

Choisir un protecteur individuel contre le bruit à affaiblissement à réponse uniforme

Gwenolé NEXER
g.nexer@hearingprotech.com

Septembre 2011
Mise à jour décembre 2012

L'importance de protéger son audition n'est aujourd'hui plus à démontrer. Malgré cela, combien de personnes se protègent lors d'un concert ? Regardez autour de vous : 3%, 5% ? Un important travail de sensibilisation reste à faire et pas seulement auprès des jeunes.

Participer à un concert, communiquer... avec des protecteurs auditifs classiques sont aujourd'hui une gageure. La distorsion résultante d'un affaiblissement classique nuit à une bonne perception des sons. Le protecteur à réponse uniforme est LA solution qui va permettre une écoute fidèle tout en étant protégé.

Un protecteur auditif à réponse uniforme devra proposer un affaiblissement identique sur chaque bande de fréquence. Cette uniformité permettra une restitution fidèle du son, en diminuant le niveau sonore.

Nombreux sont les produits qui se proposent de répondre aux besoins des utilisateurs en quête d'une protection « naturelle ».

Si quelques fabricants profitent de la méconnaissance de leurs clients pour leur proposer des produits qui ne sont pas plus uniformes qu'un simple bouchon de mousse, de nombreux produits permettent une qualité d'écoute tout à fait correcte et très proche de l'émission de son originale, en limitant le risque d'une perte auditive.

L'objectif de cette étude est de vous donner les clés pour choisir le protecteur qui vous sera le plus adapté en fonction de vos moyens, de votre exposition au bruit et de sa durée.

**Se protéger contre le bruit
E-118.3**



Table des matières

1	LE BRUIT	3
1.1	La dose de bruit	3
1.2	La nature du bruit	3
1.3	Se protéger sans dénaturer le son	4
1.4	L'oreille humaine	4
1.5	Se protéger contre le bruit	6
1.6	Deux grandes familles de protecteurs individuels contre le bruit	7
1.7	La qualité du protecteur	8
1.7.1	Des paramètres de fabrication parfaitement respectés	9
1.7.2	Un protecteur à insertion profonde pour éviter l'effet d'occlusion	9
2	EVALUATION DES PROTECTEURS	11
2.1	Classement des protecteurs individuels contre le bruit selon l'uniformité de l'affaiblissement sur l'ensemble des bandes de fréquences	11
2.2	Analyse des résultats	16
2.3	Quel niveau d'affaiblissement choisir ?	17
2.4	Focus sur trois protecteurs	18
3	CONCLUSION	19
4	BIBLIOGRAPHIE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
5	ANNEXE : COORDONNEES DES FABRICANTS ET DISTRIBUTEURS	21

1 Le bruit

En France, deux personnes sur trois souffrent du bruit. L'anxiété, le stress, l'irritabilité, la fatigue, la baisse de la concentration, la perturbation du sommeil font partie des nombreux effets du bruit sur l'organisme, la perte auditive étant le risque principal.

Les conséquences irréversibles sur l'audition d'une exposition trop importante au bruit peuvent être la perception d'acouphènes (sifflements ou bourdonnements permanents), le traumatisme acoustique (bruit violent) ou le déficit permanent qui est typique d'une exposition prolongée à des intensités sonores trop élevées.

1.1 La dose de bruit

Un risque de perte auditive existe à partir d'une exposition à 80dB(A) pendant huit heures par jour (DIRECTIVE "BRUIT" 2003/10/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN, 2003). Plus le niveau sonore est élevé, plus la durée d'exposition à partir de laquelle un risque existe diminue. Un salarié travaillant sur une machine et exposé à 86dB(A) mettra en danger son audition s'il reste exposé pendant plus de deux heures par jour. Un spectateur, lors d'un concert rock situé près des enceintes acoustiques qui diffusent en moyenne un niveau de 110dB(A), sera lui en danger s'il y reste plus de vingt secondes sans se protéger.

A chaque doublement de la source sonore, le niveau augmente de 3dB (évolution logarithmique), la durée de l'exposition doit, elle, être divisée par deux pour éviter tout risque selon le tableau 1.

Niveau sonore en dB(A)	Durée d'exposition maximale en h.
80	08:00:00
83	04:00:00
86	02:00:00
89	01:00:00
92	00:30:00
95	00:15:00
98	00:07:30
101	00:03:45
104	00:01:22
107	00:00:41
110	00:00:20

Tableau 1 : Correspondance entre le niveau de bruit et l'exposition maximale (en l'absence de toute autre exposition au bruit)

La dose de bruit est la conjonction de deux facteurs que sont le temps d'exposition au bruit et le niveau sonore durant cette exposition.

1.2 La nature du bruit

Les bruits ont différentes natures, ils peuvent être aigus, graves. Ils sont reconnaissables grâce à leur signature sonore. Il est très facile de faire la différence entre le bruit d'une perceuse et celui d'une moto, entre l'aboïement d'un chien et le miaulement d'un chat, il est également aisé de reconnaître la voix d'un enfant, d'un homme, d'une femme, d'un proche...

Notre oreille est stimulée en quasi-permanence de manière consciente et inconsciente par les bruits qui nous entourent.

Chaque bruit est composé de vibrations nommées fréquences qui composent sa signature.

Chaque fréquence a son importance, les personnes souffrant de pertes auditives sur les fréquences aiguës par exemple, rencontrent beaucoup de difficulté à communiquer dès qu'elles sont dans le bruit. Il leur manque une partie du code et la compréhension devient pour elles un décodage permanent très fatigant, les conduisant petit à petit à l'isolement.

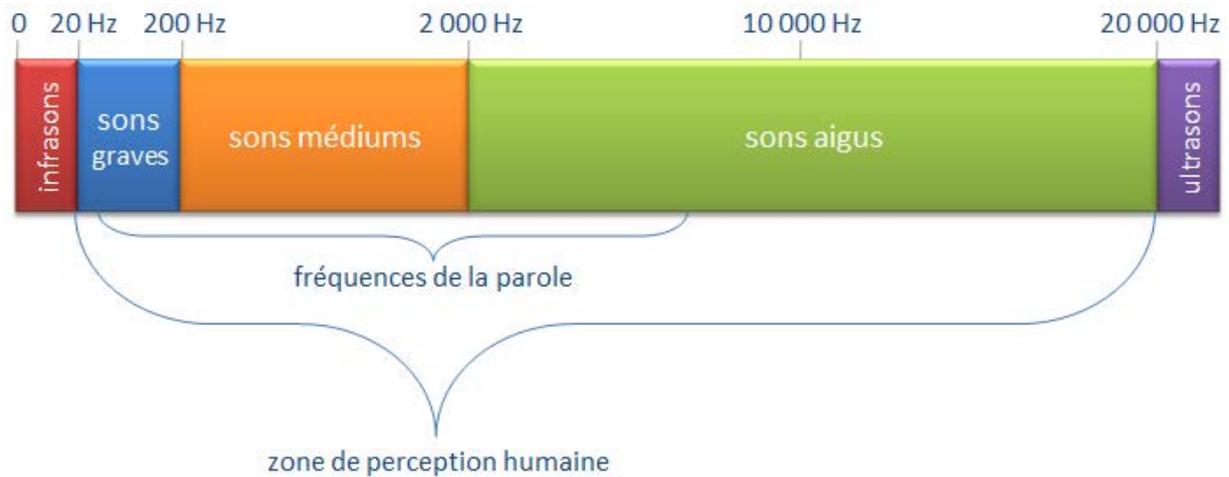


Figure 1 : Zone de perception humaine (20Hz à 20KHz) et zone des fréquences émises par la voix (50Hz à 8KHz).

1.2.1 Perception humaine

En vieillissant, nous subissons une perte progressive de l'audition, cette détérioration nommée presbycousie affecte surtout notre perception dans les fréquences aiguës. Cependant, à l'âge d'une oreille parfaitement intègre (de 0 à 30 ans), la fréquence maximale audible est imprévisible. Certaines personnes ne perçoivent rien au-delà de 8000 Hz, d'autres entendent jusqu'à 24 000 Hz. Il en est de même pour les basses fréquences, la variabilité d'un individu à l'autre allant de 10 Hz à 30 Hz.

1.2.2 Fréquences de la parole

L'ensemble des fréquences vocales varie de 50Hz à 8kHz environ. Les voix masculines et féminines se différencient par la fréquence fondamentale des cordes vocales : environ 130Hz pour les voix masculines et environ 205Hz pour les voix féminines.

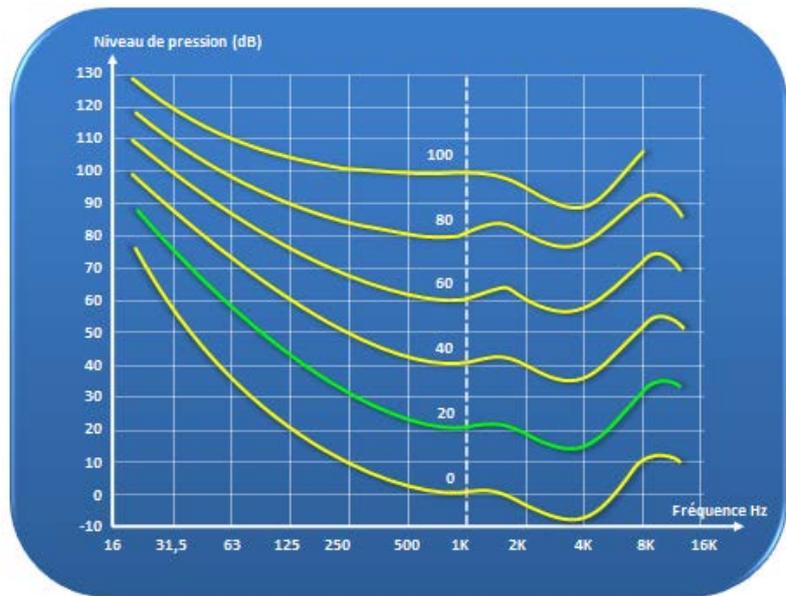
1.3 Se protéger sans dénaturer le son

Il est donc vital, pour préserver notre audition, de se protéger dès que le niveau sonore devient élevé, mais il est également important de pouvoir percevoir les sons sans en tronquer des pans entiers sous peine de ne plus pouvoir les identifier.

1.4 L'oreille humaine

Notre oreille a la particularité d'amplifier naturellement les fréquences aiguës. Ce phénomène est dû à notre oreille externe en forme de cornet qui amplifie les bruits aigus de 10 à 15dB en moyenne.

Nous constatons sur le graphique 1 qu'un son de 1 KHz perçu à 20dB (courbe verte), ne l'est pas à un niveau identique sur toutes les fréquences. Il sera amplifié aux alentours de 3,2Khz et moins bien perçu sur les fréquences graves.



Graphique 1 : courbes isosoniques (selon ISO 226). Mesures de la pression sonore en décibels, en fonction de la fréquence, qu'une personne perçoit comme un son de même niveau.

Lorsque l'on supprime l'amplification naturelle de notre oreille, nous perdons la perception d'une partie des fréquences aiguës que nous avons l'habitude d'entendre.

C'est exactement ce qui se passe lorsque nous portons une protection auditive contre le bruit. Un bouchon placé dans le conduit auditif ou un casque qui coiffe l'oreille supprime immédiatement l'amplification naturelle des fréquences aiguës. Tout devient plus « sourd » plus « grave ». Peu gênante lorsque l'on passe deux heures à travailler avec un marteau piqueur ou à tondre sa pelouse, cette distorsion de notre perception sonore devient vite problématique lorsqu'il s'agit d'écouter un concert, de jouer d'un instrument dans un orchestre symphonique ou tout simplement de communiquer avec ses collègues au travail.

Conséquence de cette déformation du son, le protecteur contre le bruit est enlevé par intermittence, voire non porté, induisant un risque de perte auditive.

Nombreux sont les musiciens ayant une perte importante de l'audition ou souffrant d'acouphènes suite à des expositions trop importantes au bruit : Neil Young, Barbra Streisand, Pete Townshend (The Who), John Entwistle (The Who), Brian Wilson (Beach Boys), Sting, Eric Clapton, The Edge (U2), Phil Collins, Ludwig Van Beethoven, Robert Schumann...

"Ne serait-ce qu'à cause de mes oreilles qui sifflent et bourdonnent jour et nuit, je puis dire que ma vie est un calvaire." Ludwig Van Beethoven

1.5 Se protéger contre le bruit

Il est impératif de se protéger du bruit. Des réglementations existent pour protéger le salarié pour lequel l'employeur est tenu de mettre à disposition des protecteurs auditifs à partir de 80dB(A) d'exposition pendant 8 heures par jour. L'employeur est même tenu de s'assurer que son salarié se protège efficacement dès 85dB(A) (DIRECTIVE "BRUIT" 2003/10/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN, 2003).

Si tous les protecteurs doivent être certifiés CE, il conviendra d'être particulièrement vigilant dans le cas où les protecteurs sont utilisés dans le milieu du travail, il est impératif que le protecteur sélectionné soit certifié par un organisme de type CRITT (France), IFA (Allemagne), TNO (Pays Bas), INSPEC (Grande Bretagne)...

Un protecteur pourra parfaitement être certifié en Allemagne et commercialisé en France, l'important est qu'il le soit dans la communauté européenne suivant la norme EN352-2.

Pour obtenir cette certification, le protecteur devra répondre à des critères de types résistance aux chocs, chaleur, affaiblissement minimal...

Fréquences en Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
APV* en dB	5	8	10	12	12	12	12

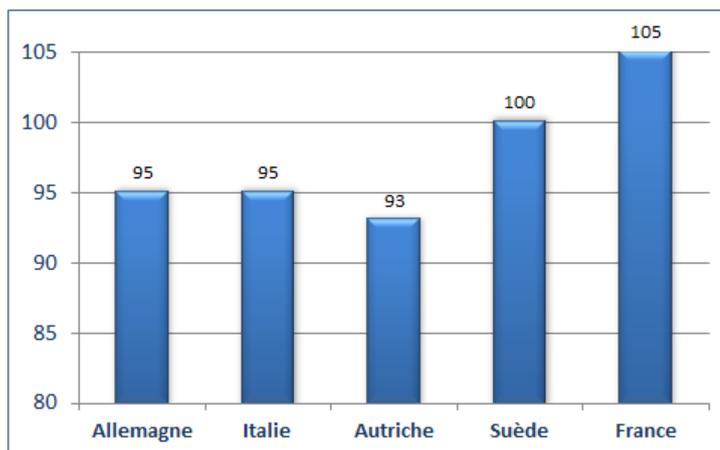
Tableau 2 : Exigences requises par la norme EN352-2 en matière d'affaiblissement minimal par fréquences.

*APV : « Assumed Protection Value » moyenne des atténuations sur chaque fréquence à laquelle est retranchée l'écart-type.

Il est également important de vérifier que le fabricant du protecteur possède bien une certification à son nom. C'est le seul moyen de s'assurer que le protecteur commercialisé est fabriqué selon le même process que celui qui a été certifié.

En dehors du monde du travail peu d'actions sont mises en place pour prévenir les risques de surexposition au bruit.

La réglementation impose une limite dans les salles de concert et discothèques fermées, mais il est assez fréquent qu'un concert en plein air génère des niveaux sonores pouvant atteindre 120 voir 140dB à proximité des enceintes acoustiques.



Graphique 2: réglementation des limites à ne pas dépasser dans les salles de concert et discothèques de différents pays

Concernant les baladeurs, le Comité Scientifique des Risques Sanitaires Emergents et Nouveaux (Csrssen) estimait entre 50 et 100 millions le nombre de citoyens des 27 pays de l'Union Européenne qui écoutent quotidiennement de la musique sur baladeur, et identifiait parmi eux entre 2 et 10 millions de sujets à risques.

« Les propriétaires de baladeurs risquent des pertes auditives irréversibles s'ils règlent le son trop fort et se servent de l'appareil pendant plus d'une heure par jour toutes les semaines pendant au moins 5 ans », avait prévenu le Csrssen.

En 2012, en Europe, les baladeurs numériques sont en théorie limités à 100dB, mais il n'est pas difficile de trouver un lecteur mp3 dont le niveau sonore atteint les 120dB, les Etats-Unis n'ont pas de limite imposée. Les forums Internet regorgent de conseils pour faire « sauter » la limitation de l'iPhone par exemple.

Sachant que l'exposition à une intensité sonore de 100dB(A) sur une durée supérieure à cinq minutes est préjudiciable pour l'audition, on imagine aisément les conséquences d'une écoute pendant plusieurs heures par jour d'un lecteur mp3 à un niveau sonore de 110dB.

1.6 Deux grandes familles de protecteurs individuels contre le bruit

1 - **Les serre-têtes avec coquilles** qui viennent coiffer l'oreille.

2 - **Les bouchons** qui s'insèrent dans l'oreille et regroupent trois catégories :

a - **les bouchons standards à façonner** par l'utilisateur, réalisés en mousse ils doivent être mis en forme pour en diminuer le diamètre avant insertion dans le conduit auditif.

b - **les bouchons standards préformés**, qui sont en général réalisés en silicone ou en élastomère avec des ailettes, leur insertion dans le conduit auditif est réalisée directement sans mise en forme.

c - **les bouchons sur mesure**, réalisés à partir d'une empreinte de l'oreille du futur porteur, ils sont fabriqués en silicone ou en résine acrylate.

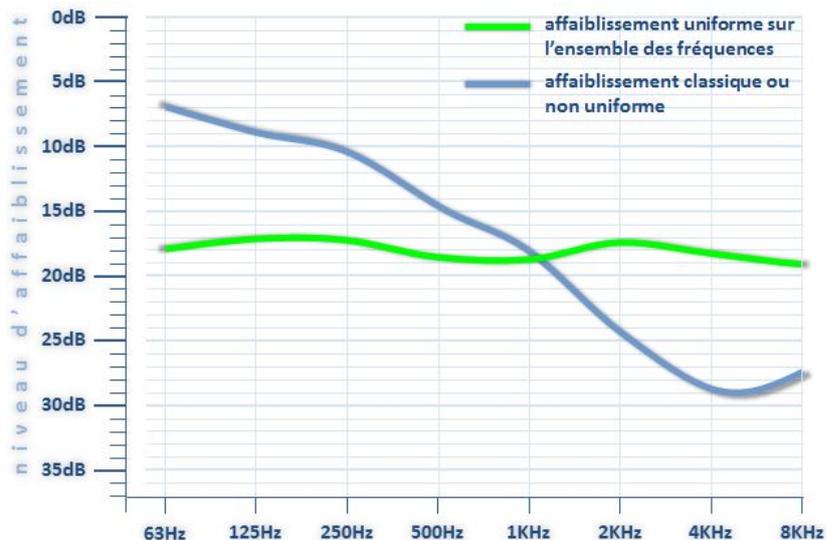
Chaque type de protecteur a ses avantages : le coût pour certains (utilisations occasionnelles), l'efficacité, le confort... pour d'autres. La grande majorité d'entre eux a un affaiblissement que nous qualifierons de « classique » par opposition aux protecteurs dotés d'un affaiblissement à « réponse uniforme ».

2 La protection auditive à réponse uniforme

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 1.4, le fait de fermer l'oreille par un protecteur supprime son amplification naturelle sur les hautes fréquences, ce qui génère directement un affaiblissement important sur ces mêmes fréquences. L'affaiblissement étant moindre sur les moyennes et basses fréquences, l'affaiblissement n'est pas plat. Une distorsion dans la perception existe et elle peut être relativement importante. Pour l'identification de ce type d'affaiblissement dans cette étude, nous leur donnerons la dénomination d'affaiblissement « classique » ou « non uniforme ».

Certaines activités nécessitent à la fois le port d'un protecteur auditif contre le bruit et une restitution fidèle de l'environnement sonore.

C'est pour répondre à ce besoin qu'Elmer Carlson ingénieur chez Knowles a inventé dans les années 1970 un filtre à réponse uniforme. Aujourd'hui connu sous le nom « ER15 », il est développé et commercialisé par la société Etymotic Research. Les filtres ER (pour Etymotic Research) sont aujourd'hui commercialisés et utilisés dans le monde entier.



Graphique 3 : courbes d'affaiblissement de deux protecteurs ayant tous deux le même niveau global d'affaiblissement (SNR). On constate que dans le cas d'une protection « classique » représentée par la courbe bleue des écarts allant jusqu'à 20dB existent entre les basses fréquences et les hautes fréquences. Une bonne protection à réponse uniforme n'a en théorie que très peu de variations sur l'affaiblissement de chacune des fréquences. C'est cette uniformité qui permet une bonne restitution sonore sans distorsion du son.

2.1 La qualité du protecteur

Deux éléments essentiels composent le protecteur :

1 – l'enveloppe (le protecteur sans le filtre), réalisée en silicone, en élastomère ou en résine acrylate. Il est primordial qu'elle soit d'excellente qualité. Les protecteurs sur mesure sont dans ce cas, nous le verrons un peu plus loin dans le comparatif, nettement avantageux.

2 – le filtre qui est l'élément le plus important de la protection pour obtenir un affaiblissement plat sur toutes les bandes de fréquences.

Les filtres des protecteurs à affaiblissement dit « classique », lorsqu'ils en sont équipés, laissent passer l'air. Cette fuite acoustique volontairement générée et maîtrisée par une équation longueur/diamètre du perçage dans le filtre permet d'obtenir différentes intensités d'affaiblissement global.

La fuite acoustique ainsi générée a pour effet une perte immédiate de l'affaiblissement dans les basses fréquences, sans pour autant pénaliser les hautes fréquences, cela augmente encore les écarts d'affaiblissement entre les fréquences.

Pour obtenir un affaiblissement uniforme sur l'ensemble des fréquences, il est nécessaire de ne pas générer de fuite acoustique, cela permet alors un affaiblissement correct sur les basses fréquences. L'affaiblissement trop important sur les hautes fréquences, résultat de l'obturation de notre conduit (voir chapitre 1.4) doit être limité pour le ramener au niveau des basses fréquences. Le filtre est composé d'une membrane qui assure l'étanchéité et qui

entre en vibration sur les hautes fréquences (2700Hz), les amplifiant suffisamment pour obtenir un ensemble cohérent entre basses et hautes fréquences.

2.1.1 Des paramètres de fabrication parfaitement respectés

Des contraintes de fabrication importantes pour les filtres d'ancienne génération

Le diamètre et la longueur du perçage entre le filtre et l'extrémité de la protection (côté tympan) doivent être scrupuleusement respectés, c'est grâce à ce paramètre que la membrane vibrera ou non pour produire une ré-amplification des hautes fréquences. Il doit dans certain cas être très large (c'est le cas pour le filtre ER), d'où la difficulté de fabrication sur des personnes ayant des conduits auditifs petits et fins. Les personnes ayant des conduits auditifs étroits (< 5 millimètres) sont nombreuses et il n'est pas certain que ce type de protecteur leurs soit refusé sous prétexte que leurs conduits soient trop petits, on peut donc supposer que les affaiblissements de leurs protecteurs ne correspondent pas toujours aux valeurs affichées par les fournisseurs.

Les nouvelles générations de filtres

De nouveaux filtres permettent de diminuer ces contraintes et de s'adapter de ce fait à un nombre plus important de morphologies d'oreilles. C'est le cas des filtres PRO d'ACS et FT de Cotral.

Des process de fabrication innovants

De nouveaux procédés de fabrication numérique (modélisation 3D, fabrication additive) permettent la réalisation de protecteurs sur mesure en assurant une maîtrise dimensionnelle totale du produit fabriqué. Ces nouvelles technologies contribuent de par leur précision à une fiabilité sans faille et à un résultat en adéquation avec les valeurs affichées par le fabricant.

La généralisation de ces technologies, même si le ticket d'entrée reste élevé, permettra d'ici quelques années à la majorité des acteurs du marché de produire leurs protecteurs avec ce niveau de fiabilité. Ce process utilise des résines acrylates, le protecteur est donc réalisé dans un matériau dur alors que la grande majorité est fabriquée en silicone souple. Cela ne semble pas poser de problème de confort, et apporte une résistance, une longévité plus importante du protecteur.

2.1.2 Un protecteur à insertion profonde pour éviter l'effet d'occlusion

Le fait de parler, de mastiquer, produit des mouvements dans la partie fibrocartilagineuse de notre oreille externe. Le son est transmis par cette partie fibrocartilagineuse à l'intérieur du conduit auditif et s'échappe naturellement à l'extérieur de l'oreille (figure 2, vue 1).

La mise en place d'un bouchon dans le conduit va piéger les sons en les renvoyant vers le tympan (figure 2, vue 2).

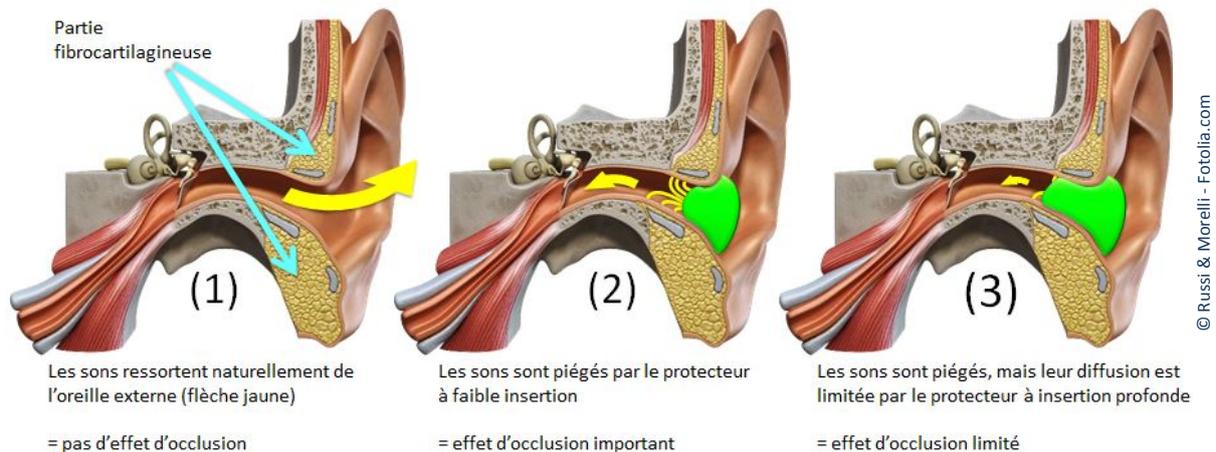


Figure 2 : l'effet d'occlusion est provoqué par la fermeture du conduit auditif, les parties fibrocartilagineuses (en orange) transmettent notre propre voix à l'intérieur du conduit auditif (vue 1), le fait de le fermer empêche les ondes sonores de sortir et les renvoient vers le tympan (vue 2) ce qui a pour effet de les amplifier. Cette résonance est désagréable et difficile à supporter. La solution est de porter un protecteur à insertion profonde qui recouvre les parties fibrocartilagineuses, bloquant ainsi leur émission vers le conduit auditif (vue 3).

Ces sons « sourds » sont amplifiés d'environ 20dB sur les basses fréquences jusqu'à 500Hz, pour décroître et devenir nuls à 1700Hz. Cette amplification correspond à ce que le sujet va entendre « en plus » de sa propre voix, il est difficile de s'habituer à cette résonance gênante. Le positionnement de la protection dans le conduit joue un rôle majeur sur l'effet d'occlusion. La profondeur d'insertion du protecteur influe donc considérablement. Plus elle est courte, plus la partie fibrocartilagineuse laissée libre générera des vibrations.

A l'inverse une insertion profonde évite cet inconvénient. Les protecteurs sur mesure sont donc à privilégier pour éviter ce phénomène (Berger, 1983).



Figure 3 : prise d'empreinte nécessaire à la réalisation d'un protecteur sur mesure

Les personnes qui choisissent un protecteur à réponse uniforme pour communiquer (parler) ou chanter (groupe, chorale...) devront être particulièrement vigilantes sur ce point lors de leur choix.

3 Evaluation des protecteurs

3.1 Classement des protecteurs individuels contre le bruit selon l'uniformité de l'affaiblissement sur l'ensemble des bandes de fréquences

Les tableaux 4 et 5 présentent le classement des protecteurs selon leur niveau d'uniformité qui a été évalué selon la méthode dite de l'écart-type appliqué aux huit fréquences de 63Hz à 8KHz.

Nous considérons que plus l'écart-type entre les fréquences est faible (proche de 0) meilleure est l'uniformité, donc meilleure est la perception de l'environnement.

Précisions sur les différentes colonnes composant ces tableaux :

1. **Modèles** : nom du produit.
2. **Commercialisé par** : nom du distributeur qui peut également être le fabricant
3. **Fabriqué par** : nom du fabricant
4. **Norme CE** : Les protecteurs ont été identifiés selon 3 cas :
 - 1 - le protecteur a été analysé par un organisme certificateur, il répond aux spécifications de la norme CE EN352-2 et a obtenu le label « CE », il est noté « CE » dans le tableau comparatif
 - 2 - aucune information n'est disponible sur une éventuelle certification « CE », il n'est pas possible de connaître la méthode utilisée pour mesurer l'affaiblissement du protecteur. Dans le cas où les niveaux d'affaiblissement satisfont aux minima requis par la norme, le protecteur est noté « ? ».
 - 3 - le protecteur ne répond pas aux minima d'affaiblissement requis par l'EN352-2, il est noté « ~~CE~~ ». Il est à souligner que ce protecteur pourra tout à fait être utilisé dans des environnements dans lesquels le niveau sonore est inférieur à 85dB(A), sans risque pour son porteur.
5. **Tarifs** : Les tarifs sont donnés à titre indicatif pour une paire de protecteurs, certains produits peuvent être commercialisés par différentes sociétés, leur tarif pourra donc varier. Les tarifs des sociétés implantées à l'étranger ont été convertis en euros avec les parités suivantes :
Euro / dollars : 1 € = 1,37 \$
Euro / Livre Sterling : 1 € = 0,87 £
Tous les tarifs sont exprimés toutes taxes comprises.
6. **Fréquences de 63Hz à 8000Hz** : L'affaiblissement est mesuré pour chaque fréquence en décibels. Ce sont ces valeurs qui vont à la fois déterminer l'uniformité de l'affaiblissement ainsi que son niveau d'affaiblissement global (SNR). Ces valeurs ont été

soit mesurées en laboratoire lors de la certification, soit mesurées par le fabricant sans qu'en soient expliquées ni la méthode, ni les conditions.

7. **Valeur SNR** : indice global d'affaiblissement (Single Number Rating), calculé selon la norme EN4869-2, c'est une moyenne pondérée de l'affaiblissement sur toutes les fréquences mesurées. Le choix du niveau d'affaiblissement (SNR) devra être fait en tenant compte de l'intensité des niveaux sonores dans lesquels le protecteur sera utilisé.

8. **Valeur HML** : Les valeurs HML, calculées selon la norme EN4869-2, donnent une moyenne de l'affaiblissement sur les fréquences hautes (High), moyennes (Medium) et basses (Low).

9. **L'écart-type** : représenté par la lettre Sigma « σ », il est calculé selon la méthode suivante : $\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}}$ dans laquelle « x » est la moyenne de l'échantillon et « n » la taille de l'échantillon.

La colonne représentée par la lettre « σ » représente l'écart existant entre les différents affaiblissements mesurés sur les fréquences comprises entre 63Hz et 8KHz (certains protecteurs ne communiquent pas l'affaiblissement sur la fréquence 63 Hz qui est optionnelle). Plus la valeur « σ » est faible (proche de 0) plus l'affaiblissement sera considéré comme étant uniforme et donc meilleur sera le protecteur dans sa réponse.

10. **Note** : la note donne une vision rapide sur la qualité de l'affaiblissement du protecteur, les notes ont été affectées selon la règle suivante :

11. **Ecart max** : représente l'écart entre l'affaiblissement le plus élevé et l'affaiblissement le plus faible mesurés sur deux fréquences. Les écarts vont de 3,50 à plus de 30dB !

σ	Note	Appréciation
[0,50 ; 0,99]	*****	Excellent
[1,00 ; 1,49]	****	Très bon
[1,50 ; 1,99]	***	Bon
[2,00 ; 2,99]	**	Assez bon
[3,00 ; 3,99]	*	Moyen
[4,00 ; 4,99]	■	Médiocre
[5,00 ; 5,99]	■■	Mauvais
> 6,00	■■■	Très mauvais

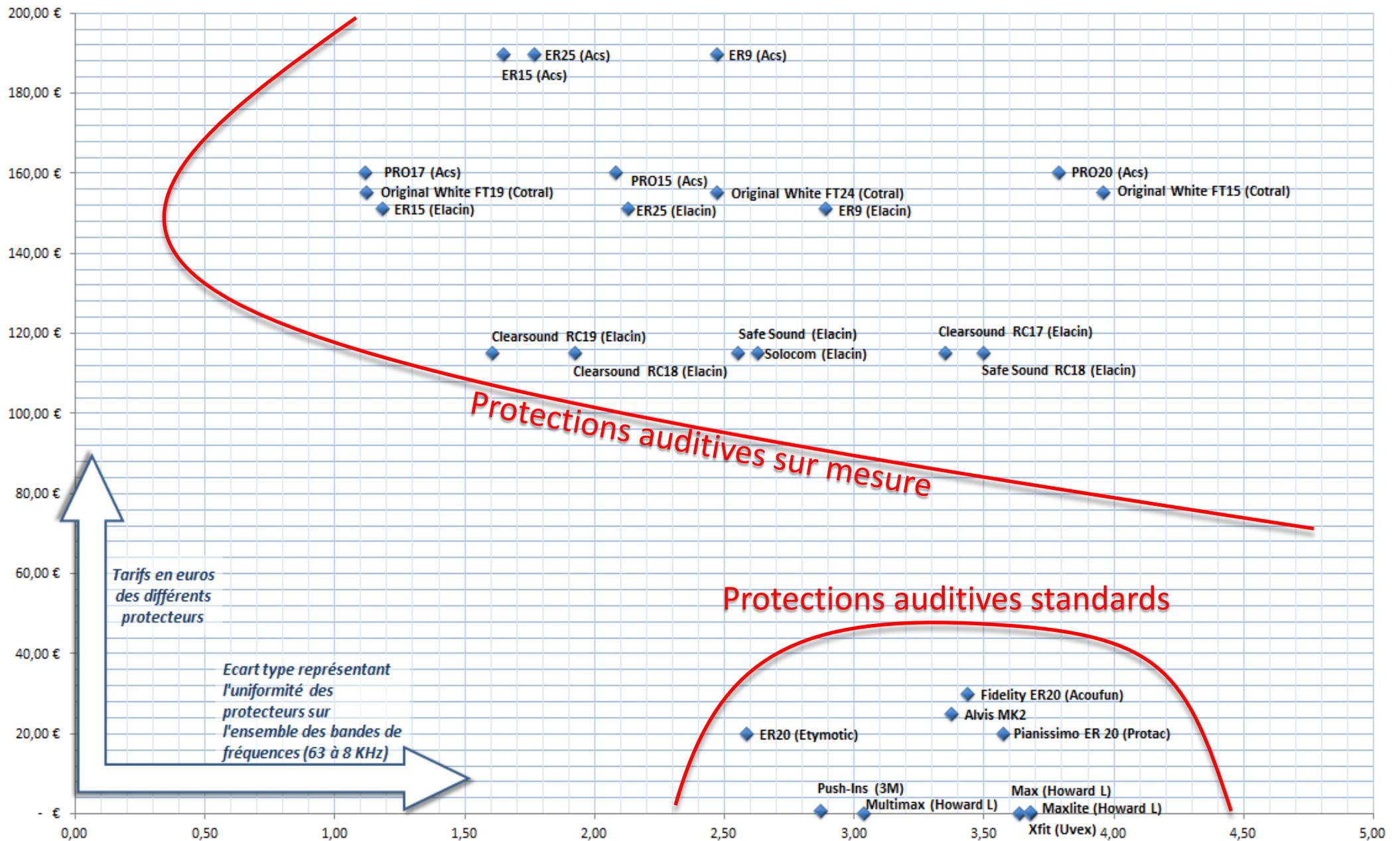
Tableau A3 : critères déterminant les notes des tableaux A1 et A2

Produit : protecteurs standards préformés					Affaiblissement en Hz								Moyenne				Evaluation			
	Modèles	Commercialisé par	Fabriqué par	CE	Tarifs €	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	SNR	H	M	L	σ	Notes	Ecart MAX
1	ER20	Etymotic Research	Etymotic Research	?	20,00 €		10,7	13	14,5	15,2	18	16,3	18,7	18	17	16	13	2,59	**	8,00
2	Push-Ins	3M	3M	?	0,61 €	29,8	31,3	32,2	35,7	34,9	36,8	38,1	37,4	38	37	36	34	2,87	**	8,30
3	MultiMax	Howard Leight	Howard Leight	?	0,11 €	27,8	30,1	31,1	33	31,1	32	37,3	36,8	35	33	32	32	3,04	*	9,50
4	ALVIS Mk2	Alvis Audio	Alvis Audio	?	24,90 €	25,6	28	27,1	27,5	28,3	28,9	28,9	37,5	31	29	29	29	3,38	*	11,90
5	Fidelity ER20	Acoufun	Etymotic Research	?	29,90 €		14,5	15,3	16,9	18,9	22,5	19,8	24,6	21	21	19	16	3,43	*	10,10
7	Pianissimo S20	Protac	Protac/Etymotic	?	20,00 €		10,7	12,5	14,4	15,9	19,1	17	22	18	18	16	13	3,58	*	11,30
8	Max	Howard Leight	Howard Leight	?	0,07 €	31,6	32,6	33,1	35,1	34,7	33,9	43,8	37,6	37	36	35	34	3,64	*	12,20
9	Max Lite	Howard Leight	Howard Leight	?	0,07 €		29,2	29,6	32,4	31,3	30,1	38,1	38,6	34	32	32	31	3,68	*	9,40
10	X-Fit	Uvex	Uvex	?	0,40 €	31,1	32,1	34	35,3	33,4	33,5	42	40,5	37	36	34	34	3,68	*	10,90
11	Ultratech	3M	3M	?	22,99 €	11	12,3	14,5	16,4	18,3	23,3	18,3	22,3	21	18	18	16	4,12	■	12,30
12	Ultrafit X	3M	3M	?	1,70 €	28,4	29	27,5	30,1	32,5	32,7	38,4	39,2	35	35	32	30	4,17	■	11,70
13	whisper	Uvex	Uvex	?	1,99 €	20,5	20,8	20,2	21	23,7	27,8	26,1	32,8	27	27	24	22	4,22	■	12,60
14	MusicSafe Pro Silver	Audilo	Alpine	?	24,00 €		14,8	15,8	15,7	18,7	26,6	24,4	18,9	21	23	19	15	4,23	■	11,80
15	PartyPlug	Auditive.fr	Alpine	?	13,00 €		14,8	15	15,7	18,7	26,6	24,4	18,9	21	23	19	15	4,33	■	11,80
16	Earpad Universel	Earsonic	Earsonic	?	24,00 €	5,3	6,9	8,1	10,1	12,1	18,1	17,8	13,4	15	16	12	10	4,48	■	12,80
17	MusicSafe Pro Gold	Audilo	Alpine	?	24,00 €		18,8	15,6	16	18,5	27,7	28,9	22	22	25	19	16	4,98	■	13,30
18	MusicSafe Pro Blanc	Audilo	Alpine	?	24,00 €		10,2	11,2	14,3	17,9	24	23,4	18	20	22	17	13	5,06	■ ■	13,80
19	QuietEar	Ear Plug Superstore	HearTech	CE	5,95 €		5,1	6,3	9,9	11,6	17	27,2	28,9	16	18	12	9	8,92	■ ■ ■	23,80

Tableau 3: Classement des protecteurs individuels contre le bruit de type bouchon standard préformé, selon l'uniformité de l'affaiblissement sur l'ensemble des bandes de fréquences.

Produits : protecteurs sur mesure					Affaiblissement									Moyenne				Evaluation		
	Modèles	Commercialisés par	Fabriqués par	CE	Tarifs €	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	SNR	H	M	L	σ	Notes	Ecart MAX
1	PRO17	ACS	ACS	CE	160,14 €		17,9	17,9	15,9	15,8	14,7	17,4	16,5	17	16	16	16	1,12	*****	3,20
2	Original White FT19	Cotral	Cotral	CE	155,00 €	19,1	19,6	17,3	18,7	18,6	16	17,9	19,3	19	17	18	18	1,12	*****	3,60
3	ER15	Elacin	Elacin /Etymotic	CE	151,00 €		13,7	14,6	15,2	13,7	14,7	13	16,9	16	14	14	14	1,18	*****	3,90
4	Clearsound RC19	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		19	19,2	19,7	20	19,4	16,4	22,3	20	18	19	19	1,61	***	5,90
5	ER15	Acs	ACS	CE	189,52 €		15,7	14,7	12,7	13	12,5	12,3	16,8	15	13	13	13	1,65	***	4,50
6	ER25	Acs	ACS	CE	189,52 €		22,3	22	20	20	20	20	25	22	20	20	18	1,77	***	5,00
7	Clearsound RC18	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		14,4	16	17,8	18,3	19,1	18,6	14	19	17	18	17	1,93	***	5,10
8	PRO15	Acs	ACS	CE	160,14 €		11,1	11,6	11,9	12,2	12,7	15,3	17,2	15	14	13	12	2,08	**	6,10
9	ER25	Elacin	Elacin /Etymotic	CE	153,00 €		17,9	19,5	22,5	20,7	21,1	25,2	20,9	23	22	21	21	2,13	**	7,30
10	Original White FT24	Cotral	Cotral	CE	155,00 €	18,3	19,4	19,6	22,5	23,8	22	20,1	26,2	24	22	22	21	2,47	**	7,90
11	ER9	Acs	Acs	CE	189,52 €		12	11,6	9,2	9,2	6,7	8	14,5	10	8	9	9	2,47	**	7,80
12	Safe Sound RC19	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		19,4	20,9	21,4	20,8	15,6	23,5	23,8	21	18	19	20	2,55	**	8,20
13	Solocom	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		20,5	19,4	21,1	20,2	26,7	25,6	23,1	24	25	22	21	2,63	**	7,30
14	FlexComfort ML1	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		26,1	24,2	23,5	25,4	28,5	32,6	25,8	28	28	26	25	2,86	**	9,10
15	ER9	Elacin	Elacin /Etymotic	CE	150,00 €		10,4	9,4	5,8	6,8	10,3	9,2	15,5	10	10	8	7	2,89	**	9,70
16	Clearsound RC17	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		9,5	12	16,7	16,7	20,6	16,4	14,3	18	17	17	14	3,35	*	11,10
17	Safe Sound RC18	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		16,3	18,3	17,4	18	15,8	22,1	26,4	20	18	18	18	3,50	*	10,60
18	PRO20	Acs	Acs	CE	160,14 €		13	14	17	17	21	20,5	24,5	20	21	18	17	3,79	*	11,50
19	Original White FT15	Cotral	Cotral	CE	155,00 €	9,2	8,5	9,5	10,3	12,1	14,9	17,3	20	15	16	12	11	3,96	*	11,50
20	FlexComfort MM02	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		18,9	21,8	20,8	24,6	26,8	31,8	25,9	27	27	24	22	4,01	■	12,90
21	Phonor Select	Infield Safety	Infield Safety	CE	196,74 €		21,2	19,8	21,7	22,9	29,3	26,5	31,4	27	28	24	22	4,10	■	11,60
22	Clearsound RC15	Elacin	Elacin	CE	115,00 €		7,3	9,6	13,7	14,4	19,7	19,6	12,3	17	17	15	12	4,33	■	12,40
23	High-fit flex LS27	Uvex	Uvex	CE		16	18,9	21,3	23,6	23,6	27,2	30,9	25,1	27	27	25	23	4,37	■	14,90
24	LD 24	Jrenum	Jrenum	CE		25,2	27,3	25,2	28,6	29	33,7	37,6	35,2	33	34	30	28	4,39	■	12,40
25	PRO27	Acs	Acs	CE	160,14 €		21,8	21,9	22,9	22,5	24,8	31,9	33,7	27	27	24	23	4,64	■	11,90
26	Moderato25	Auditech	Auditech	CE	110,00 €	15,2	18,9	18,9	21,5	21,1	29	27,1	30,1	26	27	23	21	5,04	■ ■	14,90
27	Tuttissimo RC13	Protac	Protac/Elcea	CE			4,1	6,7	10,8	12,8	18,1	19,3	12,8	15	16	13	9	5,12	■ ■	15,20
28	Serenity XC92WH	Phonak	Phonak	CE			18,5	20,4	22,2	30,2	33,6	31,6	27,2	29	31	27	22	5,48	■ ■	15,10
29	Muzik EP2	Surdifuse	Surdifuse	CE	150,00 €	24	27	26	30	32	34	41	40	30	33	28	19	5,89	■ ■	17,00
30	Moderato15	Auditech	Auditech	CE	110,00 €	6,5	7,1	10,3	14,6	17,5	23,2	20,5	23,6	20	22	17	12	6,45	■ ■ ■	17,10

Tableau 4 : Classement des protecteurs individuels contre le bruit de type bouchon sur mesure, selon l'uniformité de l'affaiblissement sur l'ensemble des bandes de fréquences.



Graphique 4 : positionnement des protecteurs en fonction de leur écart-type (σ) et de leur prix de vente. Pour plus de clarté, seuls les protecteurs ayant un écart-type inférieur à 6 y sont représentés

3.2 Analyse des résultats

Trois modèles dans un mouchoir de poche

Trois protecteurs finissent sur le podium avec des résultats très proches.

Le modèle PRO17 d'ACS termine exæquo avec L'Original White FT19 de Cotral suivie de très près par l'ER15 d'Elacin avec respectivement des écarts types de 1,12 et 1,18.

Pas de protecteur 5 étoiles

Aucun protecteur ne propose un affaiblissement totalement uniforme (écart type < 1) lui permettant d'obtenir 5 étoiles.

Les protecteurs sur mesure sont plus performants que les modèles standards

Les douze meilleurs protecteurs sont des modèles sur mesure, cette technologie, même si elle est d'un coût nettement plus élevé, apporte des résultats plus uniformes comparée aux modèles standards. On constate également que les protecteurs standards sont le plus souvent de type « fermé », ils ne disposent d'aucun filtre et obtiennent leurs bons résultats sur l'uniformité grâce à cette étanchéité, ils sont caractérisés par un très faible coût au détriment d'affaiblissements très élevés rarement adaptés à l'écoute de la musique ou de la parole. Seul le modèle ER20 développé par Etymotic et commercialisé sous les noms d'ER20 ou de S20 offre un bouchon standard adapté à une écoute sans distorsion, il est délicat de parler « d'écoute » avec un bouchon du type Push-ins de 3M offrant un affaiblissement extrêmement élevé (38 dB de SNR).

Dix-huit protecteurs ont des résultats très décevants

Dix-huit produits sont identifiés comme « mauvais » ou « très mauvais » et ne méritent pas l'appellation « réponse uniforme ».

N'oublions pas d'évaluer quelle sera l'utilisation du protecteur

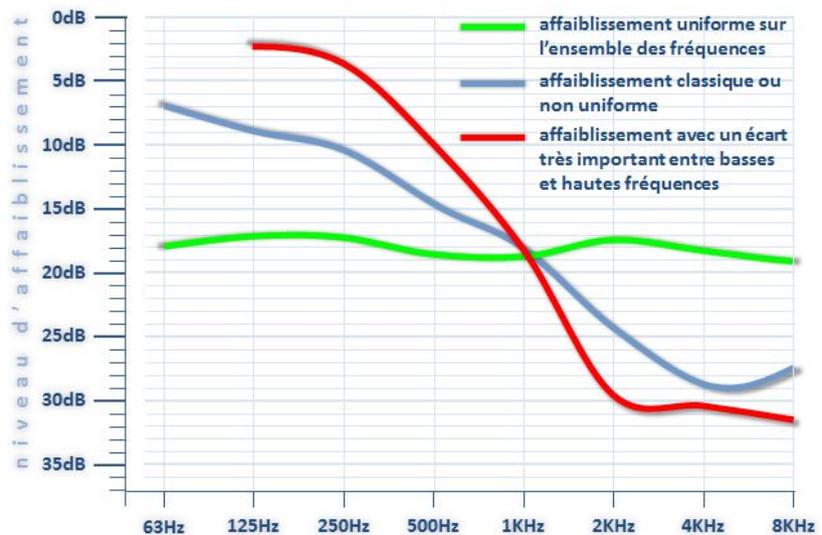
Le meilleur protecteur standard fait mieux en terme d'écarts-types que de nombreux protecteurs sur mesure. Dans le cas d'un usage ponctuel (concert, visite d'environnement bruyant) il n'y a pas à hésiter, le modèle idéal est le bouchon préformé ER20 d'Etymotic, c'est le meilleur rapport qualité prix.

Pour un usage fréquent ou continu, un investissement dans un protecteur sur mesure plus confortable permettra le port en continu et assurera une protection sans risque pour l'audition. Les modèles sur mesure assureront également un affaiblissement plus uniforme, donc plus fidèle, pour les meilleurs d'entre eux.

Des allégations d'uniformité ou d'écoute naturelle quelque peu trompeuses

Si une trentaine de protecteurs obtiennent un résultat satisfaisant, nombreux sont ceux qui présentent des arguments commerciaux vantant leur réponse naturelle, leur efficacité pour les musiciens, leur capacité à favoriser la communication, sans pour autant apporter la moindre réponse uniforme ou naturelle.

La courbe rouge visible sur le graphique 5 représente le protecteur avec l'écart-type le plus élevé. Il est aisé de voir la différence entre un protecteur dont l'affaiblissement à réponse uniforme est inférieur à un écart-type de 2 (courbe verte) et un protecteur avec un affaiblissement non uniforme dont l'écart-type est supérieur à 10 (courbe rouge).



Cela souligne combien il est important, avant de sélectionner un protecteur auditif avec un affaiblissement à réponse uniforme, de ne pas s'arrêter aux allégations du vendeur, mais de contrôler les valeurs d'affaiblissement par fréquence.

Dans le cas où le protecteur est destiné à être utilisé en entreprise, il faudra veiller à ce que le modèle retenu réponde aux minima requis par la norme EN352-2 (tableau 2) lui permettant d'obtenir le label CE. Les protecteurs disposant du certificat CE sont spécifiés dans la colonne CE des tableaux 3 et 4.

3.3 Quel niveau d'affaiblissement choisir ?

Le SNR détermine la « puissance » de l'affaiblissement du protecteur.

La première question qui doit guider votre choix est : « Suis-je suffisamment protégé ? », la notion d'uniformité ne viendra que dans un deuxième temps.

Pour savoir si le protecteur joue correctement son rôle, il est important de connaître le niveau d'exposition au bruit auquel vous êtes soumis. Une fois ce niveau défini, il suffira de déduire 80 (niveau en décibels sous lequel l'audition n'est pas en situation de risque). Le résultat obtenu sera le niveau d'affaiblissement nécessaire, il suffira ensuite de le comparer avec le niveau de SNR des différents protecteurs.

Exemple 1

Vous travaillez au bruit et êtes exposés à 93dB(A) pendant une période de 8 heures/jour.

93dB(A) niveau d'exposition – 80dB(A) niveau de sécurité = 13dB

Le protecteur devra proposer un SNR minimum de 13dB

Exemple 2

Vous assistez régulièrement à des concerts, vous faites en sorte de ne pas vous placer près des enceintes acoustiques, malgré cela le niveau sonore est très élevé, environ 110dB, la durée d'un concert est en général de 2 heures (sans la première partie). Cela correspond à une exposition reportée sur la durée de référence (8 heures) de 103dB(A).

103dB(A) niveau d'exposition – 80dB(A) niveau de sécurité = 23dB

3.4 Focus sur trois protecteurs

Étudions dans le détail trois modèles de protecteurs à réponse uniforme.

1. Un des deux meilleurs en terme d'uniformité, l'Original White FT19 de Cotral
2. Le plus répandu, l'ER15 sur mesure d'Etymotic qui est dans notre cas fabriqué par Elacin
3. Le meilleur protecteur standard en terme d'affaiblissement uniforme, l'ER20 d'Etymotic

1. Le modèle Original White FT19 du Laboratoire Cotral.

Réalisé en résine acrylique (Crylit), ce protecteur sur mesure est de couleur blanche.

Fabriqué grâce aux technologies numériques 3D, il offre selon son fabricant une précision de l'ordre de 50 microns, qui, conjuguée à un filtre à réponse uniforme de nouvelle génération, lui permet de gravir (exæquo) la première marche du podium.



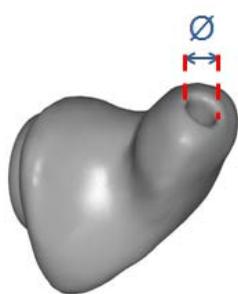
Très simple à mettre en place, il offre un bon confort. Il n'est à ce jour commercialisé qu'auprès des entreprises et des spécialistes du son (musiciens, ingénieurs du son, DJ...)

Son tarif se situe aux alentours de 155 €. Ce produit a été certifié en février 2011 au CRITT (France) par « Cotral » selon la norme EN352-2.

2. Le modèle ER15 sur mesure, fabriqué par Elacin.

Fabriqué en silicone, le protecteur est rose translucide ; fabriqué manuellement, il offre un bon confort, la mise en place est aisée.

Le filtre ER15 commercialisé par Etymotic Research a fait ses preuves depuis de longues années.



Filtre de première génération, il impose des contraintes qui peuvent restreindre l'équipement des personnes ayant des conduits auditifs fins. Ces contraintes sont décrites par Mead Killion (Killion and al, 1988). Le perçage qui traverse le protecteur pour permettre aux sons d'être diffusés vers l'oreille moyenne devra faire au minimum 3,5 mm à 4 mm de diamètre si le conduit est rond et de 3 à 5 mm s'il est plutôt de forme ovale.

Son prix se situe aux alentours de 151 €. Le produit a été certifié au BIA (Allemagne) en 1993 par Elacin selon la norme EN352-2.

Les filtres ER15 et ER25 d'Etymotic (US) équipent de nombreux protecteurs commercialisés en Europe par : ACS ; ALS ; Audilo ; Dreve ; Elacin ; Egger ; Elcea ; Exinor ; Protac (Pianissimo) ; Infield ; Weston (Musicians style 49) ; des audioprothésistes indépendants...

A ce jour, seules les sociétés Elacin (NL) et ACS (UK) ont, semble-t-il, réalisé une certification de ces filtres ER15 et ER25 sur les protecteurs qu'elles fabriquent.

3. Le modèle ER20 bouchon préformé, fabriqué par Etymotic

Fabriqué en série, composé d'une matière souple (indéterminée) pour la partie insérée dans le conduit auditif, une tige rigide dans laquelle se situe le filtre sert de préhension pour la mise en place. Deux tailles existent pour correspondre à la grande majorité des conduits.

La mise en place dans l'oreille demande un peu de pratique, il est souvent nécessaire de tirer l'oreille vers le haut pour permettre une bonne insertion. Le confort est correct pour une utilisation de courte durée.



Le tarif varie de 10 à 20 € selon le distributeur. Le produit aurait été certifié au CIOP-PIB (Pologne) par Etymotic (?) selon la norme EN352-2.

4 Conclusion

Le premier objectif avant de déterminer si un protecteur offre une réponse uniforme sur l'ensemble des fréquences est de s'assurer qu'il protège efficacement l'audition.

Le niveau critique à partir duquel des risques pour l'audition existent se situe à 80 décibels pendant une durée de 8 heures (DIRECTIVE "BRUIT" 2003/10/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN, 2003). Il est important de savoir que plus l'intensité du bruit augmente, plus le temps d'exposition devra être limité. Une exposition à 95 décibels ne devra pas durer plus de quinze minutes sans protection.

Certaines activités nécessitent une protection de l'audition mais également une bonne perception de l'environnement, c'est le cas de personnes qui doivent communiquer dans le bruit, d'un régleur qui met au point ses machines à l'oreille, d'un musicien dans un orchestre symphonique...

L'oreille humaine a la particularité d'amplifier naturellement les sons aigus. Le fait d'obturer le conduit auditif annule cette amplification. Résultat : les protecteurs auditifs ordinaires vont apporter un affaiblissement très important dans les fréquences aiguës, provoquant une distorsion entre les fréquences graves et les fréquences aiguës. Ils ne sont pas adaptés aux personnes ayant besoin d'une restitution fidèle du son.

Deux types de protecteurs auditifs à réponse uniforme existent, les systèmes standards et les systèmes réalisés sur mesure. Si le protecteur standard bénéficie dès sa fabrication d'une réalisation parfaite, c'est sa mise en place qui pourra dans certains cas être problématique. Un maximum de soin devra être apporté à la fabrication du protecteur sur mesure, celui-ci s'adaptera ensuite en principe parfaitement à l'oreille pour laquelle il a été conçu.

La valeur retenue pour établir un comparatif entre les différents protecteurs est l'écart-type calculé sur chacune des valeurs d'affaiblissement fréquence par fréquence de 63Hz à 8KHz. Les résultats varient de 1 pour les protecteurs les plus uniformes à 13 pour ceux qui ne le sont pas. Nous constatons que trois modèles sur mesure se disputent la première place et

qu'un modèle domine les autres dans la catégorie standard, dont l'uniformité n'égale pas les protecteurs sur mesure mais dont le prix sept fois moins élevé offre un excellent rapport qualité prix.

5 Bibliographie

Berger, H. (1983). Occlusion Effect on the Measurement of Real-Ear Attenuation at Threshold.

DIRECTIVE "BRUIT" 2003/10/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN. (2003, février 6). *Concerne les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs.* Journal officiel de l'Union européenne.

Killion and al. (1988). Earplug with 15dB attenuation.

6 Annexe : coordonnées des fabricants et distributeurs

Nom	Adresse	Pays	Téléphone	Internet
3M	95006 Cergy-Pontoise Cedex	France	0 810 331 300	http://solutions.3mfrance.fr
Acoufun	75012 Paris	France		http://www.acoufun.com
ACS	Oxfordshire, OX16 1TG	United Kingdom	01295 266665	http://www.acscustom.com/uk/
Alpine	Hulbert, OK 74441	United States of America	(918) 512-4188	http://alpineearplugs.com
Audilo	75009 Paris	France	01 40 82 90 78	http://www.audilo.com/
Auditech	76161 Danétal	France	02 35 60 57 24	http://www.audipack.fr/
Auditive.fr	75015 Paris	France	09 81 11 62 61	http://www.auditive.fr/
Cotral	14110 Condé sur Noireau	France	02 31 69 36 36	http://www.cotral.com/
Ear Plug Superstore	Hulbert, OK 74441	United States of America	918 478 5500	http://www.earplugstore.com
EarSonics	34830 Clapiers	France	04 67 59 36 20	http://www.earsonics.com/
Elacin	5100 AE Dongen	Netherlands	31 162 372526	http://www.elacin.com
Etymotic	Elk Grove Village, IL 60007	United States of America		http://www.etymotic.com/
HearTech	RA'ANANA 43101	Israel	972 9 7445636	http://www.heartech.co.il
Howard Leight	7828 Waterville Road	United States of America	800/430-5490	https://www.howardleight.com
Infield	42719 Solingen	Allemagne	0212-23234-0	http://www.infield-safety.de
Jrenum	4001 Basel	Suisse	61 269 82 22	http://www.jrenum.com
Phonak	8712 Stäfa	Suisse	58 928 01 01	http://www.phonak.com/ch
Protac	30111 Congenies	France	04 66 80 22 89	http://www.interson-protac.com/
Surdifuse	75462 Paris	France	01 47 70 97 11	http://www.surdifuse.com/
Uvex	90766 Fürth	Allemagne	0911 / 97 74-0	http://www.uvex.de

Tableau A4 : Liste des différents distributeurs et fabricants cités