

# La mesure de la fatigue auditive périphérique par EchoScan Audio

## AUTEURS :

T. Venet, P. Campo, C. Rumeau, A. Thomas, Institut national de recherche et de sécurité, Vandœuvre  
C. Parietti-Winkler, service ORL et Chirurgie cervico-faciale CHU-Hôpital Central, Nancy

## EN RÉSUMÉ

Le test de référence pour évaluer la fatigue auditive est l'audiométrie tonale liminaire (ATL). Ce test est subjectif et présente des inconvénients : il doit se faire dans un environnement silencieux et requiert une période d'apprentissage. De plus, la plasticité cérébrale peut parfois masquer des traumatismes périphériques. L'objectif de cette étude était d'évaluer la fatigue auditive induite par une journée de travail avec une ATL et l'EchoScan Audio, ce dernier permettant de mesurer objectivement le réflexe efférent (RE) qui regroupe les réflexes stapédien et olivocochléaire. Les mesures ont été réalisées dans 7 entreprises bruyantes, chez 46 volontaires. Au terme d'une journée de travail, les seuils du RE ont été plus sensibles à la fatigue auditive périphérique que ceux obtenus par ATL.

## MOTS CLÉS

Audition / bruit / fatigue auditive / ototoxicité

**M**algré la législation européenne [1] et les mesures mises en place par de nombreux programmes de prévention, les cas de surdité professionnelle sont encore très nombreux à travers le monde [2]. De plus, la surdité n'est pas l'apanage de la main-d'œuvre civile, elle touche également bon nombre de militaires dont les activités bruyantes sont très dommageables [3]. D'un point de vue audiométrique, la surdité due au bruit peut être définie par un décalage auditif permanent d'un seuil à une fréquence qui se situe autour de 4 000 Hz [4] ; ce décalage, dessiné à l'aide d'une audiométrie tonale liminaire (ATL), est appelé scotome auditif. Lorsque les décalages de seuils audiométriques sont temporaires, ils sont considérés comme de bons indicateurs de la fatigue auditive.

Dans l'étude présentée ici, seule la fatigue auditive a été évaluée en tant qu'indicateur précoce des risques encourus par les travailleurs exposés à des bruits industriels. Dans la plupart des programmes de prévention contre la surdité, les

performances auditives des travailleurs sont testées à l'aide d'une ATL qui détermine le seuil de perception d'un stimulus acoustique, un « bip sonore ». Lorsque le silence n'est pas obtenu, l'ATL repose sur la capacité des sujets à extraire « le bip sonore » du bruit de fond. En appuyant sur un bouton, le sujet informe l'opérateur qu'il a bien entendu le signal émis à une fréquence précise, cette dernière variant en général de 500 à 8 000 Hz. Le test est donc participatif et subjectif. Au cours de ces tests subjectifs, le système nerveux auditif central analyse chaque information fournie par le récepteur auditif périphérique (la cochlée) et peut, le cas échéant, compenser de subtils dysfonctionnements de l'oreille, ou une légère fatigue, pour assurer une performance auditive centrale optimale [5 à 7]. De tels phénomènes relèvent de la plasticité de la fonction auditive. Ces mécanismes rétrocochléaires peuvent masquer des décalages de seuils auditifs provisoires (fatigue périphérique) et compromettre le diagnostic d'une souffrance cochléaire. Aujourd'hui, il existe des outils qui permettent d'éviter les mécanismes de compensation inhérents à la plasticité auditive centrale. Ces outils sont les

**La mesure de la fatigue auditive périphérique** par EchoScan Audio

produits de distorsion acoustique (PDAs), qui sont des oto-émissions évoquées permettant d'évaluer les performances périphériques cochléaires [8]. Les PDAs sont obtenus en stimulant l'oreille avec deux sons purs dont les fréquences, f1 et f2, sont appelées « primaires ». La sonde de génération acoustique est placée devant le tympan ; elle renferme également un microphone qui enregistre simultanément les PDAs, dont les plus aisés à enregistrer sont les 2f1-f2 [9]. Cette technique a l'avantage d'évaluer essentiellement le fonctionnement des cellules ciliées externes de l'organe de Corti, en désactivant les influences centrales. Dans cette étude, il s'agissait de chercher un test de l'audition adapté à la mesure de la fatigue auditive périphérique encourue par des salariés exposés à des intensités modérées pendant une journée de travail. L'objectif n'était pas de remplacer l'ATL mais plutôt de la compléter avec une batterie d'essais comprenant les PDAs combinés avec une stimulation controlatérale (CAS PDAs) [10]. Dans ce contexte expérimental, les PDAs sont utilisés pour évaluer le fonctionnement de l'organe de Corti et les CAS PDAs pour évaluer l'efficacité du réflexe efférent (RE) regroupant les réflexes stapédien [11] et olivocochléaire [12]. Toutes les mesures ont été réalisées avant et après une journée de travail.

**MATÉRIELS ET MÉTHODES**

**POPULATION**

Les sujets ont été recrutés parmi les 79 employés travaillant dans 7 entreprises de différents secteurs industriels (tableau I). Tous les participants étaient volontaires et donnaient leur consentement éclairé avant les tests de sélection. Cette

↓ **Tableau I**

➤ **COHORTE DES SALARIÉS EXPOSÉS À DU BRUIT DANS DIFFÉRENTS SECTEURS INDUSTRIELS**

Sujet volontaire n°	Genre	Leq dB(A)	L <sub>EX,8h</sub> dB(A)	Durée de l'exposition	Secteur économique
16	♀	84,5	84,5	7:30	Fabrication
23	♂	87,2	87,1	7:21	Services
24	♂	86,5	86,4	7:22	Services
26	♂	87,0	83,5	3:32	Services
31	♂	86,1	85,6	7:12	BTP
32	♂	91,1	90,8	7:30	BTP
33	♂	93,6	91,3	4:40	BTP
34	♂	88,7	88,1	7:00	BTP
36	♂	85,6	84,9	6:45	BTP
38	♂	84,8	84,1	6:45	BTP
39	♂	85,4	84,8	7:00	BTP
40	♂	89,6	89,2	7:20	BTP
41	♀	80,3	80,2	7:50	Fabrication
43	♂	86,7	85,6	6:15	Fabrication
44	♂	88,7	88,0	6:45	Fabrication
48	♂	83,3	83,3	7:57	Fabrication
54	♂	84,6	84,5	7:50	Fabrication
55	♂	85,2	84,0	6:00	Fabrication
56	♂	82,6	82,5	7:47	Fabrication
57	♂	85,7	84,5	6:00	Fabrication
62	♂	83,8	83,8	8:00	Fabrication
64	♂	84,2	83,7	7:10	Fabrication
66	♂	84,7	84,6	7:50	Fabrication
67	♂	79,0	79,1	8:15	Services
72	♂	81,3	80,5	6:40	Fabrication
73	♂	83,4	83,4	8:05	Fabrication
<b>Moyenne (26)</b>		<b>85,5</b>	<b>84,9</b>	<b>7:08</b>	

étude a été réalisée en collaboration avec le service ORL de l'hôpital Central de Nancy et a été approuvée par le Comité national d'éthique (CPP 10.0702, Afssaps UEC/AnnR/DA/2010-212).

Pour être inclus dans l'étude, les sujets devaient avoir des seuils audiométriques inférieurs à 35 dB HL (*hearing level*). L'ATL a été complétée, chez les sujets sélectionnés, par un examen otoscopique pour vérifier :

- l'absence de bouchon de cérumen dans le canal auditif externe,
- l'aspect normal du tympan,
- et l'absence d'infection de l'oreille moyenne.

Une tympanométrie était également réalisée avec un impédancemètre (GSI TympanStar®, 2000-97XX) afin de vérifier la normalité de la chaîne tympano-ossiculaire. Enfin, une anamnèse était réalisée par un médecin investigateur afin de connaître l'histoire acoustique et thérapeutique des sujets volontaires. Ont été exclus de la population, les sujets sous traitement actuel ou antérieur à des médicaments ototoxiques, ainsi que ceux exposés à des produits chimiques ototoxiques pendant leur carrière.

Quarante-six sujets volontaires répartis en 2 groupes ont été sélectionnés : un groupe témoin de 20 sujets, âgés de  $38,5 \pm 11$  ans, qui étaient exposés à 67,4 dB(A) et un groupe de sujets, âgés de  $36 \pm 8,3$  ans, dont l'exposition ( $L_{EX,8h}$ ) était de 85 dB(A). Cette dernière valeur correspond à la valeur limite supérieure déclenchant une action selon la directive européenne (2003/10/EU) transposée dans le Code du travail (article R.4431-2d) qui régit les effets du bruit au travail.

La durée de l'activité journalière était semblable pour les sujets témoins et exposés. Elle était d'environ 7 heures.

## AUDIOMÉTRIE TONALE LIMINAIRE

L'acuité auditive des sujets a été évaluée avec une ATL. L'audiométrie a été réalisée avec un casque audio équipé de coques PELTOR®. Trois audiogrammes ont été réalisés pour chaque sujet. Le premier pour la sélection des sujets volontaires, le deuxième avant la prise de poste et le troisième après la journée de travail. La séquence des sons tests était toujours : 1 000, 2 000, 3 000, 4 000, 6 000, 8 000 et 500 Hz. L'examen a été réalisé à proximité du poste de travail, quelques minutes avant le début et quelques minutes après la fin du poste de travail pour quantifier la variation du seuil audiométrique :  $\Delta ATL = ATL_{fin} - ATL_{début}$ . Cette variation témoigne d'une fatigue auditive globale. Moins de 5 minutes séparaient la fin de poste et l'audiométrie. L'ATL a précédé les autres tests audiologiques (PDAs et RE).

## PRODUITS DE DISTORSION ACOUSTIQUE, APPROCHE DE TYPE ENTRÉE/SORTIE

Les PDAs ont été mesurés en utilisant une sonde Ethymotic ER10C® positionnée devant le tympan des sujets. Cette sonde émet deux sons purs,  $f_1$  et  $f_2$ , dont le rapport était  $f_2/f_1=1,2$ . L'intensité des primaires était définie ainsi :  $L_2 = L_1 - 6$  dB HL. Dans ce test, la plus forte intensité émise a été limitée à 70 dB HL pour éviter d'activer le RE. Trois couples ( $f_1/f_2$ ) de fréquences ont été testés (3 000/3 600), (4 000/4 800), et (5 440/6 528) Hz. Pour chaque couple de fréquences, des amplitudes de PDAs ont été acquises en fonction des intensités des primaires qui augmentaient de 49 à 70 dB HL par pas de 3 dB HL. Pour avoir des mesures acceptables, le rapport signal sur bruit (SNR) devait être de plus de 3 dB. Le microphone présent dans la sonde

enregistrait le PDA à la fréquence  $2f_1-f_2$ . Les signaux acoustiques ont été analysés par transformées de Fourier rapides en moyennant les spectres acquis durant 4 secondes. Les mesures des PDAs étaient réalisées en début de poste et en fin de poste de travail pour quantifier la variation de l'amplitude des PDAs :  $\Delta PDA = PDA_{fin} - PDA_{début}$ . Cette variation témoigne d'une fatigue auditive spécifique à la cochlée puisque les vibrations des cellules ciliées externes sont à l'origine des PDAs [8].

## MESURE DU SEUIL DU RÉFLEXE EFFÉRENT

EchoScan Audio a été utilisé pour déterminer les seuils du réflexe auditif efférent en début de poste et en fin de poste de travail afin de quantifier la variation du seuil de déclenchement du RE :  $\Delta RE = RE_{fin} - RE_{début}$ . Cette variation témoigne d'une fatigue auditive périphérique. Le dispositif est détaillé dans Venet et al. [13, 14] et repris brièvement dans cet article. EchoScan Audio réalise une mesure des PDAs dans l'oreille ipsilatérale tout en effectuant une émission sonore controlatérale qui déclenche le réflexe auditif efférent. Ce réflexe étant bilatéral, il provoque une variation des PDAs mesurés par la sonde. Les PDAs étaient générés par des primaires à 4 000 et 4 800 Hz dont l'intensité était choisie, pour chacun des sujets, dans la partie linéaire des réponses « entrée/sortie ». En effet, les amplitudes des PDA sont propres à chaque sujet et peuvent présenter une saturation aux intensités supérieures à 60 dB HL. Il n'était donc pas rare que l'intensité des primaires soit inférieure à 60 dB HL. La stimulation acoustique controlatérale était une bande étroite de 800 Hz centrée à 1 000, 2 000, ou 4 000 Hz, elle durait 2 secondes et était émise

La mesure de la fatigue auditive périphérique par EchoScan Audio

à des intensités variant de 71 à 95 dB HL, par pas de 3 dB. L'intensité augmentait jusqu'à provoquer une baisse significative des amplitudes de PDAs. Pour établir les seuils du RE, un test de Student a été utilisé pour comparer les données obtenues 3 secondes avant la stimulation controlatérale avec celles obtenues pendant les 2 secondes de stimulation controlatérale.

**CONTRÔLE DE L'EXPOSITION AU BRUIT**

Les sujets étaient équipés d'un exposimètre intégrateur à mémoire (Type Wed ACOEM®), dont le microphone était placé devant l'oreille externe. L'exposimètre mesurait simultanément le Leq 1 seconde en dB(A) et le niveau de pression de crête en dB(C). Il était porté tout au long de la journée pour déterminer la dose de bruit ( $L_{EX,8h}$ ) à laquelle la personne était exposée. Parallèlement, le bruit ambiant était enregistré à l'aide d'un sonomètre afin de contrôler la composition fréquentielle du bruit.

**ANALYSE STATISTIQUE**

La comparaison des 2 groupes (témoins et exposés), en début de poste, a été réalisée par une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (groupe et fréquence). Un test *post-hoc* a également été mené selon la méthode de Bonferroni. L'analyse des effets du bruit sur la variation des mesures,  $\Delta$ ATL,  $\Delta$ PDA,  $\Delta$ RE, a été réalisée par un test de Student entre sujets témoins et exposés.

**RÉSULTATS**

**MESURES EFFECTUÉES AVANT LA PRISE DE POSTE**

**AUDIOMÉTRIE TONALE LIMINAIRE**

La figure 1 illustre les courbes obtenues par ATL pour les groupes témoins et exposés. Ces derniers n'avaient pas été exposés 16 heures au moins avant leur prise de poste. L'ANOVA révèle une différence significative entre les exposés et les témoins [ $F(1,195) = 4,18 ; p = 0,04$ ].

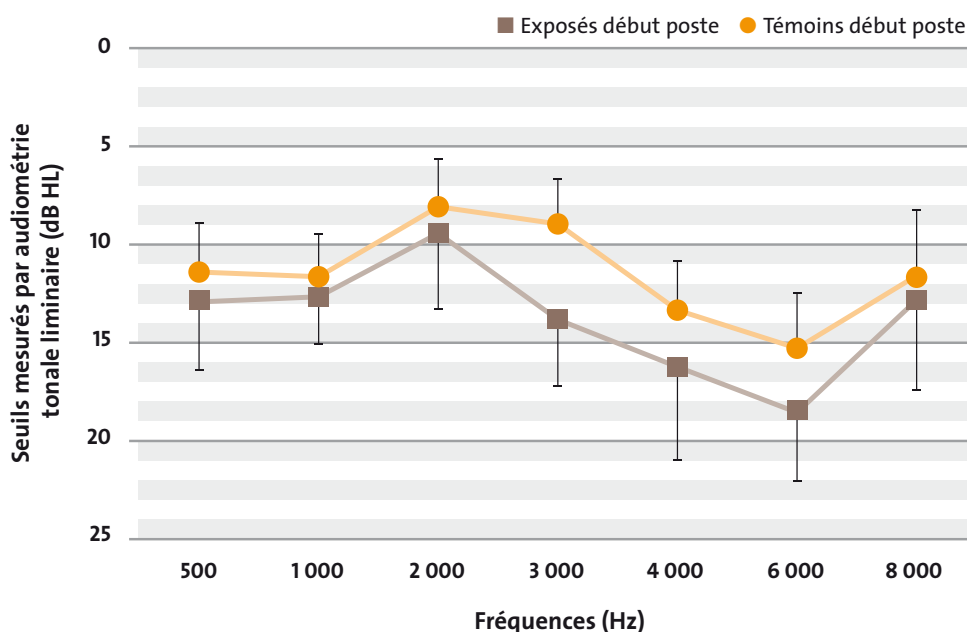
La différence est légère et le test *post-hoc* de Bonferroni n'est pas significatif (différence = 2,04 avec  $\pm$  limites = 2,25). Le scotome est situé à 6 000 Hz, ce qui laisse penser que la différence pourrait être due à l'histoire acoustique des volontaires.

**PRODUITS DE DISTORSION ACOUSTIQUE, APPROCHE DE TYPE « ENTRÉE/SORTIE »**

Seules les données obtenues aux primaires (3 000/3 600 Hz) montrent une différence significative entre les groupes exposés et témoins [ $F(1,366) = 13,04 ; p = 0,001$ ]. On notera que la croissance des amplitudes de PDAs est linéaire en fonction de l'intensité avant de saturer à 61 dB HL, particulièrement au couple de fréquences 5 440/6 528 Hz (figure 2).

**SEUILS DU RÉFLEXE EFFÉRENT**

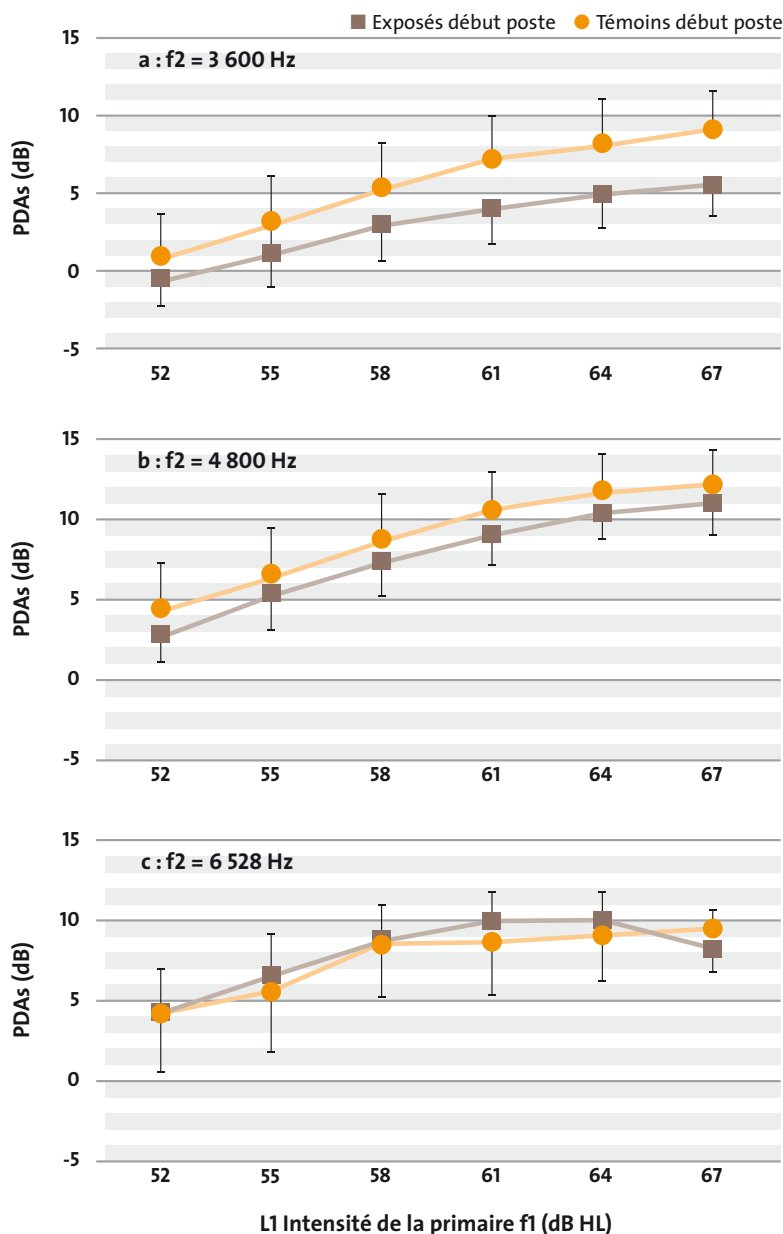
Les valeurs moyennes capables de déclencher le RE sont reportées dans la figure 3. Bien que les seuils du groupe témoin soient plus bas que ceux du groupe exposé, les dif-



← Figure 1

Amplitudes (ordonnées) des seuils mesurés par audiométrie tonale liminaire en fonction des fréquences testées (abscisses).

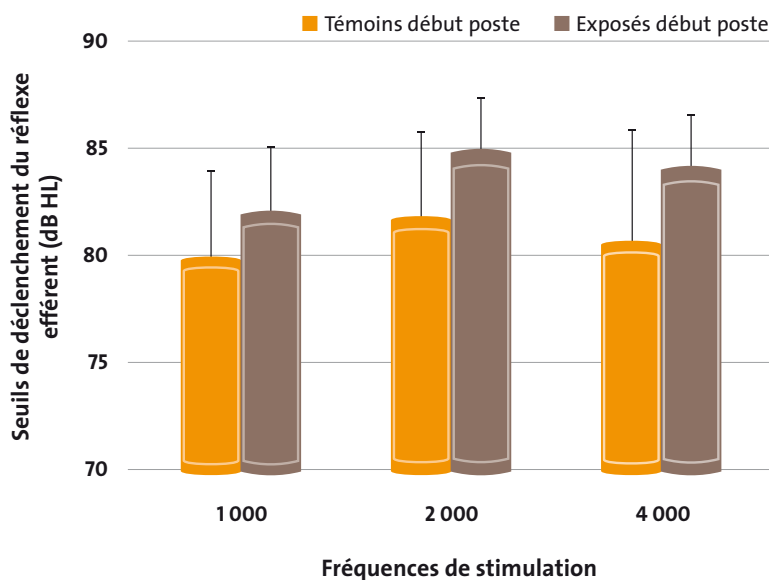
Toutes les mesures ont été réalisées avant la prise de poste. Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95 % (correction de Bonferroni).



← Figure 2

Variations des amplitudes (ordonnées) de produits de distorsion acoustique (PDAs) en fonction de l'intensité des primaires (abscisses).

(a) Courbes des PDAs obtenus à  $f_2 = 3\ 600\ \text{Hz}$  ;  
 (b) à  $f_2 = 4\ 800\ \text{Hz}$  ;  
 (c) à  $f_2 = 6\ 528\ \text{Hz}$ . Toutes les mesures ont été réalisées avant la prise de poste. Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95 % (correction de Bonferroni).



← Figure 3

Seuils de déclenchement du réflexe efférent à 1 000, 2 000 et 4 000 Hz.

Toutes les mesures ont été réalisées avant la prise de poste des salariés testés. Les produits de distorsion acoustique ont été mesurés dans l'oreille ipsilatérale, tandis que le bruit supprimeur a été émis dans l'oreille controlatérale. Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95 % (correction de Bonferroni).

La mesure de la fatigue auditive périphérique par EchoScan Audio

Figure 4 →

Variations des seuils (ordonnées) mesurés par audiométrie tonale liminaire en fonction des fréquences testées (abscisses).

Pour les sujets exposés au bruit ou témoins, les variations de seuils étaient calculées en faisant la différence « après-avant ». Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95 % (correction de Bonferroni).  
\* $p = 0,05$ , \*\* $p = 0,01$ .

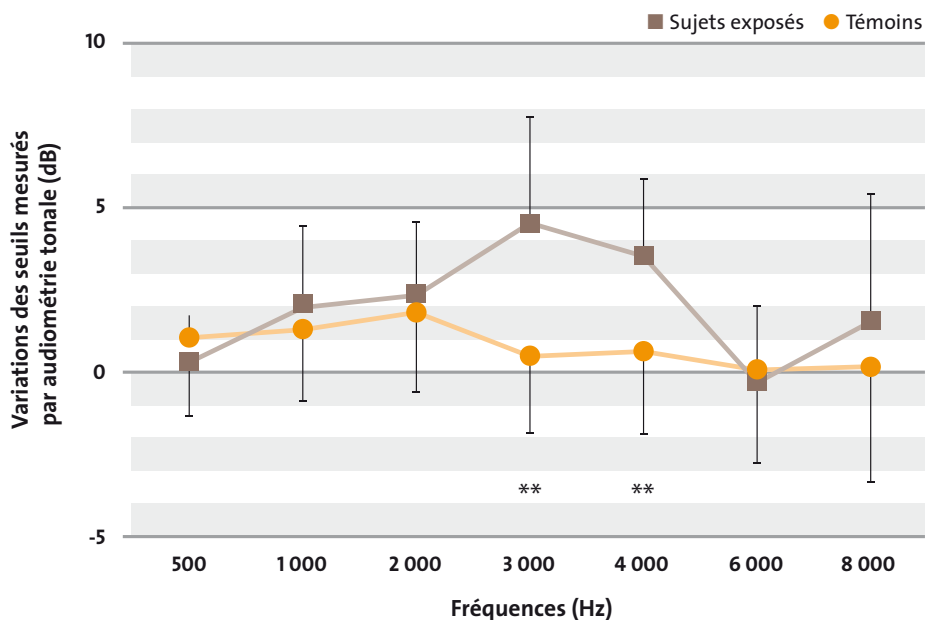
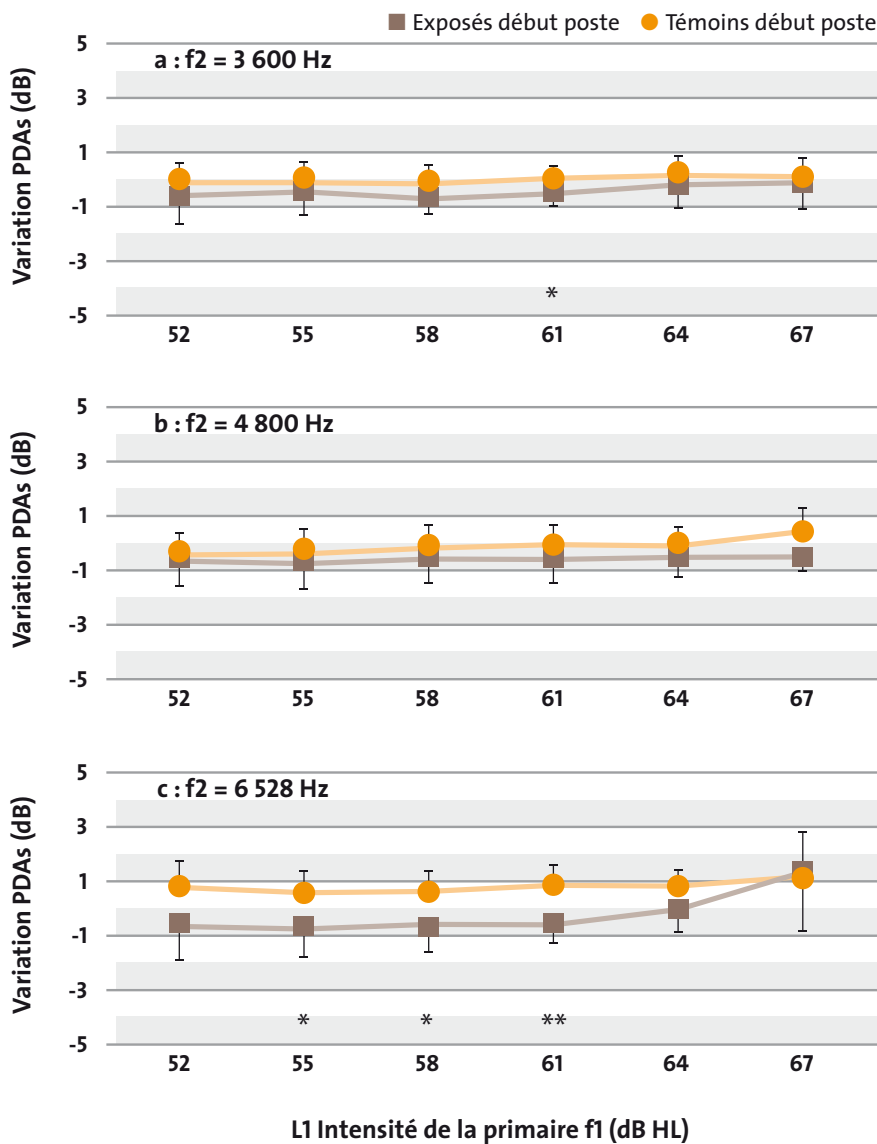


Figure 5 →

Variations des amplitudes (ordonnées) des produits de distorsion acoustique (PDAs) en fonction de l'intensité des primaires (abscisses).

Les variations ont été calculées par la différence des performances « après-avant » d'une journée de travail. Variations des PDAs « entrée/sortie » calculées à  $f_2 = 3\ 600\ \text{Hz}$ ; (b) à  $f_2 = 4\ 800\ \text{Hz}$ ; (c) à  $f_2 = 6\ 528\ \text{Hz}$ . Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95 % (correction de Bonferroni).  
\* $p = 0,05$ , \*\* $p = 0,01$ .



férences ne sont pas significatives [ANOVA :  $F(1,127) = 3,82$  ;  $p = 0,053$ , *post-hoc* de Bonferroni (différence = 2,93 avec  $\pm$  limites = 3,39)].

## FATIGUE AUDITIVE INDUITE PAR UNE JOURNÉE DE TRAVAIL

### VARIATION DE L'AUDIOMÉTRIE TONALE LIMINAIRE AU COURS DU POSTE DE TRAVAIL

Les variations d'amplitudes des seuils auditifs ( $\Delta$ ATL) obtenues après une journée de travail sont reportées dans la *figure 4*. La dose de bruit moyenne des sujets exposés était de :  $L_{EX,8h} = 85$  dB(A). Seules les variations de seuils aux fréquences 3 000 et 4 000 Hz (4,5 et 3,5 dB respectivement) sont significatives à 99 %. Le bruit aux postes de travail des sujets exposés étant de large spectre, il était attendu que les variations maximales de seuil audiométrique se situent aux moyennes fréquences (3 000 et 4 000 Hz).

### VARIATION DES PDAS AU COURS DU POSTE DE TRAVAIL

La différence d'amplitudes des PDAs, obtenue pour des intensités croissantes de primaires, est illustrée dans la *figure 5*. Seules les valeurs mesurées à (5 440/6 528 Hz) sont significativement différentes entre les deux groupes : exposé et témoin. Cette différence de variation d'amplitudes entre exposés et témoins était de 1,28 à 55 dB HL, 1,24 à 58 dB HL, et 1,25 à 61 dB HL. Compte tenu de la saturation des amplitudes de PDAs aux intensités de primaires les plus élevées, la différence n'a pas été statistiquement analysée pour des intensités de primaires supérieures à 61 dB HL. Aux primaires (3 000/3 600 Hz) et (4 000/4 800 Hz), aucune différence significative n'a été trouvée. Les PDAs obtenus au couple de primaires (5 440/6 528 Hz) sont

donc les plus sensibles aux effets du bruit. En se basant sur ces résultats, les PDAs peuvent être considérés comme un outil capable d'analyser le dysfonctionnement cochléaire avec une sensibilité particulière autour de 6 000 Hz.

### VARIATION DU RÉFLEXE EFFÉRENT AU COURS DU POSTE DE TRAVAIL

La *figure 6* montre de grandes différences de variations de seuils entre le groupe exposé au bruit et celui de témoins. Les différences à 2 000 Hz (4,83 dB  $\pm$  1,46 ;  $p = 0,001$ ), 4 000 Hz (5,30 dB  $\pm$  1,69 ;  $p = 0,002$ ), et 1 000 Hz (7,26 dB  $\pm$  1,64 ;  $p = 0,001$ ) sont très significatives. C'est à 1 000 Hz que la variation de seuil est la plus importante pour les sujets

exposés. C'est également à cette fréquence que la spécificité de la variation de seuil du RE est la meilleure, ce qui permet de discriminer les sujets des deux groupes par ce seul indicateur ( $\Delta RE_{1000Hz}$ ).

## DISCUSSION

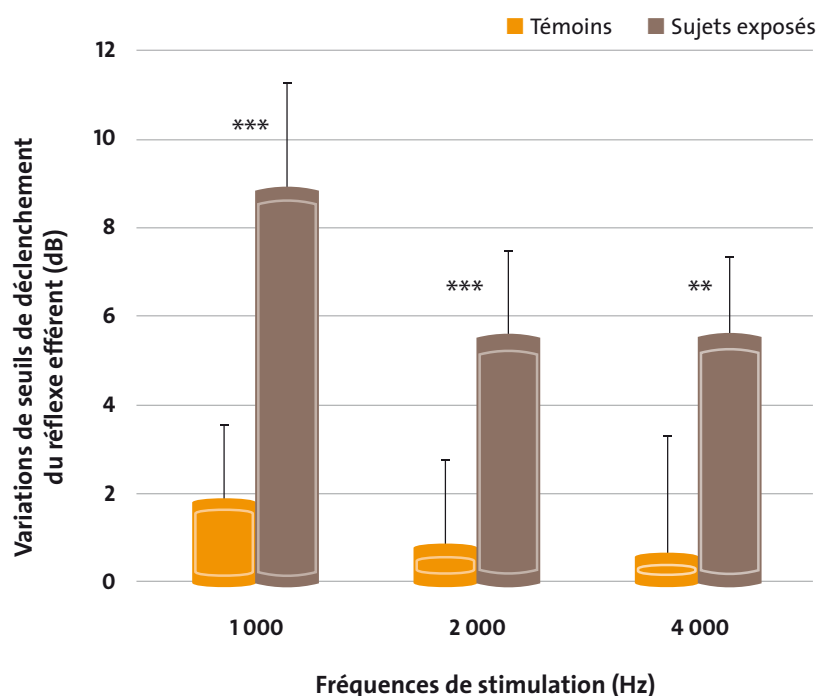
### PERFORMANCES DU RÉCEPTEUR AUDITIF PÉRIPHÉRIQUE DES SALARIÉS AVANT EXPOSITION

Les données provenant du groupe de salariés exposés au bruit et du groupe de témoins montrent que, si l'allure des courbes audiométriques est semblable, les sujets tra-

↓ **Figure 6**

**Variations de seuils de déclenchement du réflexe efférent (ordonnées) à 1 000, 2 000 et 4 000 Hz (abscisses).**

*Les produits de distorsion acoustique ont été mesurés dans l'oreille ipsilatérale, tandis que le bruit supprimeur a été émis dans l'oreille controlatérale. Les différences ont été calculées avec des mesures réalisées « après-avant » une journée de travail. Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95 % (correction de Bonferroni).  $p = 0,05$ ,  $**p = 0,01$ ,  $***p = 0,001$ .*





## La mesure de la fatigue auditive périphérique par EchoScan Audio

vaillant quotidiennement en situation bruyante souffrent d'une perte auditive un peu plus prononcée que celle des témoins dans la gamme de fréquences situées entre 3 000 et 6 000 Hz, avant même de prendre leur poste (*figure 1*). Quelle que soit la fréquence, cet écart reste inférieur à 5 dB pour la moyenne des sujets retenus dans l'étude. Étant donné que les fréquences autour de 4 000 Hz sont les plus sensibles au bruit, il est raisonnable de penser que ces pertes, constatées avant même la prise de poste, seraient le résultat de l'histoire acoustique des salariés. L'anamnèse a révélé que la plupart des sujets, témoins inclus, ont été exposés à un bruit industriel à un moment de leur carrière, d'où leurs pertes autour de 4 000 Hz [15]. Une perte auditive de faible amplitude, plus marquée pour le groupe « exposé », est donc déjà installée dans la population de salariés testés dans cette étude.

Une différence entre les deux groupes a également été constatée par les mesures de PDAs à (3 000/3 600 Hz) (*figure 2*). Cette fois encore, l'histoire acoustique des salariés peut expliquer la différence de performances entre les deux groupes, avant même la prise de poste. Une telle différence n'est pas un écueil en soi, puisque l'étude n'avait pas pour objectif de mesurer la sensibilité au bruit de jeunes sujets normo-entendants, mais plutôt celle d'une cohorte de travailleurs en activité dans différentes entreprises, sans prendre en compte le genre et l'âge des sujets. Aux deux autres couples de primaires (4 000/4 800 Hz et 5 440/6 528 Hz) ainsi que pour les trois fréquences testées pour déterminer le seuil du RE, les faibles écarts entre sujets témoins et exposés ne sont pas statistiquement significatifs.

### PERFORMANCES DU RÉCEPTEUR AUDITIF PÉRIPHÉRIQUE DES SALARIÉS APRÈS UNE JOURNÉE DE TRAVAIL

Bien que des sujets aient été exposés à des bruits industriels dont le  $LEX,8h$  était modéré, 85 dB(A), les PDAs, comme les seuils audiométriques, se sont révélés suffisamment sensibles pour détecter des petites variations d'amplitudes que l'on peut assimiler à de la fatigue auditive. La différence de seuils audiométriques ( $\Delta ATL_{\text{exposé}} - \Delta ATL_{\text{témoin}}$ ) était de 5,97 dB à 3 000 Hz et de 4,96 dB à 4 000 Hz. Ces valeurs sont suffisamment grandes pour atteindre le seuil de significativité de 99 %. Il faut noter que l'absence de fatigue auditive à 6 000 Hz est sans doute le reflet des faibles performances constatées avant même la prise de poste. Ainsi, il semble plus facile de détecter la fatigue auditive chez des sujets ayant une audition préservée et, réciproquement, la fatigue auditive serait difficile à évaluer aux fréquences audiométriques endommagées.

Après une journée de travail, des variations significatives d'amplitude de seuils audiométriques et des PDAs ont été constatées ( $p = 0,01$ ). Cependant, la gamme de fréquences concernée par ces variations était différente en fonction des mesures réalisées : l'ATL s'est révélée sensible à 3 000 et 4 000 Hz (*figure 4*), tandis que l'effet était maximal à 6 528 Hz pour les PDAs (*figure 5*). L'ATL et les mesures de PDAs sont donc complémentaires au sein d'une batterie de tests.

### PERFORMANCE D'AUDITION ÉVALUÉE PAR LES SEUILS DU RE APRÈS UNE JOURNÉE DE TRAVAIL

Les résultats les plus significatifs dans cette étude étaient les varia-

tions des seuils du réflexe efférent ( $\Delta RE$ ) après une exposition au bruit à un  $LEX,8h$  de 85 dB(A) (*figure 6*). Une variation de seuils d'approximativement 9 dB a pu être mesurée, ce qui est considérable par rapport aux 3 dB décelés par ATL. La significativité des  $\Delta RE$  était également très élevée par rapport à celle des  $\Delta ATL$  et  $\Delta PDA$ . Comment expliquer de tels effets sur le  $\Delta RE$  ? L'exposition au bruit d'une journée de travail a provoqué une fatigue qui peut se décliner en fatigue sensorielle (cellules ciliées), neurale (fibres afférentes et efférentes), sans oublier la fatigue musculaire de l'oreille moyenne. L'ensemble de ces fatigues a pu être objectivé en mesurant les seuils du RE. La mesure du seuil du RE est donc particulièrement sensible à la fatigue auditive, contrairement à l'amplitude du RE qui, d'après Müller et Janssen [16], ne semble pas être un bon candidat comme indicateur précoce de la fatigue auditive. D'un point de vue physiologique, la mesure du seuil du RE prend en compte le dysfonctionnement de l'oreille interne, celui des voies afférentes et la fatigue des réflexes de l'oreille interne (réflexe olivocochléaire) et moyenne (réflexe stapédien). Compte tenu de la forme des effets suppressifs enclenchés par la stimulation sonore contralatérale et la fréquence à laquelle ces effets sont observés (max à 1 000 Hz), le réflexe de l'oreille moyenne apporte une lourde contribution aux effets suppressifs mesurés. Quelle que soit la nature des effets mesurés sur le RE, les variations observées sont grandes et significatives : elles varient de 4,82 dB à 2 000 Hz à 7,25 dB à 1 000 Hz. Un modèle de régression logistique, appliqué aux données de  $\Delta RE$ , met en évidence l'excellente discrimination entre les groupes « exposés » et « témoins », particulièrement à 1 000 Hz. En conséquence,



les seuils de déclenchement du RE peuvent aisément être utilisés pour évaluer la fatigue auditive périphérique après une journée de travail. Pour optimiser la rapidité et l'efficacité de ce test, un déclenchement du RE à 1 000 Hz serait à privilégier.

## CONCLUSION

L'audiométrie tonale liminaire est un test subjectif qui reflète le fonctionnement physiologique du récepteur périphérique jusqu'aux centres nerveux auditifs. Elle nécessite de bonnes conditions acoustiques (une cabine audiométrique) et la participation active des sujets testés pour être mise en œuvre. En revanche, les produits de distorsion acoustique reflètent uniquement le fonctionnement de l'organe de Corti. Ce sont des mesures objectives qui nécessitent des conditions acoustiques moins exigeantes que l'audiométrie tonale liminaire.

Les mesures de seuil du réflexe auditif efférent rassemblent beaucoup d'avantages en santé au travail. Cette technique permet des mesures rapides, non invasives, objectives, dans le sens où elles n'exigent pas la participation du sujet, et qui peuvent être réalisées sans l'appui d'une cabine audiométrique. De surcroît, elle est particulièrement sensible à la fatigue auditive périphérique. Pour toutes ces raisons, les médecins du travail pourraient utiliser ces mesures (CAS PDAs) pour surveiller une population de travailleurs à risque.

### Remerciements

Les auteurs remercient B. Rieger, de l'INRS, pour son aide précieuse dans la préparation du manuscrit.

## POINTS À RETENIR

- Une exposition sonore d'un  $L_{EX,8h}$  de 85 dB (A) peut engendrer une fatigue auditive périphérique de 9 dB.
- La fatigue auditive est plus facilement détectable chez des sujets normo-entendants que chez ceux souffrant de pertes auditives.
- EchoScan Audio est plus sensible à la fatigue auditive périphérique que l'audiométrie tonale liminaire.
- L'audiométrie tonale liminaire et EchoScan Audio sont complémentaires dans le suivi des travailleurs à risque.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit). (dix-septième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE). *J Off Union Eur.* 2003 ; L 42, 15 février 2003 : 38-44.
- 2 | NELSON DI, NELSON RY, CONCHA-BARRIENTOS M, FINGERHUT M - The global burden of occupational noise-induced hearing loss. *Am J Ind Med.* 2005 ; 48 (6) : 446-58.
- 3 | JOB A, RAYNAL M, KOSSOWSKI M, STUDLER M ET AL. - Otoacoustic detection of risk of early hearing loss in ears with normal audiograms: a 3-year follow-up study. *Hear Res.* 2009 ; 251 (1-2) : 10-16.
- 4 | CAMPO P - Origine et mécanisme de la baisse de sensibilité auditive centrée sur 4 000 Hz chez l'ouvrier exposé au bruit. *Arch Mal Prof.* 1987 ; 48 (3) : 233-37.
- 5 | SYKA J - Plastic changes in the central auditory system after hearing loss, restoration of function, and during learning. *Physiol Rev.* 2002 ; 82 (3) : 601-36.
- 6 | KALTENBACH JA, ZHANG J - Intense sound-induced plasticity in the dorsal cochlear nucleus of rats: evidence for cholinergic receptor upregulation. *Hear Res.* 2007 ; 226 (1-2) : 232-43.
- 7 | MULDER WH, ROBERTSON D - Development of hyperactivity after acoustic trauma in the guinea pig inferior colliculus. *Hear Res.* 2013 ; 298 : 104-08.
- 8 | AVAN P, BONFILS P - Frequency specificity of human distortion product otoacoustic emissions. *Audiology.* 1993 ; 32 (1) : 12-26.
- 9 | MARSHALL L, LAPSLEY MILLER JA, HELLER LM - Distortion-Product Otoacoustic Emissions as a Screening Tool for Noise-Induced Hearing Loss. *Noise Health.* 2001 ; 3 (12) : 43-60.
- 10 | VENET T, CAMPO P, RUMEAU C, ELUECQUE H ET AL. - EchoScan: a new system to objectively assess peripheral hearing disorders. *Noise Health.* 2012 ; 14 (60) : 253-59.
- 11 | VENET T, RUMEAU C, CAMPO P, RIEGER B ET AL. - Neuronal circuits involved in the middle-ear acoustic reflex. *Toxicol Sci.* 2011 ; 119 (1) : 146-55.
- 12 | WAGNER W, HEPPELMANN G, MÜLLER J, JANSSEN T ET AL. - Olivocochlear reflex effect on human distortion product otoacoustic emissions is largest at frequencies with distinct fine structure dips. *Hear Res.* 2007 ; 223 (1-2) : 83-92.
- 13 | VENET T, CAMPO P, RUMEAU C, THOMAS A ET AL. - One-day measurement to assess the auditory risks encountered by noise-exposed workers. *Int J Audiol.* 2014 ; 53 (10) : 737-44.
- 14 | VENET T, CAMPO P - Évaluation de la fatigue auditive : EchoScan Audio, un nouvel outil. Infos à retenir AC 63. *Ref Santé Trav.* 2014 ; 137 : 8-10.
- 15 | McBRIDE DI, WILLIAMS S - Audiometric notch as a sign of noise induced hearing loss. *Occup Environ Med.* 2001 ; 58 (1) : 46-51.
- 16 | MÜLLER J, JANSSEN T - Impact of occupational noise on pure-tone threshold and distortion product otoacoustic emissions after one workday. *Hear Res.* 2008 ; 246 (1-2) : 9-22.