent que les taux de réussite sont meilleurs lorsque la tâche est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit et ce, tant pour le signal ayant une seule composante spectrale (F3C) que pour le signal ayant quatre composantes spectrales (F5C). Cependant, l'effet du bruit de masque est plus néfaste lorsque le signal est formé d'une seule composante (F3C) que lorsqu'il est constitué de quatre composantes (F5C). Particulièrement, pour ce type de signal (MF), et pour les conditions d'écoute dans le silence, le taux de réussite est légèrement meilleur si l'on compare avec les conditions d'écoute avec les signaux continus, pulsés et modulés en amplitude.

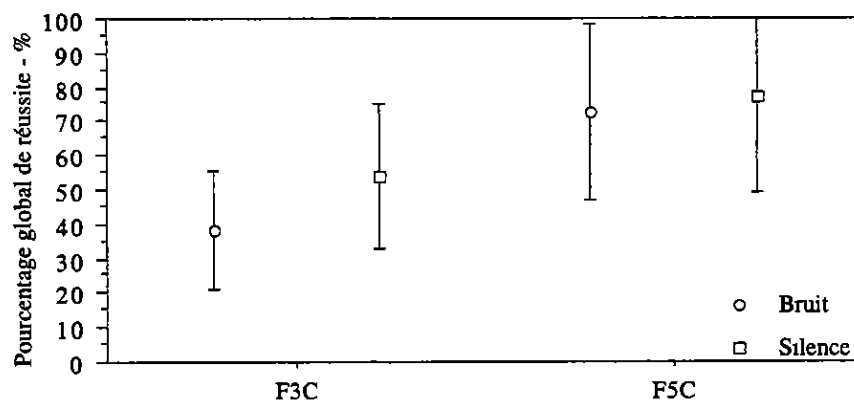


Figure 23. Pourcentage moyen de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 18. Pourcentage moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
F3C / Bruit	38,333	17,416	3,801	5,000	85,000
F5C / Bruit	72,857	25,767	5,623	20,000	100,000
F3C / Silence	53,810	21,030	4,589	20,000	95,000
F5C / Silence	77,143	28,177	6,149	10,000	100,000

6.4.2 Pourcentage de réussite excluant les erreurs intra-quadrants

Dans un contexte de perception d'avertisseurs sonores en milieux industriels, des erreurs fines de localisation (ex : des erreurs intra-quadrants) ont peu d'impacts sur la sécurité des travailleurs. Par contre, des erreurs plus grossières de type confusion avant-arrière ou gauche-droite peuvent avoir des conséquences importantes sur la sécurité des travailleurs. Dans une deuxième analyse, les données brutes ont été réexaminées en excluant les erreurs de type intra-quadrant. Le traitement des données a été effectué à l'aide de matrices de confusion. Toutes les réponses qui étaient émises dans le même quadrant (90°) que la source sonore ont été considérées comme étant de bonnes réponses.

6.4.2.1 Signaux continus

Le tableau b17 (voir Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux continus. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 24 ainsi que le tableau 19 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signal continu. Pour des

sons purs (S3C), la performance des sujets est légèrement meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (S5C, S6C), les taux de réussite sont semblables lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

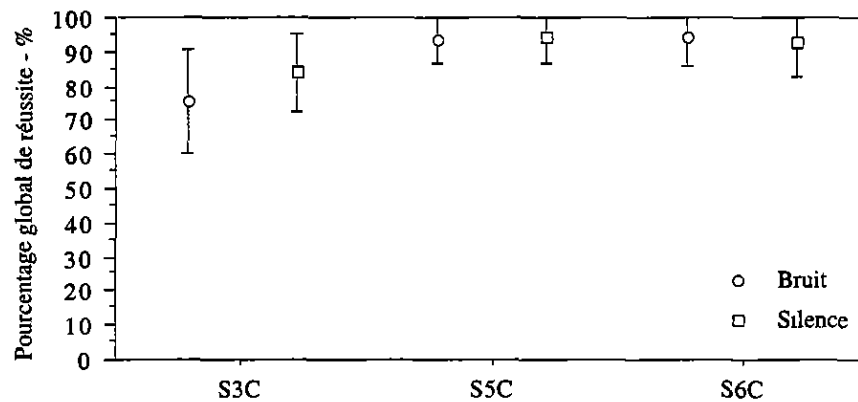


Figure 24. Pourcentage de réussite moyen et écart-type excluant les erreurs intra-quadrants obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 19. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
S3C / Bruit	75,476	15,158	3,308	45,000	100,000
S5C / Bruit	93,810	7,229	1,578	75,000	100,000
S6C / Bruit	94,474	8,316	1,908	65,000	100,000
S3C / Silence	84,286	11,323	2,471	65,000	100,000
S5C / Silence	94,524	7,567	1,651	80,000	100,000
S6C / Silence	92,895	10,450	2,397	65,000	100,000

6.4.2.2 Signaux pulsés

Le tableau b18 (voir Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux pulsés. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 25 ainsi que le tableau 20 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux pulsés. Les résultats obtenus pour les signaux pulsés sont semblables à ceux observés pour les sons continus. Pour des sons purs (P3C), la performance des sujets est légèrement meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (P5C, P6C), les taux de réussite sont semblables lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

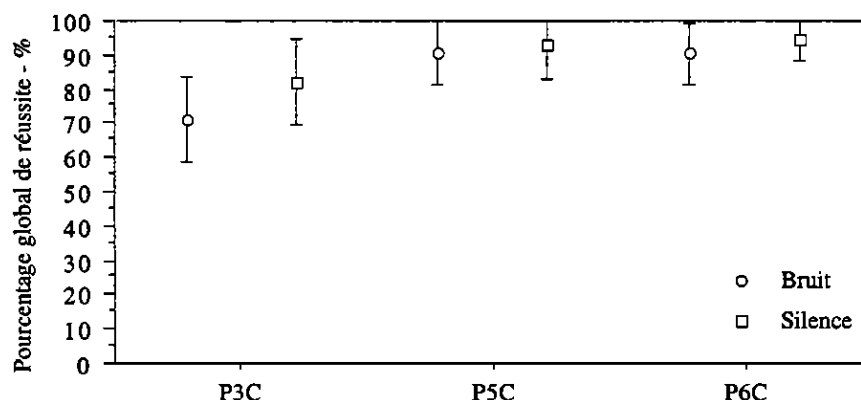


Figure 25. Pourcentage de réussite moyen et écart-type excluant les erreurs intra-quadrants obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 20. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
P3C / Bruit	70,952	12,611	2,752	40,000	95,000
P5C / Bruit	90,714	9,122	1,991	70,000	100,000
P6C / Bruit	90,476	8,931	1,949	65,000	100,000
P3C / Silence	81,667	12,483	2,724	50,000	95,000
P5C / Silence	93,095	9,934	2,168	65,000	100,000
P6C / Silence	94,762	6,220	1,357	80,000	100,000

6.4.2.3 Signaux modulés en amplitude (MA)

Le tableau b19 (voir Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux MA. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 26 ainsi que le tableau 21 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque type de signaux MA.

Les résultats obtenus pour les signaux MA sont semblables à ceux observés pour les sons continus et les sons pulsés. Pour des sons purs (A3C), la performance des sujets est meilleure lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt que dans le bruit. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (A5C), les taux de réussite sont semblables lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

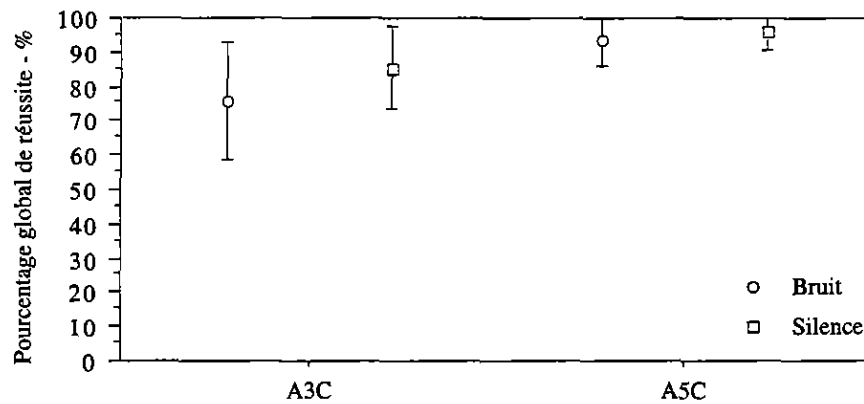


Figure 26. Pourcentage de réussite moyen et écart-type excluant les erreurs intra-quadrants obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 21. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
A3C / Bruit	75,952	17,221	3,758	35,000	100,000
A5C / Bruit	93,810	7,891	1,722	75,000	100,000
A3C / Silence	85,476	11,822	2,580	60,000	100,000
A5C / Silence	96,190	5,896	1,287	75,000	100,000

6.4.2.4 Signaux modulés en fréquence (MF)

Le tableau b20 (voir Annexe B) présente les résultats obtenus pour les signaux MF. En excluant les erreurs intra-quadrants, le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 27 ainsi que le tableau 22 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour les deux types de signaux MF. Les résultats obtenus pour les deux types de signaux MF indiquent qu'en excluant les erreurs intra-quadrants, le bruit n'a que peu d'effet sur la capacité de localisation chez des sujets ayant une surdité.

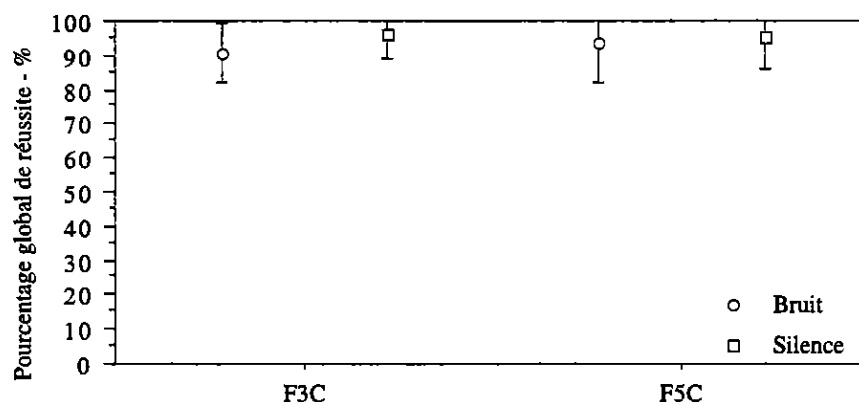


Figure 27. Pourcentage de réussite moyen et écart-type excluant les erreurs intra-quadrants obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Tableau 22. Pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
F3C / Bruit	90,714	8,844	1,930	70,000	100,000
F5C / Bruit	93,571	11,307	2,467	65,000	100,000
F3C / Silence	95,714	6,944	1,515	70,000	100,000
F5C / Silence	95,238	9,549	2,084	60,000	100,000

6.4.3 Erreur angulaire de localisation auditive

Lorsque les habiletés de localisation sont définies selon le pourcentage global de réussites (voir section 6.4.1), les résultats tiennent compte de toutes les erreurs commises par les sujets. Cependant, ce traitement de données ne permet pas d'apprécier l'ampleur des erreurs commises. Par exemple, une erreur d'identification de la source sonore de 18° est comptabilisée au même titre qu'une erreur d'identification de la source sonore de 72° et ce, même si la magnitude de l'erreur est beaucoup plus importante dans la dernière situation. Nous avons développé une troisième façon de traiter les données. Ce type de traitement permet non seulement de prendre en compte la présence d'une erreur de localisation mais de quantifier l'ampleur de cette erreur. L'erreur angulaire est obtenue en calculant la différence (en degré) entre la position de la source sonore et la position du haut-parleur identifié par le sujet. Les données brutes obtenues des sujets ont été réexaminées afin de calculer l'erreur angulaire observée pour chaque sujet en fonction de la condition d'écoute et du type de signaux utilisés.

6.4.3.1 Signaux continus

Le tableau b21 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux continus. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 28 ainsi que le tableau 23 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour chaque type de signaux continus. Pour des sons purs (S3C), la magnitude de l'erreur angulaire est plus importante lorsque les signaux sont présentés dans le bruit que lorsqu'ils sont présentés dans le silence. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (S5C, S6C), la magnitude de l'erreur angulaire est semblable lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

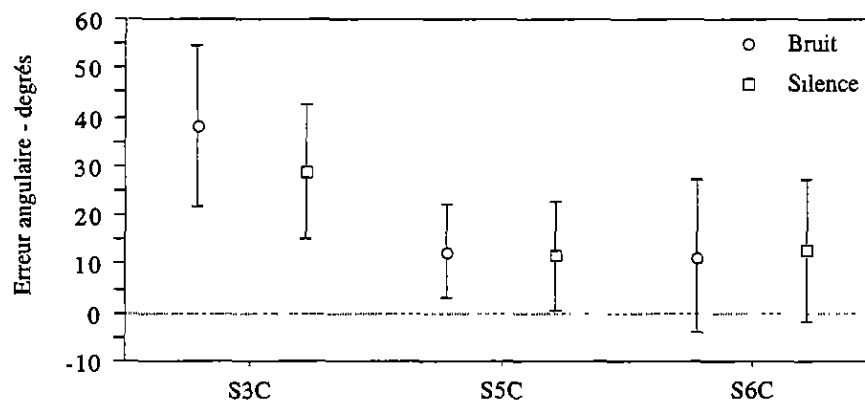


Figure 28. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux continus en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 23. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
S3C / Bruit	37,929	16,466	3,593	9,900	72,0
S5C / Bruit	12,686	9,630	2,101	0,000	35,1
S6C / Bruit	11,463	15,527	3,562	0,000	65,7
S3C / Silence	28,843	13,633	2,975	4,500	53,1
S5C / Silence	11,614	11,223	2,449	0,000	32,4
S6C / Silence	12,742	14,562	3,431	0,000	47,7

6.4.3.2 Signaux pulsés

Le tableau b22 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux pulsés. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 29 ainsi que le tableau 24 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour chaque type de signaux pulsés.

Les résultats obtenus pour les signaux pulsés sont semblables à ceux observés pour les sons continus. Plus précisément, pour des sons purs (P3C), la magnitude de l'erreur angulaire est plus importante lorsque les signaux sont présentés dans le bruit plutôt que présentés dans le silence. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (P5C, P6C), la magnitude de l'erreur angulaire est semblable lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

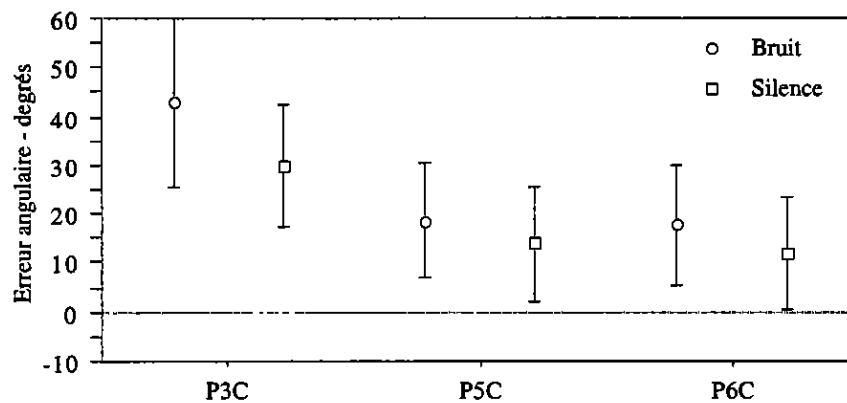


Figure 29. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux pulsés en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 24. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
P3C / Bruit	42,900	17,094	3,730	14,400	75,600
P5C / Bruit	18,686	11,919	2,601	2,700	47,700
P6C / Bruit	17,743	12,341	2,693	1,800	52,200
P3C / Silence	30,129	12,640	2,758	13,500	66,600
P5C / Silence	13,843	11,911	2,599	0,900	46,800
P6C / Silence	11,743	11,407	2,489	0,000	51,300

6.4.3.3 Signaux modulés en amplitude (MA)

Le tableau b23 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux MA. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 30 ainsi que le tableau 25 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour chaque type de signaux MA. Les résultats obtenus pour les signaux MA sont semblables à ceux observés pour les sons continus et les sons pulsés. Plus précisément, pour des sons purs (A3C), la magnitude de l'erreur angulaire est plus importante lorsque les signaux sont présentés dans le bruit plutôt que présentés dans le silence. Pour les signaux à plusieurs composantes spectrales (A5C), la magnitude de l'erreur

angulaire est semblable lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

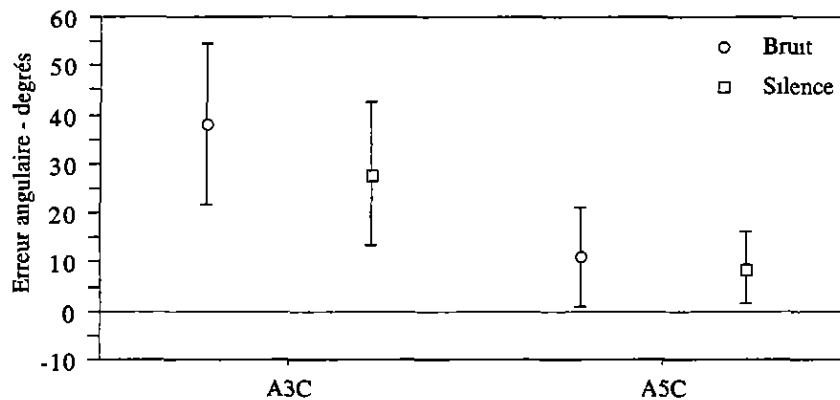


Figure 30. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MA en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 25. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
A3C / Bruit	38,143	16,521	3,605	13,500	82,800
A5C / Bruit	11,229	10,197	2,225	0,900	36,000
A3C / Silence	27,986	14,380	3,138	9,000	57,600
A5C / Silence	8,743	7,466	1,629	0,000	30,600

6.4.3.4 Signaux modulés en fréquence (MF)

Le tableau b24 (voir Annexe B) présente l'ampleur de l'erreur angulaire observée pour les signaux MF. La moyenne des erreurs angulaires de chaque sujet est rapportée pour deux conditions d'écoute : dans le silence et dans le bruit. La figure 31 ainsi que le tableau 26 illustrent le taux moyen de l'erreur angulaire pour l'ensemble des sujets et ce, pour les deux types de signaux MF. Les résultats obtenus pour les deux types de signaux MF indiquent que la magnitude de l'erreur angulaire est semblable lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence et lorsqu'elle est effectuée dans le bruit.

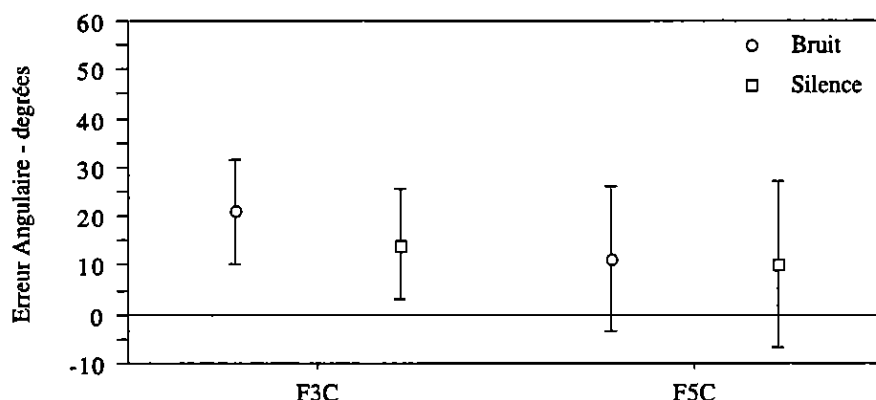


Figure 31. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MF en fonction de deux conditions d'écoute.

Tableau 26. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été obtenues pour deux différentes conditions d'écoute (bruit et silence).

Signal / Condition	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
F3C / Bruit	21,043	10,727	2,341	5,400	44,100
F5C / Bruit	11,357	14,680	3,203	0,000	48,600
F3C / Silence	14,143	11,252	2,455	0,900	49,500
F5C / Silence	10,286	17,071	3,725	0,000	72,000

6.5 Effet du bruit et du contenu spectral du signal sur la capacité de localisation

Tel que discuté à la section 1 du présent rapport, la capacité de localisation dépend étroitement du contenu spectral (fréquence et largeur de bande) du signal, notamment chez les auditeurs ayant une surdité. Pour cette raison, des analyses de variance ont été réalisées pour mieux évaluer l'influence de ces facteurs sur la capacité de localisation des sujets ayant une surdité.

Les résultats obtenus (tableau 27, sections a, b, c, d) indiquent que :

- 1) Parmi les quatre types de signaux testés, le contenu spectral des signaux continus, pulsés et modulés en amplitude influence de façon significative ($p < 0,001$) la capacité de localisation auditive. Les performances de localisation augmentent en fonction du nombre de composantes complexes. Par contre, le contenu spectral des signaux modulés en fréquence n'exerce aucune influence significative sur la capacité de localisation. Ceci est facilement explicable par le fait que ces signaux contiennent plusieurs composantes complexes.
- 2) Pour les sons continus, le contenu spectral influence de façon significative la capacité de localisation auditive ($p = 0,0365$) selon la condition d'écoute (silence ou bruit). Pour les signaux pulsés, MA et MF, le contenu spectral n'exerce aucune influence sur la capacité de localisation auditive selon la condition d'écoute (silence ou bruit).

Tableau 27. Tableau d'analyse de variance du pourcentage moyen de réussite excluant les erreurs intra-quadrants, pour les signaux continus, pulsés, MA et MF en fonction de deux conditions d'écoute (silence et bruit masquant).

	Degré de liberté	Sommes des carrés	Valeur F	Valeur P
a) Signal continu				
Type	1	159,9	0,877	0,3554
Sujet	36	6565,8	-	-
Catégorie - continu	2	5455,7	35,138	<0,0001
Catégorie - continu et type	2	538,2	3,466	0,0365
Catégorie - continu et sujet	72	5589,5	-	-
b) Signal pulsé				
Type	1	1057,3	6,337	0,0159
Sujet	40	6674,6	-	-
Catégorie - pulsé	2	7136,1	50,699	<0,0001
Catégorie - pulsé et type	2	400,4	2,845	0,0641
Catégorie - pulsé et sujet	80	5630,2	-	-
c) Signal MA				
Type	1	744,1	4,804	0,0343
Sujet	40	6195,2	-	-
Catégorie - MA	1	4285,7	38,339	<0,0001
Catégorie - MA et type	1	267,9	2,396	0,1295
Catégorie - MA et sujet	40	4471,4	-	-
d) Signal MF				
Type	1	233,3	2,874	0,0978
Sujet	40	3247,6	-	-
Catégorie - MF	1	29,8	0,325	0,5717
Catégorie - MF et type	1	58,3	0,687	0,4294
Catégorie - MF et sujet	40	3661,9	-	-

7 Mise au point d'une procédure d'examen clinique

Un objectif important de la présente recherche est de mettre au point une procédure clinique de mesure de la capacité de localisation auditive. Cet outil permettra de mesurer de façon simple et précise cette capacité auditive tant chez les entendants que chez les malentendants (voir en Annexe E le *Guide pour la mesure clinique de la capacité de localisation auditive*). Il pourra être utilisé par des intervenants pour identifier les individus affectés par une capacité réduite de localisation auditive et de proposer des moyens correctifs appropriés.

7.1 Principe de conception du dispositif

Afin de réduire au minimum les contraintes matérielles inhérentes à un dispositif de mesure de la localisation auditive, les principes de conception suivants ont été retenus : tel qu'illustré à la figure 32 (voir également l'Annexe C), 11 sources sonores ont été placées en demi-cercle à 18° d'intervalle et à une distance de 90 cm du centre de la tête du participant. Il s'agit du nombre minimum de haut-parleurs permettant d'évaluer :

- 1) la résolution minimale à l'intérieur d'un même quadrant;
- 2) les confusions gauche-droite;
- 3) les confusions avant-arrière (le sujet faisant face au haut-parleur situé à l'une ou à l'autre des extrémités du demi-cercle).

La distance de 90 cm est compatible avec le volume des cabines audiométriques utilisées en clinique d'audiologie. Le siège du sujet est réglé de façon à ce que les oreilles du sujet se situent à la hauteur des haut-parleurs. Le signal standard est un bruit de bande large (0,25-8,0 kHz) présenté à un niveau de 65 dBA. Ce niveau de présentation, relativement intense, permet d'une part, de rendre audible le signal pour la plupart des sujets malentendants et d'autre part, de recréer un niveau d'intensité qui se rapproche de celui qu'on retrouve dans les milieux de travail. La durée du signal est de 0,25 s. ou de 1,5 s. Ces durées ont été choisies pour deux raisons :

- 1) Le signal de 1,5 s. a une durée suffisamment longue pour permettre au sujet d'utiliser les mouvements de la tête pour repérer la provenance du signal (localisation auditive ou plus précisément l'identification de la source sonore).
- 2) Le signal de 0,25 s. ne permet pas au sujet d'utiliser ces mouvements à cause de sa trop courte durée. Ce signal constitue donc une épreuve de mesure des limites de la capacité de localisation auditive en condition d'urgence.

Une séquence de test comprend un total de 22 présentations, soit deux présentations par haut-parleur dans un ordre quasi-aléatoire.

7.2 Mise en opération du dispositif et de la procédure d'examen

Une fois la faisabilité et la validité des mesures confirmées, le dispositif et la procédure ont été transformés pour qu'ils deviennent fonctionnels selon les étapes suivantes :

- 1) Mise en forme finale du dispositif adaptable au contexte clinique en terminant la fabrication du clavier de réponse ainsi que du logiciel opérant l'émission des signaux et l'enregistrement des réponses. Le dispositif ainsi conçu permet d'effectuer des tests de localisation avec des signaux spécifiques.

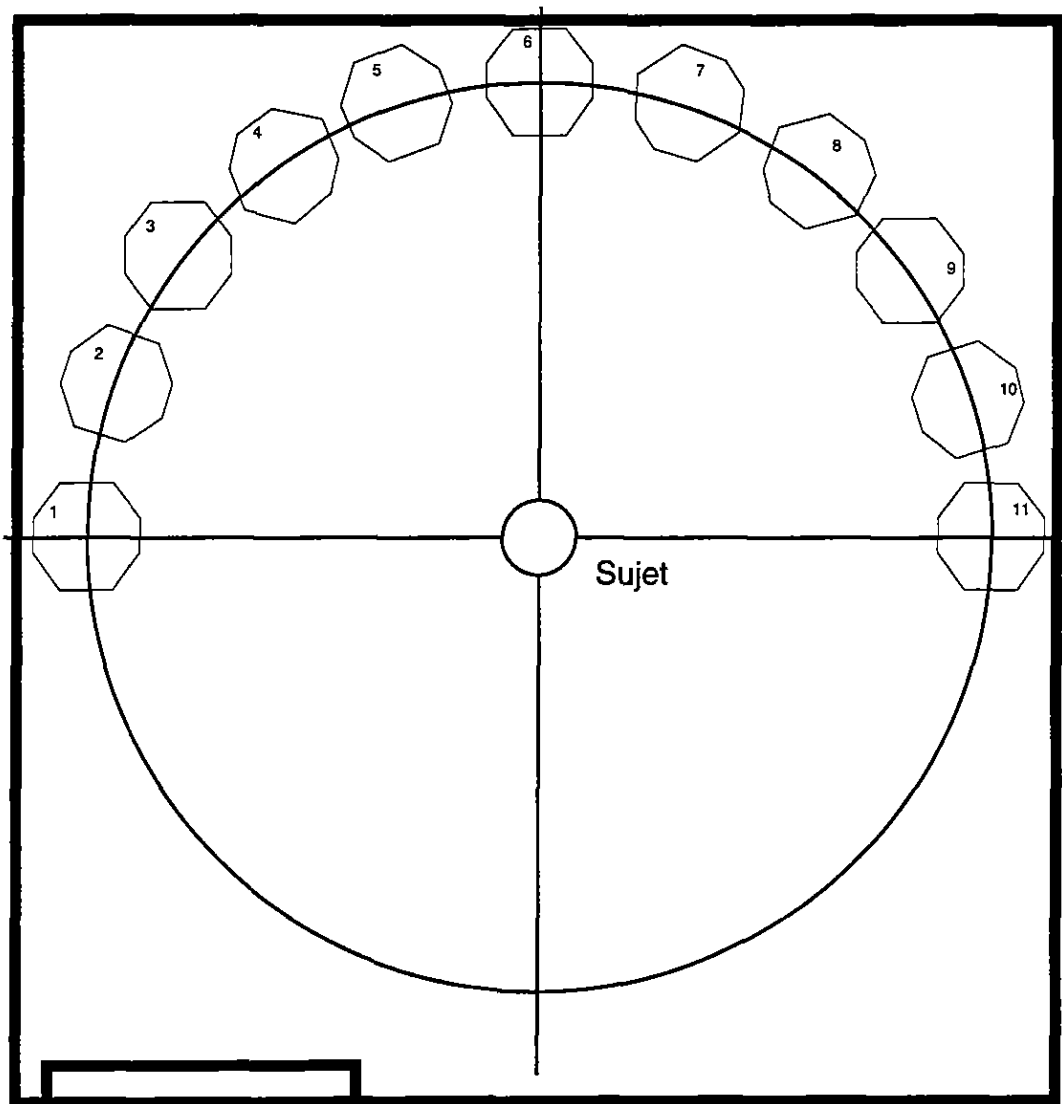


Figure 32. Schéma du dispositif clinique utilisé pour la mesure de capacité de localisation auditive dans le plan horizontal.

- 2) Collecte de données normatives auprès d'auditeurs normaux afin de permettre aux cliniciens qui utiliseront ultérieurement ce dispositif d'examen de juger avec un haut degré de confiance la normalité ou l'anormalité des réponses d'une personne. Les résultats de cette collecte sont présentés à la section 8. En résumé, on a évalué 106 sujets présentant une sensibilité auditive normale, c'est-à-dire des seuils audiométriques inférieurs à 20 dB HL entre 0,25 et 6,0 kHz. Les données ont été recueillies avec le signal long et le signal court, selon trois positions différentes d'observation : 1) sujet face au haut-parleur central (#6); 2) sujet face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et 3) sujet face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11). À raison d'environ trois minutes par séquence d'essais, la procédure complète exige environ 30 minutes par sujet pour six séquences.

Trente minutes additionnelles sont nécessaires pour évaluer la sensibilité auditive et l'état de l'oreille moyenne du sujet (audiogramme, tympanogramme de dépistage et histoire auditive).

7.3 Fidélité de mesure de la localisation utilisant la procédure d'examen clinique

Étant donné que le dispositif clinique sera utilisé pour caractériser les limitations fonctionnelles relatives à la localisation auditive chez les personnes atteintes, entre autres, d'une surdité professionnelle, il est important d'évaluer la fidélité des mesures de ce dispositif et celle de la procédure d'examen. Pour ce faire, des mesures de localisation auditive ont été réalisées sur 10 auditeurs normaux en deux occasions différentes. Les résultats obtenus ont permis de quantifier l'erreur-type de mesure de la performance de localisation auditive.

7.3.1 Bruit de bande large d'une durée de 0,25 s.

Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux essais distincts (Essai 1 et Essai 2) et pour trois conditions d'écoute différentes (face au haut-parleur central (#6), face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11)). La figure 33 ainsi que le tableau 28 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. Ces données permettent de constater que la performance des sujets est légèrement meilleure lors de l'Essai 2 où la tâche de localisation est effectuée face aux haut-parleurs situés à l'extrémité (#1 et #11). Ces angles favorisent les mesures de confusions avant-arrière. Pour la condition d'écoute face au haut-parleur central, aucune différence significative n'est observable (tableaux 29 et 30).

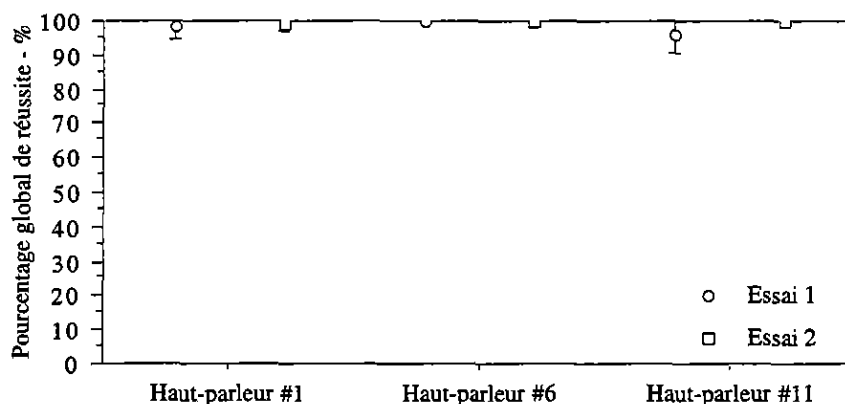


Figure 33. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 10 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. lors de deux séances de mesure différentes (Essai 1 / Essai 2).

Tableau 28. Pourcentage global de réussite obtenu chez 10 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été mesurées lors de deux séances de mesure différentes.

Haut-parleur / Essai	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / Essai 1	98,182	3,833	1,212	90,910	100,000
#6 / Essai 1	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / Essai 1	96,364	5,984	1,892	81,820	100,000
#1 / Essai 2	99,091	1,916	0,606	95,455	100,000
#6 / Essai 2	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / Essai 2	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000

Tableau 29. Moyennes des différences globales obtenues chez 10 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	-0,909	9	-0,349	0,7353
#6	0,909	9	1,000	0,3434
#11	-4,545	9	-1,732	0,1173

Tableau 30. Moyennes des différences obtenues, excluant les erreurs intra-quadrants, chez 10 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	-0,909	9	-0,802	0,4433
#6	0,000	9	-	-
#11	-3,636	9	-1,922	0,0868

7.3.2 Bruit de bande large d'une durée de 1,5 s.

Le taux de réussite de chaque sujet est donné pour deux essais distincts (Essai 1 et Essai 2) et pour trois conditions d'écoute différentes (face au haut-parleur central (#6), face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11)). La figure 34 ainsi que le tableau 31 illustrent le taux moyen de réussite de l'ensemble

des sujets pour chaque condition d'écoute. Ces données permettent de constater qu'aucune différence significative n'est observable pour chacune des trois conditions d'écoute (tableaux 32 et 33). Les erreurs-types sont nulles pour les trois conditions d'écoute.

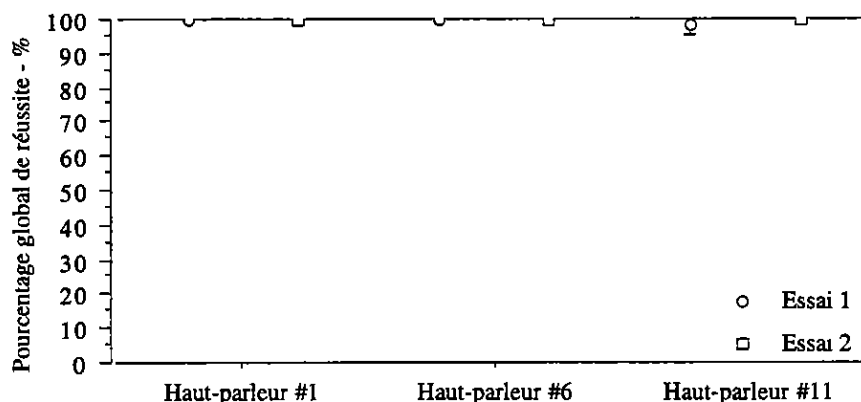


Figure 34. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 10 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. lors de deux séances de mesure différentes (Essai 1 / Essai 2).

Tableau 31. Pourcentage global de réussite obtenu chez 10 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été mesurées lors de deux séances de mesure différentes.

Haut-parleur / Essai	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / Essai 1	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#6 / Essai 1	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / Essai 1	98,636	3,068	0,970	90,910	100,000
#1 / Essai 2	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#6 / Essai 2	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / Essai 2	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000

Tableau 32. Moyennes des différences globales obtenues chez 10 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	0,000	9	-	-
#6	-0,454	9	-1,000	0,3434
#11	-1,364	9	-1,406	0,1934

Tableau 33. Moyennes des différences obtenues, excluant les erreurs intra-quadrants, chez 10 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	0,000	9	-	-
#6	0,000	9	-	-
#11	-1,364	9	-	0,1934

7.4 Effet de la cabine audiométrique sur la performance de localisation auditive

Afin d'éprouver la validité d'un examen clinique à l'aide d'un tel dispositif, une vérification de la reproductibilité des résultats de la performance de localisation a été effectuée dans deux différents environnements de tests. Des mesures effectuées en milieu semi-anéchoïque ont été reprises en cabine audiométrique :

- 1) auprès de 21 sujets ayant une sensibilité auditive normale;
- 2) auprès de 18 sujets malentendants avec une configuration audiométrique descendante.

De cette façon, on voulait s'assurer que la performance des sujets en milieu clinique était similaire à celle que l'on a obtenu en condition expérimentale.

7.4.1 Résultats des épreuves de localisation auditive chez les auditeurs normaux

7.4.1.1 Bruit de bande large d'une durée de 0,25 s.

Le tableau b25 (voir Annexe B) présente le pourcentage global de localisation obtenu pour un bruit de bande large d'une durée de 0,25 s. La figure 35 ainsi que le tableau 34 représentent la performance moyenne globale de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. On peut constater que, dans tous les cas, la moyenne globale dépasse 99% de réussite et ne présente aucune différence significative entre les deux conditions de tests (tableaux 35 et 36). Par ailleurs, le tableau b26 (voir Annexe B) présente l'ampleur angulaire observée obtenue pour un bruit de bande large d'une durée de 0,25 s. La figure 36 ainsi que le tableau 37 illustrent l'erreur angulaire moyenne de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. L'erreur angulaire de localisation de chaque sujet est présentée pour trois conditions d'écoute différentes (face au haut-parleur central (#6), face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11)). Ces données permettent de constater que l'erreur angulaire augmente légèrement lorsque la tâche de localisation est effectuée en cabine audiométrique et face aux haut-parleurs situés aux extrémités (#1 et #11) (i.e. lors des mesures de confusion avant-arrière). Cependant, l'erreur moyenne est d'environ trois degrés, ce qui est beaucoup moins que la résolution angulaire du dispositif (18 degrés). Pour la condition d'écoute face au haut-parleur central, la performance de localisation obtenue en cabine audiométrique est tout à fait comparable à celle obtenue en condition de test expérimentale (i.e. en salle semi-anéchoïque).

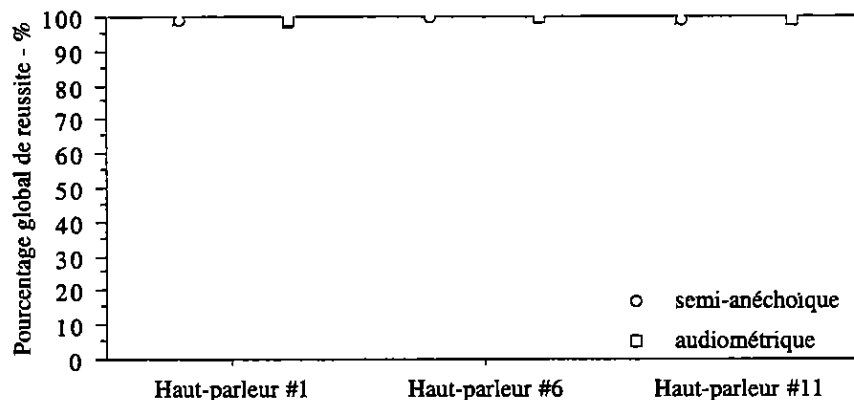


Figure 35. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 34. Pourcentage global de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

(cs-e = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	99,351	1,630	0,356	95,455	100,000
#6 / cs-e	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / cs-e	99,134	1,829	0,399	95,455	100,000
#1 / ca	99,134	2,326	0,508	90,910	100,000
#6 / ca	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / ca	99,351	1,630	0,356	95,455	100,000

Tableau 35. Moyennes des différences entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique, en excluant les erreurs intra-quadrants. Les mesures ont été recueillies auprès de 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	0,216	20	0,568	0,5764
#6	0,000	20	-	-
#11	-0,216	20	-0,439	0,6657

Tableau 36. Moyennes des différences globales entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique. Les mesures ont été recueillies auprès de 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	0,216	20	0,092	0,9278
#6	-0,866	20	-0,722	0,4787
#11	-2,597	20	-1,872	0,0759

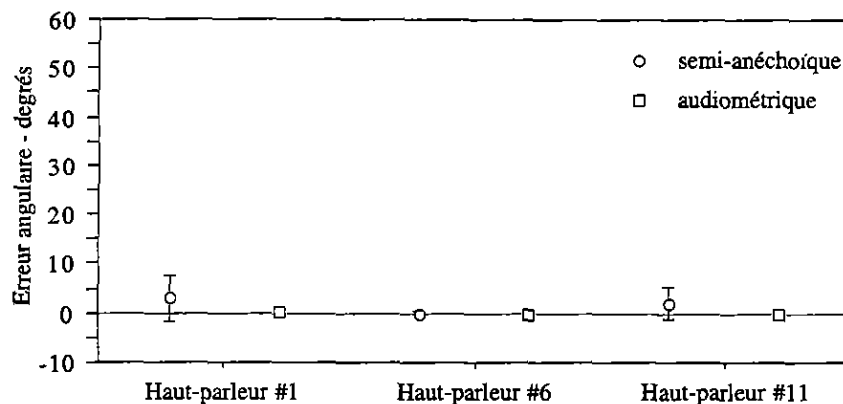


Figure 36. Erreur de localisation angulaire et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 37. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique. (cs-e = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	0,195	0,629	0,137	0,000	2,455
#6 / cs-e	0,078	0,246	0,054	0,000	0,818
#11 / cs-e	0,039	0,179	0,039	0,000	0,818
#1 / ca	2,961	4,682	1,022	0,000	18,818
#6 / ca	0,117	0,293	0,064	0,000	0,818
#11 / ca	1,987	3,227	0,704	0,000	9,000

7.4.1.2 Bruit de bande large d'une durée de 1,5 s.

Le tableau b27 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour un bruit de bande large d'une durée de 1,5 s. La figure 37 ainsi que le tableau 38 illustrent la moyenne globale de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. Cette moyenne dépasse 99% du taux de réussite et ne présente aucune différence significative entre les deux conditions de tests (tableaux 39 et 40). Par ailleurs le tableau b28 (voir Annexe B) présente l'ampleur angulaire observée obtenue pour un bruit de bande large d'une durée de 1,5 s. La figure 38 ainsi que le tableau 41 illustrent l'erreur angulaire moyenne de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. L'erreur angulaire de localisation de chaque sujet est présentée pour trois conditions d'écoute différentes (face au haut-parleur central (#6), face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11)). Ces données permettent de constater que, pour les trois conditions de tests effectués, l'erreur angulaire obtenue en cabine audiométrique est comparable à celle obtenue en condition expérimentale.

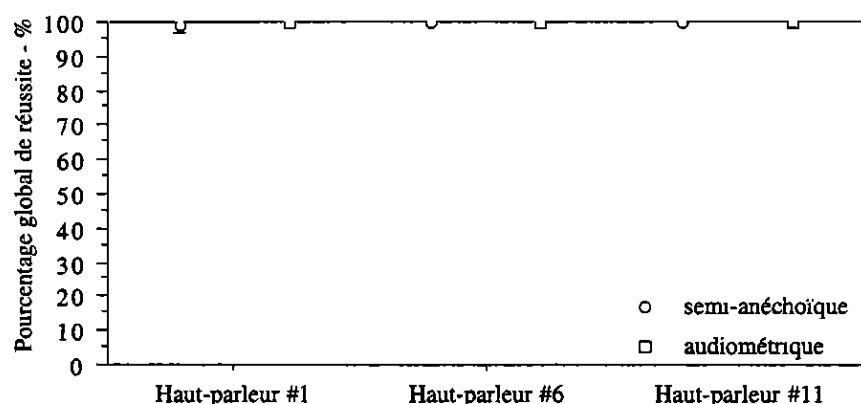


Figure 37. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 38. Pourcentage global de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

(cs-e = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	99,134	2,326	0,508	90,910	100,000
#6 / cs-e	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / cs-e	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#1 / ca	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#6 / ca	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / ca	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000

Tableau 39. Moyennes des différences entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique, en excluant les erreurs intra-quadrants. Les mesures ont été recueillies auprès de 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	-0,866	20	-1,706	0,1036
#6	0,000	20	-	-
#11	0,000	20	-	-

Tableau 40. Moyennes des différences globales entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique. Les mesures ont été recueillies auprès de 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	-0,649	20	-0,826	0,4187
#6	0,000	20	-	-
#11	0,000	20	-	-

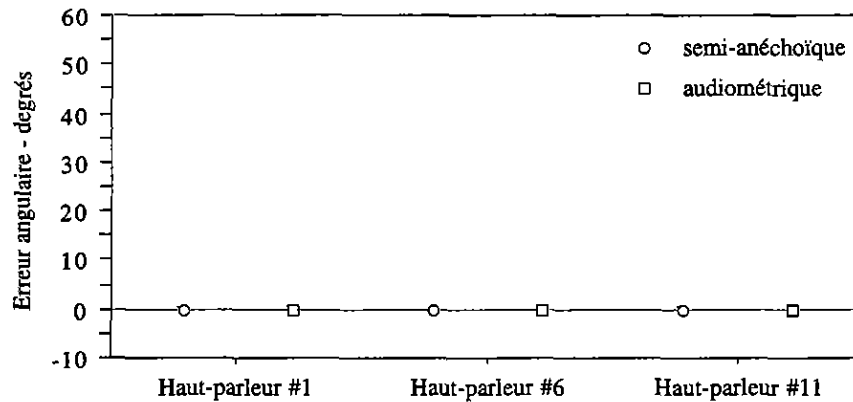


Figure 38. Erreur angulaire de localisation et écart-type obtenus chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 41. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique. (cs-e = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
#6 / cs-e	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
#11 / cs-e	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
#1 / ca	0,078	0,357	0,078	0,000	1,636
#6 / ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
#11 / ca	0,039	0,179	0,039	0,000	0,818

7.4.2 Résultats des épreuves de localisation auditive chez les auditeurs ayant une surdité

7.4.2.1 Bruit de bande large d'une durée de 0,25 s.

Le tableau b29 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour un bruit de bande large d'une durée de 0,25 s. La figure 39 ainsi que le tableau 42 représentent la performance moyenne globale de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. On constate que pour la condition d'écoute face au haut-parleur #6, la moyenne atteint 100%, alors que pour les deux autres conditions d'écoute, elle est de l'ordre de 90%. De plus, cette moyenne ne représente aucune différence significative entre les deux conditions de tests (tableaux 43 et 44). Par ailleurs le tableau b30 (voir Annexe B) présente l'ampleur angulaire observée obtenue pour un bruit de bande large d'une durée de 0,25 s. La figure 40 ainsi que le tableau 45 illustrent l'erreur angulaire moyenne de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. L'erreur angulaire de localisation de chaque sujet est présentée pour trois conditions d'écoute différentes (face au haut-

parleur central (#6), face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11)). Ces données permettent de constater que l'erreur angulaire obtenue en cabine audiométrique est comparable à celle obtenue en condition expérimentale.

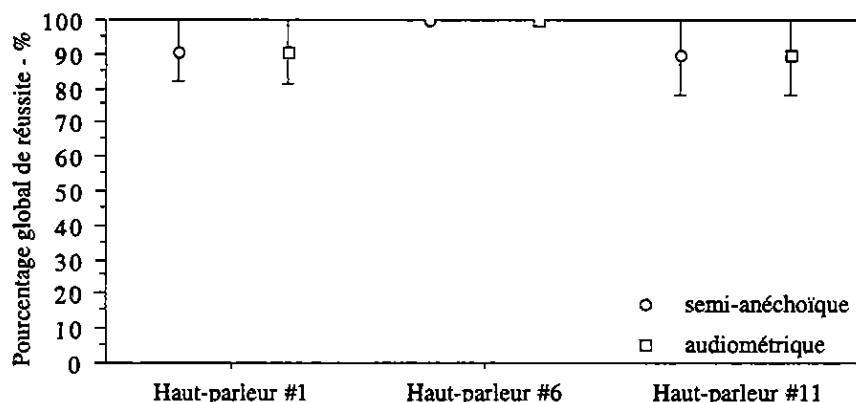


Figure 39. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 42. Pourcentage global de réussite obtenu chez 18 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique. (cs-e = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	90,910	9,223	2,174	72,730	100,000
#6 / cs-e	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / cs-e	90,152	12,000	2,829	59,090	100,000
#1 / ca	90,910	9,483	2,235	72,730	100,000
#6 / ca	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
#11 / ca	89,647	11,852	2,764	63,640	100,000

Tableau 43. Moyennes des différences entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique, en excluant les erreurs intra-quadrants. Les mesures ont été recueillies auprès de 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	0,000	17	-	-
#6	0,000	17	-	-
#11	0,505	17	0,171	0,8666

Tableau 44. Moyennes des différences globales entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique. Les mesures ont été recueillies auprès de 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	4,546	17	1,144	0,2686
#6	6,563	17	1,725	0,1027
#11	5,051	17	1,271	0,2208

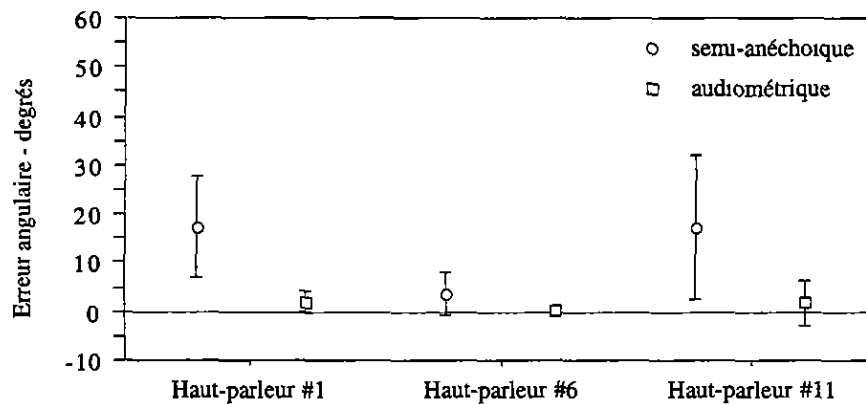


Figure 40. Erreur de localisation angulaire et écart-type obtenus chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 45. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 18 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique. (cse = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	1,955	2,367	0,558	0,000	9,000
#6 / cs-e	0,136	0,421	0,099	0,000	1,636
#11 / cs-e	1,818	4,573	1,078	0,000	19,636
#1 / ca	17,409	10,203	2,405	4,091	35,182
#6 / ca	3,636	4,212	0,993	0,000	18,000
#11 / ca	17,364	14,710	3,467	0,818	48,273

7.4.2.2 Bruit de bande large d'une durée de 1,5 s.

Le tableau b31 (voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour un bruit de bande large d'une durée de 1,5 s. La figure 41 ainsi que le tableau 46 représentent la moyenne globale de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. On constate qu'elle dépasse, dans tous les cas, 90% du taux de réussite et qu'elle ne représente aucune différence significative entre les deux conditions de tests (tableaux 47 et 48). Par ailleurs le tableau b32 (voir Annexe B) présente l'ampleur angulaire observée obtenue pour un bruit de bande large d'une durée de 1,5 s. La figure 42 ainsi que le tableau 49 illustrent l'erreur angulaire moyenne de l'ensemble des sujets pour chaque condition d'écoute. L'erreur angulaire de localisation de chaque sujet est présentée pour trois conditions d'écoute différentes (face au haut-parleur central (#6), face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11)). Ces données permettent de constater que l'erreur angulaire obtenue en cabine audiométrique augmente légèrement par rapport à celle obtenue en condition expérimentale, pour les trois conditions d'écoute. Cependant, l'erreur moyenne est moins que sept degrés, pour les deux

conditions d'écoute (face aux haut-parleurs #1 et #11) où les résultats sont moins bons. Mentionnons que ce degré est inférieur à celui nécessaire à la résolution angulaire du dispositif (18 degrés).

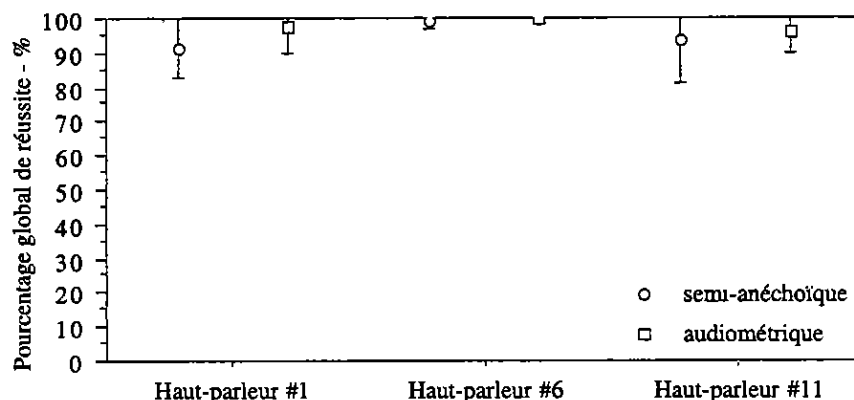


Figure 41. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 46. Pourcentage global de réussite obtenu chez 18 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique. (cs-e = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	91,667	8,574	2,021	72,730	100,000
#6 / cs-e	99,222	2,365	0,558	91,000	100,000
#11 / cs-e	93,435	12,199	2,875	50,000	100,000
Hp#1 / ca	97,475	7,672	1,808	68,185	100,000
Hp#6 / ca	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
Hp#11 / ca	96,465	6,532	1,540	81,820	100,000

Tableau 47. Moyennes des différences entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique, en excluant les erreurs intra-quadrants. Les mesures ont été recueillies auprès de 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	-0,252	17	-1,000	0,3313
#6	0,000	17	-	-
#11	3,030	17	2,287	0,0353

Tableau 48. Moyennes des différences globales entre les mesures effectuées en cabine semi-anéchoïque et celles obtenues en cabine audiométrique. Les mesures ont été recueillies auprès de 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Haut-parleur	Moyenne	Degré de liberté	Valeur t	Valeur P
#1	3,788	17	0,880	0,3912
#6	7,068	17	1,866	0,0794
#11	8,333	17	2,921	0,0095

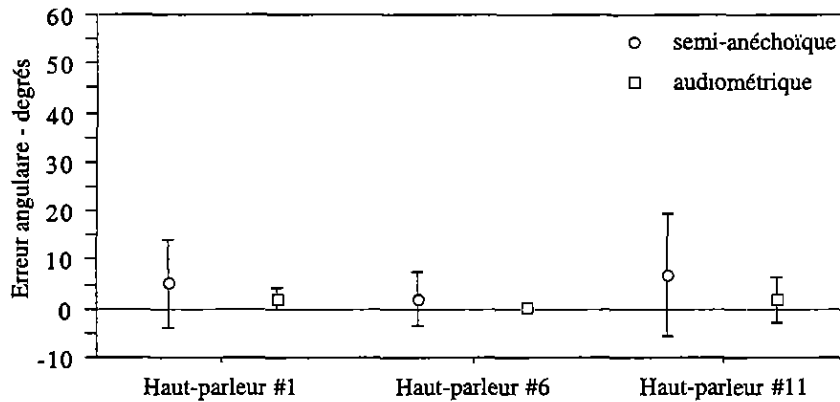


Figure 42. Erreur de localisation angulaire et écart-type obtenus chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. Les mesures ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Tableau 49. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 18 auditeurs malentendants. Les performances de localisation ont été effectuées en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique. (cse = cabine semi-anéchoïque, ca = cabine audiométrique)

Haut-parleur / Cabine	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
#1 / cs-e	1,955	2,367	0,558	0,000	9,000
#6 / cs-e	0,136	0,421	0,099	0,000	1,636
#11 / cs-e	1,818	4,573	1,078	0,000	19,636
#1 / ca	5,227	8,941	2,108	0,000	34,364
#6 / ca	2,000	5,508	1,298	0,000	23,727
#11 / ca	6,954	12,557	2,960	0,000	47,455

8 Adoption de valeurs normatives pour la capacité de localisation auditive

Le but précis de la mise au point d'une procédure clinique de mesure de performance de localisation auditive est de pouvoir établir des normes. Ces valeurs normatives pourront être utilisées à des fins de diagnostic clinique. Elles permettront aux cliniciens d'identifier les individus ayant une capacité réduite de localisation auditive et de proposer des mesures palliatives appropriées.

8.1 Méthodologie

Cent six auditeurs normaux ont été sélectionnés pour participer à la cueillette de données normatives. Les critères de sélection ont été les suivants :

- 1) seuils d'audition de 0,25 à 6,0 kHz inférieurs à 20 dB HL (réf : ANSI S3.6, 1989) aux deux oreilles;
- 2) tympanogramme normal aux deux oreilles;
- 3) aucune histoire d'exposition nocive au bruit et aucune maladie de l'oreille.

Les mesures ont été effectuées avec deux bruits de bande large dont leur durée respective était de 0,25 s. et de 1,5 s. Les sujets ont adopté trois positions différentes d'observation : face au haut-parleur central (#6), face au haut-parleur situé à l'extrémité gauche du demi-cercle (#1) et face au haut-parleur situé à l'extrémité droite du demi-cercle (#11). Rappelons que la première position consiste en la mesure de la capacité de localisation gauche-droite et les deux autres positions ont pour but de mesurer la capacité de localisation avant-arrière.

8.2 Résultats et discussion

La variable dépendante, à savoir l'identification de la source sonore, a été traitée de trois façons :

- 1) le pourcentage global de bonnes réponses;
- 2) le pourcentage global de bonnes réponses en excluant les erreurs intra-quadrants;
- 3) les erreurs de localisation angulaire.

Pour chacun de ces trois traitements de données, la valeur moyenne ainsi que l'écart-type ont été calculés. Ces données serviront de valeurs normatives de la localisation auditive.

8.2.1 Pourcentage global de réussite

Le tableau b33 (Voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour un bruit de bande large 0,25 s. et pour un signal de bande large de 1,5 s. Les données de localisation ont d'abord été compilées en calculant les pourcentages de réussites globales. Ces résultats tiennent compte de tous les types d'erreurs et permettent d'apprécier les performances globales de la localisation auditive des auditeurs normaux. Les figures 43 et 44 représentent le pourcentage global de réussite des 106 auditeurs normaux pour des signaux de deux durées différentes (0,25 et 1,5 s.) et pour les trois conditions d'écoute testées.

Le tableau 50 montre les valeurs normatives pour chaque condition d'écoute.

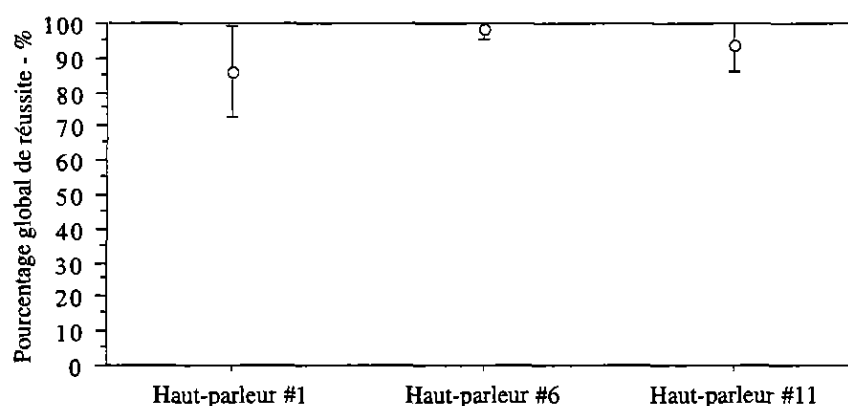


Figure 43. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 106 auditeurs normaux lors de la collecte des données normatives pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

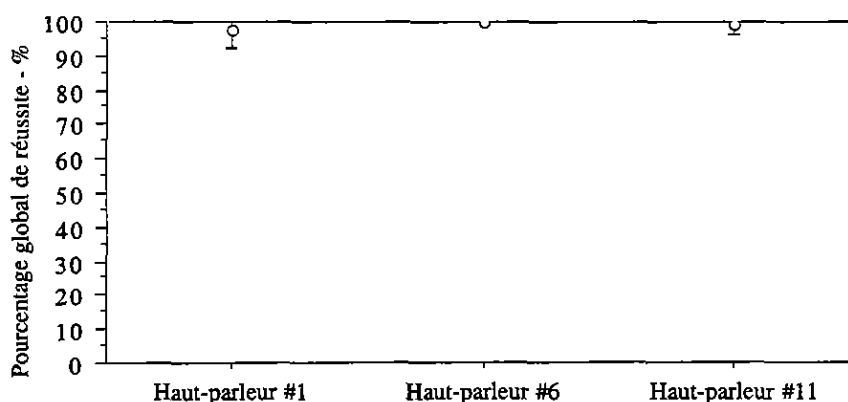


Figure 44. Pourcentage global de réussite et écart-type obtenus chez 106 auditeurs normaux lors de la collecte des données normatives pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Tableau 50. Valeurs normatives (moyennes et écarts-types) obtenues chez 106 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour trois différentes conditions (face aux haut-parleurs #1, #6 et #11). Deux bruits de bande large d'une durée de 0,25 s. et de 1,5 s. ont été utilisés.

Signal / Haut-parleur	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
0,25 s. / #1	85,936	13,271	1,289	31,815	100,000
0,25 s. / #6	98,414	3,262	0,317	86,365	100,000
0,25 s. / #11	93,402	7,127	0,692	68,185	100,000
1,5 s. / #1	98,028	5,611	0,545	54,550	100,000
1,5 s. / #6	99,914	0,621	0,060	95,455	100,000
1,5 s. / #11	98,885	2,862	0,278	86,365	100,000

8.2.2 Pourcentage de réussite excluant les erreurs intra-quadrants

Le tableau b34 (Voir Annexe B) présente les résultats globaux de localisation obtenus pour un bruit de bande large 0,25 s. et pour un signal de bande large de 1,5 s. Dans un contexte de perception d'avertisseurs sonores en milieux industriels, des erreurs fines de localisation (ex : des erreurs intra-quadrants) ont peu d'impacts sur la sécurité des travailleurs. Par contre, des erreurs plus grossières de type confusion avant-arrière ou gauche-droite peuvent avoir des conséquences importantes sur la sécurité des travailleurs. Les données brutes obtenues ont été réexaminées en excluant les erreurs intra-quadrants. Le traitement des données a été effectué à l'aide de matrices de confusion. Toutes les réponses qui étaient émises dans le même quadrant (90°) que la source sonore ont été considérées comme étant de bonnes réponses. Les figures 45 et 46 représentent le pourcentage global de réussite des 106 auditeurs normaux pour des signaux de deux durées différentes (0,25 et 1,5 s.) et pour trois conditions d'écoute testés. Le tableau 51 montre les valeurs normatives pour chaque condition d'écoute.

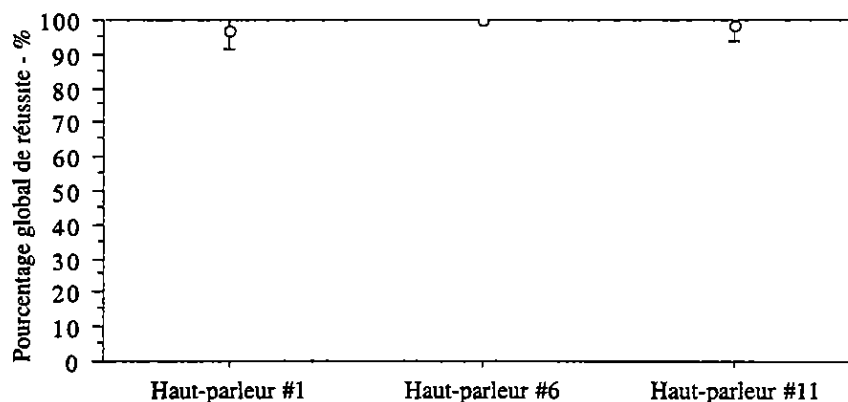


Figure 45. Pourcentage global de réussite et écart-type excluant les erreurs intra-quadrants, obtenus chez 106 auditeurs normaux lors de la collecte des données normatives pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s.

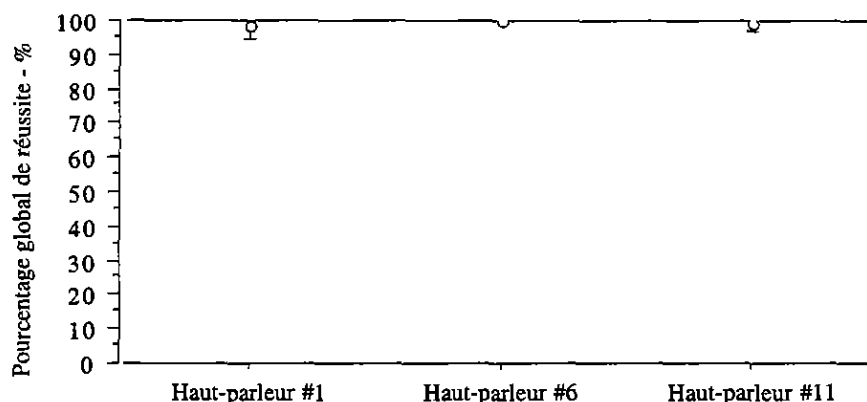


Figure 46. Pourcentage global de réussite et écart-type excluant les erreurs intra-quadrants, obtenus chez 106 auditeurs normaux lors de la collecte des données normatives pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s.

Tableau 51. Valeurs normatives (moyennes et écart-types), excluant les erreurs intra-quadrants, obtenues chez 106 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour trois différentes conditions (face aux haut-parleurs #1, #6 et #11). Deux bruits de bande large d'une durée de 0,25 s. et de 1,5 s. ont été utilisés.

Signal / Haut-parleur	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
0,25 s. / #1	97,227	5,874	0,571	63,640	100,000
0,25 s. / #6	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
0,25 s. / #11	98,071	4,063	0,395	72,730	100,000
1,5 s. / #1	98,671	4,253	0,413	72,730	100,000
1,5 s. / #6	100,000	0,000	0,000	100,000	100,000
1,5 s. / #11	99,142	2,595	0,252	86,365	100,000

8.2.3 Erreur angulaire de localisation auditive

Le tableau b35 (Voir Annexe B) présente les erreurs angulaire de localisation obtenus pour un bruit de bande large 0,25 s. et pour un signal de bande large de 1,5 s. Lorsque les habiletés de localisation sont définies selon le pourcentage global de réussites, les résultats tiennent compte de toutes les erreurs commises par les sujets. Cependant, ce traitement de données ne permet pas d'apprécier l'ampleur des erreurs commises. Par exemple, une erreur d'identification de la source sonore de 18° est comptabilisée au même titre qu'une erreur d'identification de la source sonore de 72° et ce, même si la magnitude de l'erreur est beaucoup plus importante dans la dernière situation. Nous avons développé une troisième façon de traiter les données qui permet non seulement de prendre en compte la présence d'une erreur de localisation mais de quantifier l'ampleur de cette erreur. L'erreur angulaire est obtenue en calculant la différence (en degré) entre la position de la source sonore et la position du haut-parleur identifié par le sujet. Les données brutes obtenues ont été réexaminées afin de calculer l'erreur angulaire observée pour chaque sujet en fonction de la

condition d'écoute et du type de signaux utilisés. Les figures 47 et 48 représentent l'erreur angulaire moyenne des 106 auditeurs normaux pour des signaux de deux durées différentes (0,25 s. et 1,5 s.) et pour les trois conditions d'écoute. Le tableau 52 montre les valeurs normatives pour chaque condition d'écoute.

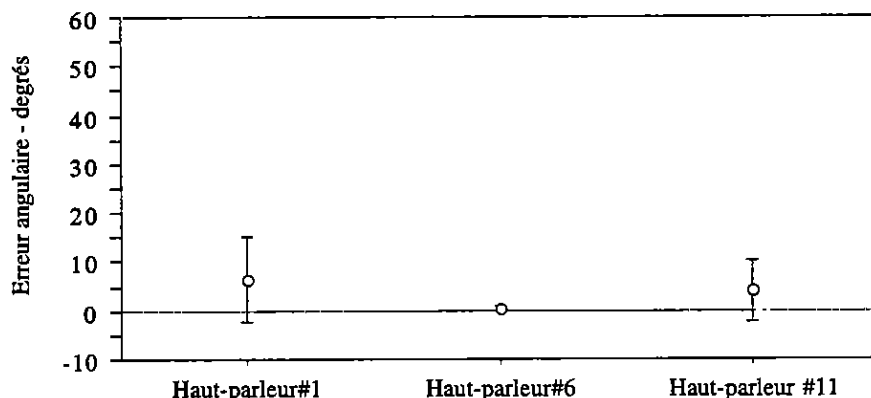


Figure 47. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 106 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. lors de la collecte des données normatives.

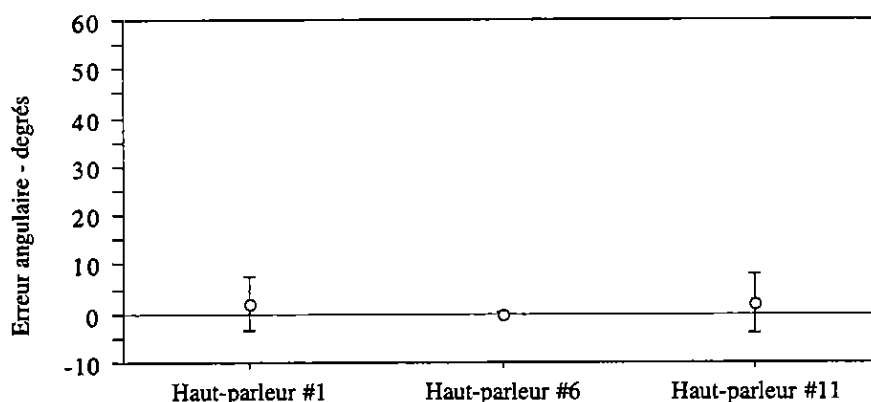


Figure 48. Erreur angulaire moyenne et écart-type obtenus chez 106 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. lors de la collecte des données normatives.

Tableau 52. Valeurs normatives (moyennes et écart-types) des erreurs angulaires obtenues chez 106 auditeurs normaux. Les performances de localisation ont été obtenues pour trois différentes conditions (face aux haut-parleurs #1, #6 et #11). Deux bruits de bande large d'une durée de 0,25 s. et de 1,5 s. ont été utilisés.

Signal / Haut-parleur	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Minimum	Maximum
0,25 s. / #1	6,283	8,675	0,843	0,000	49,091
0,25 s. / #6	0,262	0,571	0,055	0,000	2,455
0,25 s. / #11	4,037	6,381	0,620	0,000	38,455
1,5 s. / #1	1,968	5,634	0,547	0,000	29,455
1,5 s. / #6	0,015	0,112	0,011	0,000	0,818
1,5 s. / #11	1,783	6,007	0,583	0,000	45,818

RÉSUMÉ et CONCLUSION

Dans le cadre d'une programmation de recherche *Bruit et sécurité en milieu de travail*, le GAUM a entrepris d'évaluer l'efficacité des avertisseurs sonores utilisés en milieux industriels. Les habiletés de détection et de reconnaissance des avertisseurs sonores ont fait l'objet d'études antérieures [32]. Ce projet de recherche porte sur les habiletés de localisation des signaux avertisseurs sonores. Le principal objectif de ce projet de recherche était de vérifier si les signaux avertisseurs sonores recommandés dans le guide de conception d'avertisseurs sonores du GAUM [32] permettent non seulement la détection et la reconnaissance des signaux mais aussi leur localisation.

Dans la première étape du projet, une expérimentation a été complétée auprès de 21 sujets ayant une sensibilité auditive normale. Les habiletés de localisation des sujets ont été mesurées pour quatre types de signaux (sons continus, sons pulsés, sons modulés en amplitude et sons modulés en fréquence) présentés dans le silence et dans le bruit (avec un rapport signal/bruit de +12 dB). Les résultats de l'expérimentation permettent de dégager les conclusions suivantes :

- 1) Dans l'ensemble, pour un même type de signal, les habiletés de localisation sont meilleures lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt qu'effectuée dans le bruit.
- 2) Les conséquences néfastes du bruit sur la localisation de sources sonores sont plus importantes lorsque les signaux sont constitués de sons purs que lorsqu'ils sont constitués de sons complexes.
- 3) La présence d'un bruit ambiant a peu d'influence sur les habiletés de localisation de signaux sonores lorsque ces derniers contiennent plusieurs harmoniques (signaux complexes).
- 4) Lorsque le signal contient plusieurs harmoniques (signal complexe) un rapport signal/bruit de +12 dB est suffisant pour assurer la localisation de ce signal sonore sur le plan horizontal.

En résumé, les résultats de la première étape de l'étude indiquent qu'au moins chez les personnes ayant une sensibilité auditive normale, les signaux conformes au guide de conception des avertisseurs sonores de danger proposés par le GAUM [32] permettent une localisation sonore auditive optimale et ce, autant dans le silence que dans des conditions d'écoute bruyantes.

Dans la deuxième étape du projet, une expérimentation a été complétée auprès de 18 sujets ayant une surdité. Les habiletés de localisation des sujets ont été mesurées pour quatre types de signaux (sons continus, sons pulsés, sons modulés en amplitude et sons modulés en fréquence), présentés dans le silence et dans le bruit (à un rapport signal/bruit de +12 dB). Les résultats de l'expérimentation permettent de dégager les conclusions suivantes :

- 1) Dans l'ensemble, pour un même type de signal, les habiletés de localisation sont meilleures lorsque la tâche de localisation est effectuée dans le silence plutôt qu'effectuée dans le bruit.
- 2) Les conséquences néfastes du bruit sur la localisation de sources sonores sont plus importantes lorsque les signaux sont constitués de sons purs que lorsqu'ils sont constitués de sons complexes. Les analyses factorielles ont montré que le contenu spectral du signal a un effet significatif sur la capacité de localisation auditive. Les signaux complexes permettent systématiquement de meilleures performances de localisation que les sons purs.
- 3) Sauf dans le cas des sons continus, la présence d'un bruit ambiant a peu d'influence sur les habiletés de localisation auditive lorsque les signaux contiennent plusieurs harmoniques (signaux complexes).
- 4) Lorsque le signal contient plusieurs harmoniques (signal complexe) un rapport signal/bruit de +12 dB est suffisant pour assurer la localisation de ce signal sonore sur le plan horizontal.

En résumé, les résultats de la seconde étape de l'étude indiquent qu'au moins chez les personnes ayant une surdité, les signaux conformes au guide de conception des avertisseurs sonores de danger proposés par le GAUM [32] permettent une localisation sonore auditive optimale et ce, autant dans le silence que dans des conditions d'écoute bruyantes.

La dernière étape du projet consistait à la mise au point d'un dispositif de mesure de localisation auditive et d'une procédure d'examen clinique. Les résultats ont été recueillis auprès de 106 auditeurs normaux (voir section 8.2).

En résumé, les données normatives se présentent de la façon suivante :

- 1) La performance globale de localisation d'un bruit de bande large d'une durée de 0,25 s. montre une moyenne de 86% avec un écart-type de 13,3% quand les sujets font face au haut-parleur #1, 98,4% avec un écart-type de 3,3% quand les sujets font face au haut-parleur #6, et de 93,4% avec un écart-type de 7,1% quand les sujets font face au haut-parleur #11. Voir figure 43.
- 2) La performance globale de localisation d'un bruit de bande large d'une durée de 1,5 s. montre une moyenne de 98% avec un écart-type de 5,6% quand les sujets font face au haut-parleur #1, de 99,9% avec un écart-type de 0,6% quand les sujets font face au haut-parleur #6, et de 98,9% avec un écart-type de 2,9% quand les sujets font face au haut-parleur #11. Voir figure 44.
- 3) La performance de localisation excluant les erreurs intra-quadrants d'un bruit de bande large d'une durée de 0,25 s. montre une moyenne de 97,2% avec un écart-type de 5,9% quand les sujets font face au haut-parleur #1, de 100% avec un écart-type de 0% quand les sujets font face au haut-parleur #6, et de 98,0% avec un écart-type de 4% quand les sujets font face au haut-parleur #11. Voir figure 45.
- 4) La performance globale de localisation excluant les erreurs intra-quadrants d'un bruit de bande large d'une durée de 1,5 s. montre une moyenne de 98,7% avec un écart-type de 4,3% quand les sujets font face au haut-parleur #1, de 100% avec un écart-type de 0% quand les sujets font face au haut-parleur #6, et de 99,1% avec un écart-type de 2,6% quand les sujets font face au haut-parleur #11. Voir figure 46.
- 5) L'erreur angulaire de localisation d'un bruit de bande large d'une durée de 0,25 s. montre une moyenne de 6,3 degrés avec un écart-type de 8,7 degrés quand les sujets font face au haut-parleur #1, de 0,3 degré avec un écart-type de 0,6 degré quand les sujets font face au haut-parleur #6, et de 4,0 degrés avec un écart-type de 6,4 degrés quand les sujets font face au haut-parleur #11. Voir figure 47.
- 6) L'erreur angulaire de localisation d'un bruit de bande large d'une durée de 1,5 s. montre une moyenne de 2,0 degré avec un écart-type de 5,6 degrés quand les sujets font face au haut-parleur #1, de 0,02 degré avec un écart-type de 0,1 degré quand les sujets font face au haut-parleur #6, et de 1,8 degré avec un écart-type de 6,0 degrés quand les sujets font face au haut-parleur #11. Voir figure 48.

Les résultats du présent projet de recherche permettent de tirer d'importantes conclusions :

- 1) Les signaux avertisseurs couramment utilisés en milieux industriels (i.e, des sons continus avec une seule composante spectrale) ne favorisent pas de façon optimale la localisation auditive (sur le plan horizontal) par des personnes ayant une audition normale et par celles ayant une déficience auditive de type neurosensoriel.
- 2) Les signaux avertisseurs sonores conformes au protocole de conception du GAUM, permettent aux personnes ayant une surdité neurosensorielle de localiser les sources d'avertisseurs sonores en milieux non bruyant et bruyant.
- 3) Un rapport signal/bruit de +12 dB, assure une localisation auditive optimale tant chez les personnes ayant une sensibilité auditive normale que chez celles ayant une surdité neurosensorielle.
- 4) L'examen clinique développé et les valeurs normatives obtenues dans le présent projet de recherche pourront servir à évaluer les capacités individuelles de localisation auditive (sur le plan horizontal) et ce, autant chez les personnes ayant une sensibilité auditive normale que chez les personnes ayant une surdité.

RÉFÉRENCES

- [1] Héту, R. (1994). Mismatches between auditory demands and capabilities in the industrial work environment. *Audiology*, 33: 1-14.
- [2] Héту, R. (1993). Critères auditifs, critères d'embauche et droits de la personne. *Canadian Acoustics*, 21(2): 3-14.
- [3] Tran Quoc, H., Héту, R., Laroche, C. (1992). Computerized assessment and prediction of the audibility of sound warning signals for normals and hearing impaired individuals. In Matilla, M. and Karwowski, W. (Eds.), *Computer Applications in Ergonomics, Occupational Safety and Health*. Amsterdam: Elsevier, pp. 105-112.
- [4] Laroche, C., Tran Quoc, H., Héту, R. & McDuff, S. (1991). 'Detectsound': A computerized model for predicting the detectability of warning signals in noisy workplaces. *Applied Acoustics*, 32: 193-214.
- [5] Glasberg, B., Moore, B.J.C. (1986). Auditory filter shapes in subjects with unilateral and bilateral cochlear impairments. *J.Acoust.Soc.Am.* 75(2): 536-544.
- [6] Laroche, C., Héту, R., Tran Quoc, H., Josseland, B., Glasberg, B. (1992). Frequency selectivity in worker with noise-induced hearing loss. *Hearing Res.* 64: 61-72.
- [7] Tyler, R.S. (1986). Frequency resolution in hearing-impaired listeners. Dans 'Frequency selectivity in hearing'. *Academic Press Inc.*, chapitre 6: 309-371.
- [8] Webster, J.C., Himes, H.W., Lichtensien, M. (1950). San Diego county fair hearing survey. *J.Acoust.Soc.Am.*, 22: 473-490.
- [9] Webster, J.C., Lichtensien, M., Gates, R.S. (1950). Individual differences in noise masked threshold. *J.Acoust.Soc.Am.*, 22: 483-490.
- [10] Jeffress, L.A., McFadden, D. (1971). Differences of interaural phase and level in detection and lateralization. *J.Acoust.Soc.Am.* 49: 1169-1179.
- [11] McFadden, D., Jeffress, L.A., Russell, W.E. (1973). Individual differences in sensitivity to interaural difference in time and level. *Per.Mot.Skills.* 37: 755-761.
- [12] Moore, B.J.C. (1973). Some experiments relating to the perception of complex tones. *Q.J.Exp.Psychol.* 3: 129-140.
- [13] David, M.J., Watson, C.S., Jensen, J.K (1986). Individual differences in auditory capabilities. *J.Acoust.Soc.Am.* 81(2): 427-438.
- [14] Festen, J.M., Plomp, R. (1983). Relation between auditory functions in impaired hearing. *J.Acoust.Soc.Am.* 70(2): 652-662.
- [15] Héту, R., Tran Quoc, H. (1992). Validation of masked threshold among people with sensorineural hearing loss. *Canadian Acoustics*. 22(3): 84-83.
- [16] Patterson, R.D. (1982). *Guidelines for auditory warning system on civil aircraft*. London: Civil Aviation authority (CAA-82017).
- [17] Sorkin, R.D. (1987). Design of auditory and tactile displays. Dans Salvendy, G. (eds), *Handbook of human factors*. New York, Wiley : 549-576.
- [18] Edworthy, J., Loxley, S., Dennis, I. (1991). Improving auditory warning design: relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human factors.* 33: 205-231.
- [19] Lower, M., Wheeler, P., Patterson, R., Edworthy, J., Shailer, M., Milroy, R., Rood, G., Chillery, J. (1986). The design and production of auditory warnings for helicopter 1: The sea king. *Minister of Defense Report. No. AC527-A*.
- [20] Patterson, R., Edworthy, J., Shailer, M., Lower, M., Wheeler, P. (1986). Alarm sounds for medical equipment in intensive care areas and operating theatres. *Departement of trade and industry Report. No. AC598*.

- [21] Hétu, R., Tran Quoc, H., Hodgson, M. (1994). Reverberation as a constraint on auditory warning signal design for industrial settings. *Proceedings of the 12th Congress of the International Ergonomics Association* (sous presse).
- [22] Hétu, R., Tran Quoc, H., Larocque, R. (1995). Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail bruyant et réverbérant. Rapport d'étape. Montréal : Institut de recherche en santé et sécurité du travail, N/D PE-93-11,91-167.
- [23] Moore, B.J.C. (1994). Temporal processing in subjects with NIHL. *Effect of noise on hearing-Vth International Symposium, Gothenburg*.
- [24] Canévet, G. (1988). Audition binaural et localisation auditive : aspects physiques et psychoacoustiques. In M.C. Botte, G. Canévet, L. Demany, C. Sorin, (eds.), *Psychoacoustique et perception auditive*. Paris : Éditions INSERM, pp. 83-122.
- [25] Kunov, H., Abel, S.M. (1981). Effects of rise/decay time on the lateralization of interaurally delayed 1 kHz tones. *J.Acoust.Soc.Am.* 69: 769-773.
- [26] Rakerd, B., Hartman, W.M. (1986). Localization of sound in rooms, III: Onset and duration effects. *J.Acoust.Soc.Am.* 80: 1696-1703.
- [27] Canévet, G. (1985). Aspects physiques de la détection et de la localisation masquée. *Acustica* 57: 122-132.
- [28] McMurthy, P.L., Mershon, D.H. (1985). Auditory distance judgment in noise, with and without hearing protection. Dans Swezey, W (ed). *Proceedings of the Human Factors Society. 29th Annual Meeting* : 811-813.
- [29] Cohen, S. (1993). Les hauts et les bas de la vie d'un chariot élévateur. *Prévention au travail*, 6 (1): 15-23.
- [30] Hellman, R.P., Meiselman, C.H. (1990). Loudness relations for individuals and groups in normal and impaired hearing. *J.Acoust.Soc.Am.* 88, 2596-2606.
- [31] Gervais, M. (1985). L'inégalité des risques affectant la sécurité des travailleurs, par profession. Rapport de recherche. Montréal : IRSST.
- [32] Hétu, R., Tran Quoc, H., Larocque, R. (1995). Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail bruyant et réverbérant. Rapport final. Montréal : Institut de recherche en santé et sécurité du travail, N/D PE-93-01,91-169.
- [33] Zwicker, E. (1976). Model for predicting masking-period patterns. *Bio Cybernetic* 23: 49-60.
- [34] Zwicker, E., Feldtkeller, R. (1981a). Seuils de détection de variations sonores rapides. Dans *Psychoacoustique : L'oreille, récepteur d'information*, chapitre XIII, 162-164. Ed. Masson.
- [35] Zwicker, E., Feldtkeller, R. (1981b). Seuils différentiels de fréquence. Dans *Psychoacoustique : L'oreille, récepteur d'information*, chapitre V, 63-65. Ed. Masson.
- [36] Demany, L., Semal, C. (1989). Detection thresholds for sinusoidal frequency modulation. *J.Acoust.Soc.Am.* 85(3), 1295-1301.
- [37] Horst, J.W. (1989). Detection and discrimination of frequency modulation of complex signals. *J.Acoust.Soc.Am.* 85(5), 2022-2030.
- [38] Makous, J.C. & Middlebrooks, J.C. (1990). Two-dimensional localisation by human listeners. *J.Acoust.Soc.Am.*, 87(5): 2188-2200.
- [39] Wightman, F.L. & Kistler, D.J. (1993). Sound localization. In W.A. Yost & coll. (eds.), *Human Psychophysics*, New-York:Springer-Verlag, 155-92.
- [40] Russell, G. (1977). Limits to behavioral compensation for auditory localization in earmuff listening conditions. *J.Acoust.Soc.Am.*, 61(1): 219-20.
- [41] ANSI-S3.6 (1969). Specifications for Audiometers, R1979. American National Standard Institute, New-York.

Annexe A

Information aux sujets

Lettre d'information et formulaire de consentement



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

Information sur le projet à l'intention des personnes ayant une audition normale, pour la phase expérimentale de l'étude

**Projet : Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger:
guide de conception et épreuve de mesure de capacités**

Madame, Monsieur,

Le GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) poursuit ses travaux sur l'évaluation des capacités auditives. Nous nous intéressons présentement à mettre au point une procédure pour concevoir des avertisseurs sonores de danger (klaxons, sirènes, alarmes) qui seront facilement localisés dans l'espace par des travailleurs industriels.

Pour ce faire, nous devons tester en laboratoire la capacité des gens à localiser d'où viennent les avertisseurs sonores. Nous sollicitons pour ce faire votre participation.

La tâche consiste à identifier le haut-parleur qui a produit le signal parmi un ensemble de 20 haut-parleurs installés en cercle autour de la personne examinée. Les essais se font tantôt dans le calme, tantôt en présence d'un bruit dont le niveau ressemble à celui que l'on rencontre dans une cafétéria. La capacité de localisation sera évaluée pour 20 signaux différents. Pour ce faire, nous prévoyons 5 séances d'essais d'environ 90 minutes chacune. Un montant global de 50\$ est prévu pour vous dédommager du temps consacré à notre projet de recherche.

Vous êtes donc invités à nous aider, par votre participation, à l'amélioration de la sécurité des travailleurs industriels.

Au plaisir de vous rencontrer dans notre laboratoire.

Jean-Pierre Gagné
Chercheur au GAUM

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

Formulaire à l'intention des personnes ayant une audition normale, pour la phase expérimentale de l'étude

CONSENTEMENT À PARTICIPER À L'ÉTUDE

Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger : guide de conception et épreuve de mesure de capacités

Par la présente, je considère être suffisamment informé-e par les chercheurs du GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) concernant les objectifs de cette étude et j'accepte de participer aux cinq séances d'essais de localisation auditive dans le laboratoire du GAUM, chaque séance devant durer environ 90 minutes. Le but de ma participation est de permettre aux chercheurs de tester une procédure permettant à des travailleurs de localiser d'où proviennent les avertisseurs sonores en milieu de travail industriel.

Il est entendu que ma participation est tout à fait libre et volontaire; il est également entendu que je pourrai à tout moment mettre un terme à ma participation sans que cela nuise à mes relations avec les intervenants de l'Université de Montréal.

Il est entendu que tous les renseignements obtenus dans le cadre de ce projet ne seront utilisés qu'aux fins de cette étude et demeureront strictement confidentiels. En aucun temps, mon nom apparaîtra sur un document et d'aucune manière, je ne pourrai être identifié-e.

Il est entendu aussi, qu'à l'occasion ou à la suite de ma participation à l'étude, si je sens le besoin ou si je désire discuter plus en profondeur de mes difficultés d'audition, je pourrai rencontrer Jean-Pierre Gagné, professeur à l'École d'orthophonie et d'audiologie et chercheur au GAUM.

Le _____ 199__
date

nom du chercheur

signature

nom de la personne participante

signature

nom du témoin

signature

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

Information sur le projet à l'intention des personnes malentendantes, pour la phase expérimentale de l'étude

**Projet : Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger:
guide de conception et épreuve de mesure de capacités**

Madame, Monsieur,

Le GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) poursuit ses travaux sur l'évaluation des capacités auditives. Nous nous intéressons présentement à mettre au point une procédure pour concevoir des avertisseurs sonores de danger (klaxons, sirènes, alarmes) qui seront facilement localisés dans l'espace par des travailleurs industriels malentendants.

Pour ce faire, nous devons tester en laboratoire la capacité des gens à localiser d'où viennent les avertisseurs sonores. Nous sollicitons pour ce faire votre participation.

La tâche consiste à identifier le haut-parleur qui a produit le signal parmi un ensemble de 20 haut-parleurs installés en cercle autour de la personne examinée. Les essais se font tantôt dans le calme, tantôt en présence d'un bruit dont le niveau ressemble à celui que l'on rencontre dans une cafétéria. La capacité de localisation sera évaluée pour 8 signaux différents. Pour ce faire, nous prévoyons 3 séances d'essais d'environ 90 minutes chacune. Un montant de 15\$ par heure de participation est prévu pour vous dédommager du temps consacré à notre projet.

Vous êtes donc invités à nous aider, par votre participation, à l'amélioration de la sécurité des travailleurs industriels. Si vous désirez de plus amples informations, vous pouvez me téléphoner au numéro suivant : 343-2499.

Au plaisir de vous rencontrer dans notre laboratoire.

Jean-Pierre Gagné
Chercheur au GAUM

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

Formulaire à l'intention des personnes malentendantes, pour la phase expérimentale de l'étude

CONSENTEMENT À PARTICIPER À L'ÉTUDE

Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger: guide de conception et épreuve de mesure de capacités

Par la présente, je considère être suffisamment informé-e par les chercheurs du GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) concernant les objectifs de cette étude et j'accepte de participer aux trois séances d'essais de localisation auditive dans le laboratoire du GAUM, chaque séance devant durer environ 90 minutes. Le but de ma participation est de permettre aux chercheurs de tester une procédure permettant à des travailleurs malentendants de localiser d'où proviennent les avertisseurs sonores en milieu de travail industriel.

Il est entendu que ma participation est tout à fait libre et volontaire; il est également entendu que je pourrai à tout moment mettre un terme à ma participation sans que cela nuise à mes relations avec les intervenants de l'Université de Montréal.

Il est entendu que tous les renseignements obtenus dans le cadre de ce projet ne seront utilisés qu'aux fins de cette étude et demeureront strictement confidentiels. En aucun temps, mon nom apparaîtra sur un document et d'aucune manière, je ne pourrai être identifié-e.

Il est entendu aussi, qu'à l'occasion ou à la suite de ma participation à l'étude, si je sens le besoin ou si je désire discuter plus en profondeur de mes difficultés d'audition, je pourrai rencontrer Jean-Pierre Gagné, professeur à l'École d'orthophonie et d'audiologie et chercheur au GAUM.

Le _____ 199__
date

nom du chercheur

signature

nom de la personne participante

signature

nom du témoin

signature

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

Information sur le projet à l'intention des personnes ayant une audition normale, pour la mise au point d'une procédure d'examen clinique

**Projet : Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger:
guide de conception et épreuve de mesure de capacités**

Madame, Monsieur,

Le GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) poursuit ses travaux sur l'évaluation des capacités auditives. Nous nous intéressons présentement à mettre au point une procédure d'examen clinique de localisation auditive.

Pour ce faire, nous devons tester en laboratoire la capacité des gens à localiser d'où viennent les avertisseurs sonores. Nous sollicitons pour ce faire votre participation.

La tâche consiste à identifier le haut-parleur qui a produit le signal parmi un ensemble de 11 haut-parleurs installés en demi-cercle autour de la personne examinée. La capacité de localisation sera évaluée pour 2 signaux différents. Pour ce faire, nous prévoyons 1 séance d'essais d'environ 60 à 90 minutes. Un montant de 15,00\$ est prévu pour vous dédommager du temps consacré à notre projet de recherche.

Vous êtes donc invités à nous aider, par votre participation, à l'amélioration de la sécurité des travailleurs industriels.

Au plaisir de vous rencontrer dans notre laboratoire.

Jean-Pierre Gagné
Chercheur au GAUM

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

Formulaire à l'intention des personnes ayant une audition normale, pour la mise au point d'une procédure d'examen clinique

CONSENTEMENT À PARTICIPER À L'ÉTUDE

**Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger:
guide de conception et épreuve de mesure de capacités**

Par la présente, je considère être suffisamment informé-e par les chercheurs du GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) concernant les objectifs de cette étude et j'accepte de participer à la séance d'essais de localisation auditive dans le laboratoire du GAUM, séance devant durer entre 60 et 90 minutes. Une somme de 15,00\$ me sera versée pour ma participation dont le but est de permettre aux chercheurs de concevoir une procédure d'examen clinique de localisation auditive.

Il est entendu que ma participation est tout à fait libre et volontaire; il est également entendu que je pourrai à tout moment mettre un terme à ma participation sans que cela nuise à mes relations avec les intervenants de l'Université de Montréal.

Il est entendu que tous les renseignements obtenus dans le cadre de ce projet ne seront utilisés qu'aux fins de cette étude et demeureront strictement confidentiels. En aucun temps, mon nom apparaîtra sur un document et d'aucune manière, je ne pourrai être identifié-e.

Il est entendu aussi, qu'à l'occasion ou à la suite de ma participation à l'étude, si je sens le besoin ou si je désire discuter plus en profondeur de mes difficultés d'audition, je pourrai rencontrer Jean-Pierre Gagné, professeur à l'École d'orthophonie et d'audiologie et chercheur au GAUM.

Le _____ 199__
date

nom du chercheur

signature

nom de la personne participante

signature

nom du témoin

signature

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

Information sur le projet à l'intention des personnes ayant une audition normale, pour la mise au point d'une procédure d'examen clinique

**Projet : Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger:
guide de conception et épreuve de mesure de capacités**

Madame, Monsieur,

Le GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) poursuit ses travaux sur l'évaluation des capacités auditives. Nous nous intéressons présentement à mettre au point une procédure d'examen clinique de localisation auditive.

Pour ce faire, nous devons tester en laboratoire la capacité des gens à localiser d'où viennent les avertisseurs sonores. Nous sollicitons pour ce faire votre participation.

La tâche consiste à identifier le haut-parleur qui a produit le signal parmi un ensemble de 11 haut-parleurs installés en demi-cercle autour de la personne examinée. La capacité de localisation sera évaluée pour 2 signaux différents. Pour ce faire, nous prévoyons 2 séances d'essais d'environ 60 à 90 minutes. Une somme de 30,00\$ (soit un montant de 15,00\$ par séance) est prévue pour vous dédommager du temps consacré à notre projet de recherche. Nous prévoyons un délai de quelques semaines entre les deux rencontres afin de préparer le laboratoire pour la deuxième partie de l'expérimentation.

Vous êtes donc invités à nous aider, par votre participation, à l'amélioration de la sécurité des travailleurs industriels.

Au plaisir de vous rencontrer dans notre laboratoire.

Jean-Pierre Gagné
Chercheur au GAUM

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7



Université de Montréal
Faculté de médecine
École d'orthophonie et d'audiologie
Groupe d'acoustique
de l'Université de Montréal

*Formulaire à l'intention des personnes ayant une audition normale, pour la
mise au point d'une procédure d'examen clinique*

CONSENTEMENT À PARTICIPER À L'ÉTUDE

**Localisation auditive des avertisseurs sonores de danger:
guide de conception et épreuve de mesure de capacités**

Par la présente, je considère être suffisamment informé-e par les chercheurs du GAUM (Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal) concernant les objectifs de cette étude et j'accepte de participer aux deux séances d'essais de localisation auditive dans le laboratoire du GAUM, une séance devant durer entre 60 et 90 minutes. Une somme de 30,00\$ (soit un montant de 15,00\$ par rencontre) me sera versée pour ma participation dont le but est de permettre aux chercheurs de concevoir une procédure d'examen clinique de localisation auditive.

Il est entendu que ma participation est tout à fait libre et volontaire; il est également entendu que je pourrai à tout moment mettre un terme à ma participation sans que cela nuise à mes relations avec les intervenants de l'Université de Montréal.

Il est entendu que tous les renseignements obtenus dans le cadre de ce projet ne seront utilisés qu'aux fins de cette étude et demeureront strictement confidentiels. En aucun temps, mon nom apparaîtra sur un document et d'aucune manière, je ne pourrai être identifié-e.

Il est entendu aussi, qu'à l'occasion ou à la suite de ma participation à l'étude, si je sens le besoin ou si je désire discuter plus en profondeur de mes difficultés d'audition, je pourrai rencontrer Jean-Pierre Gagné, professeur à l'École d'orthophonie et d'audiologie et chercheur au GAUM.

Le _____ 199__
date

nom du chercheur

signature

nom de la personne participante

signature

nom du témoin

signature

C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3J7

Annexe B

Tableaux

Tableau b1. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujet	S1C		S2C		S3C		S4C		S5C		S6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	75	70	95	55	100	55	90	20	90	100	100	100
CC0411N	85	75	100	55	90	20	90	35	100	100	100	100
CD1811N	70	95	95	70	85	40	65	20	85	95	100	95
CG0111N	100	60	90	75	65	15	65	10	75	95	90	95
CT0711N	100	70	80	70	100	45	75	15	95	100	90	95
FL0711N	75	65	80	45	85	25	70	5	95	90	100	95
IG0511N	85	90	95	100	85	50	85	25	100	95	100	100
IM0711N	100	100	95	75	85	30	85	40	100	100	100	95
JD0111N	85	70	70	45	75	20	65	25	90	65	100	100
JP1511N	90	80	100	85	95	55	75	35	100	85	100	100
KM0511N	85	70	100	90	80	85	45	35	100	95	100	100
LL0611N	70	85	95	50	75	35	85	25	90	85	95	95
MB0811N	95	80	95	75	90	35	85	15	75	95	90	90
MD0411N	80	70	95	80	85	50	85	15	95	100	100	100
MF3110N	85	70	95	75	85	20	75	15	100	100	100	85
MJ0511N	90	70	95	90	95	30	70	10	100	95	100	100
ML1111N	75	80	95	80	60	70	75	35	95	95	100	100
ML2810N	75	80	100	85	90	50	80	30	95	100	90	100
NC0411N	80	80	100	60	100	70	80	30	100	100	100	100
NJ0611N	90	60	85	50	90	25	60	25	100	100	95	100
SH2111N	95	100	95	70	90	55	90	45	95	100	100	100

Tableau b2. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	P1C		P2C		P3C		P4C		P5C		P6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	90	55	95	60	75	20	85	20	95	90	100	85
CC0411N	95	85	90	65	90	40	70	40	100	100	100	95
CD1811N	95	50	95	75	80	35	90	10	90	85	95	100
CG0111N	75	25	95	50	85	50	100	20	100	95	90	85
CT0711N	90	85	100	45	95	25	75	35	100	100	95	90
FL0711N	90	55	100	65	90	10	85	20	85	90	75	95
IG0511N	90	90	100	85	100	25	90	40	100	95	100	100
IM0711N	95	100	100	70	85	45	85	50	100	100	100	100
JD0111N	70	70	95	30	90	15	65	15	100	70	100	80
JP1511N	90	70	95	65	90	30	85	90	95	100	100	80
KM0511N	75	85	100	85	65	35	85	25	90	100	95	90
LL0611N	75	65	95	75	90	25	85	30	100	85	80	95
MB0811N	80	75	80	40	90	20	65	40	65	85	90	90
MD0411N	100	50	90	65	85	35	90	20	100	75	95	80
MF3110N	95	70	100	75	95	45	80	20	95	85	100	100
MJ0511N	85	95	100	70	100	30	90	15	95	85	100	95
ML1111N	80	90	95	45	95	35	90	35	85	90	90	95
ML2810N	95	55	90	100	85	70	90	25	95	90	100	100
NC0411N	95	85	100	45	80	40	90	30	100	100	85	95
NJ0611N	90	85	85	70	90	40	70	20	90	75	90	95
SH2111N	90	95	95	65	90	40	80	30	100	95	95	95

Tableau b3. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	A1C		A2C		A3C		A4C		A5C		A6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	70	60	95	50	90	30	90	20	95	90	100	95
CC0411N	85	50	100	35	95	50	85	30	100	90	100	90
CD1811N	90	65	100	70	85	45	80	30	95	100	100	95
CG0111N	85	70	90	70	70	45	80	25	100	85	90	95
CT0711N	90	90	65	70	90	50	90	30	95	90	85	85
FL0711N	80	55	100	50	80	30	70	75	100	100	100	95
IG0511N	95	80	100	90	95	50	85	45	100	95	95	100
IM0711N	75	80	100	70	80	60	100	25	100	95	100	95
JD0111N	75	70	85	45	75	20	80	25	90	80	95	100
JP1511N	95	75	85	45	100	15	65	100	100	95	100	90
KM0511N	70	70	100	90	90	45	75	25	100	100	100	100
LL0611N	95	85	95	65	85	35	90	20	100	95	100	90
MB0811N	85	65	85	80	90	25	65	20	75	100	90	90
MD0411N	85	45	95	55	75	50	90	25	90	70	100	100
MF3110N	95	80	100	65	85	35	75	15	100	100	95	100
MJ0511N	100	60	95	50	90	15	80	5	100	90	100	90
ML1111N	100	75	95	90	80	60	95	40	100	95	80	100
ML2810N	90	80	95	90	90	50	95	60	100	100	100	100
NC0411N	95	70	90	55	100	40	90	20	100	95	100	100
NJ0611N	95	75	90	80	95	30	80	45	95	95	100	95
SH2111N	95	95	90	90	80	45	100	30	95	100	95	80

Tableau b4. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	F3C		F5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	100	100	100	100
CC0411N	100	95	100	85
CD1811N	95	65	100	100
CG0111N	100	80	100	90
CT0711N	100	80	85	100
FL0711N	100	75	100	100
IG0511N	100	80	95	85
IM0711N	100	85	100	100
JD0111N	100	75	100	95
JP1511N	100	90	100	90
KM0511N	100	95	100	95
LL0611N	100	80	100	100
MB0811N	95	90	100	100
MD0411N	100	90	100	80
MF3110N	100	95	100	100
MJ0511N	100	80	100	95
ML1111N	100	75	95	85
ML2810N	100	90	100	100
NC0411N	100	95	100	95
NJ0611N	95	65	100	90
SH2111N	90	85	100	100

Tableau b5. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	S1C		S2C		S3C		S4C		S5C		S6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	100	100	100	90	100	90	100	85	100	100	100	100
CC0411N	100	100	100	85	100	75	100	80	100	100	100	100
CD1811N	100	100	100	100	100	95	100	85	100	100	100	100
CG0111N	100	100	100	100	100	85	100	90	100	100	100	100
CT0711N	100	95	100	100	100	85	100	85	100	100	100	100
FL0711N	100	100	100	90	100	65	95	70	100	100	100	100
IG0511N	100	100	100	100	100	95	100	90	100	100	100	100
IM0711N	100	100	100	100	100	85	100	85	100	100	100	100
JD0111N	100	100	90	90	95	50	100	70	100	90	100	100
JP1511N	100	100	100	100	95	95	100	100	100	100	100	100
KM0511N	100	100	100	95	100	100	100	80	100	100	100	100
LL0611N	100	100	100	85	95	90	100	85	100	100	100	100
MB0811N	100	100	100	90	100	90	100	80	100	100	100	100
MD0411N	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100
MF3110N	100	100	100	95	100	70	100	65	100	100	100	100
MJ0511N	100	100	100	95	100	70	95	55	100	95	100	100
ML1111N	100	100	100	90	100	100	100	95	100	100	100	100
ML2810N	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100
NC0411N	100	95	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100
NJ0611N	100	100	100	100	100	95	100	85	100	100	100	100
SH2111N	100	100	95	100	100	90	100	90	100	100	100	100

Tableau b6. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	P1C		P2C		P3C		P4C		P5C		P6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	100	90	100	95	100	60	100	90	100	100	100	100
CC0411N	100	100	100	95	100	90	100	95	100	100	100	100
CD1811N	100	100	100	95	100	90	100	80	100	95	100	100
CG0111N	100	100	100	100	100	90	100	85	100	100	100	100
CT0711N	100	100	100	80	100	90	100	95	100	100	100	100
FL0711N	100	100	100	85	100	70	100	75	95	100	95	100
IG0511N	100	100	100	100	100	90	100	90	100	100	100	100
IM0711N	100	100	100	95	100	85	100	95	100	100	100	100
JD0111N	95	95	100	85	100	70	95	90	100	95	100	100
JP1511N	100	100	100	95	95	90	100	100	100	100	100	100
KM0511N	100	100	100	100	100	85	100	100	100	100	100	100
LL0611N	100	100	100	85	100	95	95	85	100	90	95	95
MB0811N	100	100	100	80	95	80	100	95	100	100	100	100
MD0411N	100	100	100	100	100	80	100	65	100	100	100	100
MF3110N	100	100	100	95	100	90	100	80	100	100	100	100
MJ0511N	95	95	100	85	100	65	100	50	100	95	100	95
ML1111N	95	100	100	85	100	90	100	90	90	100	90	95
ML2810N	100	100	100	100	100	100	100	90	100	95	100	100
NC0411N	100	100	100	100	100	90	100	95	100	100	90	100
NJ0611N	100	100	100	100	100	90	100	90	100	100	100	100
SH2111N	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100

Tableau b7. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	A1C		A2C		A3C		A4C		A5C		A6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	100	95	100	90	100	75	100	100	100	100	100	100
CC0411N	100	95	100	75	100	100	100	75	100	100	100	100
CD1811N	100	100	100	90	95	95	100	90	100	100	100	100
CG0111N	100	100	100	100	100	85	100	85	100	100	100	100
CT0711N	100	100	100	90	100	90	95	90	100	100	100	100
FL0711N	100	100	100	95	100	80	100	65	100	100	100	100
IG0511N	100	95	100	100	100	75	100	85	100	100	95	100
IM0711N	100	100	100	100	95	90	100	95	100	100	100	100
JD0111N	100	100	100	90	100	70	100	70	100	100	100	100
JP1511N	100	100	100	100	100	75	100	100	100	100	100	100
KM0511N	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100
LL0611N	100	100	100	95	95	90	100	95	100	100	100	100
MB0811N	100	100	100	100	100	80	100	75	100	100	100	100
MD0411N	100	90	100	90	100	95	100	80	100	90	100	100
MF3110N	100	100	100	95	100	85	100	80	100	100	100	100
MJ0511N	100	95	100	75	100	55	100	55	100	90	100	95
ML1111N	100	100	95	95	100	100	100	95	100	100	95	100
ML2810N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
NC0411N	100	100	100	90	100	75	100	75	100	100	100	100
NJ0611N	100	100	100	95	100	85	100	95	100	100	100	100
SH2111N	100	100	100	100	100	95	100	60	100	100	100	100

Tableau b8. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	F3C		F5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	100	100	100	100
CC0411N	100	100	100	100
CD1811N	100	100	100	100
CG0111N	100	100	100	100
CT0711N	100	95	100	100
FL0711N	100	95	100	100
IG0511N	100	100	100	100
IM0711N	100	95	100	100
JD0111N	100	100	100	100
JP1511N	100	100	100	90
KM0511N	100	100	100	100
LL0611N	100	100	100	100
MB0811N	100	95	100	100
MD0411N	100	100	100	95
MF3110N	100	100	100	100
MJ0511N	100	100	100	100
ML1111N	100	95	95	100
ML2810N	100	100	100	100
NC0411N	100	100	100	100
NJ0611N	100	100	100	100
SH2111N	100	100	100	100

Tableau b9. Erreur moyenne angulaire de localisation obtenue chez 21 auditeurs normaux pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	S1C		S2C		S3C		S4C		S5C		S6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	4,5	5,4	0,9	21,6	0,0	17,1	1,8	33,3	1,8	0,0	0,0	0,0
CC0411N	2,7	4,5	0,0	26,1	1,8	37,8	1,8	25,2	0,0	0,0	0,0	0,0
CD1811N	5,4	0,9	0,9	5,4	2,7	16,2	6,3	34,2	2,7	0,9	0,0	0,9
CG0111N	0,0	7,2	1,8	5,4	6,3	32,4	6,3	32,4	4,5	0,9	1,8	0,9
CT0711N	0,0	7,2	3,6	6,3	0,0	16,2	4,5	32,4	0,9	0,0	1,8	0,9
FL0711N	4,5	7,2	2,7	19,8	2,7	45,9	8,1	62,1	0,9	1,8	0,0	0,9
IG0511N	2,7	1,8	0,9	0,0	2,7	12,6	2,7	19,8	0,0	0,9	0,0	0,0
IM0711N	0,0	0,0	0,9	4,5	2,7	24,3	2,7	28,8	0,0	0,0	0,0	0,9
JD0111N	2,7	1,8	14,4	18,9	7,2	54,9	6,3	48,6	1,8	13,5	0,0	0,0
JP1511N	1,8	3,6	0,0	2,7	7,2	10,8	4,5	13,5	0,0	2,7	0,0	0,0
KM0511N	2,7	5,4	0,0	9,0	3,6	4,5	9,9	23,4	0,0	0,9	0,0	0,0
LL0611N	5,4	2,7	0,9	27,9	10,8	20,7	2,7	36,0	1,8	2,7	0,9	0,9
MB0811N	0,9	3,6	0,9	15,3	1,8	21,6	2,7	30,6	4,5	0,9	1,8	1,8
MD0411N	4,5	5,4	0,9	3,6	2,7	18,0	2,7	23,4	0,9	0,0	0,0	0,0
MF3110N	2,7	5,4	0,9	8,1	2,7	32,4	4,5	41,4	0,0	0,0	0,0	2,7
MJ0511N	1,8	5,4	0,9	6,3	0,9	41,4	13,5	61,2	0,0	9,0	0,0	0,0
ML1111N	4,5	3,6	0,9	18,0	7,2	5,4	4,5	20,7	0,9	0,9	0,0	0,0
ML2810N	4,5	3,6	0,0	2,7	1,8	12,6	3,6	22,5	0,9	0,0	1,8	0,0
NC0411N	3,6	11,7	0,0	9,9	0,0	7,2	3,6	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0
NJ0611N	1,8	7,2	2,7	13,5	1,8	18,0	7,2	36,9	0,0	0,0	0,9	0,0
SH2111N	0,9	0,0	8,1	5,4	1,8	14,4	1,8	22,5	0,9	0,0	0,0	0,0

Tableau b10. Erreur moyenne angulaire de localisation obtenue chez 21 auditeurs normaux pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	P1C		P2C		P3C		P4C		P5C		P6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	1,8	21,6	0,9	15,3	5,4	51,3	2,7	22,5	0,9	1,8	0,0	2,7
CC0411N	0,9	3,6	1,8	11,7	1,8	27,0	6,3	17,1	0,0	0,0	0,0	0,9
CD1811N	0,9	9,0	0,9	10,8	3,6	24,3	1,8	37,8	8,1	9,0	1,8	0,0
CG0111N	4,5	15,3	0,9	9,9	2,7	18,0	0,0	29,7	0,0	0,9	1,8	2,7
CT0711N	1,8	2,7	0,0	30,6	0,9	26,1	4,5	15,3	0,0	0,0	0,9	1,8
FL0711N	1,8	9,0	0,0	20,7	1,8	46,8	2,7	48,6	3,6	2,7	12,6	0,9
IG0511N	1,8	1,8	0,0	2,7	0,0	27,9	1,8	24,3	0,0	0,9	0,0	0,0
IM0711N	0,9	0,0	0,0	8,1	2,7	20,7	2,7	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0
JD0111N	10,8	13,5	0,9	33,3	1,8	39,6	12,6	27,9	0,0	10,8	0,0	4,5
JP1511N	1,8	5,4	0,9	11,7	8,1	18,0	2,7	36,9	0,9	1,8	0,0	0,0
KM0511N	4,5	2,7	0,0	2,7	8,1	29,7	2,7	20,7	1,8	0,0	0,9	1,8
LL0611N	4,5	7,2	0,9	14,4	1,8	22,5	9,9	29,7	0,0	13,5	12,6	9,0
MB0811N	3,6	4,5	3,6	32,4	9,9	35,1	6,3	12,6	6,3	2,7	1,8	5,4
MD0411N	0,0	9,0	1,8	7,2	2,7	22,5	1,8	43,2	0,0	4,5	0,9	3,6
MF3110N	0,9	3,6	0,0	10,8	0,0	21,6	3,6	28,8	0,9	2,7	0,0	0,0
MJ0511N	9,9	13,5	0,0	18,9	0,0	42,3	1,8	77,4	0,9	10,8	0,0	8,1
ML1111N	11,7	1,8	0,9	22,5	0,9	31,5	1,8	21,6	17,1	1,8	14,4	9,0
ML2810N	0,9	8,1	1,8	0,0	2,7	9,9	1,8	24,3	0,9	9,9	0,0	0,0
NC0411N	0,9	3,6	0,0	12,6	3,6	15,3	1,8	18,9	0,0	0,0	17,1	0,9
NJ0611N	1,8	2,7	2,7	5,4	1,8	18,9	5,4	22,5	1,8	5,4	1,8	0,9
SH2111N	1,8	1,8	0,9	6,3	1,8	15,3	3,6	24,3	0,0	0,9	0,9	0,9

Tableau b11. Erreur moyenne angulaire de localisation obtenue chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	A1C		A2C		A3C		A4C		A5C		A6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	5,4	14,4	0,9	18,9	1,8	37,8	1,8	18,9	0,9	1,8	0,0	0,9
CC0411N	2,7	16,2	0,0	36,9	0,9	14,4	2,7	36,0	0,0	1,8	0,0	1,8
CD1811N	0,0	6,3	10,8	16,2	10,8	16,2	3,6	25,2	0,9	0,0	0,0	0,9
CG0111N	2,7	6,3	1,8	5,4	5,4	21,6	3,6	32,4	0,0	2,7	1,8	1,8
CT0711N	1,8	1,8	7,2	10,8	1,8	21,6	6,3	30,6	0,9	1,8	2,7	2,7
FL0711N	3,6	9,0	0,0	11,7	3,6	25,2	5,4	44,1	0,0	0,0	0,0	0,9
IG0511N	0,9	8,1	0,0	1,8	0,9	33,3	0,0	23,4	0,0	0,9	8,1	0,0
IM0711N	4,5	3,6	0,0	5,4	4,5	14,4	0,0	21,6	0,0	0,9	0,0	0,9
JD0111N	4,5	5,4	2,7	22,5	4,5	45,0	3,6	44,1	1,8	3,6	0,9	0,0
JP1511N	0,9	2,7	2,7	5,4	0,0	10,8	6,3	44,1	0,0	0,0	0,0	0,9
KM0511N	5,4	5,4	0,0	1,8	1,8	13,5	4,5	23,4	0,0	0,0	0,0	0,0
LL0611N	0,9	2,7	0,9	13,5	9,9	22,5	1,8	30,6	0,0	0,9	0,0	1,8
MB0811N	2,7	6,3	2,7	3,6	1,8	30,6	6,3	36,0	4,5	0,0	1,8	1,8
MD0411N	2,7	23,4	0,9	18,9	4,5	14,4	1,8	34,2	1,8	19,8	0,0	0,0
MF3110N	0,9	3,6	0,0	12,6	2,7	25,2	4,5	32,4	0,0	0,0	0,9	0,0
MJ0511N	0,0	15,3	0,9	36,9	1,8	61,2	3,6	69,3	0,0	17,1	0,0	9,9
ML1111N	0,0	4,5	9,0	6,3	3,6	7,2	0,9	14,4	0,0	0,9	11,7	0,0
ML2810N	1,8	3,6	0,9	1,8	1,8	10,8	0,9	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0
NC0411N	0,9	5,4	4,5	14,4	0,0	27,9	1,8	39,6	0,0	0,9	0,0	0,0
NJ0611N	0,9	4,5	1,8	6,3	0,9	21,6	3,6	17,1	0,9	0,9	0,0	0,9
SH2111N	0,9	0,9	1,8	1,8	3,6	11,7	0,0	42,3	0,9	0,0	0,9	0,0

Tableau b12. Erreur moyenne angulaire de localisation obtenue chez 21 auditeurs normaux pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	F3C		F5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
AT0711N	0,0	0,0	0,0	0,0
CC0411N	0,0	0,9	0,0	2,7
CD1811N	0,9	6,3	0,0	0,0
CG0111N	0,0	4,5	0,0	1,8
CT0711N	0,0	7,2	2,7	0,0
FL0711N	0,0	8,1	0,0	0,0
IG0511N	0,0	3,6	0,9	2,7
IM0711N	0,0	6,3	0,0	0,0
JD0111N	0,0	4,5	0,0	0,9
JP1511N	0,0	1,8	0,0	1,8
KM0511N	0,0	0,9	0,0	0,9
LL0611N	0,0	3,6	0,0	0,0
MB0811N	8,1	4,5	0,0	0,0
MD0411N	0,0	1,8	0,0	10,8
MF3110N	0,0	0,9	0,0	0,0
MJ0511N	0,0	3,6	0,0	0,9
ML1111N	0,0	7,2	9,0	2,7
ML2810N	0,0	1,8	0,0	0,0
NC0411N	0,0	0,9	0,0	0,9
NJ0611N	0,9	6,3	0,0	1,8
SH2111N	4,5	0,0	0,0	0,0

Tableau b13. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	S3C		S5C		S6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	45	25	90	100	90	90
DD2503S	45	20	100	80	100	100
DP1001S	30	35	75	40	-	-
EC1402S	75	40	75	70	100	95
EL2602S	15	20	40	40	30	70
FD2102S	40	20	70	80	85	80
FO1103S	50	25	85	75	85	80
GD1703S	25	10	45	25	40	25
IT1802S	25	25	70	75	90	95
JH0203S	10	5	65	60	80	65
JP1903S	35	30	90	95	85	90
JZ0503S	40	25	90	85	80	85
LM2402S	25	35	75	75	95	80
LV1502S	30	25	25	25	50	25
MA1702S	30	50	55	65	95	75
MG1702S	35	25	60	75	70	75
MP1301S	45	25	80	90	-	-
NL1702S	50	15	80	85	90	95
RS2102S	30	30	95	90	75	95
SD2002S	30	30	80	55	65	100
SM2202S	25	25	40	55	45	50

Tableau b14. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	P3C		P5C		P6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	30	30	85	70	100	85
DD2503S	20	30	90	75	80	75
DP1001S	30	35	70	60	85	50
EC1402S	30	35	80	60	80	85
EL2602S	15	5	45	40	45	45
FD2102S	30	20	90	75	75	85
FO1103S	25	30	85	60	85	65
GD1703S	20	20	25	10	30	20
IT1802S	10	15	65	45	80	65
JH0203S	30	0	75	65	70	75
JP1903S	50	40	85	85	95	85
JZ0503S	50	15	75	30	90	55
LM2402S	10	15	30	45	65	70
LV1502S	20	20	35	35	25	40
MA1702S	35	45	75	65	70	75
MG1702S	50	20	60	75	85	95
MP1301S	70	35	95	75	90	90
NL1702S	40	15	85	85	95	90
RS2102S	45	25	65	65	80	65
SD2002S	45	35	65	85	85	65
SM2202S	35	20	20	35	60	40

Tableau b15. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	A3C		A5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	45	20	100	90
DD2503S	25	30	95	95
DP1001S	15	40	75	85
EC1402S	50	30	90	85
EL2602S	25	20	55	70
FD2102S	30	25	75	85
FO1103S	35	0	80	75
GD1703S	10	0	45	30
IT1802S	10	10	70	65
JH0203S	35	30	75	70
JP1903S	45	35	85	75
JZ0503S	30	35	80	60
LM2402S	15	5	85	75
LV1502S	40	5	40	45
MA1702S	30	40	85	90
MG1702S	40	35	70	65
MP1301S	50	25	95	85
NL1702S	50	40	90	80
RS2102S	30	35	75	90
SD2002S	50	20	80	90
SM2202S	35	15	30	50

Tableau b16. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	F3C		F5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	65	25	100	95
DD2503S	60	45	100	95
DP1001S	35	30	90	90
EC1402S	65	45	95	90
EL2602S	45	25	65	55
FD2102S	40	40	95	75
FO1103S	45	40	80	60
GD1703S	20	25	35	20
IT1802S	20	30	95	80
JH0203S	50	25	70	75
JP1903S	80	40	95	100
JZ0503S	70	40	90	80
LM2402S	30	15	95	90
LV1502S	35	5	15	35
MA1702S	60	50	10	30
MG1702S	65	40	100	95
MP1301S	95	60	95	95
NL1702S	90	85	95	100
RS2102S	65	30	80	70
SD2002S	35	60	80	75
SM2202S	60	50	40	25

Tableau b17. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	S3C		S5C		S6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	100	70	100	100	100	100
DD2503S	95	100	100	95	100	100
DP1001S	85	85	95	90	-	-
EC1402S	100	85	100	100	100	100
EL2602S	75	75	90	100	80	95
FD2102S	80	65	90	90	90	95
FO1103S	85	75	100	85	100	95
GD1703S	75	60	85	90	80	85
IT1802S	75	70	100	95	95	95
JH0203S	65	45	100	90	95	90
JP1903S	95	95	100	100	100	100
JZ0503S	85	55	100	100	100	100
LM2402S	65	85	100	100	100	95
LV1502S	90	70	80	80	65	65
MA1702S	90	100	80	90	95	95
MG1702S	85	65	95	95	100	95
MP1301S	100	75	100	95	-	-
NL1702S	75	55	90	100	90	100
RS2102S	100	90	100	100	100	100
SD2002S	75	90	100	100	100	100
SM2202S	75	75	80	75	75	90

Tableau b18. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	P3C		P5C		P6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	95	75	100	95	100	95
DD2503S	85	80	100	100	95	100
DP1001S	90	75	95	100	100	85
EC1402S	90	75	100	100	95	95
EL2602S	80	75	100	100	100	90
FD2102S	70	70	90	90	95	90
FO1103S	80	80	90	90	95	90
GD1703S	50	60	65	70	85	80
IT1802S	90	75	100	85	100	90
JH0203S	60	55	100	95	95	90
JP1903S	90	80	100	85	95	90
JZ0503S	80	55	95	90	100	100
LM2402S	60	40	90	90	95	85
LV1502S	95	70	70	70	80	65
MA1702S	95	95	95	95	100	100
MG1702S	85	60	95	85	90	95
MP1301S	80	85	100	95	100	95
NL1702S	90	55	95	100	95	100
RS2102S	85	80	100	90	100	100
SD2002S	75	75	95	100	95	90
SM2202S	90	75	80	80	80	75

Tableau b19. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	A3C		A5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	95	95	100	100
DD2503S	95	90	100	100
DP1001S	90	75	100	90
EC1402S	100	75	100	100
EL2602S	90	70	100	100
FD2102S	75	50	95	90
FO1103S	75	70	95	95
GD1703S	60	70	90	75
IT1802S	70	65	100	90
JH0203S	85	70	95	90
JP1903S	95	90	100	100
JZ0503S	75	45	100	95
LM2402S	65	35	100	90
LV1502S	90	85	90	75
MA1702S	95	95	95	100
MG1702S	95	80	95	100
MP1301S	100	95	95	95
NL1702S	75	75	95	100
RS2102S	90	100	100	100
SD2002S	95	75	100	100
SM2202S	85	90	75	85

Tableau b20. Pourcentage global moyen de réussite (excluant les erreurs intra-quadrants) obtenu chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	F3C		F5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	100	100	100	100
DD2503S	90	95	100	100
DP1001S	90	95	100	100
EC1402S	95	100	100	100
EL2602S	100	75	90	85
FD2102S	90	90	100	95
FO1103S	100	90	100	100
GD1703S	70	80	95	90
IT1802S	95	80	100	100
JH0203S	100	70	100	100
JP1903S	100	95	100	100
JZ0503S	95	90	100	100
LM2402S	95	95	95	95
LV1502S	95	90	90	70
MA1702S	100	100	60	70
MG1702S	100	80	100	95
MP1301S	100	100	100	100
NL1702S	95	95	95	100
RS2102S	100	90	100	100
SD2002S	100	100	95	100
SM2202S	100	95	80	65

Tableau b21. Erreur angulaire moyenne de localisation obtenue chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux continus en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	S3C		S5C		S6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	9,9	48,6	1,8	0,0	1,8	1,8
DD2503S	20,7	22,5	0,0	10,8	0,0	0,0
DP1001S	30,6	29,7	12,6	18,0	-	-
EC1402S	4,5	22,5	4,5	5,4	0,0	0,9
EL2602S	34,2	54,9	26,1	12,6	39,6	12,6
FD2102S	41,4	46,8	19,8	19,8	16,2	12,6
FO1103S	18,9	35,1	2,7	20,7	2,7	10,8
GD1703S	43,2	63,9	25,2	19,8	28,8	27,0
IT1802S	30,6	32,4	5,4	10,8	9,9	1,8
JH0203S	50,4	72,0	7,2	16,2	11,7	18,9
JP1903S	19,8	16,2	1,8	0,9	2,7	1,8
JZ0503S	32,4	54,0	1,8	2,7	3,6	2,7
LM2402S	53,1	31,5	4,5	4,5	0,9	11,7
LV1502S	23,4	31,5	32,4	31,5	47,7	65,7
MA1702S	18,0	9,9	32,4	18,9	9	12,6
MG1702S	32,4	43,2	14,4	12,6	5,4	11,7
MP1301S	9,9	38,7	3,6	9,9	-	-
NL1702S	40,5	61,2	15,3	2,7	15,3	0,9
RS2102S	17,1	26,1	0,9	1,8	4,5	0,9
SD2002S	45,0	25,2	3,6	11,7	6,3	0,0
SM2202S	29,7	30,6	27,9	35,1	36,0	23,4

Tableau b22. Erreur angulaire moyenne de localisation obtenue chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux pulsés en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	P3C		P5C		P6C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	17,1	32,4	2,7	12,6	0,0	10,8
DD2503S	24,3	30,6	1,8	4,5	11,7	4,5
DP1001S	24,3	33,3	11,7	8,1	2,7	26,1
EC1402S	22,5	32,4	3,6	7,2	11,7	11,7
EL2602S	35,1	46,8	11,7	11,7	9,9	21,6
FD2102S	41,4	46,8	16,2	18,0	12,6	14,4
FO1103S	34,2	33,3	16,2	20,7	8,1	19,8
GD1703S	66,6	60,3	46,8	47,7	28,8	36,9
IT1802S	25,2	46,8	7,2	28,8	4,5	19,8
JH0203S	42,3	75,6	9,0	14,4	12,6	18,9
JP1903S	15,3	24,3	2,7	20,7	9,0	16,2
JZ0503S	30,6	63,9	11,7	22,5	1,8	9,9
LM2402S	54,0	74,7	27,9	26,1	12,6	23,4
LV1502S	27,0	37,8	33,3	38,7	51,3	52,2
MA1702S	13,5	14,4	11,7	15,3	5,4	4,5
MG1702S	29,7	43,2	13,5	19,8	16,2	7,2
MP1301S	27,9	27,9	0,9	12,6	1,8	10,8
NL1702S	26,1	71,1	10,8	2,7	9,0	1,8
RS2102S	25,2	36,9	6,3	21,6	3,6	6,3
SD2002S	30,6	37,8	12,6	2,7	10,8	20,7
SM2202S	19,8	30,6	32,4	36,0	22,5	35,1

Tableau b23. Erreur angulaire moyenne de localisation obtenue chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MA en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	A3C		A5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	10,8	21,6	0,0	1,8
DD2503S	24,3	27,9	0,9	0,9
DP1001S	32,4	37,8	5,4	5,4
EC1402S	9,9	43,2	2,7	2,7
EL2602S	20,7	36,9	9,9	6,3
FD2102S	49,5	52,2	11,7	17,1
FO1103S	37,8	54,0	9,0	11,7
GD1703S	57,6	57,6	23,4	36,0
IT1802S	48,6	53,1	5,4	14,4
JH0203S	31,5	43,2	12,6	18,9
JP1903S	17,1	24,3	2,7	5,4
JZ0503S	36,0	54,0	3,6	14,4
LM2402S	52,2	82,8	2,7	18,0
LV1502S	22,5	29,7	14,4	30,6
MA1702S	21,6	13,5	9,9	1,8
MG1702S	21,6	34,2	13,5	6,3
MP1301S	9,0	22,5	9,0	10,8
NL1702S	29,7	38,7	8,1	3,6
RS2102S	17,1	19,8	4,5	1,8
SD2002S	15,3	29,7	3,6	1,8
SM2202S	22,5	24,3	30,6	26,1

Tableau b24. Erreur angulaire moyenne de localisation obtenue chez 21 auditeurs malentendants pour les signaux MF en fonction des deux conditions d'écoute.

Sujets	F3C		F5C	
	Silence	Bruit	Silence	Bruit
DC1402S	6,3	18	0,0	0,9
DD2503S	11,7	14,4	0,0	0,9
DP1001S	15,3	20,7	1,8	1,8
EC1402S	7,2	10,8	0,9	0,9
EL2602S	23,4	44,1	21,6	27,9
FD2102S	30,6	24,3	0,9	10,8
FO1103S	10,8	16,2	3,6	7,2
GD1703S	49,5	32,4	18,9	23,4
IT1802S	18,9	21,6	0,9	3,6
JH0203S	9,9	42,3	6,3	4,5
JP1903S	4,5	15,3	0,9	0,0
JZ0503S	7,2	19,8	1,8	3,6
LM2402S	28,8	24,3	8,1	9,0
LV1502S	18,0	30,6	33,3	42,3
MA1702S	7,2	9,9	72,0	48,6
MG1702S	8,1	32,4	0,0	9,0
MP1301S	0,9	8,1	0,9	0,9
NL1702S	9,0	5,4	9,0	0,0
RS2102S	6,3	26,1	3,6	5,4
SD2002S	15,3	9,0	5,4	4,5
SM2202S	8,1	16,2	26,1	33,3

Tableau b25. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
CC1007N	100	95,5	100	100	95,5	95,5
CD2006N	95,5	95,5	100	100	100	100
CG0907N	90,9	86,4	95,5	100	90,9	100
DT0407N	81,8	77,3	100	100	100	100
EL1007N	90,9	90,9	100	100	86,4	100
FL0807N	100	95,5	100	100	95,5	86,4
HC0407N	100	95,5	100	100	95,5	100
IG1007N	86,4	77,3	100	100	95,5	100
IM0807N	100	90,9	100	95,5	95,5	100
JF1906N	95,5	86,4	100	95,5	86,4	95,5
JPM0907N	95,5	90,9	100	100	100	100
JV2006N	86,4	95,5	95,5	100	68,2	81,8
KM2006N	100	100	100	100	100	100
M2606N	100	100	100	100	95,5	95,5
MB0707N	100	100	100	100	100	100
ML0707N	72,7	95,5	77,3	100	100	95,5
MT0807N	86,4	77,3	100	95,5	100	95,5
NL1107N	95,5	77,3	100	100	86,4	90,9
PL1606N	86,4	100	100	100	95,5	95,5
SM0907N	59,1	86,4	95,5	95,5	81,8	95,5
SM2006N	95,5	100	100	100	100	95,5

Tableau b26. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
CC1007N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,8
CD2006N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
CG0907N	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
DT0407N	0,0	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0
EL1007N	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FL0807N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	2,5
HC0407N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
IG1007N	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
IM0807N	1,6	1,6	0,8	0,8	0,0	0,0
JF1906N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	9,0
JPM0907N	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
JV2006N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	3,3
KM2006N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MB0707N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML0707N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	8,2
MT0807N	0,0	11,5	0,0	0,8	0,0	0,8
MT2606N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
NL1107N	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	9,0
PL1606N	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
SM0907N	2,5	2,5	0,8	0,8	0,8	0,8
SM2006N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6

Tableau b27. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
CC1007N	100	100	100	100	100	100
CD2006N	100	100	100	100	100	100
CG0907N	100	90,9	100	100	100	100
DT0407N	90,9	100	100	100	100	100
EL1007N	100	100	100	100	100	100
FL0807N	100	100	100	100	100	100
HC0407N	100	100	100	100	100	100
IG1007N	100	100	100	100	100	100
IM0807N	100	100	100	100	100	100
JF1906N	100	100	100	100	100	100
JPM0907N	100	100	100	100	100	100
JV2006N	100	100	100	100	100	100
KM2006N	100	100	100	100	100	100
M2606N	100	100	100	100	100	100
MB0707N	100	100	100	100	100	100
ML0707N	100	100	100	100	100	100
MT0807N	90,9	100	100	100	100	100
NL1107N	100	100	100	100	95,5	100
PL1606N	100	100	100	100	100	95,5
SM0907N	95,5	100	100	100	100	100
SM2006N	100	100	100	100	100	100

Tableau b28. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 21 auditeurs normaux pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
CC1007N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CD2006N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CG0907N	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
DT0407N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EL1007N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FL0807N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HC0407N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IG1007N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IM0807N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JF1906N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JPM0907N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JV2006N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KM2006N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MB0707N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML0707N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MT0807N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MT2606N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NL1107N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PL1606N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
SM0907N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM2006N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau b29. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
DC0107S	72,7	54,6	100	95,5	90,9	90,9
DD1007S	45,5	81,8	86,4	100	45,5	72,7
DP0407S	72,7	54,6	95,5	86,4	77,3	59,1
EC2006S	63,6	68,2	95,5	54,6	77,3	63,6
EL1906S	86,4	72,7	86,4	90,9	59,1	36,4
FD2606S	72,7	72,7	100	4595,5	81,8	63,7
IT2306S	45,5	59,1	59,1	68,2	50	45,5
JP1906S	86,4	77,3	90,9	81,8	95,5	68,2
JS2606S	59,1	81,8	95,5	86,4	54,6	81,8
JV2606S	90,9	72,7	90,9	100	90,9	86,4
JZ1906S	59,1	45,5	95,5	77,3	72,7	54,6
LM0207S	77,3	54,6	95,5	68,2	54,6	68,2
LV2006S	72,7	54,6	72,7	81,8	59,1	54,6
MA2606S	27,3	36,4	77,3	36,4	27,3	22,7
MM0107S	68,2	50,0	86,4	86,4	63,6	72,7
NL0807S	68,2	77,3	90,9	95,5	95,5	95,5
RS1906S	86,4	72,7	90,9	90,9	81,8	81,8
SD2306S	63,6	50,0	90,9	86,4	81,8	50,0

Tableau b30. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 0,25 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
DC0107S	0,8	8,2	0,0	0,8	0,0	1,6
DD1007S	4,9	12,3	0,8	0,0	1,6	15,5
DP0407S	0,8	15,5	0,0	2,5	0,0	7,4
EC2006S	0,0	16,4	0,0	8,2	0,0	11,5
EL1906S	2,5	12,3	0,0	1,6	3,3	27,0
FD2606S	0,0	33,5	0,0	0,8	0,0	36,0
IT2306S	2,5	18,8	0,0	5,7	0,8	48,3
JP1906S	0,0	4,1	0,0	4,9	0,8	10,6
JS2606S	4,9	10,6	0,0	2,5	0,0	3,3
JV2606S	0,8	19,6	0,0	0,0	0,0	2,5
JZ1906S	1,6	35,2	0,0	4,1	0,0	29,5
LM0207S	9,0	31,1	0,0	5,7	2,5	15,5
LV2006S	2,5	15,5	0,0	3,3	0,0	30,3
MA2606S	0,8	33,5	1,6	18,0	19,6	42,5
MM0107S	3,3	9,0	0,0	2,5	2,5	4,9
NL0807S	0,0	4,1	0,0	0,8	0,0	0,8
RS1906S	0,0	9,0	0,0	1,6	0,0	14,7
SD2306S	0,8	24,5	0,0	2,5	1,6	10,6

Tableau b31. Pourcentage global moyen de réussite obtenu chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
DC0107S	95,5	100	100	100	100	100
DD1007S	72,7	100	95,5	100	90,9	100
DP0407S	95,5	81,8	100	86,4	100	90,9
EC2006S	100	90,9	100	86,4	100	95,5
EL1906S	86,4	100	100	95,5	81,8	72,7
FD2606S	100	81,8	100	100	100	77,3
IT2306S	86,4	100	100	95,5	95,5	100
JP1906S	100	100	100	100	95,5	95,5
JS2606S	72,7	54,6	100	90,9	100	95,5
JV2606S	95,5	100	100	100	100	90,9
JZ1906S	90,9	77,3	100	100	100	86,4
LM0207S	90,9	95,5	100	95,5	86,4	68,2
LV2006S	86,4	86,4	100	100	100	77,3
MA2606S	95,5	36,4	90,9	22,7	50,0	9,1
MM0107S	86,4	95,5	100	100	90,9	95,5
NL0807S	100	95,5	100	100	100	100
RS1906S	100	95,5	100	95,5	100	95,5
SD2306S	95,5	90,9	100	90,9	90,9	81,8

Tableau b32. Erreur angulaire moyenne obtenue chez 18 auditeurs malentendants pour un signal de bande large d'une durée de 1,5 s. en cabine semi-anéchoïque et en cabine audiométrique.

Sujets	Haut-parleur #1		Haut-parleur #6		Haut-parleur #11	
	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique	cabine semi-anéchoïque	cabine audiométrique
DC0107S	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DD1007S	4,9	0,0	0,8	0,0	1,6	0,0
DP0407S	0,8	3,3	0,0	3,3	0,0	1,6
EC2006S	0,0	1,6	0,0	2,5	0,0	0,8
EL1906S	2,5	0,0	0,0	0,8	3,3	5,7
FD2606S	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0	27,8
IT2306S	2,5	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0
JP1906S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8
JS2606S	4,9	8,2	0,0	1,6	0,0	0,8
JV2606S	0,8	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0
JZ1906S	1,6	6,5	0,0	0,0	0,0	18,0
LM0207S	9,0	0,8	0,0	0,8	2,5	5,7
LV2006S	2,5	2,5	0,0	0,0	0,0	4,1
MA2606S	0,8	34,4	1,6	23,7	19,6	47,5
MM0107S	3,3	0,8	0,0	0,0	2,5	0,8
NL0807S	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
RS1906S	0,0	0,8	0,0	0,8	0,0	0,8
SD2306S	0,8	1,6	0,0	1,6	1,6	10,6

Tableau b33. Pourcentage global de réussite obtenu chez 106 auditeurs normaux pour un signal de bande large de 0,25 s et pour un signal de bande large de 1,5 s.

Sujets	Signal de bande large de 0,25s.			Signal de bande large de 1,5 s.		
	Haut-parleur #1	Haut-parleur #6	Haut-parleur #11	Haut-parleur #1	Haut-parleur #6	Haut-parleur #11
AA2011N	68	100	100	100	100	100
AC1510N	95	100	91	100	100	100
AD2310N	86	91	86	82	100	100
AD2609N	95	100	100	100	100	100
AL1809N	86	86	100	100	100	100
AL2310N	95	100	95	100	100	100
AS2209N	73	100	82	100	100	100
AT1311N	95	100	95	100	100	100
CB0810N	91	100	100	100	100	95
CC1007N	95	100	95	100	100	100
CD1510N	91	100	100	100	100	100
CD2006N	95	100	100	100	100	100
CG0907N	86	100	100	91	100	100
CG1211N	91	100	95	100	100	100
CH1609N	91	91	86	100	100	100
CL2011N	95	100	95	95	100	100
CM2310N	73	86	100	100	100	100
CR1211N	100	100	100	95	100	100
CT1911N	64	100	86	95	100	100
DA1311N	59	100	95	100	100	100
DD0110N	77	95	95	95	100	95
DL0910N	82	100	86	82	100	95
DL2410N	82	100	100	95	100	100
DM1411N	32	95	95	100	100	100
DP2510N	64	100	95	100	100	100
DT0407N	77	100	100	100	100	100
EL1007N	91	100	100	100	100	100
FB3010N	82	86	95	95	100	100
FJ1510N	77	100	100	100	100	100
FL0807N	95	100	86	100	100	100
FR2209N	91	91	91	100	100	100
GB0310N	82	91	95	100	100	100
GC2411N	100	95	77	100	100	100
GF1610N	100	100	100	100	100	91
GH1909N	77	100	95	100	100	100
GL2409N	91	100	77	100	100	100
HC0407N	95	100	100	100	100	100
HD2108N	100	100	100	100	100	100
IB1809N	73	95	95	100	100	91
IG1007N	77	100	100	100	100	100
IL1010N	95	100	95	100	100	100
IL3009N	86	100	82	100	100	100
IM0807N	91	95	100	100	100	100
IS1711N	68	100	91	100	100	100
JB1211N	95	95	100	100	100	100
JB1710N	82	100	100	100	100	100
JB2410N	68	100	100	86	100	100
JD2310N	100	100	91	100	100	100
JF1906N	86	95	95	100	100	100
JL1109N	100	100	100	100	100	100
JM1908N	73	100	95	91	100	95

JPM0907N	91	100	100	100	100	100
JV2006N	95	100	82	100	100	100
KA1710N	100	100	91	100	100	100
KD0110N	91	100	86	100	100	100
KM2006N	100	100	100	100	100	100
LL0710N	91	100	100	100	100	100
LL2011N	77	100	100	100	100	100
LV2909N	68	100	95	100	100	100
M2606N	100	100	95	100	100	100
MB0707N	100	100	100	100	100	100
MB1911N	59	100	100	100	100	100
MC0110N	68	100	100	95	100	100
MC1211N	86	100	91	91	100	100
MC2411N	95	100	95	95	100	95
MG1111N	100	100	82	100	100	100
MG1311N	82	95	86	91	100	95
MH1111N	91	100	95	95	100	100
MJL0409N	95	100	100	100	100	100
ML0707N	95	100	95	100	100	100
ML1411N	50	100	68	86	100	100
ML2510N	95	100	100	100	100	100
MM0110N	86	100	77	100	100	100
MM0810N	86	100	100	100	100	100
MP0810N	100	100	95	100	100	100
MP1211N	82	100	95	100	100	100
MS1311N	86	100	77	100	100	100
MT0807N	77	95	95	100	100	100
MT2011N	95	95	95	100	100	100
NC0409N	100	100	100	100	100	100
NG2210N	77	91	86	100	100	100
NJ0309N	100	100	91	100	100	100
NL1107N	77	100	91	100	100	100
NM1710N	73	95	91	100	100	86
NS1909N	64	95	100	100	100	91
OY1109N	91	100	86	95	100	100
PC1709N	95	100	73	100	95	91
PL1606N	100	100	95	100	100	95
PT0810N	95	100	86	100	100	100
RB0710N	95	100	86	100	100	100
RF0810N	100	100	95	100	100	100
SB0810N	100	100	95	95	100	100
SC1311N	86	100	91	100	100	100
SC1710N	59	100	100	100	100	100
SE1510N	91	100	91	55	100	91
SM0907N	86	95	95	100	100	100
SM2006N	100	100	95	100	100	100
SP1809N	86	100	77	100	100	100
SR1510N	95	95	95	100	100	91
SR2011N	82	91	95	95	100	100
VD2609N	68	100	91	100	95	100
VL1411N	64	100	95	100	100	100
VL1809N	91	100	91	100	100	100
VS0110N	68	95	91	95	100	91
WH0310N	100	95	82	95	100	91
YL0810N	100	100	91	100	100	100

Tableau b34. Pourcentage global de réussite excluant les erreurs intra-quadrants obtenu chez 106 auditeurs normaux pour un signal de bande large de 0,25 s et pour un signal de bande large de 1,5 s.

Sujets	Signal de bande large de 0,25s.			Signal de bande large de 1,5 s.		
	Haut-parleur #1	Haut-parleur #6	Haut-parleur #11	Haut-parleur #1	Haut-parleur #6	Haut-parleur #11
AA2011N	91	100	100	100	100	100
AC1510N	100	100	91	100	100	100
AD2310N	100	100	91	82	100	100
AD2609N	95	100	100	100	100	100
AL1809N	100	100	100	100	100	100
AL2310N	100	100	100	100	100	100
AS2209N	91	100	95	100	100	100
AT1311N	100	100	95	100	100	100
CB0810N	100	100	100	100	100	95
CC1007N	100	100	100	100	100	100
CD1510N	100	100	100	100	100	100
CD2006N	100	100	100	100	100	100
CG0907N	100	100	100	100	100	100
CG1211N	95	100	100	100	100	100
CH1609N	100	100	95	100	100	100
CL2011N	100	100	100	95	100	100
CM2310N	95	100	100	100	100	100
CR1211N	100	100	100	100	100	100
CT1911N	91	100	100	95	100	100
DA1311N	100	100	95	100	100	100
DD0110N	100	100	100	100	100	100
DL0910N	91	100	100	82	100	95
DL2410N	100	100	100	100	100	100
DM1411N	83	100	95	100	100	100
DP2510N	95	100	100	100	100	100
DT0407N	91	100	100	100	100	100
EL1007N	95	100	100	100	100	100
FB3010N	95	100	100	100	100	100
FJ1510N	100	100	100	100	100	100
FL0807N	100	100	100	100	100	100
FR2209N	100	100	100	100	100	100
GB0310N	100	100	100	100	100	100
GC2411N	100	100	100	100	100	100
GF1610N	100	100	100	100	100	91
GH1909N	95	100	100	100	100	100
GL2409N	100	100	100	100	100	100
HC0407N	100	100	100	100	100	100
HD2108N	100	100	100	100	100	100
IB1809N	86	100	100	100	100	95
IG1007N	100	100	100	100	100	100
IL1010N	100	100	100	100	100	100
IL3009N	91	100	95	100	100	100
IM0807N	100	100	100	100	100	100
IS1711N	91	100	100	100	100	100
JB1211N	100	100	100	100	100	100
JB1710N	91	100	100	100	100	100
JB2410N	100	100	100	86	100	100
JD2310N	100	100	95	100	100	100
JF1906N	100	100	100	100	100	100
JL1109N	100	100	100	100	100	100
JM1908N	100	100	100	100	100	95

JPM0907N	100	100	100	100	100	100
JV2006N	100	100	100	100	100	100
KA1710N	100	100	100	100	100	100
KD0110N	100	100	91	100	100	100
KM2006N	100	100	100	100	100	100
LL0710N	100	100	100	100	100	100
LL2011N	95	100	100	100	100	100
LV2909N	100	100	95	100	100	100
M2606N	100	100	100	100	100	100
MB0707N	100	100	100	100	100	100
MB1911N	100	100	100	100	100	100
MC0110N	100	100	100	95	100	100
MC1211N	100	100	100	91	100	100
MC2411N	100	100	100	100	100	100
MG1111N	100	100	95	100	100	100
MG1311N	100	100	100	91	100	95
MH1111N	100	100	100	95	100	100
MJL0409N	100	100	100	100	100	100
ML0707N	100	100	95	100	100	100
ML1411N	64	100	73	86	100	100
ML2510N	100	100	100	100	100	100
MM0110N	91	100	95	100	100	100
MM0810N	100	100	100	100	100	100
MP0810N	100	100	100	100	100	100
MP1211N	95	100	95	100	100	100
MS1311N	100	100	100	100	100	100
MT0807N	95	100	100	100	100	100
MT2011N	100	100	100	100	100	100
NC0409N	100	100	100	100	100	100
NG2210N	100	100	100	100	100	100
NJ0309N	100	100	100	100	100	100
NL1107N	100	100	95	100	100	100
NM1710N	82	100	91	100	100	86
NS1909N	86	100	100	100	100	91
OY1109N	91	100	95	100	100	100
PC1709N	100	100	91	100	100	91
PL1606N	100	100	100	100	100	100
PT0810N	100	100	100	100	100	100
RB0710N	100	100	95	100	100	100
RF0810N	100	100	95	100	100	100
SB0810N	100	100	100	95	100	100
SC1311N	100	100	100	100	100	100
SC1710N	100	100	100	100	100	100
SE1510N	91	100	91	73	100	91
SM0907N	100	100	100	100	100	100
SM2006N	100	100	95	100	100	100
SP1809N	100	100	82	100	100	100
SR1510N	100	100	100	100	100	100
SR2011N	100	100	100	100	100	100
VD2609N	100	100	91	100	100	100
VL1411N	73	100	100	100	100	100
VL1809N	91	100	95	100	100	100
VS0110N	86	100	95	95	100	91
WH0310N	100	100	91	95	100	91
YL0810N	100	100	100	100	100	100

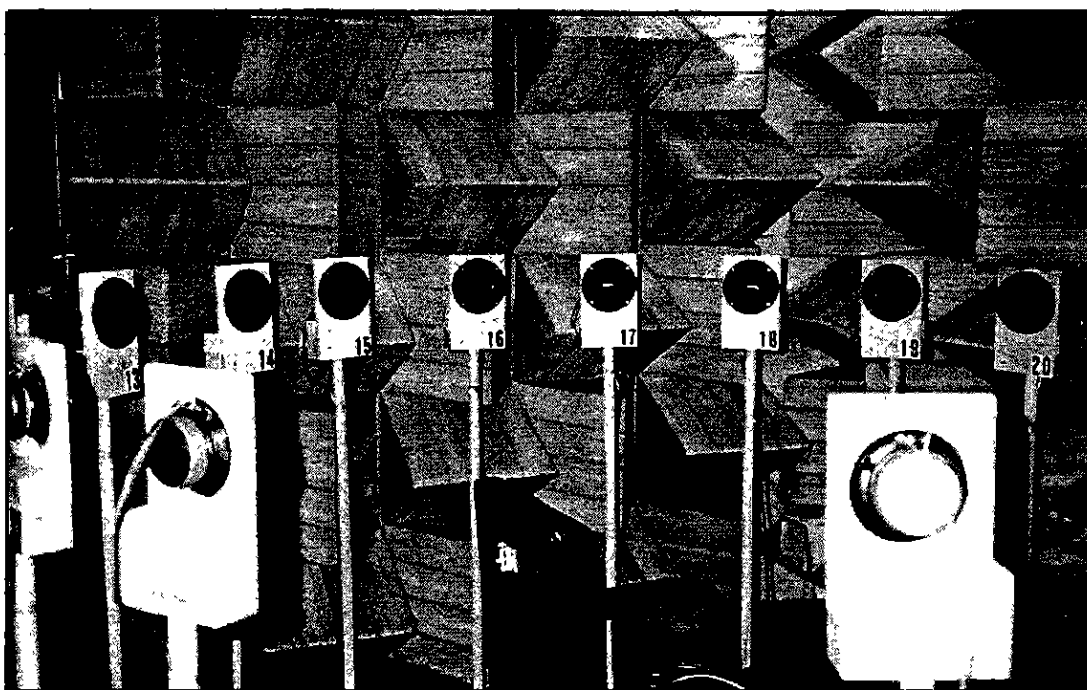
Tableau b35. Erreur angulaire moyenne de localisation obtenue chez 106 auditeurs normaux pour un signal de bande large de 0,25 S et pour un signal de bande large de 1,5 s.

Sujets	Signal de bande large de 0,25s.			Signal de bande large de 1,5 s.		
	Haut-parleur #1	Haut-parleur #6	Haut-parleur #11	Haut-parleur #1	Haut-parleur #6	Haut-parleur #11
AA2011N	19,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AC1510N	0,8	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0
AD2310N	2,5	1,6	12,3	29,5	0,0	0,0
AD2609N	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AL1809N	2,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
AL2310N	0,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
AS2209N	15,5	0,0	10,6	0,0	0,0	0,0
AT1311N	0,8	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0
CB0810N	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5
CC1007N	0,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
CD1510N	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CD2006N	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CG0907N	2,5	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0
CG1211N	9,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
CH1609N	1,6	1,6	9,8	0,0	0,0	0,0
CL2011N	0,8	0,0	0,8	8,2	0,0	0,0
CM2310N	12,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
CR1211N	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0
CT1911N	21,3	0,0	2,5	8,2	0,0	0,0
DA1311N	7,4	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0
DD0110N	4,1	0,8	0,8	0,8	0,0	0,8
DL0910N	18,0	0,0	2,5	29,5	0,0	8,2
DL2410N	3,3	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0
DM1411N	32,7	0,8	8,2	0,0	0,0	0,0
DP2510N	13,9	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
DT0407N	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EL1007N	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FB3010N	9,0	2,5	0,8	0,8	0,0	0,0
FJ1510N	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FL0807N	0,8	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0
FR2209N	1,6	1,6	1,6	0,0	0,0	0,0
GB0310N	3,3	1,6	0,8	0,0	0,0	0,0
GC2411N	0,0	0,8	4,1	0,0	0,0	0,0
GF1610N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,4
GH1909N	9,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
GL2409N	1,6	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0
HC0407N	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HD2108N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IB1809N	24,5	0,8	0,8	0,0	0,0	8,2
IG1007N	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IL1010N	0,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
IL3009N	14,7	0,0	10,6	0,0	0,0	0,0
IM0807N	1,6	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
IS1117N	15,5	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
JB1211N	10,6	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
JB1710N	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JB2410N	5,7	0,0	0,0	22,9	0,0	0,0
JD2310N	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0
JF1906N	0,8	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0
JL1109N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

JM1908N	5,7	0,0	0,8	1,6	0,0	8,2
JPM0907N	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JV2006N	0,8	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0
KA1710N	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
KD0110N	1,6	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0
KM2006N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LL0710N	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LL2011N	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LV2909N	5,7	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0
MB0707N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MB1911N	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MCO110N	5,7	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0
MC1211N	2,5	0,0	1,6	16,4	0,0	0,0
MC2411N	0,8	0,0	0,8	0,8	0,0	0,8
MG1111N	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0
MG1311N	3,3	0,8	3,3	14,7	0,0	8,2
MH1111N	1,6	0,0	0,8	8,2	0,0	0,0
MJL0409N	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML0707N	0,8	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0
ML1411N	49,1	0,0	38,5	18,0	0,0	0,0
ML2510N	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MM0110N	17,2	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0
MM0810N	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MP0810N	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
MP1211N	10,6	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0
MS1311N	2,5	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0
MT0807N	11,5	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0
MT2011N	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0
MT2606N	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
NC0409N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NG2210N	4,1	1,6	2,5	0,0	0,0	0,0
NJ0309N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NL1109N	4,1	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0
NM1710N	29,5	0,8	16,4	0,0	0,0	22,9
NS1909N	22,1	0,8	0,0	0,0	0,0	14,7
OY1109N	16,4	0,0	8,2	0,8	0,0	0,0
PC1709N	0,8	0,0	17,2	0,0	0,8	14,7
PL1606N	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
PT0810N	0,8	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0
RB0710N	0,8	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0
RF0810N	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0
SB0810N	0,0	0,0	0,8	6,5	0,0	0,0
SC1311N	2,5	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
SC1710N	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SE1510N	16,4	0,0	16,4	16,4	0,0	45,8
SM0907N	2,5	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0
SM2006N	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0
SP1809N	2,5	0,0	28,6	0,0	0,0	0,0
SR1510N	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	1,6
SR2011N	3,3	0,0	2,5	0,8	0,0	0,0
VD2609N	5,7	0,0	14,7	0,0	0,8	0,0
VL1411N	31,1	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
VL1809N	11,5	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0
VS0110N	22,1	0,8	8,2	5,7	0,0	14,7
WH0310N	0,0	0,8	18,0	7,4	0,0	16,4
YL0810N	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0

Annexe C

Illustrations

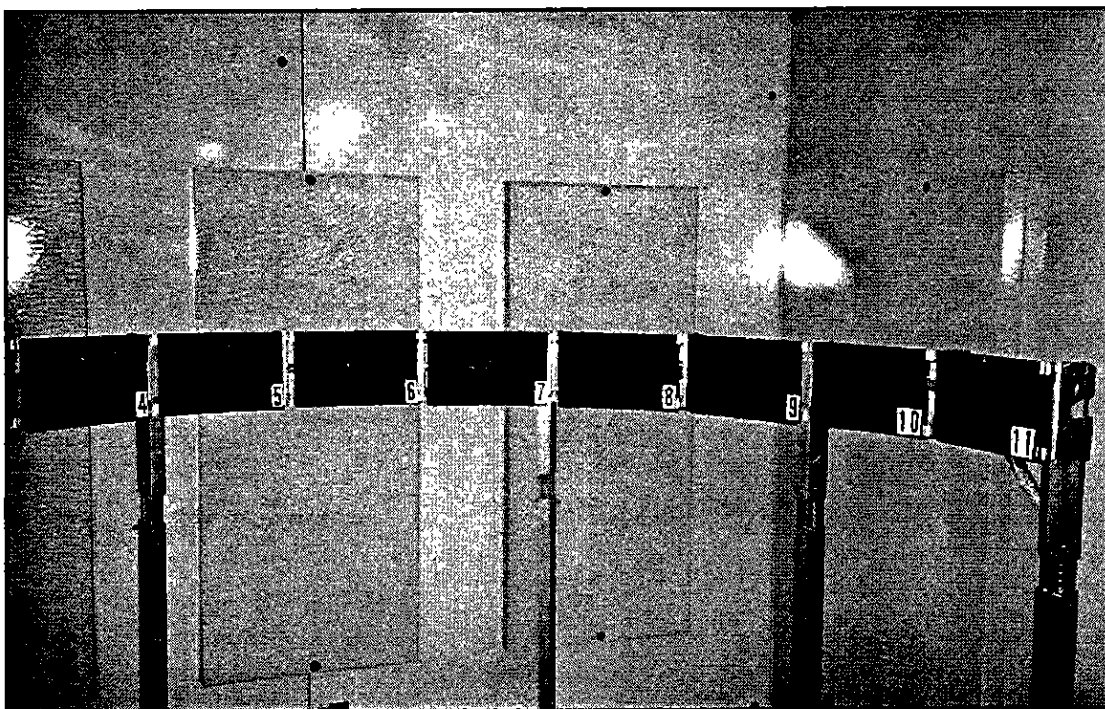


a)

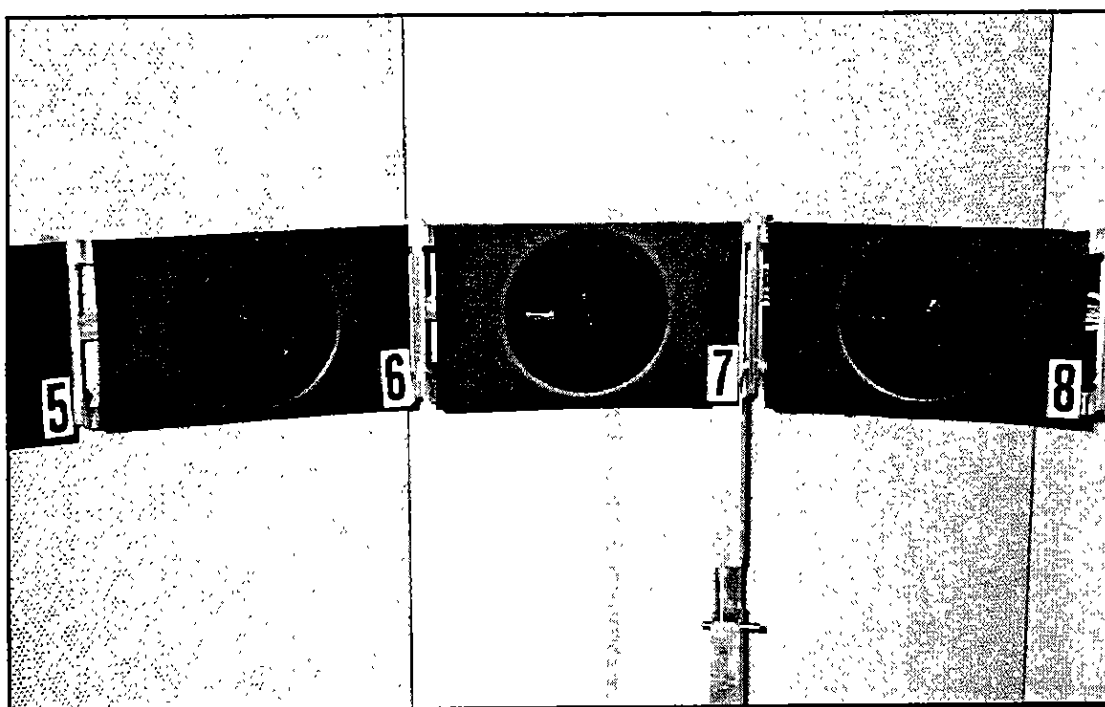


b)

Illustration du dispositif de localisation auditive utilisé pour quantifier la performance de localisation auditive chez les auditeurs normaux et chez les auditeurs ayant une surdité.



a)



b)

Illustration du dispositif clinique de mesure de la localisation auditive dans le plan horizontal.

Annexe D

Guide de conception d'avertisseurs sonores pour les milieux industriels

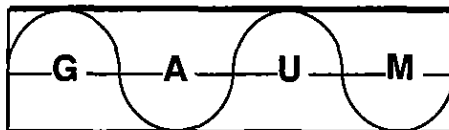
**GUIDE DE CONCEPTION D'AVERTISSEURS SONORES
POUR LES MILIEUX INDUSTRIELS**
deuxième édition

par

Jean-Pierre GAGNÉ

Stéphane DENIS

Benoît JUTRAS



Groupe d'acoustique de l'université de Montréal
École d'orthophonie et d'audiologie
Université de Montréal
C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal, Québec
H3C 3J7

Auteurs de la première édition
(septembre 1995)

Raymond HÉTU

Hung Tran QUOC

Richard LAROCQUE

Avril 2000

SOMMAIRE

L'utilisation des avertisseurs sonores de danger en milieu industriel est soumise à un ensemble de contraintes. Pour assurer une utilisation efficace de ces signaux, en particulier quand il s'agit de questions de sécurité, il est essentiel de considérer ces contraintes. D'une part, il n'y a aucun contrôle exercé sur l'usage des signaux sonores en milieu bruyant. D'autre part, l'utilisation des avertisseurs sonores en milieu industriel repose sur des pratiques intuitives, sans tenir compte nécessairement de la limite fonctionnelle des capacités auditives des travailleurs qui y oeuvrent. L'analyse de l'interaction entre les capacités auditives et le milieu de travail industriel nous a permis d'énoncer des règles précises de conception d'avertisseurs sonores de danger.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE.....	i
1. INTRODUCTION	1
2. PRINCIPAUX FACTEURS QUI GOUVERNENT LA CAPACITÉ DE PERCEPTION DES AVERTISSEURS SONORES DE DANGER.....	2
3. FONCTION DES AVERTISSEURS SONORES EN MILIEU INDUSTRIEL	4
4. PLANIFICATION DE LA SIGNALISATION ACOUSTIQUE EN MILIEU INDUSTRIEL.....	4
5. PRINCIPALES RÈGLES DE CONCEPTION À SATISFAIRE.....	6
5.1 Prise en compte du bruit ambiant	7
5.2 Prise en compte de la réverbération sonore.....	7
5.3 Multiplicité des signaux à un poste de travail.....	9
5.4 Fréquence d'émission des avertisseurs sonores	9
5.5 Mobilité des sources sonores	9
6. MODÈLE INFORMATISÉ DETECTSON ^{MC} POUR ÉVALUER L'EFFICACITÉ DES AVERTISSEURS SONORES DE DANGER.....	10
7. CONCLUSION.....	11
RÉFÉRENCES	12

1. Introduction

En milieu de travail industriel, les avertisseurs sonores sont utilisés pour remplir diverses fonctions [1]. Ils peuvent servir, entre autres, pour avertir d'un danger. La sécurité des travailleurs est directement liée à la détection, la reconnaissance et la localisation des signaux avertisseurs de danger. Les personnes ayant une surdité peuvent se voir perdre ou refuser un emploi en milieu potentiellement bruyant. L'une des principales raisons justifiant un refus d'emploi en milieu industriel à des personnes malentendantes est l'incapacité à entendre et à reconnaître les avertisseurs sonores de danger [2]. Le respect des droits de la personne et la prévention de la discrimination pour raisons de problèmes auditifs font appel à l'adaptation des postes de travail aux contraintes imposées par une surdité. En matière de perception d'avertisseurs sonores, ces contraintes sont déterminées par les capacités d'un individu donné à percevoir un signal spécifique dans un milieu de travail bruyant et réverbérant.

Dans le cadre de l'axe de recherche « Bruit et sécurité en milieu de travail » développé au Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (G.A.U.M.), nous avons entrepris d'examiner en profondeur la question de conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger et de rechercher des solutions qui favorisent la sécurité des travailleurs en fonction de leurs capacités auditives. La figure 1 représente les facteurs qui gouvernent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger en soulignant le fait que les différentes capacités auditives exigées par une tâche vont varier selon le type de sources de signaux sonores à traiter et selon les conditions et les modes de transmission de tels signaux. Il s'agit d'une perspective écologique permettant l'examen de la compatibilité entre les exigences du poste de travail et les capacités des travailleurs. Ce cadre d'analyse est particulièrement utile puisque la recherche expérimentale sur la perception auditive a été poursuivie indépendamment des questions très pratiques de la signalisation acoustique en milieu industriel. En effet, d'une manière générale, on peut considérer que la psycho-acoustique a étudié la perception sonore en mettant l'emphasis sur le fonctionnement du système auditif, tandis que l'utilisation des avertisseurs sonores en milieu de travail repose sur des pratiques intuitives. Ainsi, à la figure 1, on note que les caractéristiques des sources sonores, du milieu ambiant, des conditions de propagation et des conditions de réception des signaux sonores imposent des contraintes spécifiques qu'il faudra confronter aux capacités auditives d'auditeurs normaux ou de ceux ayant une surdité. Les capacités auditives constituant les caractéristiques non modifiables, la question se pose alors de déterminer les paramètres des exigences au plan auditif qui seront compatibles avec ces capacités.

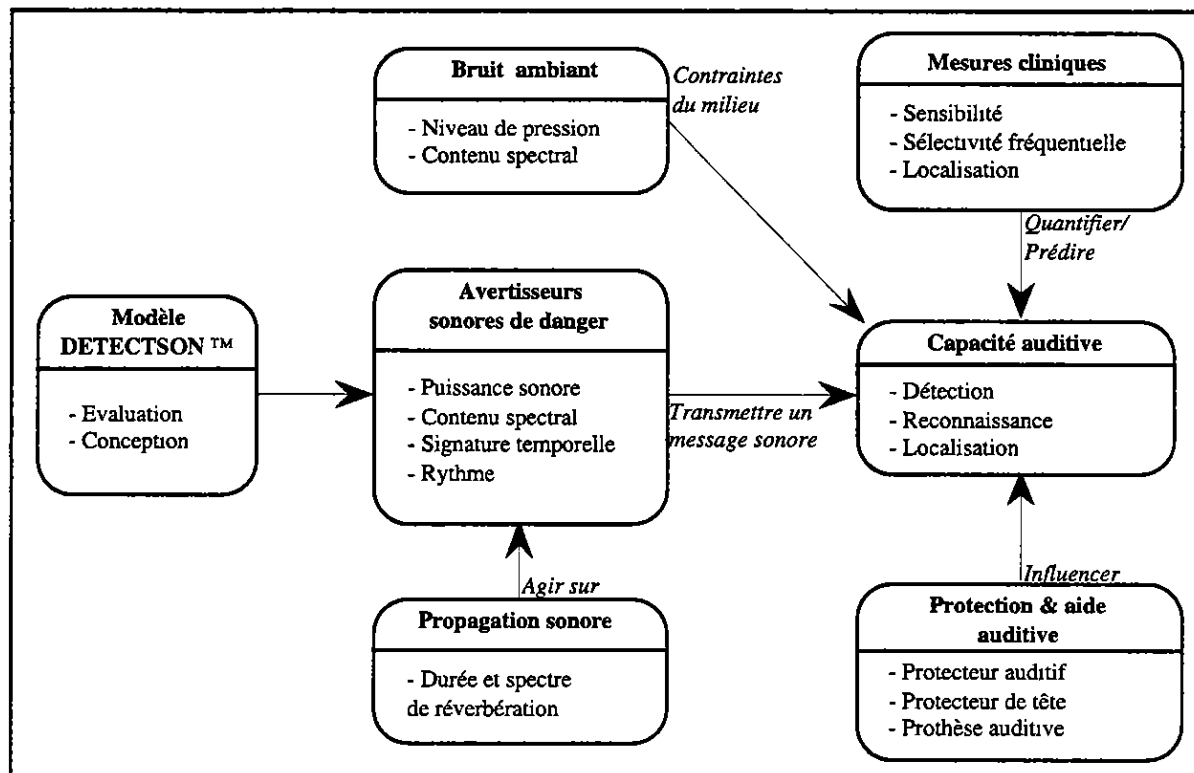


Figure 1. Modèle conceptuel décrivant les facteurs qui gouvernent la capacité de perception d'avertisseurs sonores de danger en milieu industriel.

2. Principaux facteurs qui gouvernent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger

Pour un travailleur, la perception d'un avertisseur sonore est influencée par certaines de ses capacités auditives et par les contraintes imposées par le milieu. Grâce à des mesures cliniques, il est possible de quantifier les capacités auditives de cet individu et de prédire, dans certains cas, les comportements auditifs qu'il aura dans divers milieux sonores en fonction des résultats obtenus aux examens cliniques. Parmi ces examens, on retrouve la mesure de la *sensibilité* auditive. Elle est généralement illustrée par un audiogramme. Ce dernier regroupe les seuils de sensibilité auditive mesurés à chacune des oreilles. On s'entend pour dire que le seuil de sensibilité auditive représente le niveau minimal de pression acoustique des sons purs rendant ces sons audibles uniquement dans le silence pour un individu donné. Lorsque le niveau d'un signal est inférieur aux seuils d'audition, le signal ne sera pas perçu.

Chez une personne ayant des lésions à l'oreille interne, on note généralement une baisse de la sensibilité auditive (surdité neurosensorielle) qui entraîne normalement une détérioration de la sélectivité fr qu entielle. Mentionnons que la sélectivité fr qu entielle gouverne la capacité de détecter un signal dans un bruit de fond quelconque. En contexte de capacité de perception des avertisseurs sonores de danger, une perte de sélectivité fr qu entielle se traduit par une augmentation des seuils masqués [3,4,5], le seuil masqué étant le niveau de pression acoustique minimal nécessaire à détecter un signal dans un bruit.

Une autre mesure utilisée en clinique est la *reconnaissance* auditive de mots ou de sons de l'environnement. La reconnaissance d'un signal sonore représente la capacité de lui attribuer immédiatement une signification non-ambiguë. En milieu industriel, il est important de bien reconnaître les signaux avertisseurs de danger. La reconnaissance de ces signaux est possible grâce à leurs caractéristiques temporelles. La configuration temporelle impose une empreinte sonore distinctive à chaque signal et contribue largement à sa reconnaissance. Les principes de conception des avertisseurs sonores qui maximisent leur reconnaissance ont été proposés par Patterson [6] dans le cadre d'un projet de rationalisation des avertisseurs sonores dans les cabines de pilotage d'avions commerciaux. Ces principes ont été retenus par les manuels d'ergonomie au chapitre de la conception des avertisseurs sonores [7] et ont récemment subi certains raffinements en vue de maximiser la perception de signaux d'urgence [8].

En ce qui a trait à la mesure de la *localisation* auditive, elle renseigne sur la capacité d'un individu à identifier la provenance d'un signal. La capacité de localisation auditive fait appel à des comparaisons d'indices acoustiques associés à chacune des oreilles ainsi qu'au processus de filtrage lié à la fonction de transfert de l'oreille externe. On parle de fonction de transfert de l'oreille externe lorsque certaines fréquences du signal subissent des modifications en intensité, modifications entraînées par le pavillon et le conduit auditif externe. En général, le jugement d'une source sonore venant de la droite ou de la gauche dépend étroitement de : a) la différence de phase entre les oreilles résultant du décalage des temps d'arrivée de l'onde sonore à l'une et à l'autre oreille, et b) la différence d'intensité sonore résultant de l'effet d'écran de la boîte crânienne [9]. Le jugement d'une source sonore venant de l'avant ou de l'arrière dépend alors de l'interaction entre le contenu fréquentiel du signal et la fonction de transfert de l'oreille externe. En champ réverbérant, la localisation des sources sonores est en général gouvernée par l'effet d'antériorité [10,11], la direction apparente d'une source sonore étant déterminée par le signal qui parvient le premier aux oreilles.

La question de la localisation des avertisseurs sonores de danger est très importante pour un grand nombre de situations de travail puisque les klaxons ou autres avertisseurs sonores sont systématiquement utilisés pour indiquer le mouvement des véhicules (chariots élévateurs, chargeuses, etc.) ou de charges (ponts roulants, échafaudages mobiles, etc.). Sur les chantiers de construction, les avertisseurs sonores sont systématiquement générés pour indiquer le recul des camions. En contexte de sécurité du travail, ces situations exigent que les travailleurs doivent être capables non pas seulement d'entendre ces avertisseurs sonores, mais aussi d'être capables d'identifier leur provenance. En milieu de travail bruyant, la capacité de localisation dépendra de la sensibilité auditive, de la sélectivité fréquentielle et de la résolution temporelle du système auditif. Pour obtenir une même performance de localisation, on doit prévoir que le signal sonore sera présenté à un niveau d'intensité supérieur pour les auditeurs ayant une surdité que pour les auditeurs normaux [12].

De plus, la perception de la distance d'une source sonore installée sur un objet mobile pourrait être critique pour la sécurité. La variation continue du niveau de la source sonore mobile permet d'estimer sa distance et par conséquent permet de juger si elle s'éloigne ou elle s'approche de nous. En milieu de travail bruyant et réverbérant, cette capacité est surestimée chez les normaux [13]. À cause de la distorsion de la fonction de sonie (perception de l'intensité d'un signal), chez la personne ayant une surdité, on doit s'attendre à ce que cette capacité soit aussi très distorsionnée. Le taux de croissance de la sonie chez des personnes ayant une surdité neurosensorielle est «anormalement» supérieur à celui des personnes entendantes.

3. Fonction des avertisseurs sonores en milieu industriel

En milieu de travail, les avertisseurs sonores sont utilisés pour remplir diverses fonctions :

a) Avertissement d'un danger

- alarme d'un incendie;
- signal d'approche ou déplacement d'un équipement mobile (chariots élévateurs, ponts roulants, chargeuses);
- alarme avertissant d'un dérèglement de système appelant une action à court terme (fuites de liquides ou de gaz, baisse ou montée dangereuse de pression dans des conduites);
- signaux d'entrée en opération d'une machine automatisée, informant l'opérateur de s'en écarter car, souvent, diverses machines identiques sont situées côte à côte, leur opération déclenchant, pour chacune d'elle, une alarme.

b) Appel d'une intervention dans le procédé de production

- signal informant l'arrêt d'une machine, sollicitant l'intervention d'un opérateur affecté simultanément à plusieurs machines;
- signal informant du dérèglement d'une machine, sollicitant une intervention plus ou moins urgente de l'opérateur dans un délai relativement court;
- signal informant de la nécessité de communiquer avec un autre opérateur (par exemple une sonnerie de téléphone pour la communication entre les extrémités d'une chaîne de production);
- signal informant des horaires d'activités (début d'une période de production, pause, etc.).

4. Planification de la signalisation acoustique en milieu industriel

En contexte de sécurité du travail, il y a lieu de planifier soigneusement la signalisation acoustique. Pour ce faire, on peut se référer aux quatre repères suivants :

a) Définition de la fonction du signal sonore

Avant d'installer un nouveau signal avertisseur sonore ou au moment de rationaliser la signalisation acoustique d'un milieu de travail, il est essentiel de préciser le besoin auquel le recours à un signal acoustique doit répondre. Des observations sur le terrain nous ont montré que plusieurs signaux étaient opérés par tradition sans que leur utilité ne puisse être confirmée par les opérateurs ou les responsables de la sécurité du travail. L'exemple le plus commun est celui des signaux de recul des chariots élévateurs. Ils sont installés de façon systématique sur tous les véhicules. Leur opération quasi-continue est gênante sinon dangereuse pour le conducteur du véhicule tout en étant ignorée par les personnes qui se trouvent dans son aire de circulation. Le fait de préciser la fonction exacte du signal à concevoir ainsi que le contexte de son opération, lorsqu'un tel signal est jugé pertinent, facilite sa conception.

Les questions suivantes peuvent aider à définir le besoin auquel doit répondre l'avertisseur :

Quelle information doit-il transmettre?

À qui l'information est destinée?

Dans quelles circonstances l'information doit être transmise?

b) Univocité du signal

Nos observations sur le terrain montraient que l'usage des sirènes est très fréquent en usine, à un point tel qu'elles sont utilisées pour transmettre des messages très différents, par exemple, le déplacement d'un pont roulant et l'alarme d'un incendie. En contexte de sécurité, on ne peut prendre le risque que la signalisation d'un signal soit confondue avec celle d'un autre. Il est inconcevable que l'on s'en tienne seulement à deux ou trois types de signaux différents (e.g. cloches, sirènes et ronfleurs) pour transmettre toutes les informations sonores. De plus, les types de signaux mentionnés ne sont pas nécessairement ceux qui optimisent notre capacité de reconnaissance. Les possibilités de différenciation des signaux par manipulation de leurs paramètres acoustiques sont très grandes.

Il faut attribuer une signalisation unique à un type de signal de sécurité pour l'ensemble d'un milieu de travail.

c) Priorité et compatibilité des signaux

Puisque les avertisseurs sonores sont couramment utilisés tant à des fins de sécurité que pour informer de l'état du procédé de production, il est essentiel de marquer clairement la priorité de chacun. On trouve par exemple des cloches qui opèrent de façon ininterrompue jusqu'à l'intervention d'un opérateur pour attirer son attention sur l'ajustement d'une machine; au même endroit, le déplacement d'une charge de plusieurs tonnes par un pont roulant est signalé par un son d'une durée de moins d'une seconde. Tel que décrit plus loin dans ce texte, il est possible de concevoir un signal transmettant un appel urgent par sa seule conception acoustique. Certaines caractéristiques physiques du signal lui confèrent d'emblée un message d'urgence (par exemple la cadence). Il est donc important d'utiliser ces indices de façon appropriée.

D'une manière générale, il est souhaitable de rendre compatible la signification du signal avec ce que sa seule signature acoustique évoque. Pour ce faire, la priorité de chaque signal doit être clairement prédéfinie.

d) Signification apprise des signaux

Par convention et par tradition, les sirènes sont associées à un message d'urgence et de danger [14]. Il y a donc lieu de tirer parti de cette situation en réservant leur usage à ce type de message. Les sons modulés en fréquence que les sirènes génèrent résistent bien à l'effet de réverbération du local sur la reconnaissance des signaux [14]. Il s'agit donc d'un marqueur privilégié pour les alarmes d'incendie ou autres urgences majeures. Dans ce contexte, il est hautement souhaitable d'en limiter le recours à ce type d'usage. Par ailleurs, dans certains milieux de travail, un certain type de signal a pu être utilisé depuis de nombreuses années dans un certain contexte : par exemple, l'opération d'un ronfleur pour informer les opérateurs de l'arrêt du procédé.

Il est recommandé de tenir compte du fait que les employés ont déjà attribué une signification spécifique à un signal précis en limitant son recours à l'usage destiné, dans la mesure où le signal rencontre bien les différentes contraintes imposées par le milieu.

5. Principales règles de conception à satisfaire

Les principales contraintes à considérer pour une conception ergonomique des avertisseurs sonores en milieu industriel sont les suivantes : prise en compte du bruit ambiant, prise en compte de la réverbération, multiplicité des signaux, fréquence d'émission des signaux et mobilité de certaines sources sonores. Nous proposons des règles générales de conception des avertisseurs sonores pour chacune des contraintes susmentionnées. Le tableau 1 résume ces règles.

Tableau 1. Règles générales de conception des avertisseurs sonores pour utiliser en milieu industriel

Prise en compte du bruit ambiant

- (R1) S'assurer que le niveau du signal excède de +13 dB celui du bruit, l'un et l'autre étant mesurés en bandes de tiers d'octave.
- (R2) Limiter le niveau du signal à +25 dB au-dessus du niveau (en bandes de tiers d'octave) de celui du bruit et à un maximum absolu de 105 dB SPL.
- (R3) Limiter au minimum les durées de montée et de descente du signal à 20 ms.
- (R4) Imposer une limite supérieure à la plage fréquentielle des signaux à 3000 Hz.
- (R5) Éviter rigoureusement l'usage de sons purs; un signal résistant aux effets de masque, facile à reconnaître, doit compter un minimum de quatre composantes fréquentielles.
- (R6) Imposer des durées de montée et de descente de l'enveloppe de pression ≥ 20 ms.

Prise en compte de la réverbération sonore

- (R7) Imposer une limite inférieure à l'étendue fréquentielle des signaux à 300 Hz.
- (R8) Limiter la distance source-poste de travail à la distance critique et multiplier les sources afin de couvrir une aire de travail donnée.
- (R9) Dans le cas où il s'avère impraticable de limiter la distance source-poste de travail, il est préférable de recourir à un signal modulé en fréquence.
- (R10) Graduer l'urgence ou la priorité de l'avertissement en élevant la fréquence fondamentale du signal et en accroissant le nombre total de pulsations sonores.
- (R11) Associer une variation systématique du contenu fréquentiel à la variation de l'intervalle inter-pulsation lorsque plusieurs signaux pulsés ont pour cible un même récepteur.

Multiplicité des signaux à un poste de travail

- (R12) Limiter à six le nombre de signaux sonores distincts ayant pour cible un même poste de travail.

Fréquence d'émission des avertisseurs sonores

- (R13) Éviter de recourir à un signal sonore si l'avertissement doit être émis durant plusieurs dizaines de secondes.
- (R14) Éviter de recourir à un signal sonore si l'avertissement doit être émis de manière hautement répétitive.

Mobilité des sources sonores

- (R15) Réduire le front de montée du signal à moins de 10 ms.
- (R16) Éviter de recourir à des sources directionnelles.
- (R17) Maximiser le nombre de composantes spectrales et la gamme fréquentielle du signal.
- (R18) S'assurer que la durée totale du signal soit supérieure à 1 seconde.
- (R19) Éviter de recourir à un signal sonore pour informer du déplacement d'une masse dans le plan vertical.

5.1 Prise en compte du bruit ambiant

La présence de bruit plus ou moins intense constitue un dénominateur commun des milieux industriels. Indépendamment de la conformité des niveaux d'exposition sonore avec les règlements en vigueur, les ambiances sonores imposent des contraintes importantes aux travailleurs pour percevoir les signaux sonores.

Une première contrainte est caractérisée par l'effet de masque du bruit sur la détection d'un signal. Cet effet dépend du rapport entre le niveau de pression sonore du signal et celui du bruit ambiant (rapport S/B) dans les bandes de fréquences qui correspondent aux filtres auditifs de l'oreille interne sollicités par les composantes du signal. À l'effet de masque, on doit ajouter l'effet du bruit ambiant sur la capacité à prêter attention à la présence d'un signal ainsi qu'à la capacité de reconnaître celui-ci. On estime qu'un rapport S/B de +13 dB (le niveau du signal étant 13 dB au-dessus de celui du bruit ambiant) assure la détection du signal, attire l'attention sur ce signal et donne la possibilité de le reconnaître dans le bruit [15] (R1). Les mesures du niveau de pression sonore du signal et du bruit se font en bandes de tiers d'octave.

Une deuxième contrainte est associée précisément au fait que le bruit ambiant de niveau plus ou moins élevé constitue une source de gêne pour les travailleurs [16]. Le fait de sur-ajouter des avertisseurs sonores dans un milieu de travail contribue souvent à accentuer cette gêne d'autant plus que la fréquence d'émission de ces avertisseurs est élevée. Deux dispositions sont nécessaires pour limiter la gêne associée aux avertisseurs sonores, soit la limite du rapport S/B à un maximum de +25 dB (R2) et le maintien des durées de montée et de descente des signaux à plus de 20 ms [6] (R3). De plus, il est nécessaire d'imposer une borne supérieure au niveau de pression acoustique des signaux sonores. En effet, un signal ne doit pas induire une fatigue auditive et ne doit pas constituer en lui-même un risque d'atteinte auditive permanente par l'énergie acoustique générée pour le transmettre en milieu bruyant. Une limite absolue de 105 dB SPL en bandes de tiers d'octave constitue une telle borne [17].

La troisième contrainte qu'impose la présence de bruits intenses en milieu industriel est le recours aux moyens individuels de protection. Les protecteurs individuels ont pour fonction d'atténuer le niveau de pression acoustique arrivant à l'oreille du travailleur. Par ailleurs, en industries bruyantes, la prévalence de pertes auditives d'origine professionnelle est très élevée [18]. Or, dans de tels cas, l'affaiblissement sonore du protecteur s'additionne à l'élévation du seuil d'audition (surdité) du travailleur, faisant en sorte qu'en hautes fréquences, les seuils de détection peuvent atteindre des niveaux voisins de ou supérieurs à 100 dB SPL. Il faut donc éviter d'utiliser des cloches et des sifflets comme sources sonores, leur contenu étant généralement en hautes fréquences, soit au-delà de 3000 Hz (R4). Il faut également remplacer systématiquement les avertisseurs installés par les fournisseurs d'équipements industriels lorsque ils sont constitués de sources tonales (une seule fréquence, généralement très élevée) par une source à composantes fréquentielles multiples (R5).

5.2 Prise en compte de la réverbération sonore

La réverbération impose un ensemble de contraintes sur la conception des signaux avertisseurs. La première est liée aux interférences géométriques ou aux effets modaux observables avec des sons purs, en particulier, en basses fréquences. Ces interférences ou effets entraînent des variations de la pression sonore des signaux en fonction de la dimension du local où ils sont produits et en fonction de l'emplacement de la source d'émission des signaux dans le local. Ces variations dépendent de l'onde réfléchiée par les murs, le plafond et les obstacles rencontrés par l'onde sonore générée par l'avertisseur (onde incidente). L'onde réfléchiée peut s'additionner ou se soustraire à l'onde incidente donnant lieu parfois à des ondes stationnaires (pression sonore de l'onde incidente est égale à celle de l'onde réfléchiée ce qui annule le niveau de pression sonore du signal, l'empêchant ainsi d'être

déecté). En pratique, la propagation des sons de fréquences inférieures à 300 Hz est très sujette à des effets modaux dans les locaux de grandes dimensions tels qu'on les rencontre en milieu industriel. En conséquence, en plus d'éviter l'usage de sons purs, il est fortement souhaitable d'imposer une borne inférieure de 300 Hz à l'étendue fréquentielle des signaux (R7).

Par ailleurs, les résultats de nos études [27] montrent que la distance entre la source du signal et le poste de travail peut jouer un rôle significatif sur la reconnaissance de signaux pulsés ou modulés en amplitude. En contexte de sécurité du travail, on pourra éviter de compromettre la reconnaissance de tels signaux en maintenant au minimum la distance entre la source et le poste de travail, la limite étant la distance critique (R8). Cette disposition assure le contrôle non seulement de l'allure temporelle du signal en milieu réverbérant, mais aussi du niveau sonore à l'emplacement du travailleur. En effet, lorsque le signal émerge d'une seule source dans un local de grandes dimensions, il parvient à un niveau souvent excessif aux travailleurs qui se situent à proximité de celle-ci et à un niveau insuffisant à ceux qui en sont éloignés.

Limiter la distance source-poste de travail permet par ailleurs d'optimiser la spécificité des cibles visées par un même signal. Plus la distance est faible, plus il est facile de contrôler le niveau sonore du signal de manière à ce qu'il ne soit clairement audible qu'aux postes de travail concernés. Ce contrôle prévient la gêne due à des signaux inutiles [16] et l'habitation à certains avertisseurs qui pourraient se montrer pertinents de façon occasionnelle.

Dans certaines situations, il pourrait s'avérer impraticable de limiter la distance source-poste de travail. Sur la base des résultats rapportés dans nos études [27], on peut affirmer que le recours à un signal modulé en fréquence en assurera la reconnaissance malgré la réverbération du local.

L'usage des sons pulsés offre une grande versatilité dans la conception de signaux distinctifs. Il permet en outre de traduire de façon immédiate et très efficace l'urgence de l'avertissement [19]. Dans ce contexte, le caractère périodique de la pulsation est prépondérant par rapport à d'autres configurations temporelles. Plus l'intervalle inter-pulsation est court, plus le signal est perçu comme véhiculant l'urgence. Toutefois, en milieu fortement réverbérant, il n'est pas possible de manipuler de façon fidèle l'intervalle inter-pulsation. Celui-ci doit être limité au minimum à 150 ms [20]. Par ailleurs, la reconnaissance de pulsations périodiques s'est avérée sensible à l'effet de la réverbération. Dans ces conditions, il est préférable de recourir à un marqueur d'urgence plus résistant aux effets de la réverbération soit la fréquence fondamentale du signal. Plus celle-ci est élevée, plus le signal est perçu comme un avertissement d'urgence [19]. Toute confusion éventuelle pourrait être évitée en associant une composition spectrale distinctive à chaque type de pulsation. En outre, le nombre total de pulsations et, par conséquent, la durée totale du signal, peuvent être utilisés pour souligner le caractère urgent de l'action à poser (R10).

Enfin, dans le cas de sources sonores mobiles dont il faut localiser la provenance, la réverbération peut compromettre ou ralentir l'identification de l'origine du signal par le travailleur. Pour minimiser l'influence de la réverbération dans ce contexte, il est souhaitable d'imposer un front de montée raide au signal. La durée de montée devrait alors être de l'ordre de 5 à 10 ms [11]. Cette disposition risque toutefois de rendre le signal gênant (R3). Il faut donc y recourir le moins possible.

5.3 Multiplicité des signaux à un poste de travail

Le recours aux avertisseurs sonores est relativement commode du fait de leur pouvoir de mobilisation immédiate de l'attention. Toutefois, on ne peut multiplier indéfiniment le nombre de signaux à reconnaître. L'exemple des salles de chirurgie et de soins intensifs est instructif à cet égard. Les équipements utilisés génèrent jusqu'à 24 signaux différents alors que le personnel soignant n'en reconnaît qu'une dizaine [20]. On trouve parfois des situations analogues en industrie lorsque plusieurs machines installées à proximité les unes des autres sont munies chacune d'un assortiment d'avertisseurs sonores.

Des essais en laboratoire ont montré qu'il est facile d'apprendre à reconnaître cinq ou six signaux distinctifs mais, au-delà de ce nombre, l'effort pour apprendre augmente, et la persistance de l'apprentissage diminue [6]. Il faut donc planifier le recours aux signaux sonores avertisseurs de manière à limiter le nombre ayant pour cible un même poste de travail (R12). Pour limiter la multiplicité des avertisseurs sonores, on peut associer un nombre restreint de signaux sonores à un affichage visuel capable de transmettre une information variée et relativement complexe.

5.4 Fréquence d'émission des avertisseurs sonores

Le pouvoir de sollicitation de l'attention d'un signal sonore est lié au contraste que lui confèrent ses caractéristiques par rapport au bruit ambiant. Certains avertisseurs sont opérés de façon répétitive ou très fréquente faisant en sorte qu'ils s'intègrent au fond sonore. Ils perdent alors le pouvoir de sollicitation de l'attention et peuvent devenir très gênants. C'est le cas notamment des signaux de recul de chariots élévateurs lorsque ceux-ci sont opérés de façon quasi-continue dans un même emplacement. L'avertisseur perd alors complètement son caractère informatif. On ne dispose pas de données empiriques permettant de baliser les limites en fréquence d'émission des avertisseurs sonores. Toutefois, on peut retenir deux règles générales applicables à un ensemble de situations : éviter de recourir à un signal sonore si l'avertissement doit être émis (a) durant plusieurs dizaines de secondes (R13) ou (b) de manière hautement répétitive (R14).

5.5 Mobilité des sources sonores

Lorsque l'avertisseur prévient du déplacement d'une masse ou d'un véhicule, le travailleur doit en localiser l'origine. Outre les effets de la réverbération (R15), cette exigence impose des contraintes importantes à la conception des signaux.

La première contrainte est évidemment liée aux effets modaux des ondes sonores (R5). En effet, le recours aux sons purs peut résulter en des atténuations de l'ordre de 20 dB à quelques mètres à peine de la source, c'est-à-dire du véhicule, par effets de diffraction et de réflexions du signal [21]. Ces phénomènes compromettent non seulement la possibilité de localiser la source mais aussi de la détecter à certains emplacements spécifiques. Ainsi, les signaux de recul des véhicules lourds ou des chariots élévateurs, tels qu'ils sont conçus présentement, sont presque tous inadéquats du seul fait qu'ils sont constitués de sons purs.

Pour des raisons semblables, il faut éviter d'utiliser des sources sonores hautement directionnelles lorsque celles-ci doivent être localisées par des travailleurs (R16). La source doit propager dans toutes les directions si l'on veut que le signal qu'elle émet atteigne une cible pouvant se situer n'importe où dans l'espace environnant. Il arrive parfois que la façon dont une source sonore est installée sur un véhicule en augmente considérablement la directivité du signal émis. Par exemple, c'est le cas des signaux de recul dont la source est installée sous le capot du chariot élévateur ou de la chargeuse.

Le contenu spectral d'un signal sonore doit couvrir une gamme de fréquences la plus large possible pour maximiser les indices spatiaux et temporels de localisation. En d'autres termes, il est préférable d'utiliser un bruit qui couvre la gamme utile de 0.3 à 3 kHz ou encore un son harmonique à composantes multiples couvrant la gamme de 0.5 à 3 kHz (R17). De tels signaux résistent aux effets modaux. Ils transmettent les informations les plus importantes pour la localisation dans le plan horizontal, soit le déphasage inter-aural aux fréquences inférieures à 1.5 kHz et la variation inter-aurale de niveau de pression acoustique aux fréquences supérieures à 1.5 kHz [9].

Par ailleurs, on sait qu'en limitant le contenu spectral d'un signal à 3 kHz, on prive un auditeur du seul indice permettant de distinguer la provenance des sources sonores sur le plan avant-arrière [9]. C'est en effet l'interaction du spectre entre 4 et 10 kHz avec le filtrage exercé par l'oreille externe qui permet de différencier la provenance avant ou arrière des sons. De plus, l'usage de protecteurs auditifs [22] ou de protecteurs de tête [23] compromet sérieusement la réception et le traitement de cette information. Avec l'usage de protecteurs, les confusions avant-arrière sont donc résolues par le mouvement de la tête à la recherche de la source sonore [24]. Ce mouvement exige toutefois un délai minimum, de l'ordre de 1 à 1.5 seconde. En conséquence, la durée d'un signal dont il faut localiser la source doit excéder 1 seconde (R18).

Enfin, la localisation dans le plan vertical exige également de disposer d'informations en très hautes fréquences, c'est-à-dire entre 4 et 10 kHz. Il est très difficile de satisfaire une telle exigence en milieu industriel pour trois raisons : 1) lorsque les travailleurs ont une perte auditive due au bruit, cette dernière se situe davantage sur les hautes fréquences, 2) un grand nombre de travailleurs sont âgés et sont par le fait même à risque d'avoir une perte auditive due à l'âge (surdité axée sur les hautes fréquences) et 3) l'utilisation de protecteurs auditifs ou de protecteurs de tête atténue le niveau de pression sonore arrivant à l'oreille du travailleur; cette atténuation se retrouve, entre autres, en hautes fréquences [22,23]. Pour ces raisons, il est préférable d'éviter de recourir à la signalisation acoustique pour informer du déplacement vertical d'une masse (R19).

6. *Modèle informatisé DETECTSON^{mc} pour évaluer l'efficacité des avertisseurs sonores de danger*

Considérant les nombreux facteurs qui affectent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger en milieu bruyant, un modèle informatisé DETECTSON^{mc} a été mis au point par le G.A.U.M. [25, 26]. DETECTSON^{mc} permet de prédire, sur une base *statistique*, les conditions de détection et de reconnaissance des avertisseurs sonores de danger en fonction de l'environnement sonore.

À la suite des travaux réalisés dans le cadre de l'axe de recherche « Bruit et Sécurité en milieu de travail » développé au G.A.U.M., les données sont maintenant disponibles et pourront être intégrées dans le modèle de DETECTSON^{mc} afin de permettre de :

- (a) spécifier les caractéristiques des signaux sonores qui seraient compatibles avec les capacités auditives *individuelles* telles qu'évaluées au moyen d'une procédure de mesures cliniques simples [3], en tenant compte du spectre du bruit ambiant à un emplacement donné;
- (b) prendre en compte une utilisation éventuelle des protecteurs de tête ou d'une prothèse auditive par les travailleurs.

7. Conclusion

L'amélioration de la signalisation sonore dans les milieux industriels a des conséquences positives sur la sécurité et sur la productivité des travailleurs. Elle vise à diminuer les risques d'accidents de travail tout en favorisant un accroissement de la productivité. Le présent guide donne des pistes de solutions pour planifier adéquatement la signalisation acoustique en milieu industriel. Il propose quatre repères : la définition de la fonction du signal sonore, l'univocité du signal, la priorité et la compatibilité des signaux et enfin la signalisation apprise des signaux.

De plus, dans le guide, on retrouve des règles de conception ergonomique permettant d'adapter les postes selon les contraintes rencontrées dans les milieux de travail. Ces contraintes sont : la prise en compte du bruit ambiant, la prise en compte de la réverbération sonore, la multiplicité des signaux à un poste de travail, la fréquence d'émission des avertisseurs sonores et la mobilité des sources sonores.

Enfin, on propose dans ce guide un modèle informatisé pour évaluer efficacement les avertisseurs sonores de danger. Il s'agit du logiciel DETECTSON^{mc} [25, 26]. Ce logiciel a été développé par le Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal. Cet outil est très utile lorsqu'on veut mesurer les capacités de détection et de reconnaissance des avertisseurs sonores d'un individu dans un environnement donné.

RÉFÉRENCES

- [1] Héту, R. (1994). Mismatches between auditory demands and capabilities in the industrial work environment. *Audiology*, 33: 1-14.
- [2] Héту, R. (1993). Capacités auditives, critères d'embauche et droits de la personne. *Canadian Acoustics*, 21(2): 3-14.
- [3] Héту, R., Tran Quoc, H (1994). Psychoacoustic performance in workers with NIHL. Dans Axelsson, A., Henderson, D., Salvi, R., Mermenick, R. (eds), 'Scientific basic of noise induced hearing loss'. Chapitre 22, New York: Thieme.
- [4] Héту, R., Tran Quoc, H. (1992). Validation of masked threshold among people with sensorineural hearing loss. *Canadian Acoustics* 22(3): 84-83.
- [5] Patterson, R.D., Nimmo-Smith, I., Weber, D.L., Milroy, R. (1987). The deterioration of hearing with age: Frequency selectivity, the critical ratio, the audiogram, and speech threshold. *J.Acoust.Soc.Am.* 72(6): 1788-1803.
- [6] Patterson, R.D. (1982). Guidelines for auditory warning system on civil aircraft. London: Civil Aviation authority (CAA-82017).
- [7] Sorkin, R.D. (1987). Design of auditory and tactile displays. Dans 'Handbook of human factors', Salvendy, G. (eds), New York, Wiley : 549-576.
- [8] Edworthy, J., Loxley, S., Dennis, I. (1991). Improving auditory warning design: relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human factors* 33: 205-231.
- [9] Canévet, G. (1988). Audition binaurale et localisation auditive : aspects physiques et psychoacoustiques. In Botte, M.C., Canévet, G., Demany, L., Sorin, C. (eds.), *Psychoacoustique et perception auditive*. Paris: Editions INSERM, pp. 83-122.
- [10] Kunov, H., Abel, S.M. (1981). Effects of rise/decay time on the lateralization of interaurally delayed 1 kHz tones. *J.Acoust.Soc.Am.* 69: 769-773.
- [11] Rakerd, B., Hartman, W.M. (1998). Localization of sound in rooms, III: Onset and duration effects. *J.Acoust.Soc.Am.* 80: 1696-1703.
- [12] Canévet, G. (1985). Aspect physiques de la détection et de la localisation masquée. *Acustica* 57: 122-132.
- [13] McMurthy, P.L., Mershon, D.H. (1985). Auditory distance judgment in noise, with and without hearing protection. Dans Swezey, W (ed), *Proceeding of the Human Factors Society, 29th Annual Meeting*: 811-813.
- [14] Lazarus, H., Höge, H. (1986). Industrial safety: Acoustic signals for danger situations in factories. *Applied Ergonomics* 17: 41-46.
- [15] ISO 7731 (1986). Danger signals for workplaces - Auditory danger signals. Geneva: International Standardization Organization.
- [16] Héту, R. (1993). Le bruit comme source de stress en milieu de travail. Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal, 15p.
- [17] GAUM (1992). DETECTSON : Manuel de l'utilisateur. Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal, 43p.
- [18] Héту, R., Boudreault, V., Fortier, P., Lemoine, O., Phaneuf, R. (1987). Protocole d'enquête audiométrique en usine bruyante. *Cahier des Notes Documentaires de l'I.N.R.S. (France)* 128: 407-415.
- [19] Hellier, E., Edworthy, J., Dennis, I. (1993). Improving auditory warning design: Quantifying and predicting the effects of different warning parameters on perceived urgency. *Human Factors* 35: 693-706.

- [20] Momtahan, K. Hétu, R., Tansley, B. (1993). Audibility and identification of auditory alarms in the operating room and intensive care unit. *Ergonomics* 36(10): 1159-1176.
- [21] Laroche, C., Ross, M.J., Lefebvre, L., Larocque, R., Hétu, R., L'Espérance, A. (1993). Sound propagation of reverse alarms used on heavy vehicles. *Canadian Acoustics/Acoustique canadienne* 21(3):29-30.
- [22] Noble, W., Murray, N., Waugh, R. (1990). The effect of various hearing protectors on sound localization in the horizontal and vertical planes. *American Industrial Hygiene Association Journal* 51: 370-377.
- [23] Hétu, R., Tran Quoc, H., Denis, S. (1995). Effets éventuels de protecteurs de tête sur la perception des avertisseurs sonores de danger en milieu de travail bruyant. Rapport final. Montréal : Institut de recherche en santé et sécurité du travail, N/D PE-93-11,91-167.
- [24] Fortin, M., Hétu, R. (1995). Sound Source Localization with Head Protection. *Canadian Acoustics/Acoustique canadienne* 23(3).
- [25] Laroche, C., Tran Quoc, H., Hétu, R., McDuff, S. (1991). Detectsound: a computerized model for predicting the detectability of warning signals in noisy workplaces. *Applied Acoustics* 32:193-214.
- [26] Tran Quoc, H., Hétu, R., Laroche, C. (1992). Computerized assesement and prediction of the audibility of sound warning signals for normal and hearing impaired individuals. Dans Mattila, M., Karwonski, W. (eds). *Computer applications in Ergonomics, Occupational safety and health*, Elsevier Science Publishers, 105-112.
- [27] Hétu, R., Tran Quoc, H., Larocque, R. (1995). Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail bruyants et réverbérants. Rapport final. Montréal : Institut de recherche en santé et sécurité du travail, N/D PE-93-01,91-169.

Annexe E

Guide pour la mesure clinique de la capacité de la capacité de localisation auditive

GUIDE POUR LA MESURE CLINIQUE DE LA CAPACITÉ DE LOCALISATION AUDITIVE

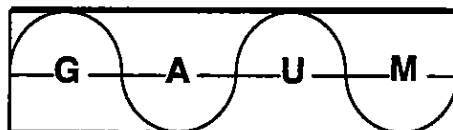
par

Jean-Pierre GAGNÉ, Ph.D.

Hung TRAN QUOC, ing.

Stéphane DENIS, DEC

Maude LEBLANC, B.Sc.



Groupe d'acoustique de l'université de Montréal

École d'orthophonie et d'audiologie
Université de Montréal
C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal, Québec
H3C 3J7

Avril 2000

1. Introduction

Dans les milieux industriels, les travailleurs sont informés d'un danger potentiel par des avertisseurs sonores. Une réponse adéquate à la localisation de ces avertisseurs exige d'un travailleur de reconnaître rapidement la provenance de ces signaux sonores. Or, certains signaux utilisés comme avertisseurs de danger ne sont pas conçus de manière à faciliter la localisation auditive. En effet, le spectre fréquentiel des signaux utilisés comme avertisseurs sonores peut faire en sorte que des travailleurs ayant une sensibilité auditive normale n'arrivent pas à les localiser dans un environnement bruyant. Il y a de bonnes raisons de croire que la situation est encore plus défavorable pour des travailleurs malentendants. On connaît mal la capacité de localisation auditive des personnes ayant une perte auditive. Certaines d'entre elles peuvent perdre ou se voir refuser un emploi en milieu potentiellement bruyant, étant jugées incapables de percevoir les avertisseurs sonores [1].

Lors de l'embauche de candidats à des activités professionnelles qui exigent de très bonnes capacités auditives (i.e., sapeur-pompier, policier, gardien de sécurité, etc.), on manque de critères valides pour caractériser la capacité de localisation auditive. Les professionnels impliqués dans l'évaluation des aptitudes à de tels emplois se voient contraints d'exiger une sensibilité auditive quasi parfaite dans l'espoir que ce critère assure également une bonne capacité de localisation auditive. Il en résulte vraisemblablement des décisions discriminatoires puisque, comme nous avons pu le constater par des mesures préliminaires [2, 3], la capacité de localisation est très souvent maintenue chez des personnes présentant une perte de sensibilité auditive.

Par ailleurs, la notion de limitation fonctionnelle, inscrite dans la Loi sur les accidents du travail et les maladies professionnelles, fait appel à des outils de mesure valides et efficaces pour caractériser les conséquences permanentes des accidents ou des maladies. En ce qui a trait à l'audition, on ne dispose d'aucun moyen pour décrire la perte de capacité de localisation auditive, fonction pourtant essentielle dans un grand nombre d'activités professionnelles. Il y a lieu de mettre au point une procédure d'examen clinique permettant de mesurer la capacité de localisation auditive.

L'objectif du présent document est de fournir aux intervenants un outil clinique valide et fiable pour mesurer la capacité de localisation auditive de personnes présentant ou non une surdité. Le guide est basé sur des études menées par le Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (GAUM). Ces études portaient sur la localisation des avertisseurs sonores en milieu industriel. Elles ont permis de mieux définir la puissance, la composition spectrale et la composition temporelle d'avertisseurs sonores donnant l'occasion aux travailleurs entendants et malentendants de localiser adéquatement leur provenance dans un milieu bruyant. Dans la première section du document, nous allons présenter les résultats de ces travaux scientifiques. Dans la deuxième section du document, nous allons décrire la méthodologie qu'il faut appliquer pour effectuer une telle mesure dans le milieu clinique.

2. Puissance, composition spectrale et composition temporelle d'un avertisseur sonore favorisant la localisation de sa provenance dans un milieu bruyant

Une première étude a été menée auprès de 21 auditeurs ayant une sensibilité auditive normale [3]. Les signaux utilisés ont été conçus selon les principes de conception ergonomique des avertisseurs de danger proposés par le GAUM [4]. Plus spécifiquement, quatre types de signaux ont été étudiés : (1) des sons continus, (2) des sons pulsés, (3) des sons modulés en amplitude et (4) des sons modulés en fréquence. Toutes les conditions de mesures ont été effectuées dans le silence et en présence d'un bruit de 65 dB(A). Le bruit avait un spectre plat sur une bande fréquentielle allant de 0,25 à 8 kHz. Pour les conditions de mesures dans le bruit, le niveau sonore des signaux a été

réglé de façon à ce que chaque composante du signal soit présentée à 12 dB au-dessus du niveau spectral du bruit (+12 dB). Les résultats permettent de tirer les conclusions suivantes :

- 1) En général, les erreurs de localisation sur le plan horizontal sont de type intra-quadrant (moins que 90°). En excluant ce type d'erreurs, les taux de réussite varient entre 80 et 100%.
- 2) Pour les signaux dont le contenu spectral contient seulement une composante spectrale (des sons purs), les habiletés de localisation sont meilleures lorsque la tâche est effectuée dans le silence plutôt qu'en présence d'un bruit de fond.
- 3) Pour les signaux dont le contenu spectral contient plusieurs harmoniques (des signaux complexes), les performances de localisation sont très élevées et ce, tant dans le silence qu'en présence d'un bruit de fond.
- 4) Lorsque le signal contient plusieurs harmoniques (signaux complexes), un rapport signal/bruit de +12 dB est suffisant pour assurer une bonne localisation sur le plan horizontal.

Une deuxième étude a été effectuée auprès d'auditeurs ayant une surdité [3]. Un sous-ensemble des conditions expérimentales de l'étude susmentionnée a été transposé à cette deuxième étude. Les résultats permettent de tirer les conclusions suivantes :

- 1) En général les erreurs de localisation, sur le plan horizontal, sont de type intra-quadrant (moins que 90°). En excluant ce type d'erreur, les taux de réussite varient entre 70 et 95%. Les sons modulés en fréquence constituent les meilleures conditions de localisation avec des taux de réussite qui dépassent 90%.
- 2) Pour les signaux dont le spectre fréquentiel contient une seule composante (des sons purs), en général, les habiletés de localisation sont meilleures lorsque la tâche est effectuée dans le silence plutôt qu'en présence d'un bruit de fond.
- 3) Pour les signaux dont le spectre fréquentiel contient plusieurs harmoniques (des signaux complexes), les performances de localisation excluant les erreurs intra-quadrants sont très élevées et ce, tant dans le silence qu'en présence d'un bruit de fond.
- 4) Lorsque le signal contient plusieurs harmoniques (signaux complexes), un rapport signal/bruit de +12 dB est suffisant pour assurer une bonne localisation sur le plan horizontal.

La comparaison des données des deux études a permis de constater que les performances de localisation auditive des auditeurs ayant une surdité étaient moins bonnes que celles obtenues auprès des auditeurs sans perte auditive. On a également remarqué une plus grande variabilité dans les résultats obtenus auprès des auditeurs ayant une surdité que dans ceux recueillis auprès d'auditeurs ayant une sensibilité auditive normale. Certains auditeurs ayant une surdité ont eu des résultats semblables à ceux d'auditeurs sans perte auditive, tandis que d'autres ont atteint des niveaux de performances inférieurs à ceux jugés adéquats.

Étant donné la variabilité des données entre les individus, dans un milieu industriel où la signalisation sonore est présente, il est nécessaire de mesurer la capacité de localisation auditive de chaque travailleur. Cette mesure permet de situer leurs performances par rapport à des valeurs normatives et d'adapter au besoin le poste de travail. Dans la prochaine section, nous allons présenter l'examen clinique pouvant être utilisé pour évaluer la localisation auditive auprès de travailleurs soumis à une signalisation sonore dans leur milieu de travail.

3. Examen clinique pour évaluer la capacité de localisation auditive

À partir de l'expertise développée lors du déroulement des recherches menées en laboratoire (études rapportées dans la section 1), nous sommes en mesure de proposer un examen clinique visant à évaluer la capacité de localisation auditive. Cet outil a pour but de mesurer de façon simple et précise cette capacité auditive tant chez les personnes sans perte d'audition que chez les personnes malentendantes.

3.1 Matériel et équipement

Les mesures de la capacité de localisation auditive doivent être effectuées dans une cabine insonore avec l'équipement illustré à la figure 1. Cet équipement comprend 11 haut-parleurs placés en demi-cercle à 18° d'intervalle et à une distance de 90 cm du centre de la tête du sujet. Il s'agit du nombre minimum de haut-parleurs permettant d'évaluer :

- 1) la résolution minimale à l'intérieur d'un même quadrant;
- 2) les confusions gauche-droite;
- 3) les confusions avant-arrière (le sujet faisant face au haut-parleur situé à l'une ou à l'autre des extrémités du demi-cercle).

La distance de 90 cm est compatible avec le volume des cabines audiométriques utilisées dans les cliniques d'audiologie. Il faut prévoir un siège réglable pour que les oreilles du sujet se situent à la hauteur des haut-parleurs. Il faut accoler un chiffre sur chacun des haut-parleurs de façon à ce que la personne évaluée puisse bien les voir. Ces chiffres doivent être disposés dans un ordre précis, tel qu'indiqué à la figure 1.

Le signal standard est un bruit de bande large (0,25-8 kHz) généré par un ordinateur. Il est présenté à un niveau de 65 dB(A). Ce niveau de présentation, relativement intense, permet d'une part, de rendre audible le signal pour la plupart des personnes malentendantes et d'autre part, de recréer un niveau d'intensité qui se rapproche de celui qu'on retrouve dans les milieux de travail. La durée du signal est de 0,25 s. ou de 1,5 s. Ces durées ont été choisies pour deux raisons :

- 1) Le signal de 1,5 s. a une durée suffisamment longue pour permettre au sujet d'utiliser les mouvements de la tête pour repérer la provenance du signal (localisation auditive ou plus précisément l'identification de la source sonore).
- 2) Le signal de 0,25 s. ne permet pas au sujet d'utiliser ces mouvements à cause de sa trop courte durée. Ce signal constitue donc une épreuve de mesure des limites de la capacité de localisation auditive en condition d'urgence.

L'équipement comprend également une boîte de réponses munie de 11 interrupteurs. Chaque interrupteur porte un chiffre correspondant à celui affiché sur les haut-parleurs. Cette boîte comporte également un bouton de validation. La personne doit tenir dans ses mains la boîte de réponses lors du déroulement de l'examen. Les réponses sont compilées automatiquement par l'ordinateur auquel est relié la boîte.

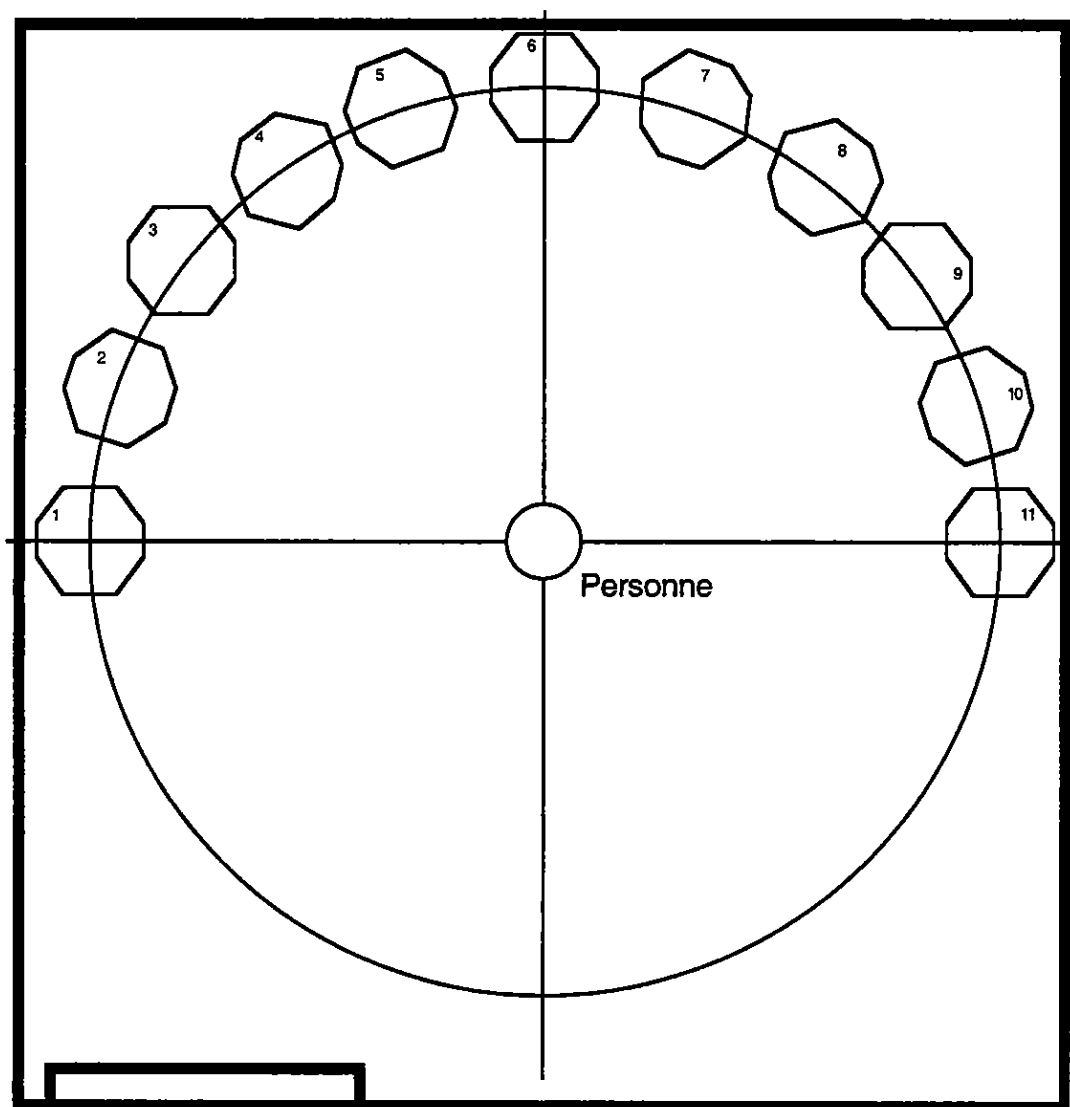


Figure 1. Schéma du dispositif clinique utilisé en cabine insonore pour la mesure de la capacité de localisation auditive dans le plan horizontal.

3.2 Procédure d'examen

Avant de mesurer la capacité de localisation auditive, il faut établir l'histoire auditive de la personne et évaluer des habiletés auditives qui sont sous-jacentes à la reconnaissance de la provenance de signaux acoustiques. Il est recommandé de faire appel à l'expertise d'un audiologiste qui pourra effectuer cette évaluation et remettre un rapport détaillé sur, entre autres, la capacité de détection de sons purs et d'identification de bisyllabes et de monosyllabes, sur l'état de l'oreille moyenne ainsi que sur l'identification de situations de handicap vécues par la personne ayant une surdité.

La procédure d'évaluation de la capacité de localisation auditive doit se faire comme suit :

- 1- Demander à la personne de s'asseoir sur le siège.
- 2- Ajuster le siège pour que les oreilles de la personne soient à la hauteur des haut-parleurs.
- 3- Orienter le siège en direction du haut-parleur central (#6).
- 4- Demander à la personne de fixer du regard le haut-parleur situé en face d'elle.

- 5- Indiquer à la personne qu'un signal lumineux d'une durée d'une seconde, apparaissant au-dessus du haut-parleur de référence, précédera la présentation du signal sonore.
- 6- L'ordinateur présentera automatiquement le signal sonore selon deux blocs de mesures. Un bloc de mesures correspond à la présentation du signal à travers chacun des haut-parleurs. Cette présentation se fait de façon aléatoire. Cependant, le programme a été conçu de manière à ce que le dernier signal du premier bloc et le premier signal du deuxième bloc ne proviennent pas du même haut-parleur.
- 7- Pour chacun des 22 essais, la source de provenance des signaux, soit un des 11 haut-parleurs, sera présentée dans un ordre aléatoire.
- 8- Indiquer à la personne que dès l'amorce du signal sonore, elle peut orienter le tête et le tronc dans la direction qu'elle désire. Cependant, elle ne doit pas quitter son siège.
- 9- Aviser la personne qu'après chaque présentation du signal sonore, elle doit actionner l'interrupteur correspondant au chiffre du haut-parleur d'où elle croit percevoir la provenance du signal.
- 10- Aviser la personne qu'après l'étape précédente, elle doit actionner le bouton de validation. Une seconde après la validation de la réponse, le signal lumineux est activé pour annoncer la présentation d'un nouveau signal sonore.
- 11- Refaire les étapes 4 à 10 en orientant le siège du sujet face au haut-parleur #1.
- 12- Refaire les étapes 4 à 10 en orientant le siège du sujet face au haut-parleur #11.

Mentionnons que la position face au haut-parleur #6 consiste en la mesure de la capacité de localisation gauche-droite pour identifier les erreurs commises dans ce plan. Les deux autres positions ont pour but de mesurer davantage la capacité de localisation avant-arrière.

3.3 Interprétation des valeurs obtenues

3.3.1 Principes de normalisation

Afin de déterminer si la personne a des difficultés de localisation auditive, il faut comparer ses performances à des valeurs normatives. Il est recommandé que les valeurs normatives soient établies pour chaque clinique où l'on veut utiliser l'épreuve d'évaluation de la capacité de localisation auditive. Ces valeurs doivent être calculées à partir des performances de 100 personnes n'ayant pas de surdité en fonction du dispositif d'examen utilisé et du lieu où se déroule cet examen. Puisque les signaux sont émis en champ sonore, les valeurs pourraient varier selon les dimensions de la cabine insonore et selon les équipements utilisés pour l'émission des signaux acoustiques (ex. : les haut-parleurs).

3.3.2 Établissement des valeurs normatives

Pour mieux comprendre l'établissement des valeurs normatives à partir de l'intervalle de confiance, nous proposons quelques exemples en se servant des données d'une étude menée auprès de 106 auditeurs sans perte auditive [3]. Les sujets de cette étude ont été soumis aux mêmes conditions expérimentales que celles susmentionnées. Il est suggéré que les valeurs normatives soient représentées selon la moyenne des erreurs angulaires commises par les participants, additionnée de deux écarts-types. L'erreur angulaire se calcule en effectuant la différence (en degré) entre la position de la source sonore et la position du haut-parleur identifié par le sujet. Ce type d'erreurs a été retenu comme valeurs comparatives puisqu'il représente les erreurs de localisation auditive les plus minimales qu'un individu peut commettre avec le dispositif de mesure proposé.

3.3.3 Utilisation d'un localisogramme

Les données normatives de localisation auditive peuvent être illustrées à l'aide d'un graphique, nommé "localisogramme". Sur ce graphique, on retrouve l'erreur angulaire (en degré) en fonction de la durée du signal. La zone ombragée représente la moyenne des erreurs angulaires obtenue par les participants, additionnée à la valeur de deux écarts-types. On considère cette valeur comme étant la limite supérieure de la normalité. Pour chacune des conditions d'écoute, c'est-à-dire pour les conditions où l'individu est placé face au haut-parleur #1, face au haut-parleur #6 et face au haut-parleur #11, on a un localisogramme (voir figures 2a, 2b et 2c). Le localisogramme sert de repert visuel pour situer les performances d'un individu par rapport à la norme et pour identifier rapidement les conditions pour lesquelles cet individu a, s'il y a lieu, une capacité réduite de localisation auditive. Les personnes dont les performances se situent au-dessus de cette limite sont jugées comme étant celles qui éprouvent des problèmes de localisation auditive.

Dans les exemples que nous proposons, les carrés représentent les réponses de l'individu 1, les losanges celles de l'individu 2, les points celles de l'individu 3 et les triangles celles de l'individu 4. On constate que l'individu 1 a des performances qui se situent dans les limites de la normale pour toutes les conditions évaluées, ce qui suggère qu'il a une bonne capacité de localisation auditive. Par contre, les réponses de l'individu 2 sont au-dessus des valeurs normatives pour toutes les conditions d'écoute. Ces résultats suggèrent que cette personne éprouve des difficultés à localiser la provenance d'un signal autant dans le plan avant-arrière que celui gauche-droite. Quant à l'individu 3, ses réponses données dans le plan gauche-droite se retrouvent à l'intérieur des limites de la normale (voir figure 2b) ce qui suggère qu'il n'a pas de problème de localisation auditive pour ce type de localisation. Toutefois, les signaux provenant du plan avant-arrière lui posent des problèmes de localisation. En effet, ses réponses données dans ce plan sont au-dessus des valeurs normatives (voir figures 2a et 2c). Enfin, les réponses de l'individu 4 se trouvent dans les limites de la normale pour les signaux de longue durée lorsque ceux-ci étaient émis dans le plan avant-arrière et dans le plan gauche-droite. Cependant, ses performances se situent au-dessus de la limite supérieure de la normale pour les signaux de courte durée (voir figures 2a, 2b et 2c). Ces résultats suggèrent que cet individu aurait des difficultés à localiser la provenance de signaux d'urgence.

Tableau 1. Ce tableau regroupe la moyenne et l'écart-type des erreurs angulaires de localisation obtenues auprès de 106 auditeurs sans perte auditive pour la localisation de bruits de bande large d'une durée de 0,25 s. et 1,5 s. Les performances de localisation ont été obtenues pour trois différentes conditions d'écoute (auditeur assis face aux haut-parleurs #1, #6 et #11). Le tableau illustre également des valeurs normatives établies à partir du calcul de la moyenne des données, additionnée à la valeur de deux écarts-types.

Signal / Haut-parleur	Moyenne	Écart-type	Moyenne + 2 écarts-types
0,25 s. / #1	6,283	8,675	23,633
0,25 s. / #6	0,262	0,571	1,404
0,25 s. / #11	4,037	6,381	16,799
1,5 s. / #1	1,968	5,634	13,236
1,5 s. / #6	0,015	0,112	0,239
1,5 s. / #11	1,783	6,007	13,797

Les exemples susmentionnés illustrent bien le fait que certains individus éprouvent des difficultés de localisation auditive lorsque cette capacité est mesurée en clinique. Ces données servent au

professionnel qualifié de mesures prédictives des situations d'incapacité qu'un travailleur peut vivre dans son milieu de travail. Nous suggérons que l'interprétation des données se fasse par un professionnel ayant des connaissances dans le domaine de l'audition et de la surdité, notamment l'audiologiste. À l'aide des résultats de différents examens auditifs, jumelés à l'épreuve de mesure de la localisation auditive, l'audiologiste élaborera un plan d'intervention axé sur les besoins d'adaptation et de réadaptation de la personne qui est aux prises avec des incapacités auditives. Si les résultats des épreuves révélaient des difficultés spécifiques de localisation auditive pour un individu, l'audiologiste pourrait proposer, entre autres, des solutions pour adapter le poste de travail en fonction des capacités de localisation auditive de cet individu.

4. Conclusion

L'objectif de production du présent document était de permettre à des intervenants de quantifier la capacité de localisation auditive en utilisant une procédure de mesure simple et compatible avec des contraintes rencontrées en clinique. L'examen développé servira à évaluer les capacités individuelles de localisation auditive (sur le plan horizontal) autant chez les personnes ayant une sensibilité auditive normale que chez les personnes ayant une surdité.

On devrait déterminer la normalité à partir des valeurs normatives correspondant à la moyenne des erreurs angulaires commises par des personnes sans surdité, additionnée à la valeur de deux écarts-types. Une performance de localisation auditive se situant au-dessus de la limite supérieure de la norme devra être considérée comme étant anormale. Dans ce cas, on devra penser à une adaptation du poste de travail afin de permettre à cet individu de pallier à sa capacité réduite de localisation auditive.

RÉFÉRENCES

- [1] Anon (1987). Canadian Human Rights Tribunal Decision under the Canadian Human Right Act - Erickson V. Canadian Pacific Express and Transport Ltd. Canadian Human Right Reporter 8, Decision 628, Paragraphs 31242-31375.
- [2] Noble, W., Byrne, D., Lepage, B. (1994). Effects on sound localization of configuration and type of hearing impairment. J. Acoust. Soc. Am. 95: 992-1005.
- [3] GAUM (1998). Guide de conception de signaux sonores et épreuve clinique de mesure de capacité de localisation auditive des avertisseurs sonores de danger. Rapport final.
- [4] GAUM (1998). Guide de conception d'avertisseurs sonores pour les milieux industriels.

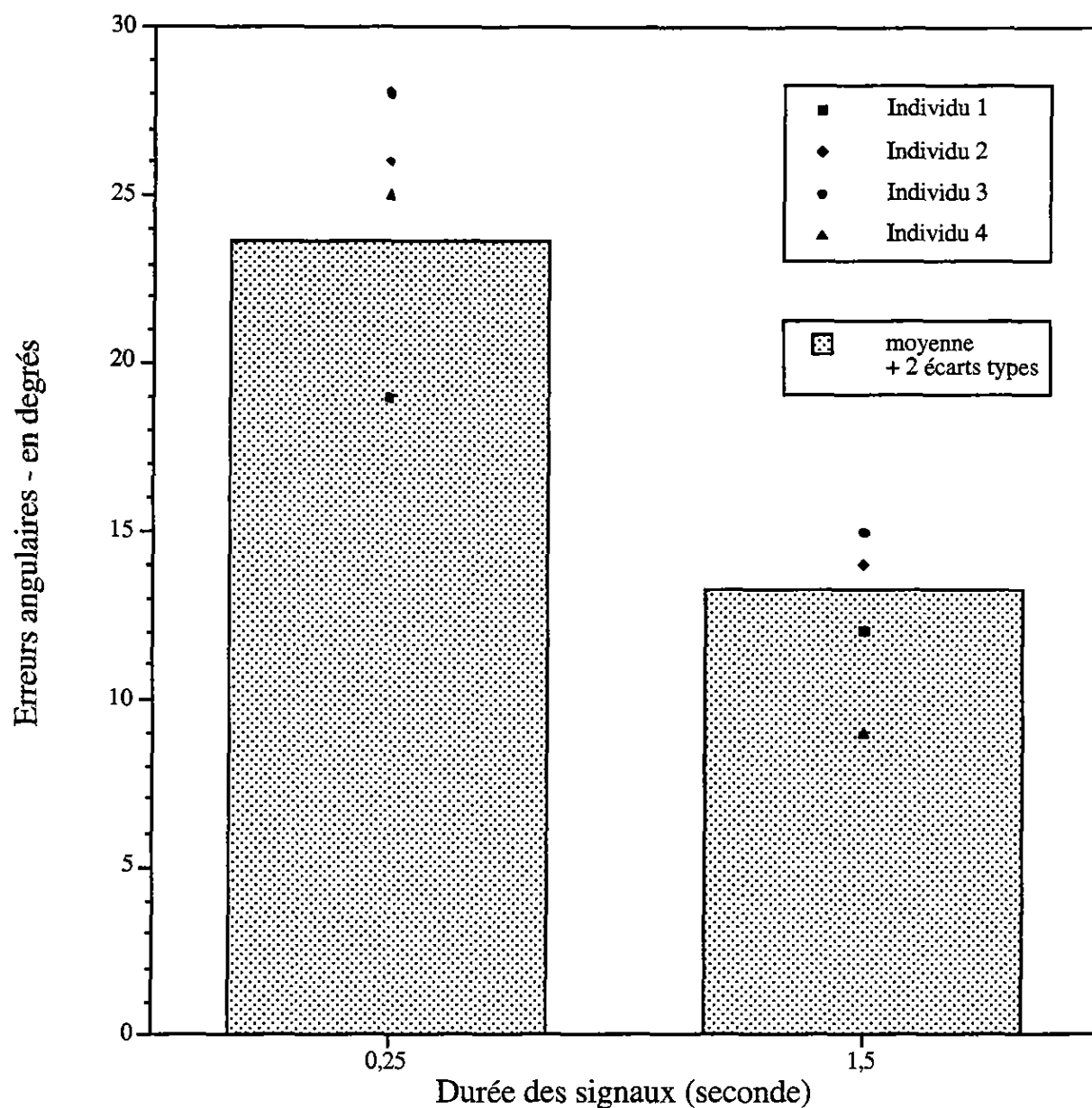


Figure 2a. Cette figure représente un localisogramme pour la condition d'écoute où l'auditeur est assis face au haut-parleur #1. Elle illustre l'échelle d'erreurs angulaires pouvant être commises par un individu en fonction de la durée du signal sonore. La zone ombragée représente la limite de la normale calculée à partir de la moyenne de 106 auditeurs sans perte d'audition, additionnée de deux écarts-types.

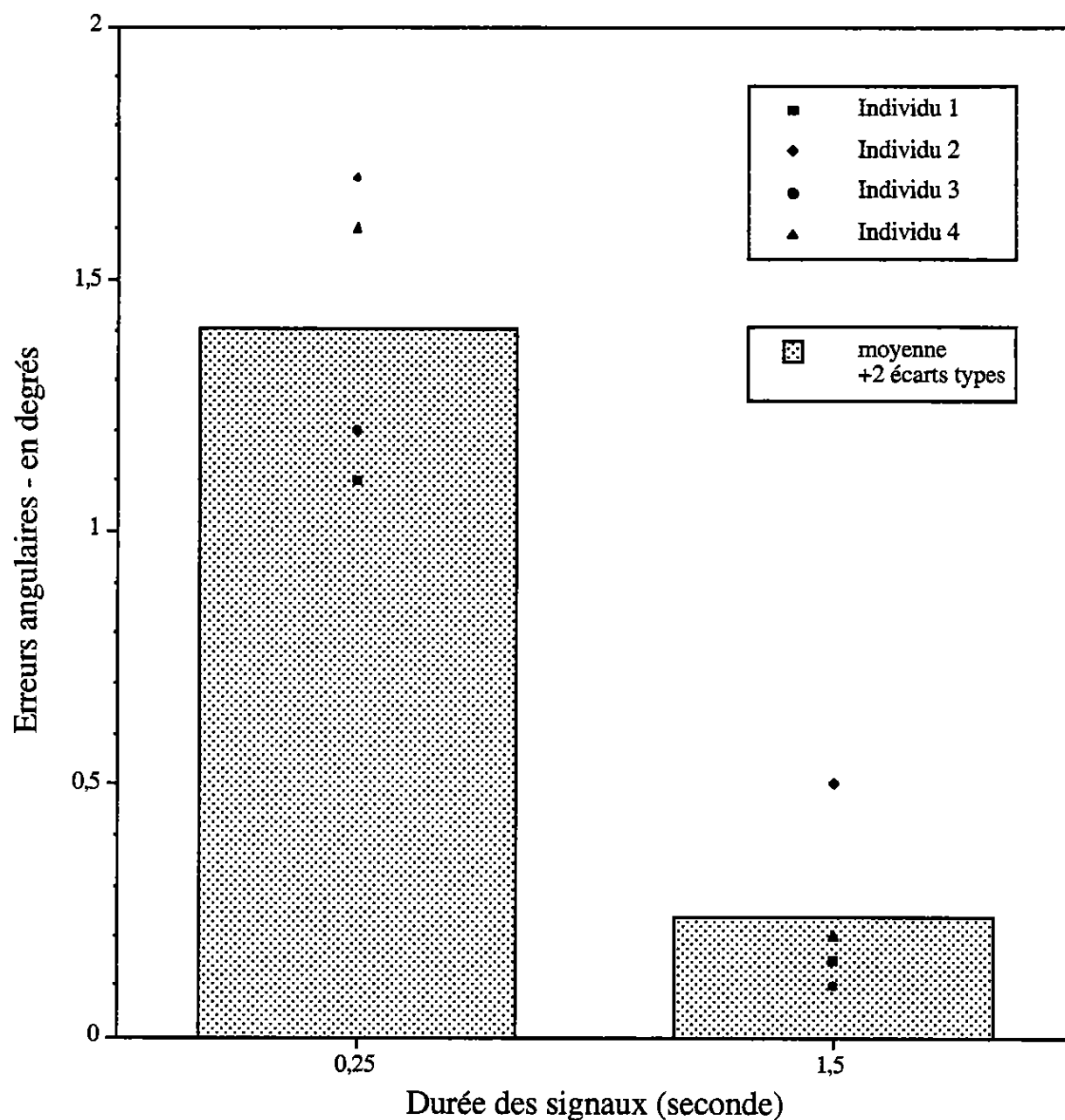


Figure 2b. Cette figure représente un localisogramme pour la condition d'écoute où l'auditeur est assis face au haut-parleur #6. Elle illustre l'échelle d'erreurs angulaires pouvant être commises par un individu en fonction de la durée du signal sonore. La zone ombragée représente la limite de la normale calculée à partir de la moyenne de 106 auditeurs sans perte d'audition, additionnée de deux écarts-types.

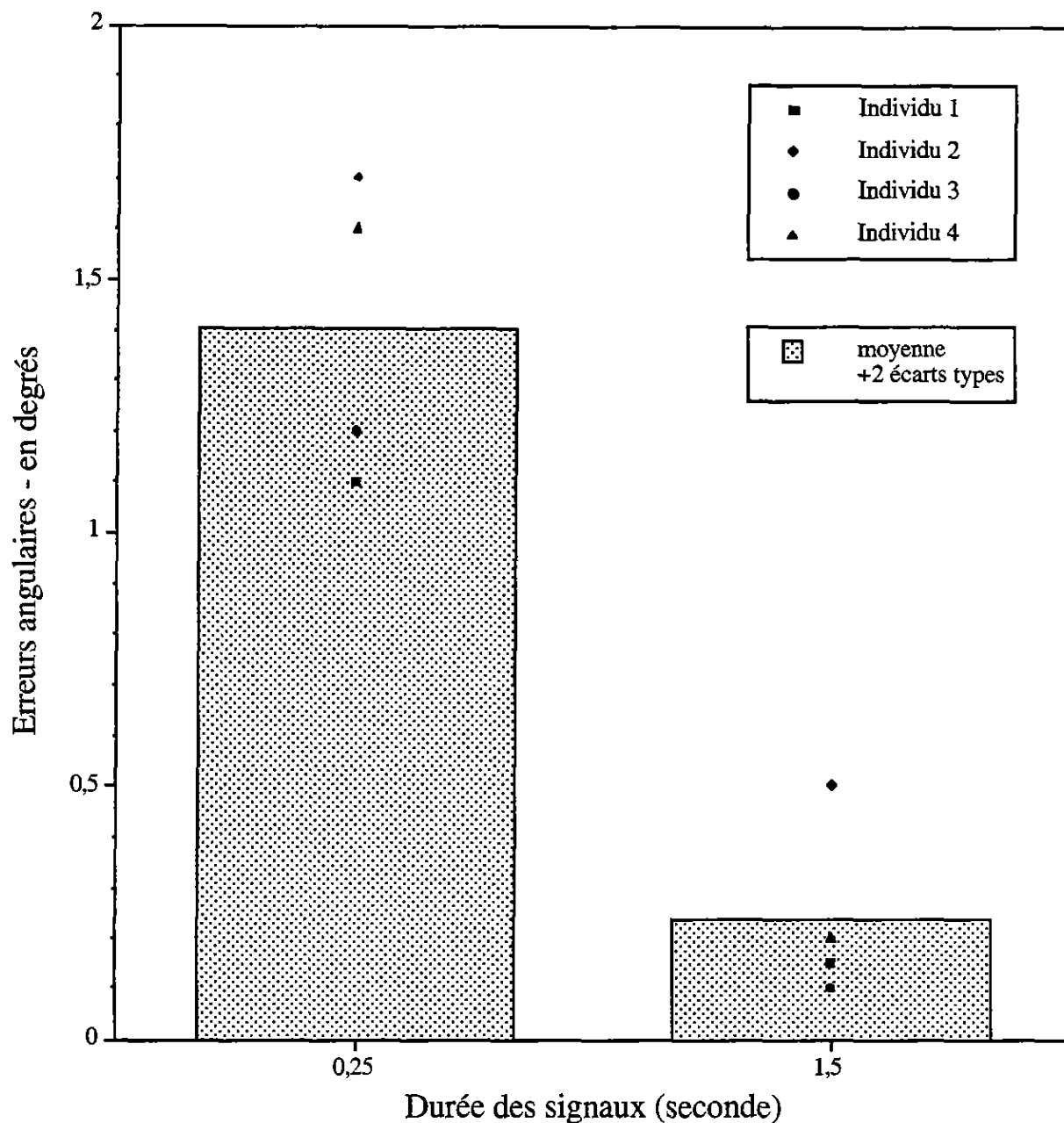


Figure 2c. Cette figure représente un localisogramme pour la condition d'écoute où l'auditeur est assis face au haut-parleur #11. Elle illustre l'échelle d'erreurs angulaires pouvant être commises par un individu en fonction de la durée du signal sonore. La zone ombragée représente la limite de la normale calculée à partir de la moyenne de 106 auditeurs sans perte d'audition, additionnée de deux écarts-types.