



## **Performance de localisation d'un son dans le plan azimutal avec une audition perturbée**

V. Zimpfer

ISL, Institut de Recherche de St Louis, 5 rue du général Cassagnou, BP70034, 68301 St Louis, France  
veronique.zimpfer@isl.eu

Pour pouvoir étudier les performances de localisation d'un son dans le plan horizontal avec des protections auditives, un dispositif expérimental a été réalisé. Ce dispositif a été mis en place dans une cabine audiométrique dans laquelle l'auditeur est placé au centre d'un cercle de diamètre 2,60m formé par huit haut-parleurs. Afin de valider ce dispositif, un test subjectif a été effectué sur 32 auditeurs. La performance de localisation de la source sonore en condition normale a été comparée à celle obtenue avec une audition perturbée. La perturbation de l'audition a été réalisée en obstruant une seule oreille avec la coque d'un casque de protection auditive. Ce test a permis de vérifier le bon fonctionnement du dispositif ainsi que la diminution significative des performances de localisation lorsque l'audition est perturbée. Aucune différence significative sur la performance entre homme et femme n'a été constatée. Par contre, une différence de performance selon l'âge lorsque l'audition est perturbée a été observée.

## 1 Introduction / contexte

Dans de nombreuses situations, les personnes œuvrant dans des milieux bruyants risquent d'encourir des pertes auditives sévères. Pour des raisons de santé, ils sont obligés de porter des protections auditives. Aujourd'hui, on trouve dans le commerce un grand nombre de systèmes de protections auditives différents. Or, le plus souvent, ces protections auditives perturbent la communication verbale et la perception des signaux d'alarme ou de danger. On se trouve donc face à un compromis entre la santé (perte auditive) et la sécurité (perception du danger).

En protection auditive, on distingue deux types de protecteurs : les protecteurs avec une atténuation du bruit fixe ne dépendant pas du niveau sonore et ceux dont l'atténuation dépend du niveau sonore. Pour ce dernier type de protection, il existe deux familles :

- Les protecteurs passifs, comme par exemple le bouchon non-linéaire. Ce type de bouchon est très efficace contre les bruits impulsifs. Son atténuation croît progressivement avec le niveau crête des stimuli.
- Les protecteurs actifs qui sont des systèmes « talk-through », avec une électronique permettant de contrôler le niveau sonore sous la protection. Ce protecteur possède un microphone extérieur qui enregistre l'environnement sonore qui est rejoué sous la protection à l'aide d'un haut-parleur avec un niveau sonore adapté.

Les protecteurs dont l'atténuation dépend du niveau sonore ne protègent l'oreille que contre les bruits nocifs (comme les bruits impulsifs de fort niveau), et autorisent en parallèle une perception très peu altérée dans le cas de sources sonores de niveau modéré. Ces systèmes permettent donc une communication verbale. Par contre une étude menée en collaboration avec l'IRBA (Institut de Recherche Bio médicale des Armées)[6][7] a permis de montrer que le port d'une protection auditive dont l'atténuation dépend du niveau sonore dégrade fortement les performances de localisation, qu'elle soit de nature passive (non-linéaire) ou active (système talk-through). En effet, il a été montré que le taux de bonnes réponses dépend des conditions d'écoute :

- 98 % sans protection auditive,
- 63 % avec un bouchon non-linéaire,
- 53 % avec un bouchon actif,
- 40 % avec un casque actif.

Pour localiser une source sonore, un auditeur utilise plusieurs indicateurs acoustiques présents dans le son perçu. Ces indicateurs sont introduits d'une part par l'environnement de propagation mais aussi par le corps, la tête et les oreilles de l'auditeur. Le corps, la tête et les

oreilles participent au codage de l'angle d'incidence du signal sonore perçu différemment par les deux oreilles [1][2][4][5]. Le fait que les oreilles se trouvent à deux positions différentes par rapport à la source permet de définir deux indicateurs de directivité: la différence interaurale de temps (ITD Interaural Time Difference ) et la différence interaurale d'intensité (ILD Interaural Level Difference). En effet, l'oreille la plus éloignée de la source reçoit l'onde sonore avec un délai ITD par rapport à l'oreille la plus proche et avec une intensité inférieure correspondant à l'ILD. Ces deux phénomènes permettent la localisation de la position horizontale d'une source [1][3]. L'ILD et l'ITD ne donnent aucune information sur l'élévation de la source. Pour cela, il faut prendre en compte les modifications du champ acoustique dues au torse, à la tête, au pavillon de l'oreille. En portant une protection auditive les indices que notre cerveau interprète comme l'ILD et l'ITD sont alors faussés provoquant une ambiguïté sur la direction de la source sonore, gênante pour l'interprétation des menaces.

Afin d'apporter des solutions pour améliorer la perception de l'environnement sonore (dans le but d'augmenter la sécurité de l'utilisateur), il est nécessaire d'étudier les modifications apportées par la protection auditive sur les indicateurs de localisation comme l'ITD et l'ILD. Pour cette étude, nous avons décidé dans un premier temps de mettre en place un dispositif permettant de mesurer les performances de localisation dans le plan azimutal.

Ce papier décrit la mise en place de l'installation et de son fonctionnement. Afin de la valider des tests subjectifs ont été réalisés sur plusieurs auditeurs (32). Ces tests avaient deux objectifs, le premier de valider le bon fonctionnement de l'installation, le deuxième de vérifier la diminution des performances de localisation en présence d'une audition perturbée dans le plan horizontal.

## 2 L'installation

La Figure 1 représente la salle qui sert pour les tests de localisation d'un son dans le plan azimutal. Cette salle est une cabine d'audiométrie permettant d'isoler l'auditeur des bruits ambiants du laboratoire extérieurs à la cabine. Une mousse acoustique de 5mm d'épaisseur a été collée sur les parois internes afin de réduire les réflexions. Dans cette cabine, huit haut-parleurs sont disposés sur un cercle de diamètre 2,60 m tous les 45° (Figure 1). Au centre du cercle un tabouret réglable en hauteur permet à l'auditeur de se positionner assis afin que ses oreilles soient dans le même plan que les haut-parleurs. Un ordinateur de contrôle a été installé à l'extérieur de cette cabine afin de faire l'interface avec la salle de test.

Le protocole choisi pour les phases de test est le suivant : Un auditeur se place au centre d'un cercle formé par les 8 haut-parleurs répartis tous les 45° dans le plan azimutal dans la cabine d'audiométrie. Un son, associé à un numéro de haut parleur choisi aléatoirement est généré par un programme implémenté sur l'ordinateur de contrôle et est envoyé au haut-parleur. Le son choisi correspond à un burst large bande d'une durée de 230 ms. L'auditeur répond alors grâce à une manette de réponse en désignant le haut-parleur identifié. Un post-traitement est effectué sur les résultats afin de tirer des conclusions statistiques sur le test.

Pour la mise en œuvre du dispositif, il convenait donc de créer une interface homme machine permettant de générer la séquence aléatoire, de contrôler chaque haut-parleur, de récupérer la réponse de l'auditeur, de calculer le temps de réponse, de vérifier s'il est inférieur aux 20 s accordées, de générer un rapport comprenant les temps de réponse, le nombre de bonnes réponses, le nombre d'erreurs avant-arrière, droite-gauche, de générer une matrice confusion dans un fichier texte.

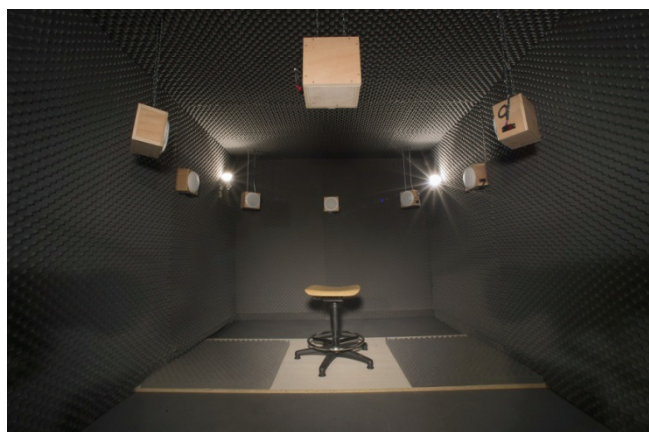


Figure 1: Photographie de l'installation permettant la réalisation des tests de localisation.

## 2.1 Dispositif

Plusieurs solutions étaient envisageables, la solution retenue est celle qui donnait le meilleur compromis entre une grande flexibilité, une grande fiabilité, un coût modéré, une facilité de mise en œuvre et une grande efficacité. La solution doit intégrer le multiplexage. En effet, il y a au moins 8 sorties à contrôler et 8 entrées à gérer (8 HP et 8 réponses possibles). La solution consiste à exécuter le test de manière séquentielle un peu à la manière d'un automate programmable.

Un programme développé en C++ génère la série de 80 sons aléatoires. Il s'agit d'une série de 80 entiers compris entre 1 et 8 (numéros attribués aux haut-parleurs). Chaque entier est présent 10 fois dans la série. Le numéro est envoyé via un port série du PC à une carte électronique programmable. Cette carte fait l'interface entre le PC et le reste du dispositif. Le haut-parleur correspondant est alimenté en sortie par l'intermédiaire d'un multiplexeur placé entre la carte programmable et l'amplificateur de puissance associé à chaque haut-parleur. La carte électronique interprète le numéro de la séquence envoyé par le PC pour le traduire en une donnée qui permettra le contrôle du multiplexeur. Le signal audio est alors envoyé de la carte son vers le haut-parleur via le démultiplexeur.

L'auditeur choisit le haut parleur qu'il a reconnu avec la manette réponse. Le signal de la manette est alors transmis à la carte programmable. Cette dernière doit pouvoir interpréter et renvoyer au PC le numéro du haut-parleur sélectionné par l'auditeur afin d'analyser la donnée. Le Tableau 1 décrit les modèles des différents éléments qui constituent le dispositif : carte programmable, démultiplexeur, carte son PC de bonne qualité, amplificateurs de puissance, manette de réponse.

Tableau 1 : caractéristique du dispositif

	Modèle choisi
Carte son PC	ASUS Essence XONAR STX
Carte électronique programmable	ARDUINO mega 2560
Demultiplexeur	ADG 1606
Haut parleurs	VISATON modèle FR 16 WP
Amplificateur de puissance	Velleman k4001, 7 Watt

## 2.2 Conception de la manette de réponse

La manette de réponse permet à l'utilisateur de sélectionner le numéro du haut parleur qu'il a reconnu. Elle doit être intuitive à utiliser et facile à prendre en main. La solution qui semble la plus adaptée est une géométrie circulaire avec une disposition circulaire des 8 boutons poussoirs de réponse (1 tous les 45°) qui représente la répartition des hauts parleurs dans la salle.

L'alimentation est prise sur la carte programmable qui peut fournir 5V en permanence grâce à un petit régulateur de tension intégré à la carte. Afin que la carte ARDUINO ne prenne pas en compte les rebonds du bouton poussoir, un filtrage analogique a été réalisé. Ce filtre est un filtre de type RC ayant pour constante de temps  $\tau = R \cdot C \approx 100ms$ . En effet la période minimale des rebonds que nous avons observée est d'environ 200 ms. Ce filtre a été inséré dans la manette de réponse. Cette manette de réponse est directement reliée aux entrées numériques de la carte programmable.

## 2.3 Vérification du dispositif

Il s'agit ici de vérifier expérimentalement que les performances désirées sont respectées. On cherche à vérifier l'homogénéité des 8 voies (théoriquement identiques) mais aussi à vérifier que le signal pourra être reproduit avec le niveau sonore souhaité sans distorsion.

Les différents constituants choisis permettent donc des performances théoriques suffisantes. Cependant, la qualité standard des composants entraîne systématiquement des écarts autour de la valeur nominale du composant (par exemple tolérance d'un condensateur  $\pm 20\%$ ). Il peut donc exister des différences entre les huit voies. Il convient donc de les mesurer afin de vérifier si elles sont identiques et dans le cas contraire, trouver un moyen de les compenser.

Pour cette mesure, le signal (burst) qui est un bruit large bande sur une durée de 230ms est joué de manière répétée sur chaque canal. La Figure 2 représente le niveau sonore mesuré pour chaque voie en fonction de la fréquence lorsque le niveau de la carte son est au maximum. Sur cette figure, on constate que la bande passante du dispositif audio



est 120 Hz-8kHz suffisante pour localiser une source sonore [3][4].

On peut observer également des différences de  $\pm 3$ dB sur le niveau global suivant les voies. Il faudra donc augmenter le gain par un facteur multiplicateur de 1,41 pour les haut-parleurs 4 et 8. Cependant il faut garder à l'esprit que ces différences restent acceptables car il est difficile de distinguer une différence de niveau de 3 dB.

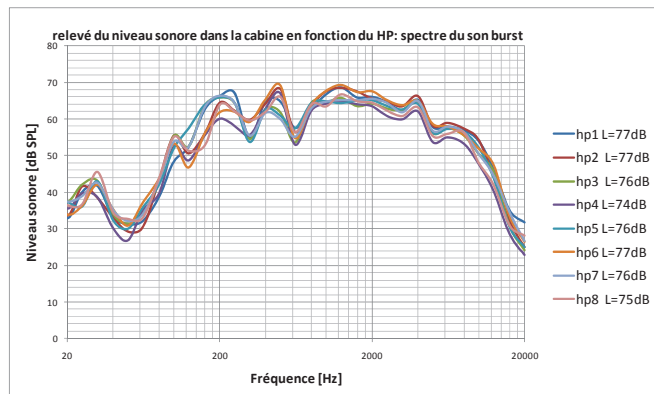


Figure 2 : Niveau sonore relevé dans la cabine pour les 8 voies

### 3 Essais subjectifs

L'objectif principal de ces essais est de vérifier le bon fonctionnement du dispositif ainsi que sa fiabilité. Ces essais consistent à vérifier si une perturbation de l'audition dégrade les performances de localisation d'une source sonore dans le plan horizontal.

#### 3.1 Protocole

Un auditeur est assis sur le siège réglable au centre de la cabine audiométrique. La hauteur du siège est ajustée afin que les oreilles de l'auditeur soient dans le même plan que les haut-parleurs. L'auditeur est placé en face du premier haut-parleur (HP1). Le deuxième haut-parleur (HP2) est  $45^\circ$  du premier haut-parleur à droite de l'auditeur (sens des aiguilles d'une montre). Chaque auditeur a passé 4 séries de tests. Une série est constituée de 80 sons qui sont émis dans un ordre aléatoire par les haut-parleurs à raison de 10 sons par haut parleur. Le son utilisé est un « burst » d'une durée de 230 ms, identique à celui utilisé pour les vérifications (cf. Figure 2). Par contre le niveau sonore a été fixé à 65 dB ce qui correspond au niveau sonore moyen d'une conversation. L'auditeur doit désigner le haut-parleur qui a émis le son à l'aide de la manette de réponse. La consigne donnée aux auditeurs est qu'ils ne doivent pas bouger la tête durant le test et regardé toujours le haut parleur face à eux. La durée totale du test était d'environ 45 minutes. Avant de commencer le test, une phase d'entraînement avec 8 sons est prévue afin de se familiariser avec le dispositif. Pour chaque auditeur, les différentes séries se sont déroulées de la manière suivante :

- phase d'entraînement,
- écoute de la série 1 avec une audition normale,
- écoute de la série 2 avec une audition perturbée,
- pause de 3 à 5 minutes,
- écoute de la série 3 avec une audition perturbée,

- écoute de la série 4 avec une audition normale.

La perturbation a été produite par le port d'une coquille (demi-casque) positionnée sur l'oreille droite de l'auditeur. L'oreille droite est donc masquée par un protecteur auditif dont la perte d'insertion mesurée sur une tête artificielle est représentée sur la Figure 3.

32 auditeurs ont participé aux tests. Parmi eux, on retrouve 11 femmes et 21 hommes. La moyenne d'âge est de 38 ans ; le sujet le plus jeune a 23 ans et le plus âgé a 55 ans. Tous ont déclaré que leur audition était normale pour leur âge. On distingue :

- 9 personnes ayant entre 20 et 30 ans,
- 8 personnes ayant entre 30 et 40 ans,
- 10 personnes ayant entre 40 et 50 ans,
- 5 personnes ayant entre 50 et 60 ans.

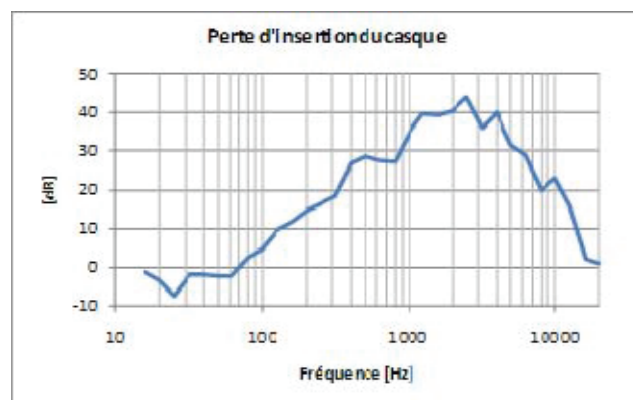


Figure 3: Perte d'insertion du casque mesurée sur une tête artificielle.

#### 3.2 Résultats Globaux

Sur le Tableau 2 est reporté le nombre moyen de bonnes réponses pour chaque série ainsi que les écart-types associés. L'analyse de variance (ANOVA) du nombre de bonnes réponses moyen montre qu'il existe une différence significative entre les 4 séries ( $p < 0,001$ ). On constate également que le nombre moyen de bonnes réponses pour la série 1 est proche de celui obtenu pour la série 4. La même remarque est vraie pour les séries 2 et 3 (audition perturbée). Une analyse de variance entre ces deux paires a montré que la différence entre la série 2 et la série 3 n'est pas significative ( $p = 0,51$ ) et que la différence entre la série 1 et la série 4 est légèrement significative ( $p = 0,035$ ). Cette différence entre la série 1 et la série 4 est probablement due à une meilleure prise en main de la manette pour la dernière série par rapport à la première série. On peut donc en conclure qu'il serait nécessaire d'augmenter le nombre d'entraînements avant de commencer les séries.

Le Tableau 3 représente les temps de réponses moyens sur les 4 séries. L'analyse des temps de réponses moyens montre également une différence significative entre les séries ( $p < 0,001$ ). Le temps de réponse moyen augmente de 0,5 s lorsque l'audition est perturbée (série 2 et 3), ce qui est probablement dû à un temps de réflexion supplémentaire. En revanche, il n'existe aucune différence significative entre les séries 1 et 4 ( $p = 0,41$ ) et les séries 2 et 3 ( $p = 0,67$ ).

Tableau 2 : Nombre de bonnes réponses en fonction de la série.

	Moyenne	Ecart-type
Série1	78,3	2,24
Série4	79,3	1,02
Série2	33,1	16,7
Série3	35,9	17,06

Tableau 3 : Durée moyenne du temps de réponse en fonction de la série.

	Moyenne	Ecart-type
Série1	2,60 s	0,23
Série4	2,56 s	0,23
Série2	2,98 s	0,40
Série3	2,96 s	0,42

### 3.3 Influence du genre de l'auditeur

Le Tableau 4 donne le nombre moyen de bonnes réponses pour les deux conditions de test (audition normale : série 1 et 4 et audition perturbée : série 2 et 3) avec les écart-types en fonction du genre de l'auditeur. Il montre qu'il n'existe aucune différence significative entre les hommes et les femmes quelle que soit la configuration.

Tableau 4 : Nombre de bonnes réponses moyen en fonction du genre de l'auditeur et de la condition d'écoute.

	Audition normale		Audition perturbée	
	Homme	Femme	Homme	femme
Moyenne	78,9	78,6	34,2	35
Ecart-type	1,90	1,56	17,92	14,87
p-value	P=0,441		P=0,889	

### 3.4 Influence de l'âge de l'auditeur

On choisit donc de faire une discrimination par tranche d'âge en séparant les auditeurs en deux catégories : les moins de 40 ans (17 auditeurs) et les plus de 40 ans (15 auditeurs). Le Tableau 5 donne le nombre moyen de bonnes réponses pour ces deux catégories d'âge en fonction de la configuration de l'audition. Cette figure montre que lorsque l'audition est normale il n'y a pas de différence significative entre ces deux types de population. Mais elle montre également que, lorsque l'audition est perturbée, on observe une différence très significative entre les auditeurs les plus jeunes et les auditeurs les plus âgés. Les auditeurs de la seconde tranche d'âge ont donc moins bien localisé avec l'audition perturbée.

La Figure 4 représente le nombre de bonnes réponses moyen (moyenne entre les deux séries) en fonction de l'âge de l'auditeur : les points ronds rouges en audition normale et les points losanges bleus en audition perturbée. Les droites correspondent pour chaque configuration à l'estimation de la régression linéaire des points. Ces droites montrent qu'en audition perturbée plus l'âge augmente, plus le nombre de bonnes réponses diminue avec une

distribution qui se ressert autour de la droite de régression estimée. En effet, en audition normale le coefficient directeur de la droite de régression est proche de « 0 ». Par contre en audition perturbée il est proche de « -1 ».

Tableau 5 : Nombre de bonnes réponses moyen en fonction de l'âge et de la condition d'écoute.

	Audition normale		Audition perturbée	
	<40 ans	>40ans	<40ans	>40ans
Moyenne	78,9	78,6	43,3	24,5
Ecart-type	1,49	2,09	15,76	11,71
p-value	P=532		P<0,001	

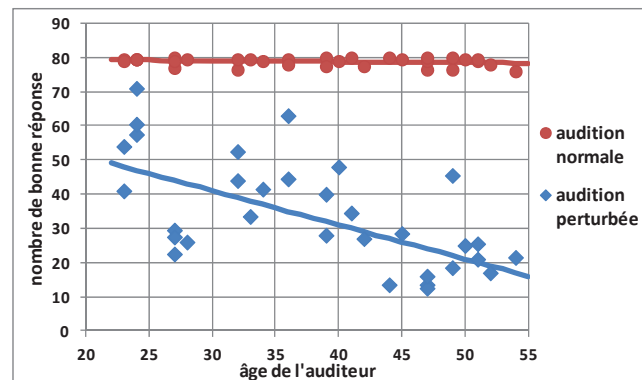


Figure 4: Nombre de bonnes réponses obtenu sur les tests sans audition perturbée (ronds rouges) et avec audition perturbée (losanges bleus) en fonction de l'âge ainsi que les droites de régression pour les deux conditions d'écoute.

### 3.5 Analyse en fonction des haut-parleurs

En audition normale, l'analyse ANOVA sur le nombre de bonnes réponses a été réalisée suivant le factor haut-parleur. Le résultat a montré que la position du haut-parleur n'a pas d'effet significatif sur les performances de localisation ( $p=0,876$ ).

La Figure 5 représente le nombre moyen de bonnes réponses en fonction du haut parleur lors d'une série avec l'audition perturbée. Elle montre que l'écart qui existe entre les deux catégories d'âge est très important pour les haut-parleurs situés du côté de l'oreille obstruée (côté droit). En effet, pour les haut-parleurs HP2 et HP3 (haut parleur du côté obstrué) cette différence est très significative. Par contre du côté non obstrué la différence entre les deux classes d'âge est non significative. Le nombre de bonnes réponses du côté non obstrué est similaire pour les deux classes d'âge.

La Figure 6 représente le nombre moyen d'appuis sur un bouton lors d'une série avec l'audition perturbée. On constate que le bouton 7 regroupe près de 30% des appuis pour les plus de 40 ans. Et on constate également que les différences entre les jeunes auditeurs et les auditeurs plus âgés est significative uniquement pour les boutons correspondant au haut-parleur de droite (HP3) et celui de gauche (HP7). De plus le faible nombre d'appuis sur les boutons du côté droit explique le faible nombre de bonnes réponses qui est inférieur ou égale au nombre d'appui. On peut donc supposer que les auditeurs de plus de 40 ans

n'entendent plus les sons venant de la droite et localisent tout à gauche

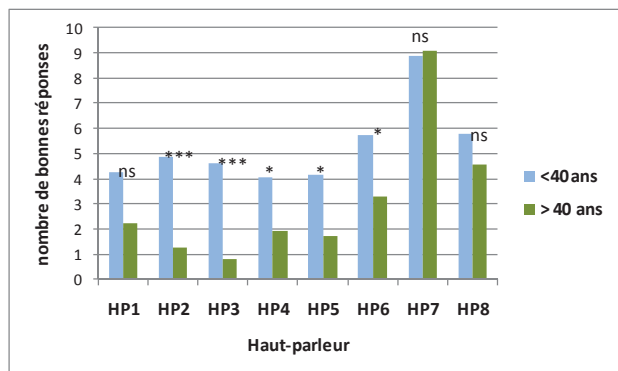


Figure 5: Nombre moyen de bonnes réponses par haut-parleur lors d'une série de 80 sons avec une audition perturbée en fonction de la catégorie d'âge : \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$  ; ns :  $p > 0,05$ .

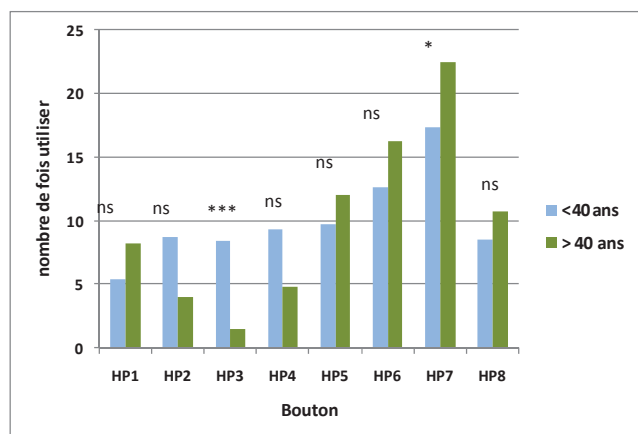


Figure 6: Nombre moyen d'appuis sur les boutons par HP lors d'une série de 80 sons avec une audition perturbée en fonction de la catégorie d'âge : \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$  ; ns :  $p > 0,05$ .

### 3.6 Analyses des confusions

Les réponses données peuvent être classées en différentes familles :

- Les bonnes réponses
- Les confusions de voisinage (erreur avec un des deux hauts parleurs qui l'entoure)
- Les confusions avant-arrière
- Les confusions droite-gauche
- Les confusions droite-gauche plus avant arrière
- Les autres qui correspondent à une erreur de 90 ° pour les haut-parleurs 1, 3, 5 et 7

Le Tableau 6 donne le nombre moyen d'erreurs lors d'une série de 80 sons en fonction de l'audition. On constate qu'avec une audition normale on ne fait que quelques erreurs de voisinage et quelques confusions avant-arrière. Aucune confusion droite gauche n'est observée avec l'audition normale. Par contre avec l'audition perturbée il y a apparition des confusions droite-gauche et des confusions autres qui sont les confusions entre les haut-parleurs avant-arrière avec les hauts parleurs droite-gauche

surtout pour les plus de 40 ans. Par contre, on constate également que le nombre de confusions avant-arrière n'augmente pas avec l'âge dans le cas de l'audition perturbée.

Tableau 6 : Nombre moyen de confusions pour les différentes familles en fonction de la condition d'écoute.

	Audition normale	Audition perturbée	
		<40 ans	>40 ans
Erreur voisinage	0,9	24,1	33,6
Confusion avant-arrière	0,3	10,1	10,6
Confusion droite-gauche	0	0,3	2,5
Confusion avant-arrière et droite-gauche	0	0,2	1,7
Autre	0	3	7,5

### 3.7 Conclusion des essais

Les tests ont permis de vérifier que le fait de perturber l'audition diminue les performances en localisation d'une source sonore dans le plan azimutal. On a montré que la différence de performances entre une audition normale et une audition perturbée est très significative. Il y a peu de différence entre les performances obtenues par des auditeurs féminins par rapports aux auditeurs masculins. En revanche, l'âge influence de manière significative les performances lorsque l'audition est perturbée. Du côté de l'oreille handicapée, la distinction est nettement moins bonne et les erreurs se diversifient. Il s'agit sans doute de l'atténuation du casque qui vient s'ajouter à la perte auditive plus importante au-delà de 40 ans qui ne permet plus d'entendre correctement les sons du côté de l'oreille obstruée. En effet, de nombreuses personnes déclarent n'avoir rien entendu de ce côté. Pour cette tranche d'âge on observe une tendance nette à focaliser les sons vers le HP 7 (celui qui est en face de l'oreille non perturbée).

## 4 Perspectives

Ce projet de fin d'étude a permis la réalisation d'un dispositif permettant d'estimer les performances de localisation d'un auditeur dans le plan azimutal. La validation de ce dispositif a été effectuée par un test subjectif sur 32 auditeurs. Ce test consistait à comparer la performance de localisation en condition normale et avec une audition perturbée. Les performances en localisation avec une oreille « perturbée » ont été évaluées, mais cette installation pourra permettre d'évaluer les performances de localisation d'une source sonore dans différentes configurations (comme dans le cas du port d'une protection auditive).

Cette installation servira dans le cadre d'une thèse qui a débuté en janvier 2014. L'objectif principal de cette thèse est de définir une méthode objective permettant d'évaluer l'impact d'une protection auditive sur les performances de localisation d'une source sonore dans le plan horizontal. Cette méthode permettra d'apporter des pistes pour améliorer les protections auditives en termes de perception

du son sans être obligé de faire appel à des tests subjectifs pour l'estimation des performances. En effet l'estimation avec des auditeurs de la performance de localisation d'une protection auditive est longue et fastidieuse. Elle nécessite un grand nombre d'auditeurs et un protocole très rigoureux.

Cette étude devrait permettre de comprendre comment se dégrade les indicateurs de perception comme l'ITD et l'ILD lorsque l'auditeur porte une protection auditive.

Une deuxième étape consistera à rechercher un critère objectif utilisant une tête artificielle pour estimer la dégradation des performances de localisation d'une protection auditive. Cette méthode pourra être basée sur la mesure des HRTF (Head-Related Transfer Function) sur une tête artificielle avec et sans protection auditive [8]. Le but est de développer une méthode objective utilisant une tête artificielle permettant d'estimer facilement la dégradation causée par une protection auditive sur la localisation d'un son dans le plan azimutal. L'objectif final est de pouvoir définir un index comparable à celui de l'intelligibilité (STI Speech Transmission Index) variant de 0 à 1 :

- 0 correspond à « aucune localisation possible », l'auditeur qui porte cette protection n'arrive plus à localiser
- 1 correspond à « aucune dégradation », l'auditeur qui porte cette protection localise le son comme s'il n'avait pas de protection auditive.

L'utilisation de cet index devra être comparée à un test subjectif sur une cinquantaine d'auditeurs pour au moins cinq protections auditives différentes.

Dans une troisième étape on propose d'analyser l'influence de la morphologie de la tête artificielle sur laquelle sont mesurées les HRTF sur la valeur de l'index.

Enfin, l'influence des caractéristiques acoustiques et électroniques des différentes protections auditives (longueur du guide d'ondes acoustiques, position du microphone, bande passante de l'électronique ...) sur la performance de localisation pourra être étudiée grâce à l'index. Ceci permettra de donner des pistes pour améliorer les protections auditives en termes de performances de localisation d'une source sonore dans le plan azimutal.

## Remerciements

Un grand merci à tous les auditeurs qui ont participé aux essais et aux techniciens qui ont permis la réalisation de ce dispositif d'essais.

## Références

- [1] Blauert, J. (1983). Spatial hearing: the psychophysics of human sound localization; MIT Press; Cambridge, Massachusetts.
- [2] Cheng Corey, I., Wakefield, G.H., (1999). « Introduction to Head Related Transfer Functions (HRTF's). Representation of HRTF's in time, frequency and space », Proceedings of the 107th Audio Engineering Society (AES), New York.
- [3] Hartmann, W. M. (1999). «How we localize sound », Physics today, 52, 24-29.
- [4] Whightman, F., and Kistler D.J., (1992). «The dominant role of low-frequency interaural time differences in sound localization», J. Acoust. Soc. Am. 91, 1648-1661.
- [5] Whightman, F. (1999), « Resolution of front back ambiguity in spatial hearing by listener and source movement », J. Acoust. Soc. Am. 105(5), 1841-1853.
- [6] Zimpfer V., Sarafian D., Buck K. (2012), « Perception de l'environnement sonore avec des protecteurs auditifs permettant une communication verbale », ISL Report, R107/2012.
- [7] Zimpfer V., Sarafian D., Buck K., Hamery P., « Spatial localization of sounds with hearing protection devices allowing speech communication », acoustics 2012.
- [8] Zimpfer V., Sarafian D., « Sound-localization performance with the hearing protectors », Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 19, 050148 (2013) of Acoustical Society of America.