



**Développement d'un protocole  
d'évaluation du confort des bouchons  
d'oreille en entreprise**



# Développement d'un protocole d'évaluation du confort des bouchons d'oreille en entreprise

Jonathan Terroir - Nellie Perrin  
Nicolas Trompette - Geneviève Jeanjean

Département Ingénierie des équipements de travail (IET)  
Laboratoire Acoustique au travail (ACT)

**NS 383**  
juin 2023



# Développement de protocoles d'évaluation du confort des bouchons d'oreille en entreprise

## Résumé

En France, un nombre très important de travailleurs sont exposés quotidiennement à des niveaux de bruit susceptibles d'engendrer des problèmes d'audition. Afin de protéger ces travailleurs, l'utilisation de bouchons d'oreille est courante. Leur confort influence alors la protection fournie en favorisant une utilisation continue et correcte. Partant de ce constat, l'INRS a initié, en collaboration avec l'IRSST et l'ÉTS (Canada), un travail dédié au confort des bouchons. Dans un premier temps, une revue de la littérature a permis d'identifier les paramètres pouvant influencer le confort ressenti et de proposer une définition multidimensionnelle (physique, acoustique, fonctionnel et psychologique) de celui-ci. Sur cette base, un questionnaire d'évaluation du confort a été développé. Celui-ci a été déployé dans quatre entreprises auprès de 118 participants ayant évalué neuf modèles de bouchons (appartenant à 3 familles : malléables, pré-moulés et sur mesure). Des analyses ont permis de valider la structure du questionnaire et de confirmer sa pertinence. Celles-ci ont également permis d'établir une hiérarchie des familles et modèles testés, permettant ainsi d'identifier et d'expliquer les préférences de ces utilisateurs (les modèles sur mesure ont été plébiscités) et de progresser dans la compréhension des paramètres pouvant influencer le ressenti du confort. Au final, le questionnaire développé s'avère être un outil adapté à l'évaluation (subjective) du confort, permettant d'estimer l'importance de chacune des dimensions citées, tout en impliquant les travailleurs dans le choix de leur protection auditive et en les sensibilisant au risque bruit.

# Développement de protocoles d'évaluation du confort des bouchons d'oreille en entreprise

## Sommaire

1.	Exposé des motifs et objectifs.....	9
1.1.	Contexte .....	9
1.1.1.	Les PICB au travail .....	9
1.2.	Les bouchons d'oreille .....	10
1.3.	Objectifs.....	11
2.	Matériel et méthode .....	12
2.1.	Définition du confort .....	12
2.2.	Conception et validation du questionnaire.....	12
2.3.	Protocole d'évaluation du confort en entreprise.....	14
2.4.	Méthodes d'analyses des données collectées .....	15
3.	Résultats principaux.....	15
3.1.	Définition multidimensionnelle du confort .....	15
3.2.	Conception du questionnaire : validité apparente, validité de contenu & pré-test .....	17
3.3.	Evaluation du confort en entreprise.....	20
3.3.1.	Profil des participants .....	20
3.3.2.	Validation du questionnaire .....	22
o	Modélisation par équations structurelles .....	22
▪	Définition des variables latentes.....	23
▪	Modèle final d'équations structurelles.....	27
o	Sensibilité .....	28
o	Fiabilité .....	28
3.3.3.	Analyses des données .....	29
o	Evaluation du protocole.....	29
o	Impact de l'entreprise.....	29
o	Evaluations du confort.....	30

4.	Discussion et conclusions .....	33
4.1.	Discussion .....	33
4.2.	Conclusions .....	38
5.	Bibliographie .....	39

# 1. Exposé des motifs et objectifs

## 1.1. Contexte

### 1.1.1. Les PICB<sup>1</sup> au travail

En France, un nombre très important de travailleurs - 12,9 % d'après l'enquête « Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels » (SUMER) de 2017 [1] - est exposé quotidiennement à des niveaux de bruit susceptibles d'engendrer des problèmes d'audition. Le risque de pertes auditives est alors fonction du niveau de bruit au tympan et du temps d'exposition. Afin de protéger l'audition des travailleurs en limitant leur exposition en-deçà des limites réglementaires imposées par la directive 2003/10/C [2] (fixées sans prise en compte d'un éventuel protecteur), plusieurs options sont envisageables : (a) la réduction des niveaux d'émission à la source ; (b) la réduction de la durée d'exposition des individus ; (c) le port de protecteurs individuels contre le bruit (PICB). Si la solution à privilégier reste sans conteste l'action à la source, celle-ci nécessite de prendre en compte les contraintes de bruit dès la conception des machines, ou, dans le cas de machines existantes, d'effectuer des modifications pouvant s'avérer onéreuses et longues à mettre en place. De plus, dans le cas de sources générant des niveaux de bruit très importants, une réduction de l'exposition permettant au travailleur de s'affranchir à court terme de protecteurs auditifs est parfois très difficile.[3], voire toujours inconfortable [4]. Cet a priori négatif peut en partie s'expliquer par l'absence de « bénéfice instantané » sur la santé (les dommages du système auditif apparaissant généralement de manière progressive), rendant le profit induit par le recours aux PICB moins évident que, par exemple, celui de casques ou de lunettes de protection [5] [3] [6] [7] [8]. La mauvaise ou faible utilisation des PICB semble donc être en partie liée à la mauvaise perception du risque, l'attitude des personnes exposées étant influencée par le fait que le danger soit implicite. On voit ici l'importance du volet *communication* pour améliorer la bonne perception du risque et qui est une part importante des missions de l'INRS. Malgré tout, ce problème n'explique qu'en partie le peu de « succès » des PICB constaté par Morata à l'issue d'une revue bibliographique datant de 2001 [9] et la nécessité d'améliorer leur taux d'utilisation. Une des études citées [10]<sup>2</sup> évoque par exemple les problèmes de confort ainsi que l'inquiétude des usagers quant à la bonne perception des signaux d'alerte ou avertisseurs de danger (alarme, approche de véhicules, etc.). De manière globale, plusieurs raisons sont ainsi invoquées pour expliquer et justifier l'utilisation réduite des PICB : inconfort, altération de la perception de la parole et des signaux d'alarme, interaction avec d'autres protection, etc. [11]<sup>3</sup>. Le rapport au confort se retrouve d'ailleurs dès 1958 dans un article de Zwislocki traitant du compromis nécessaire entre atténuation et confort (même si ce dernier est ici exclusivement envisagé à travers la pression exercée sur le conduit auditif et donc inversement proportionnel à l'atténuation) [13]. Bhattacharya *et al.* [14] rappellent également que les ouvriers considèrent généralement désagréable le port de protections en raison (pour les bouchons d'oreille) de l'irritation du conduit auditif, d'une mise en place difficile, etc. De même, une étude sur site de Royster & Holder<sup>4</sup> révèle en 1981 que 50% des usagers de PICB se plaignent d'inconfort général, d'irritation, de maux de tête, etc. En conséquence, les travailleurs sont souvent réticents à porter des PICB : une étude rétrospective sur différents sites industriels dans les années 80 a ainsi trouvé un taux de *non-port* allant de 20 % à 80 %. Or, dans le cas d'une utilisation intermittente, l'efficacité de la protection chute rapidement. Par exemple, pour une exposition non-protégée de 5 minutes sur une période de 8 heures,

<sup>1</sup> PICB = Protecteur Individuel Contre le Bruit.

<sup>2</sup> Cité dans [9].

<sup>3</sup> Cité dans [9, 12].

<sup>4</sup> Cité dans [15].



l'atténuation équivalente chute de 30 à 20 dB(A) [5]. Il est donc essentiel de faire en sorte que le PICB soit porté [7] [8]. Pour ce faire, la sélection du protecteur devra, en vue d'une utilisation adaptée, se faire avec le travailleur lui-même [16]. Aussi, alors que la dimension *confort* peut a priori sembler secondaire, c'est justement cet aspect qui va conditionner le temps de port ainsi que le bon positionnement et, par conséquent, l'exposition au bruit et les risques pour l'audition [17]. Dès 1980, Nilsson & Lingrend [18]<sup>1</sup> soutiennent d'ailleurs que les valeurs d'atténuation seraient finalement d'une importance secondaire et que le confort devrait être la première considération lors du choix d'un PICB, celui-ci étant le paramètre corrélé à leur degré d'utilisation. Cette conclusion est appuyée par Canetto [5] qui affirme en 2009 dans son article dressant l'état de l'art et les besoins en matière de PICB, qu'en dépit des habitudes se focalisant sur les indices d'atténuation, le choix d'un protecteur doit également tenir compte, et à importance égale, des aspects liés à la communication et au confort (on notera la distinction faite entre les deux notions).

Actuellement, la sélection d'un protecteur se base généralement sur les propriétés de l'environnement de travail (chaleur, hygiène, alternance bruit/calme, etc.) et la compatibilité avec d'autres EPI<sup>2</sup>. Elle se focalise ensuite sur l'atténuation des niveaux sonores en considérant souvent que *le plus équivaut au mieux* (ignorant en conséquence, entre autres, les effets d'isolement ou les problèmes de communication, sauf à bien suivre les recommandations des normes, comme indiqué par l'INRS dans la revue *Hygiène & Sécurité du Travail* en 2013 [20]). Le confort de l'utilisateur n'est alors jamais considéré (ni mentionné dans les données fournies par le fabricant [21]). Cette approche est d'ailleurs certainement « encouragée » par le fait que les standards européens ignorent presque<sup>3</sup> totalement les aspects ergonomiques et liés au confort, pour se focaliser sur des grandeurs d'atténuation [23]. Or, la plupart du temps, les environnements professionnels présentent un  $L_{Ex,8h}$  inférieur à 95 dB(A). Par conséquent, un protecteur n'offrant que 10 dB d'atténuation permet déjà d'être sous la VLE<sup>4</sup> de 87 dB(A) préconisée par la directive 2003/10/CE [2]. Mais, dans tous les cas, un PICB, si atténuant soit-il en théorie, s'il n'est porté que de manière sporadique ou mal mis en place, ne remplira pas son rôle protecteur de manière optimale [15] [24]<sup>5</sup>. On voit donc en quoi la question de l'usage des PICB ne peut être dissociée de celle du confort car *le protecteur le plus efficace reste celui qui est porté* [26]. Ce que l'on pourrait compléter par *porté de manière correcte et systématique* [19].

## 1.2. Les bouchons d'oreille

Il existe deux grandes familles de protecteurs auditifs : les bouchons d'oreille qui s'insèrent dans le conduit auditif et les coquilles qui recouvrent le pavillon de l'oreille. Ces deux familles de protecteurs présentent chacune des avantages et des inconvénients et, dans de nombreux contextes, l'une ne peut se substituer à l'autre. Ce travail se focalise sur les bouchons d'oreille pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'utilisation des bouchons d'oreille est très répandue dans le monde du travail. De plus, la protection apportée par les bouchons est connue pour être moins fiable que celle apportée par les coquilles à cause de la plus grande difficulté à bien positionner ce type de PICB. Par ailleurs, certains bouchons peuvent engendrer une atténuation trop importante qui peut alors surprotéger le travailleur et l'empêcher de communiquer avec ses collègues, de veiller au bon fonctionnement de sa machine ou bien d'entendre les signaux d'urgence. Ils peuvent alors être retirés ponctuellement à cause de cet

<sup>1</sup> Cité dans [19].

<sup>2</sup> EPI = Equipement de Protection Individuelle.

<sup>3</sup> On retrouve tout de même plusieurs indications en lien avec le confort dans les directives européennes. Ainsi, pour les casques anti-bruit, l'effort de serrage doit être inférieur à 14 N. De plus, les tailles des PICB sont normalisées et vérifiées. Enfin, la norme NF EN 458 fournit des « recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien » des PICB [22].

<sup>4</sup> VLE = Valeur Limite d'Exposition.

<sup>5</sup> Cité dans [25].

« inconfort acoustique », réduisant ainsi leur efficacité globale sur la journée. Se pose alors également le problème de la remise en place. Une meilleure compréhension des phénomènes liés à l'inconfort est donc cruciale pour les bouchons d'oreille afin d'en assurer le port ininterrompu et correct pendant toute la période d'exposition au bruit.

On distingue trois principales familles de bouchons : « malléables », « pré-moulés » et « moulés individuels » (sur mesure). Les bouchons « malléables » sont fabriqués en mousse compressible. Ils sont généralement cylindriques, de taille unique (bien que deux à trois tailles puissent être proposées par les fabricants, dans les faits, un unique format est généralement mis à disposition dans les entreprises) et d'un diamètre supérieur à celui du conduit auditif « moyen » des êtres humains (souvent donné autour de 7,5 mm dans la littérature [27]). Le bouchon est à comprimer entre les doigts, puis à insérer dans le conduit auditif. Il reprend ensuite progressivement sa forme initiale, assurant ainsi l'étanchéité acoustique. Ces bouchons s'adaptent donc bien aux différentes formes et largeurs de conduits auditifs. Pour cela, ils doivent être suffisamment rigides afin de permettre une bonne insertion et assez mous pour éviter qu'une trop grande pression mécanique soit appliquée sur les parois du conduit auditif. De plus, le temps d'expansion après compression ne doit pas être trop important afin d'assurer rapidement le maintien en position dans le conduit. Sur le marché, on trouve des bouchons malléables en chlorure de polyvinyle (PVC) ou en polyuréthane (PU). Ces mousses sont à cellules fermées et donc différentes des matériaux généralement utilisés pour absorber l'énergie acoustique en milieu de travail, leur rôle étant principalement d'isoler. Les bouchons en PVC et PU fournissent des atténuations similaires mais se comportent de façon très différente dans la main et dans le conduit auditif. Le choix entre l'un ou l'autre des matériaux est souvent basé (pour le moment) sur une préférence personnelle.

Les bouchons « pré-moulés » sont fabriqués en matériaux élastiques se déformant beaucoup moins que ceux utilisés pour la fabrication de la famille précédente. Ces bouchons sont faits d'une tige flexible (afin de faciliter l'insertion) recouverte d'un ou plusieurs anneaux aux formes variées (ailettes, dômes, etc.) qui assurent l'étanchéité acoustique. La tige cylindrique peut être utilisée pour loger des matériaux acoustiques de diverses natures (ou un filtre) afin d'adapter l'atténuation et ainsi éviter, par exemple, la surprotection ou limiter l'effet d'occlusion. Cependant, l'étanchéité est plus difficile à assurer.

Finalement, les bouchons « moulés individuels » sont fabriqués à partir de l'empreinte du conduit auditif de la personne. La qualité en matière d'atténuation de ces bouchons dépend grandement de celle de l'empreinte et de leur profondeur d'insertion. Les caractéristiques d'atténuation sont alors modulables via la sélection de filtres interchangeables et dont la réponse en fréquences peut par exemple être plate afin de faciliter la communication.

### 1.3. Objectifs

Au vu des constats précédents, il apparaît nécessaire de mieux comprendre l'impact des diverses composantes du confort sur le ressenti des personnes. L'INRS, l'IRSST<sup>1</sup> et l'ÉTS<sup>2</sup> (Canada) ont ainsi décidé d'initier en 2017 une recherche dédiée à la compréhension du confort des bouchons d'oreille dans son sens le plus large. A court terme, ces travaux ont pour objectif de faciliter le choix d'un protecteur (adapté et accepté) dans le milieu professionnel et donc l'amélioration de la protection des personnes exposées quotidiennement à des environnements sonores à risque. Ils pourront également aider les fabricants dans la conception de bouchons confortables via l'identification et la prise en compte des principales sources d'inconfort. A long terme, ce travail pourra également contribuer au développement d'un indicateur de confort subjectif.

<sup>1</sup> Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé et Sécurité du Travail, Montréal, Canada.

<sup>2</sup> École de Technologie Supérieure, Montréal, Canada.

Cette note scientifique aborde les trois points suivants : (a) l'inventaire des paramètres pouvant influencer le confort ressenti ; (b) le développement d'un questionnaire ayant pour objet l'évaluation du confort des bouchons d'oreille ; (c) la collecte de données dans différentes entreprises françaises. Concernant le périmètre de recherche de cette note, il est important de relever que l'équipe de l'INRS a exclusivement abordé le confort via une approche subjective. De futurs travaux auront pour objectif la mise en regard du confort ressenti et des propriétés objectives des bouchons.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Définition du confort

En raison du nombre important de facteurs (subjectifs et objectifs) pouvant intervenir, l'évaluation du confort est une tâche complexe. Or, si un certain flou peut parfois entourer sa définition, il s'avère que chaque individu en a déjà fait l'expérience [19]. Le confort peut ainsi être vu comme un état personnel, impliquant des impressions subjectives de bien-être envers une situation ou un environnement. Ou comme le dit Williams [28] de manière plus directe, l'inconfort est plus spécifique que de *ne pas aimer porter un PICB*, mais, en même temps, reste difficile à définir du point de vue des mesures objectives. En effet, le confort peut résulter de facteurs multiples et de sensations pouvant être parfois difficiles à nommer par les personnes. Si l'on effectue, par exemple, un parallèle avec les recherches sur la douleur, on s'aperçoit que celles-ci décrivent deux dimensions : la sensation physique et la dimension psychologique (qui sera modérée par les facteurs sociaux, visuels, émotionnels, contextuels). Les recherches montrent alors que pour des niveaux de douleurs physiques faibles, la dimension psychologique va prendre une plus grande importance. Pour en revenir à la définition du confort, Branson & Sweeney ont ainsi proposé une définition intéressante (appliquée ici au confort vestimentaire) à savoir *un état de satisfaction indiquant un équilibre entre les facteurs physiologique, psychologique et physique de la personne, ses vêtements et son environnement* [19], qui, appliquée aux PICB, résume assez bien la complexité des interactions pouvant exister entre subjectif et objectif, psychologique et physiologique, usager et environnement.

Historiquement, de nombreuses études ont été réalisées afin de quantifier le confort des bouchons d'oreille. Des études ont évalué le confort sur le terrain (par exemple [3] [29] [30] [31] [32] [33]) ou en laboratoire (par exemple [15] [25] [34] [35]) afin (a) d'identifier les principaux attributs liés (à l')au (in)confort des bouchons d'oreille ; (b) de classer les différents types de bouchons d'oreille ; (c) d'évaluer les principaux attributs de conception liés (à l')au (in)confort. Les stratégies d'évaluation dépendent alors des paramètres que chaque utilisateur considère comme des composantes du confort, de leur priorisation respective, ainsi que des interactions possibles pouvant exister entre ces derniers. Il a donc été dans un premier temps nécessaire de dresser un inventaire le plus exhaustif possible des paramètres pouvant influencer de près ou de loin le confort associé à l'utilisation des bouchons d'oreille. Par ailleurs, d'autres aspects liés à l'environnement de travail, aux sources de bruit, à l'attitude envers l'utilisation de protections auditives, etc. ont également été recensés afin d'évaluer leur impact sur les évaluations du confort.

### 2.2. Conception et validation du questionnaire

A la suite du travail bibliographique décrit paragraphe 2.1, un questionnaire rassemblant et complétant, pour la première fois, les items de précédents questionnaires dédiés au confort des PICB (par exemple [29] [31] [35] [15] [36]) a été développé. Afin de valider scientifiquement

ce questionnaire, un protocole a été défini [37] [38]. La validité apparente<sup>1</sup> et la validité de contenu<sup>2</sup> du questionnaire ont d'abord été évaluées grâce à la relecture d'un groupe d'experts composé d'ergonomes et de psychologues du travail. Suite aux remarques du groupe, le questionnaire a été mis à jour. Un pré-test in situ a été réalisé auprès d'un petit nombre de travailleurs afin d'évaluer la cohérence interne du questionnaire et de mettre en évidence les éventuelles imperfections du protocole en situation réelle. La cohérence interne a été vérifiée en calculant les valeurs d'alpha de Cronbach ( $\alpha > 0,9$  : cohérence très élevée ;  $\alpha > 0,8$  : élevée ;  $\alpha > 0,7$  : acceptable) [40]. Le questionnaire a été à nouveau mis à jour sur la base des observations précédentes et des tests in situ ont été menés. La cohérence interne et la validité de construit ont alors été évaluées conjointement. La validité de construit a été vérifiée à l'aide de corrélations de Spearman ( $r_s$ ) [41] et d'une modélisation par équations structurelles [42].

La modélisation par équations structurelles a été effectuée suivant un déroulé similaire à celui appliqué par Cohidon *et al.* [42]. Tout d'abord, des analyses factorielles confirmatoires (*Confirmatory Factor Analysis* - CFA) fournissent plusieurs variables latentes représentatives du confort global ou d'une dimension du confort. Chaque variable latente décrit les items spécifiques associés à la dimension considérée. Cela permet de tester l'adéquation des données au modèle théorique sous-jacent à la définition du confort proposée et de vérifier si les mesures des différents items sont cohérentes avec les hypothèses de départ. Afin d'obtenir une CFA concluante, des modifications ad hoc peuvent être effectuées : soit en générant des variables factorielles lorsque plusieurs items présentent une valeur de covariance élevée, soit en excluant/regroupant certains items sur des bases statistiques ou conceptuelles. La qualité d'ajustement (*Goodness of fit* - GOF) de la CFA est évaluée via trois indicateurs : l'erreur d'approximation de la moyenne quadratique (*Root Mean Square Error of Approximation* – RMSEA), l'indice d'ajustement de comparaison (*Comparison Fit Index* – CFI) et le résidu quadratique moyen normalisé (*Standardized Root Mean square Residual* – SRMR). Le RMSEA indique dans quelle mesure le modèle s'adapterait à la matrice de covariance hypothétique de la population tout en tenant compte de la complexité du modèle [42] (des valeurs supérieures à 0,10 indique un mauvais modèle [43]). Le CFI indique si le modèle hypothétique fournit un meilleur ajustement que le modèle nul [42], une valeur supérieure à 0,90 indiquant un ajustement raisonnablement bon et une valeur supérieure à 0,95 indiquant un bon ajustement. Le SRMR représente la moyenne des résidus normalisés entre les matrices de covariance observées et hypothétiques [44]. Il s'étend de 0 à 1, une valeur de 0,08 ou moins étant indicative d'un modèle acceptable [43]. Lors des analyses, outre la significativité statistique des paramètres, les coefficients estimés (compris entre -1 à +1) associés à chaque item ou covariance indiquent la force (faible (< 0,2), modérée (0,2 - 0,5) ou forte (> 0,5)) et le signe des relations. La mise au point des CFA repose en particulier sur l'identification d'items redondants. Celles-ci incluent donc un paramètre de covariance entre ces derniers afin que les scores factoriels ne soient pas indument influencés par ces items. A l'issue de chaque CFA, un score factoriel caractérisant les items de ce modèle est généré. Les caractéristiques sociodémographiques, liées aux habitudes d'utilisations des bouchons d'oreille et convictions, ainsi qu'aux conditions de travail sont ensuite prises en compte. Dans un premier temps, des analyses univariées permettent de sélectionner les variables associées aux différentes composantes du confort en fonction de la valeur de probabilité *P* correspondante. Celles-ci sont alors intégrées à un modèle d'équations structurelles (SEM) global permettant de prédire le confort global en fonction des paramètres pertinents.

<sup>1</sup> « La validité d'apparence (*Face Validity*) résulte du jugement subjectif d'experts, ou simplement des utilisateurs tel qu'il est défini précédemment dans l'évaluation » [39].

<sup>2</sup> « La validité de contenu (*Content Validity*) s'intéresse à la pertinence du questionnaire vis-à-vis du phénomène étudié. Cet aspect est à considérer si la définition du concept étudié ne fait l'objet d'un consensus. Elle permet de répondre aux questions suivantes :

- le phénomène exploré par le questionnaire correspond-il bien à ce que l'on recherche ?
- tous les domaines composant le phénomène étudié sont-ils bien pris en compte dans questionnaire ? » [39].

La sensibilité du questionnaire a ensuite été analysée au moyen d'analyses descriptives et de régressions logistiques ordonnées afin d'estimer la capacité du questionnaire à distinguer les modèles de bouchons d'oreille en fonction du confort global rapporté. Enfin, la fiabilité *test-retest* a été contrôlée via un calcul de corrélation afin de vérifier la stabilité des résultats dans le temps (pour des conditions similaires).

### 2.3. Protocole d'évaluation du confort en entreprise

Des travailleurs de quatre entreprises françaises ont participé à cette étude. L'entreprise *A* appartenait au secteur agroalimentaire. Les participants travaillaient dans la maintenance, sur les lignes de production ou dans le département de recherche et développement. L'entreprise *B* était une usine d'assemblage automobile. Les participants travaillaient au sein des trois pôles d'activité de l'usine : peinture, tôlerie et assemblage. Le travail s'effectuait en intérieur pour les entreprises *A* et *B*. L'entreprise *C* était une entreprise de construction et de travaux publics. Les participants étaient pour la plupart des ouvriers polyvalents et travaillaient sur deux chantiers distincts en extérieur : la construction d'un hôpital et de logements. L'entreprise *D* était une entreprise de pneus et de services d'entretien automobile. Les participants étaient des techniciens ou des cadres travaillant dans des ateliers. Neuf modèles de bouchons d'oreille appartenant à trois familles ont été évalués dans des conditions réelles d'utilisation : des bouchons malléables ( $A_1, A_2, A_3$ ), des bouchons pré-moulés ( $B_1, B_2, B_3$ ), des bouchons moulés individuels ( $C_1, C_2, C_3$ ). Durant 6 semaines, chaque participant a testé 3 modèles (1 modèle par famille et par semaine, répété deux fois) selon un déroulé  $X_i, Y_j, Z_k, X_i, Y_j, Z_k$  (avec  $[X ; Y ; Z] \in [A ; B ; C]$  et  $[i ; j ; k] \in [1 ; 2 ; 3]$ ).

Durant les tests, la mise en place des bouchons était effectuée par l'utilisateur, après une formation préalable (la mise en place par la personne étant associée à un plus grand confort [25]). Les critères d'inclusion des participants étaient d'être volontaires, de ne pas avoir de problèmes d'audition et d'être exposés au bruit sur leur lieu de travail. Le questionnaire d'évaluation du confort des bouchons d'oreille devait être rempli hebdomadairement. La durée de remplissage était d'environ 15 minutes.

Des questions relatives aux informations sociodémographiques, aux conditions de travail, à la perception de l'ambiance sonore et à l'utilisation des bouchons d'oreille ont été intégrées à un questionnaire préliminaire à remplir en amont des tests. La durée de remplissage de ce dernier était d'environ 5 minutes. Les informations recueillies étaient les suivantes : sexe, âge, niveau d'études (*collège ; lycée ; études supérieures*), ancienneté dans l'entreprise (*inférieure à 1 an ; comprise entre 1 et 5 ans ; supérieure à 5 ans*), poste occupé, type de poste (*fixe ; avec de la rotation ; autre*), travail collaboratif ou non (*La plupart du temps, vous travaillez : seul(e) ; en collaboration*), horaires de travail (*poste de matin ; poste d'après-midi ; poste de nuit*), attitude vis-à-vis des bouchons (*De manière générale, porter des bouchons aide à prévenir les problèmes d'audition : évaluation entre Pas du tout d'accord et Tout à fait d'accord sur une échelle en cinq points*), expérience en terme d'utilisation de bouchons d'oreille (*Vous portez des bouchons d'oreille sur votre lieu de travail depuis : quelques jours ; quelques mois ; quelques années ; je n'en porte pas*), raison de ce port (*par demande de votre hiérarchie ; par choix personnel ; autre*) ; type de bouchons portés habituellement (*bouchons sur mesure ; bouchons malléables ; bouchons pré-moulés*) ; raison du port de ce type de bouchons (*par demande de votre hiérarchie ; par choix personnel ; autre*) ; durée de port quotidienne estimée (*quelques minutes ; quelques heures ; toute la journée (hors pauses)*), participation à une formation concernant les dangers du bruit au travail (*oui ; non*), avis concernant les instructions d'utilisation fournies par les fabricants (*utiles ; compréhensibles - évaluations entre Pas du tout d'accord et Tout à fait d'accord sur une échelle en cinq points ; je n'en ai pas connaissance*) ; pratique d'activités bruyantes (musique, tir sportif, sports automobiles, etc.) (*oui ; non*), le cas échéant, type(s) de protection auditives utilisées (*casque anti-bruit ; bouchons sur mesure ; bouchons malléables ; bouchons pré-moulés ; aucune ; autre*).

En complément, les participants devaient répondre à un questionnaire quotidien court visant à recueillir l'évolution de la perception du confort au fil des jours, ainsi que la cohérence avec les réponses hebdomadaires. La durée de remplissage était d'environ 2 minutes. Les informations recueillies étaient les suivantes : durée de port durant la journée (< 30 minutes ; entre 30 minutes et 2 heures ; > 2 heures) ; environnement de travail : niveau sonore moyen sur le lieu de travail au cours de la journée (évaluation entre *Très calme* et *Très bruyant* sur une échelle en cinq points), durée d'exposition à des niveaux de bruit importants durant la journée (évaluation entre *Jamais* et *Tout le temps* sur une échelle en cinq points), type(s) de bruit (*bruits continus (ventilation, bruit de fond...)* ; *bruits discontinus (machines...)* ; *bruits d'impacts (marteau, chutes de pièces...)*), caractéristique(s) de l'environnement de travail durant la journée (*chaud* ; *froid* ; *humide* ; *sale* ; *autre*) ; confort des bouchons : difficultés lors de la mise en place des bouchons (évaluation entre *Pas du tout d'accord* et *Tout à fait d'accord* sur une échelle en cinq points), temps nécessaire à l'habituation (*quelques secondes* ; *quelques minutes* ; *quelques heures* ; *jamais*), à certain(s) moment(s), ces bouchons ont été particulièrement inconfortables (évaluation entre *Pas du tout d'accord* et *Tout à fait d'accord* sur une échelle en cinq points), retrait des bouchons au moins une fois pour des raisons d'inconfort (*oui* ; *non*), le cas échéant, précision des circonstances (durée écoulée depuis la mise en place des bouchons, activité en cours à ce moment-là, lieu de travail), items généraux représentatifs de chaque dimension du confort et issus du questionnaire COPROD (items 1a, 1b, 7, 17a, 17b, 23, 31 – cf. Tableau 1).

## 2.4. Méthodes d'analyses des données collectées

Les analyses des données avaient pour objectif d'évaluer : (a) la relation entre l'évaluation du confort global et celles des items du questionnaire ; (b) la relation entre le confort ressenti et les paramètres extérieurs au bouchon ; (c) le protocole (évolution des évaluations quotidiennes au fil de la semaine, cohérence entre les évaluations quotidiennes et hebdomadaires, nécessité de doubler les évaluations de chaque modèle de bouchons...). En complément de la validation du questionnaire décrite paragraphe 2.2, des analyses descriptives ainsi que des analyses statistiques par régression logistique ordonnée ont été effectuées pour chaque item du questionnaire hebdomadaire proposant des échelles ordonnées (cf. paragraphe 3.2). Cette méthode permet d'ignorer les valeurs (arbitraires) attribuées à chaque modalité de réponse en considérant uniquement l'ordre des modalités. Ces régressions ont inclus les familles (ou les modèles) de bouchons d'oreille comme variables indépendantes. Sur la base de comparaisons post hoc entre ces familles (ou modèles), ces dernières sont distribuées selon différentes typologies statistiques, chacune regroupant les familles (ou modèles) ne présentant pas de différences significatives à un niveau de confiance de 95 %. Des corrélations de rang de Spearman ont également été calculées afin de vérifier la force de la relation entre certains items.

## 3. Résultats principaux

### 3.1. Définition multidimensionnelle du confort

Lors de la revue de littérature détaillée dans [45] [46], l'absence de définition consensuelle a été constatée, les études passées considérant toujours le confort via un ensemble limité et variable de paramètres. Cette variabilité pose deux problèmes : (a) cela rend difficile la comparaison des résultats des différentes études ; (b) les résultats dépendent des hypothèses initiales. De ce fait, il est apparu nécessaire d'établir l'inventaire le plus exhaustif possible des

paramètres pouvant influencer, de manière plus ou moins importante, le confort ressenti. Une définition multidimensionnelle du confort a ainsi été proposée dans le cadre de ce projet et est décrite dans [45] [47]. Les quatre dimensions sont décrites ci-après.

Le "confort physique" est lié à la gêne physique et à la douleur. Il est associé aux interactions mécaniques et thermiques entre le conduit auditif et le bouchon d'oreille. L'inconfort lié à la pression exercée par le bouchon sur le conduit auditif se retrouve ainsi dans un grand nombre de publications [25] [30] [36] [48] [49] [50]. Dès 1958, Zwislocki [13] considère (sans pour autant se baser sur des tests subjectifs) que cette pression est la source d'inconfort principale, mais qu'elle est également liée à l'atténuation effective du bouchon : il oppose ainsi confort et atténuation via les seuls effets de pression sur le canal auditif. Si cette vision apparaît assez élémentaire en ce qu'elle n'envisage le confort que sous le prisme exclusif de cette pression, elle suggère néanmoins l'importance de cet aspect. La pression va alors être liée aux propriétés (géométrie, matériau) du bouchon, ainsi qu'à la géométrie du conduit auditif. Par ailleurs, on retrouve souvent l'irritation du canal auditif [25] [19] [30] [36] [51], voire une douleur lors du retrait des bouchons dans [25]. L'irritation peut alors être liée à la texture des bouchons [30] et accentuée par les conditions de travail (par exemple la chaleur ou l'humidité).

Le "confort fonctionnel" englobe les sentiments de protection et de surprotection, l'intuitivité, la facilité, la rapidité d'utilisation et le nombre de gestes nécessaires pour mettre en place et retirer les bouchons d'oreille, ainsi que la facilité de nettoyage, le maintien en position et l'utilité ressentie. La dimension fonctionnelle du confort a été déclinée selon plusieurs critères basés sur le concept d'acceptabilité développé par Nielsen [52] : l'utilisabilité ("la question de savoir si les utilisateurs peuvent utiliser cette fonctionnalité") et l'utilité ("la question de savoir si la fonctionnalité du système permet en principe de répondre aux besoins"). Des items liés à l'impact perçu des bouchons d'oreille sur l'activité professionnelle ont également été considérés. On retrouve d'ailleurs ces aspects fonctionnels dans la littérature [16] [19] [34] [36] [53] [51] [49]. Dans une étude de Coles & Rice [53], le bouchon considéré comme le moins confortable est ainsi décrit comme le moins facile à mettre et ayant une tendance à tomber (mais permettant une meilleure intelligibilité, ce qui met en avant les compromis pouvant exister lors de l'évaluation du confort). Les facilités de mise en place vont être liées aux aspects ergonomiques, géométriques ou au matériau. Concernant le maintien en position, Sweetland [51] a insisté sur le fait que celui-ci puisse être un facteur important dans l'estimation du confort (confirmant [53]), surtout dans des conditions de travail difficiles. A titre informatif, l'aspect hygiénique est également parfois cité, les bouchons malléables étant particulièrement facilement contaminés et perçus comme tels [26] [51].

Le "confort acoustique" est lié d'une part à la bonne perception des sons utiles (par exemple, voix, alarmes, machines) et à leur localisation, et d'autre part à la gêne liée à l'effet d'occlusion. Un grand nombre de travaux rapporte ainsi la réduction de l'intelligibilité ressentie par les travailleurs [9] [25] [16] [26] [30] [36] [53] [51] [48] [49] [50], bien que, de leur côté, Ivarsson *et al.* [54] ne trouvent qu'un impact mineur de l'intelligibilité sur le confort rapporté. La littérature recense par ailleurs plusieurs aspects pouvant impacter les niveaux d'interférence de la communication : l'expérience de l'opérateur (plus l'expérience est importante, plus l'interférence sera réduite [51]) et le niveau de bruit [26] [51] [55]. L'effet d'un PICB sur la perception de la voix sera alors fonction des propriétés spectrales du signal de parole, du bruit de fond ainsi que des caractéristiques d'atténuation du PICB. La bonne perception du bruit des machines ou la détection des signaux d'alerte se retrouvent également dans de nombreuses publications [9] [25] [30] [51] [48] [49] [56]. Cette mauvaise audibilité est alors décrite comme influençant le confort perçu via l'accentuation des risques, les opérateurs pouvant ne pas entendre un bruit suspect [30] [56], ou des problèmes de localisation [30]. Par ailleurs, l'effet d'occlusion consécutif à l'utilisation de bouchons d'oreille peut entraîner des sensations désagréables de par la déformation de la voix de l'utilisateur et une perception accrue des bruits physiologiques [25] [49] [50]. En fonction de la profession, cet effet va alors avoir un impact plus ou moins important sur le confort.

Enfin, le confort étant *un sentiment de bien-être ayant une triple origine (physique, fonctionnelle et psychique)* [57], le "confort psychologique" constitue la dernière dimension proposée. Celle-ci reflète le bien-être lié à l'utilisation de bouchons d'oreille. Ainsi, bien que les attributs de la typologie psychologique soient rares dans la littérature, cette dimension ne peut a priori être ignorée. Les recherches en ergonomie et en psychologie permettent ainsi d'identifier plusieurs aspects liés au confort psychologique : l'habitation, le sentiment de protection, le sentiment d'isolement ou le bien-être. Ces paramètres peuvent alors avoir un impact possible sur l'évaluation du confort. Par exemple, Park & Casali [34] rapportent que, lors de leur expérience, les arceaux anti-bruit n'ont pas été intégrés à l'étude de laboratoire en raison des plaintes recueillies sur site concernant l'inconfort générés par ce type de protection pour les utilisations prolongées. On se trouve ici face à un exemple de situation où est survenue une absence d'habitation ou d'acceptation.

### 3.2. Conception du questionnaire : validité apparente, validité de contenu & pré-test

A l'issue de la revue de littérature (cf. paragraphe 3.1), le questionnaire COPROD (Confort des PROtections auDitives / COMfort of hearing PROtection Devices) a été développé. Celui-ci est divisé en quatre sections correspondant aux quatre dimensions proposées. Il comprend principalement des échelles de réponse ordonnées de type Likert en cinq points (*pas du tout d'accord (1) ; pas d'accord (2) ; moyennement d'accord (3) ; d'accord (4) ; tout à fait d'accord (5)*). Des échelles sémantiques différentielles en cinq points ont également été utilisées. Certaines informations complémentaires ont été recueillies via des propositions à choix multiples. Le questionnaire a été conçu afin d'être adapté aux travailleurs utilisant des bouchons d'oreille dans tout environnement professionnel bruyant, quel que soit le niveau sonore.

Suite à la révision d'une première version ( $v_1$ ) du questionnaire (40 items) par un groupe d'experts, certains items ont été supprimés ou ajoutés et certaines reformulations ont été effectuées. Des exemples ont également été inclus afin de faciliter la compréhension. Les échelles de réponse ont été rappelées au fil du questionnaire et certains termes importants ont été soulignés ou écrits en majuscules afin de faciliter la distinction entre certains items successifs. Sur la base des observations précédentes, une seconde version ( $v_2$ ) du questionnaire (40 items) a été développée et pré-testée. Cette phase de pré-test a été menée dans une entreprise française de fabrication de moteurs (différente des quatre entreprises retenues pour la phase de test ultérieure) et auprès de dix-sept hommes. L'âge médian était de 31 ans (écart-type = 9,3). Les activités professionnelles nécessitaient de communiquer verbalement. La plupart des volontaires (13) étaient habitués à porter des bouchons d'oreille depuis plusieurs années. À l'exception de la dimension psychologique, une cohérence interne élevée ou très élevée a été trouvée pour chaque dimension ( $0,81 \leq \alpha \leq 0,97$ ). La cohérence interne pour la dimension psychologique étant juste acceptable ( $\alpha = 0,71$ ), la section a été restructurée (un item a été supprimé et une réorganisation a été entreprise), la cohérence interne devenant alors concluante ( $\alpha = 0,91$ ). Suite aux discussions avec les participants et à l'analyse de leurs réponses, un item relatif à la confiance envers les bouchons d'oreille testés a été ajouté. Concernant le confort acoustique, les analyses ont montré qu'il était plus pertinent de distinguer les items selon deux groupes : le premier associé à une bonne perception des signaux utiles, le second associé à la gêne due à l'effet d'occlusion. Aucun problème n'a été identifié concernant le temps de remplissage, le format du questionnaire ou l'interprétation des items. Le contenu, la formulation, la structure et les échelles de réponse ont également été approuvés. Au final, le questionnaire déployé en entreprise ( $v_3$ ) comprend 31 items. La structure et le contenu du questionnaire sont présentés dans le Tableau 1. Chaque section débute par un ou deux items **généraux** représentatifs de la dimension. Ces items sont suivis de sous-dimensions ou d'items **explicatifs** détaillant cette



dimension. Selon le contenu, les sous-dimensions sont décrites par un sous-item général suivi de sous-items explicatifs ou par un groupe de sous-items explicatifs. Plusieurs items **complémentaires** ont également été inclus afin de préciser les réponses des participants. Seuls les items généraux et explicatifs ont été considérés durant le processus de validation.

## CONFORT PHYSIQUE

### Items généraux

**1a.** D'une façon générale, ces bouchons génèrent une gêne physique.

**1b.** D'une façon générale, ces bouchons génèrent une douleur.

### Items explicatifs

**2.** Lorsque vous portez ces bouchons, vous avez la sensation que ces derniers appuient sur votre conduit auditif.

Vous ressentez une sensation d'irritation :

**3.** lorsque vous **INSÉREZ** ces bouchons ;

**4.** **PENDANT** que vous portez ces bouchons ;

**5.** lorsque vous **RETIREZ** ces bouchons.

**6.** Ces bouchons vous semblent:

**a.** de *Trop mous* (1) à *Trop durs* (5);

**b.** de *Trop lisses* (1) à *Trop rugueux* (5);

**c.** de *Trop petits* (1) à *Trop gros* (5).

### Items complémentaires

**CI1.** La gêne (resp. **CI2.** douleur) apparaît ou est accentuée lorsque vous bougez la tête ; vous vous penchez ; vous mâchez ; vous parlez ; Aucune gêne (resp. aucune douleur).

**CI3.** Vous avez l'impression que le bouchon appuie sur (resp. **CI4.** irrite) tout votre conduit auditif ; à l'entrée de votre conduit auditif ; au fond de votre conduit auditif ; sur le pavillon de votre oreille (partie externe de l'oreille)

**CI5.** Cochez les cases qui correspondent aux symptômes causés par l'utilisation de ces bouchons pendant le port / après le port :

**a.** chaleur dans l'oreille ;

**b.** transpiration excessive au niveau des oreilles ;

**c.** maux de tête ;

**d.** douleur à la nuque ;

**e.** douleur aux tempes ;

**f.** sensation de brûlure ;

**g.** sensation de grattement/démangeaison.

## CONFORT FONCTIONNEL

EFFICACITE		Item complémentaire	
Item général	Sous-item général	Sous-items explicatifs	
<b>7.</b> D'une façon générale, ces bouchons sont fonctionnels (efficacité, bonne tenue, mise en place intuitive...).	<b>8.</b> Ces bouchons sont efficaces.	<b>9a.</b> Lorsque vous portez ces bouchons, vous vous sentez protégé. <b>9b.</b> Lorsque vous portez ces bouchons, vous vous sentez surprotégé.	<b>CI6.</b> L'efficacité de ces bouchons diminue avec le temps : dans l'heure qui suit la mise en place des bouchons ; au cours de la journée de travail ; jamais.
FACILITE D'UTILISATION			
Item général	Sous-item général	Sous-items explicatifs	
		<b>11.</b> La mise en place est : <b>a.</b> intuitive ; <b>b.</b> facile ; <b>c.</b> rapide ; <b>d.</b> nécessite peu de gestes.	
	<b>10.</b> Ces bouchons sont facilement utilisables.	<b>12.</b> Une fois mis en place, ces bouchons restent bien en position. <b>13.</b> Le retrait est : <b>a.</b> intuitive ; <b>b.</b> facile ; <b>c.</b> rapide ; <b>d.</b> nécessite peu de gestes.	
		<b>14.</b> Le nettoyage de ces bouchons est facile.	
UTILITE			
	<b>15a.</b> Ces bouchons sont utiles compte tenu de votre environnement de travail. <b>15b.</b> Ces bouchons sont utiles compte tenu de vos activités de travail.		

**IMPACT SUR LE TRAVAIL**

**16a.** Lorsque vous portez ces bouchons, votre concentration est : de *vraiment plus mauvaise* (1) à *vraiment meilleure* (5).

**16b.** Lorsque vous portez ces bouchons, la qualité de votre travail est : de *vraiment plus mauvaise* (1) à *vraiment meilleure* (5).

**16c.** Lorsque vous portez ces bouchons, votre productivité est : de *vraiment plus mauvaise* (1) à *vraiment meilleure* (5).

**CONFORT ACOUSTIQUE****Items généraux**

**17a.** Ces bouchons permettent de bien entendre les sons utiles provenant de votre environnement de travail (conversations, machines, signaux d'alerte, arrivées d'engins...).

**17b.** Ces bouchons permettent de ne pas être gêné par les sons provenant de votre corps (voix, mastication, déglutition, battements de cœur, respiration...).

**Items explicatifs**

**18.** Lorsque vous portez ces bouchons, vous n'entendez pas ce que les autres vous disent.

**19.** Lorsque vous portez ces bouchons, votre perception des sons suivants est difficile :

**a.** Sons des machines utiles à la réalisation de votre travail ;

**b.** Signaux d'alerte (alarmes, klaxons...);

**c.** Messages de communication de l'entreprise ;

**d.** Arrivées d'engins.

**20.** Lorsque vous portez ces bouchons, vous arrivez à bien entendre de quels endroits proviennent ces sons (machines, signaux d'alertes, communications, engins...).

**21.** La réduction du bruit induite par le port de ces bouchons est gênante.

**22.** Lorsque vous portez ces bouchons, vous êtes gêné par :

**a.** votre propre voix lorsque vous parlez ;

**b.** les bruits de mastication lorsque vous mâchez ;

**c.** les sons provenant du fonctionnement de votre corps (déglutition, estomac, battements de cœur, respiration...).

**CONFORT PSYCHOLOGIQUE****Item général**

**23.** Vous vous sentez bien lorsque vous portez ces bouchons.

**Items explicatifs**

**24.** Vous avez confiance en ces bouchons.

**25.** Vous finissez par vous habituer à leur présence.

**26.** Le sentiment d'isolement vous dérange.

**27.** Lorsque vous portez ces bouchons, vous vous sentez :

**a.** de *énervé* (1) à *calme* (5) ;

**b.** de *inquiet* (1) à *confiant* (5) ;

**c.** de *tendu / crispé* (1) à *décontracté* (5) ;

**d.** de *oppressé* (1) à *libre* (5).

**28.** Vous êtes satisfait de ces bouchons.

**29.** Ces bouchons répondent à vos besoins.

**30.** Si vous aviez le choix, vous réutiliseriez ces bouchons.

**Items complémentaires**

**C17.** Vous vous habituez à leur présence au bout de quelques secondes ; quelques minutes ; quelques heures ; quelques jours.

**C18.** Vous avez la sensation d'être isolé des autres lorsque vous portez ces bouchons.

**CONFORT GLOBAL**

**31.** Globalement, vous donneriez la note suivante à ce modèle de bouchons (sachant que 1 équivaut à *très mauvais* et 5 équivaut à *très bon*).

**Tableau 1. Structure et items du questionnaire COPROD. Des échelles sémantiques différentielles ont été utilisées pour les items 6a, 6b, 6c, 16a, 16b, 16c, 27a, 27b, 27c, 27d et 31. Les items C11 à C17 sont des propositions à choix multiples. Pour tous les autres items, des échelles de Likert en cinq points ont été utilisées.**

### 3.3. Evaluation du confort en entreprise

#### 3.3.1. Profil des participants

Cent dix-huit travailleurs et travailleuses (96 hommes et 22 femmes, le déséquilibre entre le nombre d'hommes et de femmes étant lié aux secteurs des entreprises ayant accepté de prendre part à l'étude - cf. paragraphe 2.3) ont participé à cette étude entre janvier 2018 et septembre 2019. Les informations collectées en entreprise via le questionnaire préliminaire (cf. paragraphe 2.3) sont réunies au sein des Tableau 2 à Tableau 4. La quasi-totalité des répondants (92%) étaient des utilisateurs expérimentés de bouchons d'oreille (de quelques mois à plusieurs années). L'ambiance sonore sur les différents lieux de travail était perçue comme allant de *moyennement bruyante* à *très bruyante*, l'exposition étant toujours liée à différents types de sources sonores (continu, discontinu, bruit d'impact). Les activités nécessitaient de parler, d'entendre des signaux d'alerte, de se fier à certains sons pour effectuer le travail ou d'effectuer des mouvements de tête répétés.

Caractéristiques	Modalités	N = 118	Fréquence (%) ou médiane <sup>(m)</sup>
Entreprise	A	34	28,8
	B	39	33,1
	C	27	22,9
	D	18	15,3
Sexe	Homme	96	81,3
Age	Tous les participants	112 <sup>1</sup>	39 <sup>(m)</sup>
	< 40 ans	57	32 <sup>(m)</sup>
	≥ 40 ans	55	48 <sup>(m)</sup>
Niveau d'études	Collège	32	26,9
	Lycée	53	44,9
	Etudes supérieures	33	28,2
Ancienneté dans l'entreprise	< 1 an	4	3,8
	Comprise entre 1 et 5 ans	20	16,7
	> 5 ans	94	79,5
Ancienneté au poste	< 1 an	5	3,8
	Comprise entre 1 et 5 ans	33	28,2
	> 5 ans	80	67,9
Poste fixe ou avec rotation	Fixe	59	50
	Rotation	59	50
Travail seul ou collaboratif	Seul	36	30,8
	Collaboratif	82	69,2
Horaires de travail (réponses multiples possibles)	Matin	106	89,8
	Après-midi	2	1,7
	Nuit	48	40,7
	Autre	10	8,5

Tableau 2. Questionnaire préliminaire : caractéristiques sociodémographiques de l'échantillon de participants.

<sup>1</sup> 6 personnes n'ont pas renseigné leur âge.

Caractéristiques	Modalités	N = 118	Fréquence (%)
Porter des bouchons aide à lutter contre les problèmes d'audition	Pas du tout d'accord	0	0
	Pas d'accord	3	2,6
	Ni d'accord, ni pas d'accord	6	5,1
	D'accord	24	20,5
	Tout à fait d'accord	85	71,8
Port de PICB au travail depuis	Quelques jours	9	7,7
	Quelques mois	11	8,9
	Quelques années	98	83,3
	Je n'en porte pas	0	0
Raison du port de PICB (réponses multiples possibles)	Hierarchie	72	61
	Choix personnel	75	63,6
	Autre	3	2,5
Modèle(s) de PICB habituellement porté(s) (réponses multiples possibles)	Sur-mesure	69	58,5
	Malléables	32	27,1
	Pré-moulés	25	21,2
Raison d'utilisation de ce(s) modèle(s) (réponses multiples possibles)	Hierarchie	50	42,4
	Choix personnel	78	66,1
	Autre	3	2,5
Durée quotidienne de port de PICB	Quelques minutes	15	12,8
	Quelques heures	48	41
	Toute la journée	55	46,2
Formation de sensibilisation aux dangers liés au bruit	Oui	71	60,3
	Non	47	39,7
Instructions d'utilisation : utiles	Pas du tout d'accord	2	1,3
	Pas d'accord	4	3,8
	Ni d'accord, ni pas d'accord	15	12,8
	D'accord	53	44,9
	Tout à fait d'accord	44	37,2
Instructions d'utilisation : compréhensibles	Pas du tout d'accord	2	1,3
	Pas d'accord	6	5,1
	Ni d'accord, ni pas d'accord	14	11,5
	D'accord	51	43,5
	Tout à fait d'accord	45	38,5
Quel type(s) de PICB est(sont) utilisé(s) en dehors du travail (réponses multiples possibles)	Casque anti-bruit	11	9,3
	Sur-mesure	7	5,9
	Malléables	6	5,1
	Pré-moulés	6	5,1
	Aucun	12	10,2

Tableau 3. Questionnaire préliminaire : avis et comportement vis-à-vis des bouchons d'oreille.

Caractéristiques	Modalités	N = 118	Fréquence (%)
Niveau d'exposition à du bruit	Très calme	2	1,3
	Calme	4	3,8
	Ni calme, ni bruyant	35	29,5
	Bruyant	47	39,7
	Très bruyant	30	25,6
Provenance bruits (réponses multiples possibles)	Votre poste	87	73,7
	Autres postes	83	70,3
	Autre	14	11,9
Types de bruits (réponses multiples possibles)	Bruits continus	75	63,6
	Bruits discontinus	88	74,6
	Bruits d'impact	69	58,5
	Autre	10	8,5
Gêne liée aux bruits continus	Pas du tout d'accord	8	6,4
	Pas d'accord	17	14,1
	Ni d'accord, ni pas d'accord	29	24,4
	D'accord	39	33,3
	Tout à fait d'accord	25	21,8
Gêne liée aux bruits discontinus	Pas du tout d'accord	2	1,3
	Pas d'accord	6	5,1
	Ni d'accord, ni pas d'accord	30	25,6
	D'accord	47	39,7
	Tout à fait d'accord	33	28,2
Gêne liée aux bruits d'impacts	Pas du tout d'accord	3	2,6
	Pas d'accord	9	7,7
	Ni d'accord, ni pas d'accord	35	29,4
	D'accord	36	30,7
	Tout à fait d'accord	35	29,5
Ces bruits affectent votre santé	Pas du tout d'accord	4	2,6
	Pas d'accord	11	8,9
	Ni d'accord, ni pas d'accord	19	16,2
	D'accord	43	34,6
	Tout à fait d'accord	41	34,6
Nécessités du travail (réponses multiples possibles)	Parler	102	86,4
	Mvts de tête répétés	47	39,8
	Entendre signaux alerte	67	56,8
	Se fier à certains sons pour réalisation travail	59	50
Environnement de travail (réponses multiples possibles)	Chaud	78	66,1
	Froid	63	53,4
	Humide	50	42,4
	Sale	58	49,2
	Autre	14	11,9

Tableau 4. Questionnaire préliminaire : environnement de travail.

### 3.3.2. Validation du questionnaire

#### ○ Modélisation par équations structurelles

Le confort a été défini selon quatre dimensions distinctes (physique, fonctionnelle, acoustique et psychologique), chacune ayant été systématiquement abordée dans le questionnaire via un ou deux items généraux représentatifs de la dimension, suivis d'un nombre variable de sous-items explicatifs ayant pour objet de préciser le ressenti (cf. Tableau 1). Afin de vérifier la validité de construit du questionnaire et de remonter à la proposition d'une variable latente représentative du confort global, une modélisation par équations structurelles a été effectuée. Pour chaque dimension, une analyse factorielle confirmatoire a été effectuée selon le

protocole décrit dans le paragraphe 2.2. Un score factoriel a ensuite été généré afin d'être intégré par la suite au sein de la modélisation finale par équations structurelles. Le sentiment de confort associé à l'utilisation de bouchons d'oreille y est représenté via la variable latente *PRED\_Confort\_Global*, correspondant à la prédiction du confort global. La cohérence interne a été évaluée en parallèle afin de vérifier l'homogénéité des items explicatifs pour chaque dimension. En raison de la structure du questionnaire et de la nature des analyses, pour les sous-dimensions hiérarchiquement structurées via un sous-item général suivi d'au moins deux sous-items explicatifs pertinents, des SEM ont été effectuées. Dans les autres cas, des corrélations ont été effectuées.

## ▪ Définition des variables latentes

### Confort physique

Les analyses confirmatoires montrent que tous les items relatifs au confort physique (items 2 à 6 – cf. Tableau 1) sont liés de manière statistiquement significative à la variable latente associée ( $P < 10^{-3}$ ). Malgré tout, le poids des différents items apparaît contrasté (valeurs de coefficients allant de 0,20 à 0,87). De plus, la qualité de l'ajustement n'est pas concluante (RMSEA = 0,210 ; CFI = 0,782 ; SRMR = 0,134). Les items présentant les coefficients les plus faibles (entre 0,20 et 0,36) traitent des différentes propriétés des bouchons (items 6a, 6b et 6c). D'un point de vue conceptuel, il semble donc incohérent de conserver ces derniers. En les excluant de l'analyse, on obtient une qualité d'ajustement du modèle acceptable (RMSEA = 0,098 ; CFI = 0,991 ; SRMR = 0,018) et des valeurs de coefficients allant de 0,64 à 0,88 (cf. Tableau 5). La variable latente *PRED\_Confort\_Physique* relative au confort physique est donc liée aux grandeurs relatives aux sensations d'irritation et de pression exercées par le bouchon sur le conduit. On génère le score factoriel *Confort\_Physique* représentatif des quatre items retenus.

Items	Poids des items par rapport à la variable latente <i>PRED_Confort_Physique</i>		
	Coefficient	Intervalle de confiance à 95%	P value
2	0,64	[0,59 ; 0,69]	$< 10^{-3}$
3	0,83	[0,79 ; 0,86]	$< 10^{-3}$
4	0,88	[0,86 ; 0,92]	$< 10^{-3}$
5	0,83	[0,80 ; 0,87]	$< 10^{-3}$

Tableau 5. Analyse factorielle confirmatoire pour la variable latente *PRED\_Confort\_Physique* relative au confort physique.

Pour rappel, les questionnaires ont été construits en introduisant deux variables générales représentatives du confort physique (gêne et douleur perçues – items 1a et 1b – cf. Tableau 1), toutes deux reliées aux mêmes items explicatifs. Si ceci se justifie par le fait que ces deux grandeurs, bien qu'étant souvent distinguées, correspondent à deux niveaux d'intensité d'une même dimension (elles sont ainsi corrélées à 80%), les corrélations élevées (0,73 et 0,74) entre le score factoriel *Confort\_Physique* et ces deux items généraux confirment la relation forte existant entre chacun des items généraux et les items explicatifs.

### Confort fonctionnel

Le confort fonctionnel est abordé selon plusieurs notions : utilisabilité, efficacité, utilité et impact des bouchons sur le travail. Au sein du questionnaire, les deux premières sont considérées via un item général suivi de plusieurs sous-items explicatifs, les deux suivantes via un groupe d'items indépendants.

### **Efficacité**

L'efficacité est d'abord abordée via le sous-item général 8 (cf. Tableau 1). Les sous-items explicatifs 9a et 9b abordent les sentiments de protection et de surprotection. Une analyse préliminaire montre une faible corrélation (et par conséquent une faible cohérence interne) entre les items 9a et 9b ( $r_s = -0,48$  ;  $P < 10^{-3}$ ). Ainsi, alors que l'efficacité est fortement corrélée au sentiment de protection ( $r_s = 0,76$  ;  $P < 10^{-3}$ ), la corrélation avec le sentiment de surprotection est beaucoup plus faible ( $r_s = -0,39$  ;  $P < 10^{-3}$ ). Par conséquent, l'item 9b ne semble pas pertinent et l'efficacité peut être décrite tant par l'item 8 que par l'item 9a.

### **Utilisabilité**

Après le sous-item général 10, les sous-items explicatifs abordent la mise en place (items 11a à 11d), le maintien en position (item 12), le retrait (item 13a à 13d) et le nettoyage des bouchons (item 14). La cohérence interne très élevée ( $\alpha = 0,91$ ) montre que ces sous-items explicatifs décrivent une même notion. De plus, une CFA montre que tous les sous-items explicatifs sont liés de manière statistiquement significative ( $P < 10^{-3}$ ) à la variable latente représentative *PRED\_Utilisabilité*. Néanmoins, l'ajustement de ce modèle n'est pas satisfaisant et des valeurs de covariance très élevées sont observées entre certains items. Sur cette base, les items 12 et 14 sont exclus et les quatre items liés au retrait sont regroupés (score factoriel *Retrait*), ainsi que les deux items liés à la facilité et à la rapidité de la dépose (score factoriel *MiseEnPlaceFacile&Rapide*). Une CFA impliquant le nouvel ensemble d'items (11a, *MiseEnPlaceFacile&Rapide*, 11d, *Retrait*) est ensuite réalisée. Celle-ci est concluante et les coefficients varient de 0,55 à 0,96 (cf. Tableau 6). En conséquence, le score factoriel *Utilisabilité* représentatif de l'utilisabilité est généré. La forte corrélation (0,82) existant entre ce dernier et le sous-item général 10 confirme la pertinence de ce score.

Items	Poids des items par rapport à la variable latente <i>PRED_Utilisabilité</i>		
	Coefficient	Intervalle de confiance à 95%	P value
11a	0,87	[0,84 ; 0,89]	$< 10^{-3}$
<i>MiseEnPlaceFacile&amp;Rapide</i> (score factoriel représentatif des items 11b et 11c)	0,96	[0,94 ; 0,98]	$< 10^{-3}$
11d	0,80	[0,76 ; 0,83]	$< 10^{-3}$
<i>Retrait</i> (score factoriel représentatif des items 13a à 13d)	0,55	[0,49 ; 0,62]	$< 10^{-3}$

Tableau 6. Analyse factorielle confirmatoire pour la variable latente *PRED\_Utilisabilité* relative à l'utilisabilité.

### **Utilité**

Les deux items 15a et 15b liés au sentiment d'utilité étant fortement corrélés ( $r_s = 0,90$  ;  $P < 10^{-3}$ ), ils décrivent donc une même notion et le score factoriel *Utilité* représentatif de ces derniers est généré.

### **Impact sur le travail**

L'impact des bouchons d'oreille sur la performance au travail est abordé à travers les items 16a à 16c (échelle sémantique différentielle en cinq points). Les items présentent une cohérence interne très élevée ( $\alpha = 0,94$ ), ainsi que des valeurs de

corrélations élevées ( $0,77 \leq r_s \leq 0,91$  ;  $P < 10^{-3}$ ). Ils décrivent donc une même notion et un score factoriel représentatif *ImpactTravail* est généré.

### Confort fonctionnel global

Le confort fonctionnel étant considéré à travers quatre sous-dimensions, la cohérence interne est calculée pour les items ou scores factoriels représentatifs de chaque sous-dimension : item 8, *Utilisabilité*, *Utilité* et *ImpactTravail*. La cohérence interne élevée ( $\alpha = 0,82$ ) confirme qu'ils décrivent une notion similaire. La CFA montre que ces items sont liés de manière statistiquement significative à la variable latente *PRED\_Confort\_Fonctionnel*, avec une qualité de l'ajustement concluante (RMSEA = 0,063 ; CFI = 0,994 ; SRMR = 0,018) (cf. Tableau 7). La corrélation entre le score factoriel représentatif *Confort\_Fonctionnel* et l'item général 7 étant élevée (0,80), ce score semble pertinent.

Items	Poids des items par rapport à la variable latente <i>PRED_Confort_Fonctionnel</i>		
	Coefficient	Intervalle de confiance à 95%	P value
8	0,77	[0,72 ; 0,82]	$< 10^{-3}$
<i>Utilisabilité</i>	0,68	[0,62 ; 0,74]	$< 10^{-3}$
<i>Utilité</i>	0,82	[0,77 ; 0,86]	$< 10^{-3}$
<i>ImpactTravail</i>	0,62	[0,56 ; 0,69]	$< 10^{-3}$

Tableau 7. Analyse factorielle confirmatoire pour la variable latente *PRED\_Confort\_Fonctionnel* relative au confort fonctionnel.

### Confort acoustique

#### Bonne perception des sons

Les analyses confirmatoires montrent que les items liés à la bonne perception des sons (items 18 à 21 - cf. Tableau 1) sont liés de manière statistiquement significative ( $P < 10^{-3}$ ) à la variable latente relative à la bonne perception des sons avec des coefficients allant de 0,52 à 0,78. Malgré tout, la qualité de l'ajustement n'est pas concluante. Les analyses n'indiquant pas de covariances importantes, on génère le score factoriel *SonsUtiles* (sur des bases conceptuelles) lié à la perception des sons de machines, signaux d'alerte, messages et arrivées d'engin et représentatif de la perception des sons utiles autres que la voix. La CFA montre que ces items sont liés de manière statistiquement significative à la variable latente *PRED\_Confort\_Acoustique\_Perception*, avec une qualité d'ajustement concluante (RMSEA = 0,049 ; CFI = 0,996 ; SRMR = 0,015) pour ce nouveau jeu de paramètres (cf. Tableau 8). On génère le score factoriel *Confort\_Acoustique\_Perception* représentatif de ces derniers. La corrélation entre ce dernier et l'item général 17a étant élevée (0,78), les variables retenues semblent pertinentes.

Items	Poids des items par rapport à la variable latente <i>PRED_Confort_Acoustique_Perception</i>		
	Coefficient	Intervalle de confiance à 95%	P value
18	0,78	[0,72 ; 0,83]	$< 10^{-3}$
<i>SonsUtiles</i> (score factoriel représentatif des items 19a à 19d)	0,66	[0,60 ; 0,72]	$< 10^{-3}$
20	0,71	[0,65 ; 0,77]	$< 10^{-3}$
21	0,71	[0,65 ; 0,76]	$< 10^{-3}$

Tableau 8. Analyse factorielle confirmatoire pour la variable latente *PRED\_Confort\_Acoustique\_Perception* relative à la bonne perception des sons utiles.



### Effet d'occlusion

Tous les items liés à l'effet d'occlusion (items 21 à 22c) sont liés de manière statistiquement significative ( $P < 10^{-3}$ ) à la variable latente *PRED\_Confort\_Acoustique\_Occlusion* liée à l'effet d'occlusion (cf. Tableau 9) et la qualité de l'ajustement est concluante (RMSEA = 0,000 ; CFI = 1,000 ; SRMR = 0,007). On calcule le score factoriel *Confort\_Acoustique\_Occlusion* représentatif de ces quatre items. La corrélation entre ce dernier et l'item général correspondant (item 17b) étant élevée (0,65), les variables retenues apparaissent pertinentes. On note de fortes corrélations entre ces items (entre 0,72 et 0,81).

Items	Poids des items par rapport à la variable latente <i>PRED_Confort_Acoustique_Occlusion</i>		
	Coefficient	Intervalle de confiance à 95%	P value
21	0,55	[0,48 ; 0,91]	$< 10^{-3}$
22a	0,81	[0,78 ; 0,85]	$< 10^{-3}$
22b	0,89	[0,87 ; 0,92]	$< 10^{-3}$
22c	0,91	[0,89 ; 0,93]	$< 10^{-3}$

Tableau 9 : Analyse factorielle confirmatoire pour la variable latente *PRED\_Confort\_Acoustique\_Occlusion* relative à l'effet d'occlusion.

### Confort psychologique

Les items liés au sentiment de bien-être (items 24 à 30) sont liés de manière statistiquement significative ( $P < 10^{-3}$ ) à la variable latente relative au confort psychologique. Malgré tout, (a) l'analyse factorielle met en évidence deux facteurs prédominants ; (b) on observe des covariances importantes entre les quatre items basés sur des échelles sémantiques différentielles (items 27a à 27d). L'analyse est répétée après génération d'un score factoriel *Emotions* représentatif de ces quatre items (cf. Tableau 10). La CFA montre que ces items sont liés de manière statistiquement significative à la variable latente *PRED\_Confort\_Psychologique*, avec une qualité d'ajustement concluante. La qualité de l'ajustement étant concluante (RMSEA = 0,088 ; CFI = 0,982 ; SRMR = 0,031), on génère le score factoriel *Confort\_Psychologique* représentatif des items retenus. La corrélation entre ce dernier et l'item général associé (item 23) étant élevée (0,83), les variables retenues semblent donc pertinentes.

Items	Poids des items par rapport à la variable latente <i>PRED_Confort_Psychologique</i>		
	Coefficient	Intervalle de confiance à 95%	P value
24	0,78	[0,74 ; 0,82]	$< 10^{-3}$
25	0,77	[0,73 ; 0,82]	$< 10^{-3}$
26	0,57	[0,50 ; 0,64]	$< 10^{-3}$
<i>Emotions</i> (score factoriel représentatif des items 27a à 27d)	0,55	[0,47 ; 0,62]	$< 10^{-3}$
28	0,96	[0,95 ; 0,97]	$< 10^{-3}$
29	0,96	[0,95 ; 0,97]	$< 10^{-3}$
30	0,91	[0,89 ; 0,93]	$< 10^{-3}$

Tableau 10 : Analyse factorielle confirmatoire pour la variable latente *PRED\_ConfPsychologique* relative au confort psychologique.

## ▪ Modèle final d'équations structurelles

La notion de confort ayant été considérée selon quatre dimensions, la cohérence interne est évaluée pour les scores factoriels représentatifs de chaque dimension du confort (*Confort\_Physique*, *Confort\_Fonctionnel*, *Confort\_Acoustique\_Perception*, *Confort\_Acoustique\_Occlusion* et *Confort\_Psychologique*). La valeur élevée ( $\alpha = 0,84$ ) confirme que ces derniers décrivent une notion similaire. Afin de définir la variable latente représentative du confort global, une CFA est réalisée. Tous les scores factoriels sont liés de manière statistiquement significative à la variable latente *PRED\_Confort\_Global* ( $P < 10^{-3}$ ). De plus, les covariances entre les scores *Confort\_Fonctionnel* et *Confort\_Psychologique*, ainsi qu'entre les scores *Confort\_Acoustique\_Perception* et *Confort\_Acoustique\_Occlusion* sont élevées. Enfin, la forte valeur de corrélation ( $r_s = 0,88$  ;  $P < 10^{-3}$ ) existant entre la variable latente *PRED\_Confort\_Global* et l'item 31 du questionnaire abordant la question du confort global confirme la pertinence de cette variable pour prédire le confort global sur la base des évaluations des différentes dimensions du confort.

Items	Poids des items par rapport à la variable latente <i>PRED_Confort_Global</i>		
	Coefficient	Intervalle de confiance à 95%	P value
<i>Confort_Physique</i>	0,78	[0,74 ; 0,82]	$< 10^{-3}$
<i>Confort_Fonctionnel</i>	0,77	[0,73 ; 0,82]	$< 10^{-3}$
<i>Confort_Acoustique_Perception</i>	0,57	[0,50 ; 0,64]	$< 10^{-3}$
<i>Confort_Acoustique_Occlusion</i>	0,55	[0,47 ; 0,62]	$< 10^{-3}$
<i>Confort_Psychologique</i>	0,96	[0,95 ; 0,97]	$< 10^{-3}$
cov( <i>Confort_Acoustique_Perception</i> , <i>Confort_Acoustique_Occlusion</i> )	0,96	[0,95 ; 0,97]	$< 10^{-3}$
cov( <i>Confort_Fonctionnel</i> , <i>Confort_Psychologique</i> )	0,91	[0,89 ; 0,93]	$< 10^{-3}$

Tableau 11 : Analyse factorielle confirmatoire pour la variable latente *PRED\_Confort\_Global* relative au confort global.

Des analyses univariées ont été ensuite menées pour chacune des variables prédictives abordées dans le questionnaire préliminaire (âge, niveau d'études, etc. – cf. paragraphe 2.3). Ces analyses ont d'abord permis d'identifier les 5 items pour lesquels il existait des relations statistiquement significatives ( $P < 0,05$ ) avec le confort global : durée d'utilisation quotidienne, niveau d'études, expérience d'utilisation de bouchons d'oreille, raison d'utilisation de bouchons d'oreille et famille de bouchons d'oreille. Ces items ont alors intégrés dans la SEM finale présentée Figure 1 et des valeurs de qualité d'ajustement satisfaisantes ont été trouvées (RMSEA = 0,087 ; CFI = 0,927 ; SRMR = 0,049). Les analyses successives ayant conduit à la modélisation par équation structurelle permettent ainsi de représenter le sentiment de confort associé à l'utilisation de bouchons d'oreille via une unique variable latente *PRED\_Confort\_Global*, qui correspond à la prédiction du confort global en fonction des paramètres explicatifs.

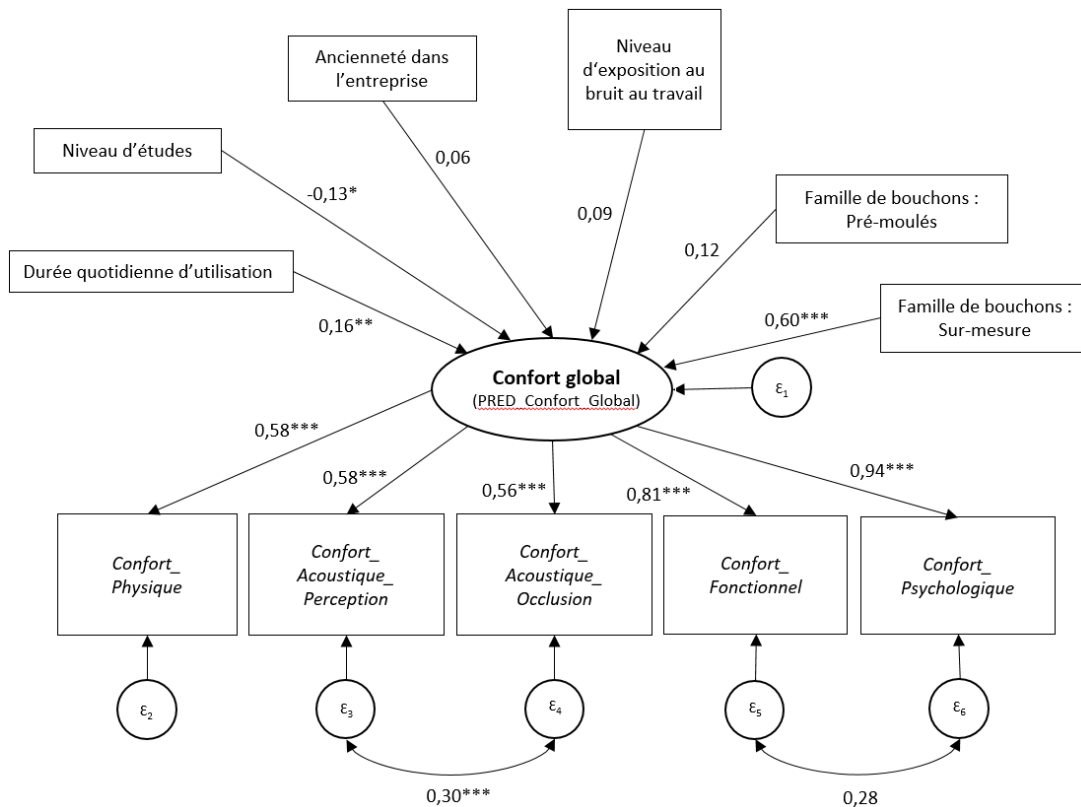


Figure 1. Modèle d'équations structurelles pour la variable latente *PRED\_Confort\_Global*.  
 Coefficient : < 0.2 : association faible ; 0.2-0.5 : association modérée ; > 0.5 : association importante.  
 \* : 0,05 < P < 0,01 / \*\* : 0,01 < P < 0,001 / \*\*\* : P ≤ 0,001.

### ○ Sensibilité

Concernant la sensibilité du questionnaire (cf. paragraphe 2.2), l'analyse des évaluations du confort global (analyses descriptives et régressions logistiques ordonnées) a montré la capacité du questionnaire à distinguer les modèles de bouchons d'oreille de manière statistique.

### ○ Fiabilité

Le protocole de test impliquant deux séries successives X-Y-Z espacées de trois semaines (cf. paragraphe 2.3), la fiabilité *test-retest* a été considérée en évaluant l'impact de ce paramètre sur les évaluations. Pour tous les participants, la moyenne du confort global a été calculée pour chaque série. La forte corrélation (0,74) entre les deux séries montre une fiabilité satisfaisante dans l'évaluation du confort global. Des analyses similaires ont été effectuées pour les items généraux représentatifs de chaque dimension du confort. Les valeurs de corrélation entre 0,63 et 0,79 confirment une fiabilité satisfaisante pour chaque dimension.

### 3.3.3. Analyses des données

#### ○ Evaluation du protocole

L'évaluation du confort a été effectuée selon deux échelles temporelles (cf. paragraphe 2.3) : hebdomadaire et quotidienne. Afin de vérifier statistiquement si les modalités prises par la variable *Jour* influencent les évaluations des différentes composantes du confort, des analyses par régression logistique ont été effectuées. La significativité de l'impact de la variable *Jour* sur les évaluations des principaux items du questionnaire quotidien a été évaluée une fois le modèle de bouchons pris en compte (cf. Tableau 12). Les analyses montrent qu'il n'a pas d'impact statistiquement significatif de la variable *Jour* sur les réponses (à un niveau de confiance de 95%), excepté pour la durée nécessaire à l'habituation. Néanmoins, concernant cet item, une analyse par modèle n'a permis d'identifier un impact significatif que pour un unique modèle malléable. De plus, l'observation des données pour ce modèle ne met en évidence qu'un effet marginal. Il semble donc raisonnable de considérer que, de manière globale, les évaluations n'évoluent pas au fil des jours.

Durée nécessaire à l'habituation	Difficultés de mise en place	Inconfort par moments	Confort physique		Confort fonctionnel	Confort acoustique		Confort psychologique	Confort global
			Gêne	Douleur		Bonne perception des sons	Effet d'occlusion		
0,01**	0,14	0,09	0,47	0,40	0,94	0,38	0,84	0,82	0,91

Tableau 12. Valeurs  $Prob > chi2$  illustrant la significativité de l'impact du paramètre *Jour* sur les grandeurs suivantes : durée nécessaire à l'habituation, difficultés de mise en place, inconfort par moments, gêne physique (confort physique), douleur (confort physique), confort fonctionnel, bonne perception des sons (confort acoustique), effet d'occlusion (confort acoustique), confort psychologique et confort global.

Par ailleurs, si les questionnaires hebdomadaires et quotidiens demeurent complémentaires, certaines questions leur sont communes. Du point de vue de l'analyse des réponses à ces questions, deux cas de figure peuvent alors se présenter. Si le type de questionnaires n'impacte pas les réponses, les données peuvent être considérées de manière globale lors des analyses. Au contraire, si pour les questions communes il existe des différences statistiquement significatives entre les deux questionnaires, il est nécessaire (a) de distinguer les réponses issues des deux questionnaires lors des analyses ; (b) d'identifier les raisons de ces disparités et d'intégrer cet aspect lors des analyses et discussions. Après analyses, les valeurs de probabilité illustrant la significativité de l'impact du questionnaire sur les différentes grandeurs communes aux deux questionnaires (gêne physique, douleur, confort fonctionnel, bonne perception des sons, effet d'occlusion, confort psychologique et confort global – items 1a, 1b, 7, 17a, 17b, 23 et 31 du questionnaire décrit Tableau 1) ne montrent aucun impact statistiquement significatif du questionnaire sur les items communs aux deux questionnaires (à un niveau de confiance de 95%). Formulé autrement, une fois pris en compte le modèle de bouchons, il n'y a (de manière générale) pas de différence entre les questionnaires quotidiens et hebdomadaires.

#### ○ Impact de l'entreprise

Compte tenu des différences entre les entreprises et de la disparité du nombre de participants par entreprise, des analyses par régression logistique ont été effectuées en excluant successivement une entreprise à la fois. Etant donné qu'aucune permutation dans les

classements des bouchons n'a été observée par rapport aux analyses globales, on peut supposer que les résultats présentés ci-après ne sont pas influencés par une entreprise en particulier.

## ○ Evaluations du confort

### Confort physique

Pour les deux items représentatifs de la dimension physique du confort (gêne et douleur physiques – items 1a et 1b du questionnaire - cf. Tableau 1), deux typologies statistiques sont distinguées (cf. Figure 2). La première, avec 79 % et 82 % d'évaluations positives ou très positives, inclut uniquement la famille de bouchons sur mesure. La seconde regroupe les familles de bouchons malléables et pré-moulés. Pour ces dernières, les évaluations ne sont donc statistiquement pas différentes en matière de gêne physique ou de douleur. Par ailleurs, une corrélation statistiquement significative à un niveau de confiance de 99 % ( $r_s = 0,60$  ;  $P < 10^{-3}$  pour la gêne et  $r_s = 0,54$  ;  $P < 10^{-3}$  pour la douleur physique) existe entre les évaluations du confort global et celles de ces deux items. Le confort global est donc, de manière statistique, lié aux attributs du confort physique. Pour toutes les familles, les actions agissant le plus fréquemment sur la gêne et la douleur (items CI1 et CI2 du questionnaire) sont la mastication et le fait de se pencher. Sept participants ont par ailleurs cité la marche comme source de gêne ou de douleur accrue.

Concernant les sensations de pression mécanique et d'irritation (items 2 à 5 du questionnaire), toutes familles confondues, sont mesurées 7 à 30 % d'évaluations négatives ou très négatives pour 44 à 85 % d'évaluations positives ou très positives. Par ailleurs, des analyses par régression logistique montrent que, indépendamment de la famille de bouchons, la sensation de pression mécanique est toujours évaluée plus négativement que la sensation d'irritation (que ce soit durant l'insertion, le port ou le retrait). Enfin, concernant les divers symptômes (item CI5 du questionnaire), la sensation de chaleur est fréquemment citée (30 % des participants pour les bouchons malléables, 22 % pour les bouchons pré-moulés et 14 % pour les bouchons sur mesure), ainsi que la sensation de démangeaison (31 % des participants pour les bouchons malléables, 39 % pour les bouchons pré-moulés et 11 % pour les bouchons sur mesure).

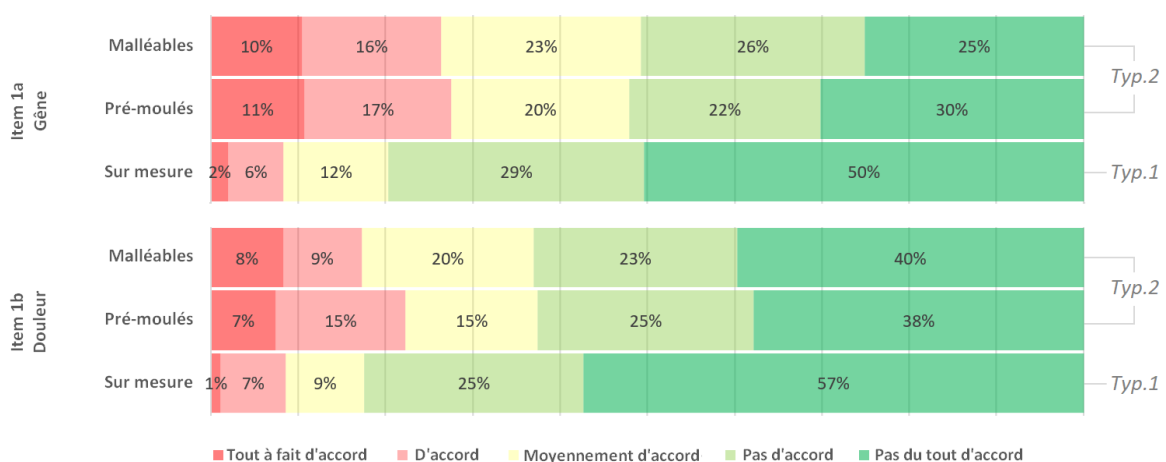


Figure 2. Évaluations du confort physique. Items 1a et 1b du questionnaire présenté

Tableau 1 (1a. D'une façon générale, ces bouchons génèrent une gêne physique ; 1b. D'une façon générale, ces bouchons génèrent une douleur). Chaque typologie (Typ.) réunit les familles statistiquement similaires en matière de gêne et de douleur physiques.

## Confort fonctionnel

Concernant la dimension fonctionnelle (item 7 du questionnaire – cf. Tableau 1), il existe une forte préférence pour les bouchons sur mesure, suivis des pré-moulés et enfin malléables (Figure 3). Par ailleurs, une corrélation statistiquement significative à un niveau de confiance de 99 % ( $r_s = 0,79$  ;  $P < 10^{-3}$ ) est observée entre les évaluations du confort global (item 31) et celles de cet item, ainsi qu'une corrélation importante entre l'efficacité ressentie (item 8) et le sentiment de protection (item 9a) :  $r_s = 0,76$  ;  $P < 10^{-3}$ . De plus, 88 % des participants considèrent que l'efficacité des bouchons sur mesure ne diminue jamais (contre 59 % et 64 % pour les deux autres familles) (item C16). On note une valeur de corrélation assez importante ( $r_s = 0,64$  ;  $P < 10^{-3}$ ) entre les items liés à l'efficacité (item 8) et au maintien en position (item 12). Concernant la mise en place des bouchons (intuitivité, facilité, rapidité, nombre de gestes – items 11a à 11d), si on observe entre 59 % et 73 % d'évaluations positives ou très positives pour les modèles pré-moulés et sur-mesure, les modèles malléables n'en obtiennent qu'entre 36 % et 40 % pour 33 % à 39 % d'évaluations négatives ou très négatives. À l'inverse, les questions liées au retrait (items 13a à 13d) recueillent entre 67 % et 85 % d'évaluations positives ou très positives, toutes familles confondues. Concernant le maintien en position (item 12), les bouchons sur mesure recueillent 88 % d'évaluations positives ou très positives. Les deux autres familles font ici partie de la même typologie statistique et recueillent entre 21 % et 28 % d'évaluations négatives ou très négatives concernant cette question.

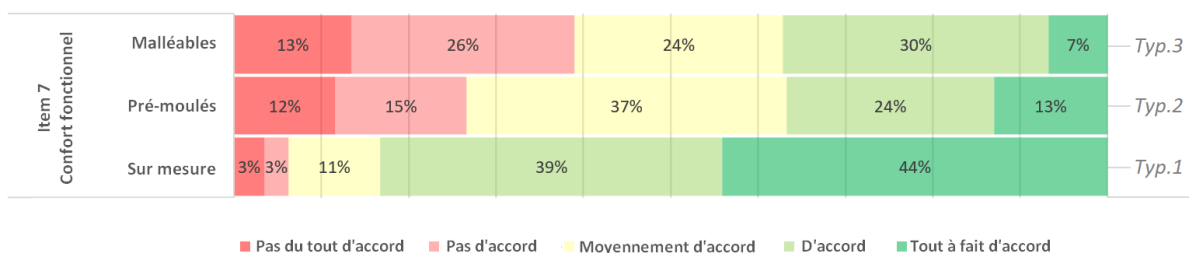


Figure 3. Évaluations du confort fonctionnel. Item 7 du questionnaire présenté

Tableau 1 (D'une façon générale, ces bouchons sont fonctionnels (efficacité, bonne tenue, mise en place intuitive...)). Chaque typologie (Typ.) réunit les familles statistiquement similaires en matière de confort fonctionnel.

## Confort acoustique

Le confort acoustique (cf. Figure 4) est considéré via deux notions : la bonne perception des sons utiles et l'absence de gêne due à l'effet d'occlusion (items 17a et 17b du questionnaire - cf. Tableau 1). Pour chacune, la hiérarchie statistique suivante est observée : bouchons sur mesure (72 % et 62 % d'évaluations positives ou très positives), pré-moulés (44 % et 37 %) et enfin malléables (32 % et 34 %). Il existe d'ailleurs une corrélation statistiquement significative à un niveau de confiance de 99 % entre ces deux items ( $r_s = 0,65$  ;  $P < 10^{-3}$ ). Il convient de noter que, même pour les bouchons sur mesure, dont les filtres sont censés permettre une altération réduite de l'environnement sonore, 25 % des évaluations sont négatives ou très négatives (48 % pour les bouchons malléables et 33 % pour les bouchons pré-moulés) en termes de bonne perception de la voix (item 18). Enfin, concernant la localisation des sons (item 20), si les bouchons sur mesure recueillent 61 % d'évaluations positives ou très positives, ce taux chute à 44 % pour les bouchons pré-moulés et à 35 % pour les bouchons malléables. Par ailleurs, une corrélation statistiquement significative à un niveau de confiance de 99 % ( $r_s = 0,59$  ;  $P < 10^{-3}$  pour la bonne perception et  $r_s = 0,50$  ;  $P < 10^{-3}$  pour l'absence de gêne) est observée entre les évaluations du confort global et celles de ces deux items.

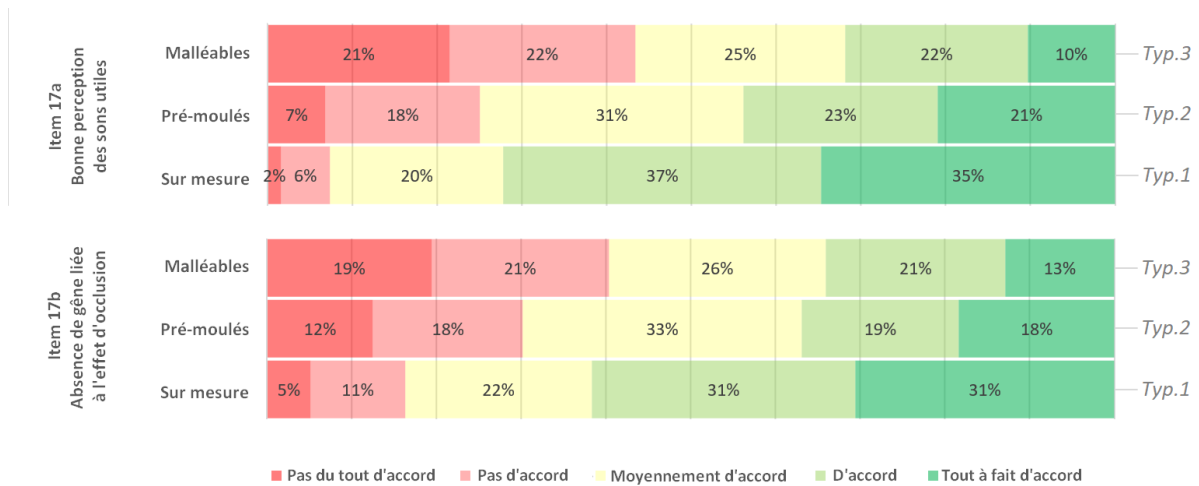


Figure 4. Évaluations du confort acoustique. Items 17a et 17b du questionnaire présenté

Tableau 1 (17a. Ces bouchons permettent de bien entendre les sons utiles provenant de votre environnement de travail (conversations, machines, signaux d'alerte, arrivées d'engins...); 17b. Ces bouchons permettent de ne pas être gêné par les sons provenant de votre corps (voix, mastication, déglutition, battements de cœur, respiration...)). Chaque typologie (Typ.) réunit les familles statistiquement similaires en matière de bonne perception des sons utiles et d'absence de gêne liée à l'effet d'occlusion.

## Confort psychologique

Concernant la dimension psychologique du confort (représentée ici par la notion de bien-être – item 23 du questionnaire), on constate à nouveau une meilleure considération pour les bouchons sur mesure avec 75 % d'évaluations positives ou très positives (cf. Figure 5). De manière plus détaillée, on retrouve cette tendance pour tous les items du confort psychologique avec 79 % d'évaluations positives ou très positives en termes de confiance (item 24), 79 % pour l'habituation (item 25), 58 % concernant la gêne associée à un sentiment d'isolement (item 26), 78 % en termes de satisfaction (item 28), 79 % concernant le fait de répondre aux besoins (item 29) et 81 % pour les intentions de réutilisation (item 30). En revanche, les évaluations des bouchons pré-moulés et malléables apparaissent soit mitigées (bien-être, confiance, habituation) avec entre 30 % et 38 % d'évaluations négatives ou très négatives, entre 23 % et 31 % d'évaluations médianes et entre 33 % et 46 % d'évaluations positives ou très positives), soit majoritairement négatives (gêne associée à un sentiment d'isolement, satisfaction, besoins, réutilisation), avec entre 39 % et 74 % d'évaluations négatives ou très négatives. Si, concernant le bien-être, la confiance, l'habituation et la satisfaction, les deux familles font partie d'une même typologie statistique, il n'en est pas de même pour la gêne liée à l'isolement perçu, l'intention de réutiliser ce modèle et le fait de répondre aux besoins. Ainsi, les analyses statistiques montrent une distinction entre les deux familles pour ces trois items, avec une préférence pour les bouchons pré-moulés. On observe par ailleurs une corrélation statistiquement significative à un niveau de confiance de 99 % ( $r_s = 0,83$  ;  $P < 10^{-3}$ ) entre les évaluations du confort global et le bien-être (item 23).





par les participants. Au final, ce modèle confirme la pertinence des dimensions proposées, tout en suggérant une importance particulière des aspects fonctionnels et psychologiques. Si ces résultats sont évidemment spécifiques aux données recueillies dans le cadre de cette étude, cette relation forte existant entre le confort global et les confort fonctionnels et psychologiques est un point notable. Ces dimensions apparaissent ainsi déterminantes dans l'estimation du confort et pour aider à la sélection de modèles de bouchons sur le lieu de travail ou guider le développement de futurs bouchons d'oreille. Cela n'implique évidemment pas d'ignorer les dimensions acoustiques et physiques, mais souligne l'importance des deux autres dimensions dans la prédiction du ressenti global.

En plus de confirmer le classement proposé lors de la modélisation par équations structurelles (cf. paragraphe 3.3.2), les évaluations (cf. paragraphe 3.3.3) ont permis de quantifier les différences de perception du confort entre les familles. Avec 83 % d'évaluations positives ou très positives pour les bouchons sur mesure, contre 35 % pour les bouchons pré-moulés et 26 % pour les bouchons malléables, la préférence apparaît très marquée. De plus, la préférence pour cette famille est observée pour toutes les dimensions du confort. Ceci met en évidence la prédominance systématique de cette famille de bouchons d'oreille en termes de confort, quelle que soit la dimension considérée. Cela confirme et complète les conclusions de certaines études antérieures indiquant une meilleure acceptation des bouchons sur mesure par rapport aux bouchons malléables [58] [59]. En revanche, le problème de mise en place identifié par Laitinen et Poulsen [49] pour les bouchons d'oreille sur mesure ne se retrouve pas dans les données de cette enquête. Il est probable que celui-ci ait pu être résolu via l'inclusion d'une phase d'apprentissage de la mise en place ou par une évolution des designs et des technologies depuis 2008. Par ailleurs, si certains des musiciens interrogés par Laitinen et Poulsen [49] rapportent une altération de la qualité sonore et une plus grande atténuation perçue pour les bouchons sur mesure par rapport aux bouchons malléables, cela n'apparaît pas non plus dans cette enquête. Bien qu'une exigence accrue des musiciens envers la qualité sonore puisse expliquer ces ressentis, les bouchons sur mesure étant équipés de filtres supposés limiter l'altération de l'environnement sonore et présentant des niveaux d'atténuation théoriquement plus faibles que les bouchons malléables (lorsque l'ajustement est optimal), l'hypothèse d'une mauvaise insertion (et donc d'une mauvaise utilisation) des bouchons malléables pourrait également expliquer ces remarques. De même, alors que Brown-Rothwell [60] fait état d'un inconfort physique associé à l'utilisation de bouchons sur mesure, le contraire est constaté dans cette étude. La recherche de Brown-Rothwell [60] datant de 1986, les évolutions technologiques pourraient à nouveau expliquer cette divergence. En conclusion, si les conditions sont adaptées (niveau d'atténuation, interaction avec d'autres équipements de protection, etc.), les données collectées suggèrent de favoriser l'usage des bouchons sur mesure par rapport aux deux autres familles considérées dans cette étude afin d'optimiser le confort et donc de favoriser une utilisation continue et correcte des bouchons. Bien que les bouchons pré-moulés soient généralement préférés aux bouchons malléables, on note néanmoins que, d'un point de vue statistique, les évaluations des deux familles ne sont pas significativement différentes pour de nombreuses caractéristiques (douleur, irritation, efficacité, bien-être, etc.). Le choix entre les deux pourrait donc être lié à des usages spécifiques : activités nécessitant une mise en place et un retrait fréquents des bouchons d'oreille, durée d'utilisation quotidienne, etc.

Si l'étape de validation du construit du questionnaire (cf. paragraphe 3.3.2) a montré que l'irritation et la pression mécanique étaient toutes deux associées de manière significative au confort physique, les données recueillies suggèrent en parallèle que la sensation de pression mécanique exercée par le bouchon sur les parois du conduit auditif est plus problématique que la sensation d'irritation. Si l'on considère le confort exclusivement à travers le prisme de sa dimension physique, ceci est en accord avec l'hypothèse de Gerges [61] qui soutient que la pression mécanique est « probablement la cause la plus directe de l'inconfort ». Néanmoins, bien que l'irritation semble moins problématique que la pression mécanique, la fréquence des problèmes liés à la sensation de démangeaison, notamment pour les bouchons d'oreille

malléables et pré-moulés, confirme que des progrès demeurent nécessaires concernant cet aspect. Si l'hypothèse d'un parallèle entre le ressenti physique et les caractéristiques des bouchons a été posée lors de la construction des questionnaires en intégrant des items relatifs à la taille, la rugosité et la dureté des bouchons (cf. Tableau 1), celle-ci n'est pas confirmée par les analyses (on ne note pas de relation entre ces items et la variable latente associée au confort physique). Ceci s'explique par la forte proportion de réponses neutres qui empêche d'identifier une relation entre les propriétés physiques perçues du bouchon d'oreille et le confort physique rapporté. On retrouve un problème similaire concernant la localisation des sensations, aucune ne se démarquant dans les évaluations. Etant donné les disparités des modèles de bouchons utilisés dans cette étude, cela suggère une difficulté des participants à évaluer les différences entre les propriétés des bouchons. A ce stade, il est uniquement possible d'émettre des hypothèses quant à ces constats : remplissage du questionnaire en dehors du temps de port des bouchons d'oreille, difficulté à évaluer les sensations corporelles pour des personnes non entraînées, etc. Ces items ne sont donc peut-être pas pertinents dans le cadre d'une évaluation subjective du confort, les personnes étant plus à même de rapporter leurs sensations que de distinguer et hiérarchiser les propriétés des bouchons. Par ailleurs, bien que certaines études [35] [15] suggèrent que les bouchons d'oreille pré-moulés sont physiquement (et plus spécifiquement pour la pression mécanique) plus inconfortables que les bouchons d'oreille malléables, les données collectées ne prouvent pas que les deux familles soient statistiquement perçues différemment du point de vue du confort physique. En outre, si les données confirment que le fait de mâcher, de se pencher, de bouger la tête et de parler peut, quelle que soit la famille, accentuer ou créer une gêne physique, la mastication et l'action de se pencher semblent particulièrement problématiques pour les bouchons d'oreille malléables (plus d'un tiers des participants ont signalé une gêne physique associée à ces actions). Il est également intéressant de noter que sept participants suggèrent la marche comme source de gêne ou de douleur accrue. Si les propositions du questionnaire s'avèrent pertinentes, cette action pourrait néanmoins être également intégrée au questionnaire dans le futur. Enfin, bien que certaines études indiquent une meilleure dissipation de la chaleur pour les bouchons d'oreille malléables [29], les données suggèrent au contraire un problème de chaleur excessive pour ces bouchons par rapport aux autres familles. Cette différence pourrait être due à plusieurs facteurs : modèles de bouchons d'oreille, nombre de participants, température ambiante, profession, etc. En effet, l'étude d'Arezes *et al.* [29] a été menée dans l'industrie du textile avec seulement cinq travailleurs, alors que la présente étude implique 118 participants, travaillant dans quatre entreprises et sélectionnés afin de couvrir un large éventail de professions et d'environnements.

La dimension fonctionnelle du confort est bien apparue liée aux différentes notions d'efficacité, d'utilisabilité, d'utilité et d'impact sur le travail (cf. paragraphe 3.3.2). Des regroupements d'items étant apparus nécessaires afin d'améliorer la qualité d'ajustement du modèle, certains items pourraient donc être redondants ou, du point de vue des participants, correspondre à un même concept. Une simplification du questionnaire pourrait alléger le protocole tout en ne réduisant pas l'information collectée. Comme démontré lors de la validation du questionnaire (cf. paragraphe 3.3.2), l'efficacité peut être en partie expliquée par le sentiment de protection ( $r_s = 0,76$  ;  $P < 10^{-3}$ ). Cependant, la persistance du sentiment d'efficacité fournit une autre piste explicative : 88 % des participants considèrent que l'efficacité des bouchons sur mesure ne diminue jamais (contre 59 % et 64 % pour les deux autres familles). On peut donc émettre l'hypothèse d'une relation entre l'efficacité perçue et le maintien en position. La valeur de corrélation assez importante ( $r_s = 0,64$  ;  $P < 10^{-3}$ ) entre les deux items va d'ailleurs dans ce sens. Le lien entre l'atténuation théorique du niveau sonore annoncée par les fabricants (via le SNR) et l'efficacité perçue a été évalué. Cependant, la faible corrélation observée entre le SNR des bouchons d'oreille et l'efficacité ( $r_s = -0,33$  ;  $P < 10^{-3}$ ) va à l'encontre de cette hypothèse. De plus, aucune corrélation n'a été trouvée entre le sentiment de surprotection<sup>1</sup> et

<sup>1</sup> Le sentiment de surprotection est associé à une détérioration ressentie de la communication verbale et de la perception des signaux utiles [19] [62].

le niveau SNR affiché par les fabricants ( $r_s = 0,06$  ;  $P = 0,16$ ). Ainsi, si ce sentiment ne peut être lié à l'efficacité perçue à laquelle elle avait été rattachée dans le questionnaire ( $r_s = -0,39$  ;  $P < 10^{-3}$  – cf. paragraphe 3.3.2), celui-ci n'est pas non plus lié à une atténuation trop importante. L'item associé à la surprotection semble donc peu pertinent ou difficile à interpréter. Une analyse complémentaire ne montre d'ailleurs jamais de corrélation importante entre le sentiment de surprotection et aucun autre item du questionnaire. L'item est soit mal compris, soit inapproprié.

Les analyses ont montré que l'utilisabilité est très fortement associée aux étapes liées à la mise en place, celles associées au retrait étant secondaires (cf. paragraphe 3.3.2). Les données recueillies montrent d'ailleurs que le retrait, parfois cité dans la littérature [47], ne semble pas problématique, quelle que soit la famille de bouchons d'oreille. On note également qu'en raison de covariances importantes, l'ajustement du modèle a nécessité de regrouper (a) tous les items liés au retrait, (b) la rapidité et la facilité de mise en place. À terme, des simplifications des questionnaires pourraient donc être envisagées. Concernant la mise en place, les données collectées sont en accord avec certaines études [46] qui concluent que l'ajustement peut être particulièrement problématique pour les bouchons d'oreille malléables (entre 33 % et 39 % d'évaluations négatives ou très négatives recueillies pour les items associés à la mise en place pour les bouchons malléables contre 7 % à 19 % pour les deux autres familles). Ainsi, malgré la phase d'entraînement préalable incluse dans le protocole (cf. paragraphe 2.3), ce problème demeure. Les personnes dont le travail nécessite une utilisation intermittente des bouchons d'oreille pourraient donc être particulièrement réticentes à utiliser des bouchons d'oreille malléables en raison de la nécessité d'une mise en place répétée dans la journée. La question du maintien en position peut parfois être problématique pour les bouchons d'oreille pré-moulés et malléables (21 % à 28 % d'évaluations négatives ou très négatives). La grande variabilité de la géométrie du conduit auditif et le nombre limité de tailles de bouchons d'oreille (unique pour les bouchons d'oreille pré-moulés ; petit, moyen, grand pour les bouchons d'oreille malléables, bien que souvent seul le format moyen soit mis à disposition) peuvent expliquer ce problème, l'interaction entre le bouchon d'oreille et le conduit auditif pouvant influencer le maintien en position. Le fait que les bouchons d'oreille sur mesure n'aient reçu que 3 % d'évaluations négatives ou très négatives est d'ailleurs en accord avec cette hypothèse. D'un point de vue pratique, cela confirme la nécessité, pour les bouchons d'oreille malléables, de toujours proposer plusieurs tailles afin d'optimiser (entre autres) le maintien en position. Le fait que plusieurs tailles aient été proposées lors de cette enquête suggère d'ailleurs que les résultats auraient pu être dégradés si cela n'avait pas été le cas.

Concernant l'utilité perçue des bouchons d'oreille par rapport à l'environnement (item 15a) et aux activités de travail (item 15b) (cf. Tableau 1), bien que les distributions confirment la corrélation observée entre les deux items ( $r_s = 0,90$  ;  $P < 10^{-3}$ ), elles montrent surtout l'écart important entre l'utilité perçue pour les bouchons sur mesure et pour les autres familles. La corrélation mesurée entre les deux items liés à l'utilité ressentie et l'item représentatif de l'efficacité perçue ( $r_s = 0,68$  ;  $P < 10^{-3}$  et  $r_s = 0,61$  ;  $P < 10^{-3}$ ) suggère que la notion d'utilité a pu être considérée de manière proche de celle de l'efficacité et que les deux notions pourraient être complémentaires. On note que les participants n'ont pas distingué l'utilité des bouchons due à l'environnement de travail de celle associée aux activités. Ceci est cohérent avec le fait que les deux aspects sont liés. À terme, un unique item pourrait donc être préférable afin d'alléger le questionnaire. Le même constat s'applique aux items dédiés à l'impact des bouchons sur le travail (qualité, productivité, concentration). Ainsi, si une distinction a pu être faite lors des différentes études passées, celle-ci pourrait ne pas être justifiée dans le cadre de ces questionnaires. Néanmoins, l'analyse de la distribution des données montre surtout une absence de relation entre l'utilisation des bouchons d'oreille et la performance ressentie (entre 47 % et 69 % d'évaluations neutres). Deux hypothèses peuvent être soulevées : une réelle absence de relation entre le fait d'utiliser des bouchons d'oreille et le travail accompli ou une difficulté pour les participants à percevoir cette relation. Cette difficulté peut alors être

expliquée ou exacerbée, par exemple, par la diversité des activités ou le fait que le questionnaire soit rempli en fin de semaine.

Le confort acoustique a été envisagé selon deux aspects : la bonne perception des sons utiles et la gêne liée à l'effet d'occlusion. Concernant le premier aspect, malgré le fait que les items ne présentent pas de valeurs de covariance importantes, un regroupement a dû être effectué sur une base conceptuelle en réunissant tous les items associés à la perception des sons utiles autres que la parole (cf. paragraphe 3.3.2). Ainsi, même si les participants distinguent le ressenti associé à chaque type de son, une évaluation groupée est apparue plus pertinente dans le cadre prédictif des analyses. Les bouchons malléables semblent par ailleurs particulièrement problématiques (avec 43 % d'évaluations négatives ou très négatives). Ces derniers sont donc à éviter pour les personnes devant se fier à leur environnement sonore pour effectuer leur travail. Néanmoins, toutes les familles peuvent impliquer une altération plus ou moins importante de la perception de certains sons utiles et même les bouchons sur mesure, dont les filtres sont censés limiter l'altération de l'environnement sonore, ont reçu 25 % d'évaluations négatives ou très négatives en termes de bonne perception de la voix. Ainsi, même avec des bouchons sur mesure, il demeure nécessaire de garder à l'esprit que la perception de l'environnement sonore peut être modifiée et qu'une période d'habituation peut être nécessaire. Cette sensation peut également être liée aux exigences et à la sensibilité de chaque utilisateur. Cette complexité est d'ailleurs observée dans l'étude de Laitinen & Poulsen [49] : des bouchons d'oreille sur mesure y sont, pour un même profil de participants (musiciens), tour à tour acceptés en raison de l'atténuation indépendante de la fréquence et rejetés en raison d'une altération de la qualité sonore. Enfin, une meilleure localisation ressentie des sources sonores est observée avec les bouchons sur mesure, ce qui, du point de vue de la sécurité, peut être déterminant dans le choix d'une protection auditive. Concernant la gêne due à l'effet d'occlusion, les analyses ont confirmé que celui-ci était bien représenté par les items inclus dans le questionnaire. De plus, on observe une distinction statistique systématique entre les trois familles de bouchons d'oreille selon l'ordre décroissant suivant : bouchons sur mesure, pré-moulés et enfin malléables. Le lien fort entre la gêne due à l'effet d'occlusion et la bonne perception des sons utiles (cf. paragraphe 3.3.2) est ici confirmé. Enfin, le lien entre atténuation et confort acoustique a été vérifié. Les corrélations calculées entre le SNR affiché par les fabricants et les différents items du confort acoustique s'avèrent ainsi faibles ( $r_s < 0,29$ ). On observe des résultats similaires en considérant les valeurs d'atténuation théoriques HML<sup>1</sup> par bandes de fréquences hautes, moyennes et basses. Aucun lien entre l'atténuation théorique et le confort acoustique perçu n'apparaît donc au vu des données collectées.

Le confort psychologique a été abordé dans les questionnaires via de nombreux items (cf. Tableau 1), afin de pouvoir aborder cet aspect rare dans la littérature de la manière la plus complète possible. Les différents items (satisfaction, isolement, confiance, habituation, réponse aux besoins et réutilisation envisageable) apparaissent tous liés de manière forte à la variable latente représentative de la dimension psychologique du confort. Ils permettent ainsi, de manière complémentaire, de décrire et prédire le bien-être associé à l'utilisation des bouchons. Si les familles malléables et pré-moulés appartiennent à la même typologie statistique pour de nombreux items, le questionnaire permet néanmoins d'identifier plusieurs paramètres pour lesquels les bouchons pré-moulés sont préférés : la gêne liée à l'isolement perçu, l'intention de réutiliser ce modèle et le fait de répondre aux besoins. Concernant les émotions associées à l'utilisation des bouchons d'oreille (items 27a à 27d – cf. Tableau 1), alors que les bouchons sur mesure ont reçu entre 48 % et 55 % d'évaluations positives ou très positives, les évaluations sont plus mitigées pour les bouchons d'oreille pré-moulés et malléables. Malgré tout, les valeurs de covariances importantes suggèrent une absence de distinction de la part des participants. Soit les différences sémantiques ne sont pas bien

<sup>1</sup> « Les indices partiels d'affaiblissement acoustique H, M et L [...] correspondent aux affaiblissements acoustiques supposés pour des bruits orientés respectivement hautes (H), moyennes (M) et basses (L) fréquences » [64].

perçues, soit ces sentiments sont tous extrêmement corrélés. Dans les deux cas, un unique item pourrait être à même de les représenter. Ainsi, bien que les participants semblent ne pas distinguer les quatre échelles sémantiques (cf. paragraphe 3.3.2), cela suggère qu'ils sont néanmoins capables de relier leurs émotions à l'utilisation de bouchons d'oreille.

Concernant l'impact des paramètres externes sur le confort perçu, relativement peu de données existent dans la littérature [46]. Afin de mieux comprendre leur relation avec le confort global, l'impact de tous les items du questionnaire préliminaire (cf. paragraphe 2.3) a été estimé lors de la construction du modèle prédictif par équations structurelles (cf. paragraphe 3.3.2). Une relation statistiquement significative (à un niveau de confiance de 95 %) avec le confort global prédit a été trouvée pour seulement deux paramètres : le niveau d'études et la durée quotidienne d'utilisation (déclarée avant les tests). Concernant l'impact du niveau d'études, celui-ci ressort comme un prédicteur négatif du confort. Les analyses montrent que les personnes ayant un niveau d'études plus élevé évaluent plus sévèrement les bouchons d'oreille pré-moulés et malléables que les personnes ayant un niveau d'études inférieur. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées : une exigence corrélée au niveau d'éducation, une compréhension des questionnaires différente ou encore des postes associés à des besoins différents. La durée d'utilisation quotidienne a quant à elle un impact sur la préférence entre bouchons d'oreille pré-moulés et malléables. Ainsi, les personnes déclarant porter les bouchons toute la journée préfèrent (après les bouchons sur mesure) les bouchons malléables alors que les autres préfèrent les pré-moulés. Cette observation pourrait avoir un impact sur le choix de la famille de bouchons lorsqu'il s'avère impossible de fournir des bouchons sur mesure ou lorsqu'un modèle alternatif ou en libre-service est proposé.

Enfin, les analyses en lien avec l'évaluation du protocole (cf. paragraphe 3.3.3) montrent qu'une fois pris en compte le modèle de bouchons, il n'y a (a) pas d'effet statistique du jour de remplissage sur les résultats pour les questionnaires quotidiens ; (b) pas de différence statistique entre les évaluations recueillies via les questionnaires quotidiens et hebdomadaires. Cela suggère, à terme, de pouvoir simplifier le protocole en supprimant les questionnaires quotidiens. Par ailleurs, le protocole inclut l'évaluation de chaque modèle de bouchons via deux séries successives X-Y-Z de trois semaines (cf. paragraphe 2.3). Les analyses montrent également l'absence d'impact statistiquement significatif de la série à un intervalle de confiance de 95 %. A terme, cela suggère de pouvoir réduire le protocole à trois semaines ou d'espacer les deux blocs dans le temps afin d'étudier un possible effet à plus long terme.

## 4.2. Conclusions

Les analyses ont permis d'éprouver le questionnaire COPROD d'évaluation du confort des bouchons d'oreille développé à la suite d'une revue de littérature exhaustive. Le protocole déployé dans différentes entreprises auprès de plus de 100 personnes, a permis de valider le questionnaire, de hiérarchiser les familles de bouchons testés et de proposer un modèle prédictif du confort ressenti en fonction d'un nombre réduit de paramètres. La modélisation par équations structurelles a confirmé le bien-fondé de la structure du questionnaire et des différentes sous-dimensions du confort. Le questionnaire s'avère donc être un outil adapté à l'évaluation (subjective) du confort et permettant d'estimer l'importance relative de chacun des différents indicateurs du confort. Par ailleurs, le déploiement du questionnaire a montré la préférence des bouchons d'oreille sur mesure pour chacune des dimensions du confort. Les données suggèrent donc de favoriser l'usage des bouchons sur mesure par rapport aux modèles malléables et pré-moulés lorsque les conditions de travail le permettent (niveaux d'atténuation, interactions avec d'autres équipements de protection, etc.). Le questionnaire permettra par ailleurs d'impliquer les travailleurs dans le choix de leur protection auditive et dans la sensibilisation aux risques pour leur audition. De plus, le questionnaire pourra constituer une aide à la considération du confort dès la phase de conception pour les

fabricants. Enfin, à terme, des retombées seront possibles du point de vue de la normalisation en ce qu'elle constituerait un pas supplémentaire vers la prise en compte normalisée du confort des bouchons d'oreille et dans son utilisation par les organismes notifiés pour la certification des protections auditives.

Malgré plusieurs points forts (questionnaire validé scientifiquement, diversité des bouchons d'oreille testés afin de couvrir une variété de caractéristiques pouvant être liées au confort des bouchons et de tirer profit de l'exhaustivité du questionnaire, nombre de participants), les observations précédentes demeurent néanmoins dépendantes des données recueillies (caractéristiques des participants, des environnements de travail et des bouchons testés). Ainsi, malgré la cohérence des observations avec certaines études antérieures, il sera nécessaire de collecter davantage de données afin de dresser des conclusions définitives. De plus, les données associées aux paramètres externes ont été recueillies de manière déclarative avant les tests. Elles constituent donc des informations subjectives et "moyennées". Un protocole incluant l'acquisition systématique de données objectivement mesurables (exposition au bruit, utilisation effective des bouchons d'oreille, besoins quotidiens, température, etc.) pourrait apporter des données supplémentaires (mais alourdirait de manière conséquente le protocole). Il pourrait également être intéressant de s'interroger sur un éventuel effet à plus long terme. Enfin, il serait intéressant de confirmer l'absence d'effet lié au genre sur la base d'une population plus équilibrée en terme de répartition hommes/femmes.

## 5. Bibliographie

- [1] Matinet B, Rosankis E. Les expositions aux risques professionnels dans la fonction publique et le secteur privé en 2017. Enquête SUMER 2017. *Synth Stat* 2019; 31: 1–33.
- [2] Parlement européen et du Conseil de la directive 89/391/CEE) 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 (ed). *Directive 2003/10/CE*. 2003.
- [3] Arezes PM, Miguel AS. Hearing Protectors Acceptability in Noisy Environments. *The Annals of Occupational Hygiene* 2002; 46: 531–536.
- [4] Damongeot A, Tisserand M, Krawsky G, et al. Evaluation of the Comfort of Personal Hearing Protectors. In: Alberti PW (ed) *Personal Hearing Protection in Industry*. New York: Raven Press, 1982.
- [5] Canetto P. Hearing Protectors: Topicality and Research Needs. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2009; 15: 141–153.
- [6] Hughson GW, Mulholland RE, Cowie HA. *Behavioural studies of people's attitudes to wearing hearing protection and how these might be changed*. Research report 028, Edinburgh, Midlothian: Health and Safety Executive, 2002.
- [7] Arezes PM, Miguel AS. Hearing protection use in industry: The role of risk perception. *Safety Science* 2005; 43: 253–267.
- [8] Arezes PM, Miguel AS. Does risk recognition affect workers' hearing protection utilisation rate? *International Journal of Industrial Ergonomics* 2006; 36: 1037–1043.
- [9] Morata TC, Fiorini AC, Fischer FM, et al. Factors affecting the use of hearing protectors in a population of printing workers. *Noise and Health* 2001; 4: 25–32.
- [10] Lusk SL, Ronis DL, Hogan MM. Test of the Health Promotion Model as a Causal Model of Construction Workers' Use of Hearing Protection. *Research in Nursing & Health* 1997; 20: 183–194.
- [11] Berger EH. The Effects of Hearing Protectors on Auditory Communications. *EARLog* 1980; 3: 1–2.
- [12] Helmkamp JS. Why workers do not use hearing protection? *Occ Health Saf* 1986; 55: 52.
- [13] Zwislocki J. Ear Protection: Effectiveness vs. Comfort. *Noise Control* 1958; 4: 14–48.
- [14] Bhattacharya SK, Tripathi SR, Kasityap SK. Assessment of comfort of various hearing protection devices (HPD). *J Human Ergol* 1993; 22: 163–172.

- [15] Casali JG, Lam, Epps BW. Rating and Ranking Methods for Hearing Protector Wearability. *Sound and Vibration* 1987; December: 10–18.
- [16] Gonçalves CG de O, Lüders D, Guirado DS, et al. Perception of hearing protectors by workers that participate in hearing preservation programs: a preliminary study. *CoDAS* 2015; 27: 309–318.
- [17] Gerges SNY. Earmuff comfort. *Applied Acoustics* 2012; 73: 1003–1012.
- [18] Nilsson R, Lindgren F. The effect of long term use of hearing protectors in industrial noise. *Scand Audio Suppl*, 1980; 12: 204–211.
- [19] Davis R. What do we know about hearing protector comfort? *Noise Health* 2008; 10: 83–89.
- [20] Chatillon J, Trompette N, Duval C. Comment choisir son protecteur individuel contre le bruit ? *Hygiène & Sécurité du travail*; 231.
- [21] Behar A, Jackson RA. Selection of hearing protectors. *Applied Acoustics* 1987; 22: 34–35.
- [22] AFNOR. NF EN 458 - Protecteurs individuels contre le bruit - Recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien - Document guide.
- [23] Mayer A, Korhonen E. Assessment of the Protection Efficiency and Comfort of Personal Protective Equipment in Real Conditions of Use. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 1999; 5: 347–360.
- [24] Royster LH, Holder SR. Personal hearing protection: Problems associated with the hearing protection phase of the hearing conservation program. In: *Personal Hearing Protection in Industry*. New York: P. W. Alberti, Raven Press, 1982.
- [25] Park M-Y, Casali JG. An empirical study of comfort afforded by various hearing protection devices: Laboratory versus field results. *Applied Acoustics* 1991; 34: 151–179.
- [26] Acton WI. Problems associated with the use of hearing protection. *Ann Occup Hyg* 1977; 20: 387–395.
- [27] Shaw EAG. Eardrum impedance and ear canal geometry. *J Acoust Soc Am* 1975; 57: S71–S72.
- [28] Williams W. Is It Reasonable to Expect Individuals to Wear Hearing Protectors for Extended Periods? *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2009; 15: 175–181.
- [29] Arezes PM, Abelenda C, Braga AC. An evaluation of comfort afforded by Hearing Protection Devices. 2008.
- [30] Davis RR, Murphy WJ, Byrne DC, et al. Acceptance of a Semi-Custom Hearing Protector by Manufacturing Workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2011; 8: D125–D130.
- [31] Sviech PS, Gonçalves CG de O, Morata TC, et al. Avaliação do conforto do protetor auditivo individual numa intervenção para prevenção de perdas auditivas. *Rev CEFAC* 2013; 15: 1325–1337.
- [32] Davis RR. Hearing Protector Comfort and Personal Attenuation Ratings: A Real World Study.
- [33] Schulz G, Rublack K, Meister A, et al. Comparative studies of insulating effect and the wearing properties of hearing protector means at the place of employment. *Z Gesamte Hyg Ihre Grenzgeb* 1983; 29: 93–98.
- [34] Byrne D, Davis R, Shaw P, et al. Relationship between comfort and attenuation measurements for two types of earplugs. *Noise and Health* 2011; 13: 86–92.
- [35] Epps BW, Casali JG. Hearing Protection Device Comfort and User Preference: An Investigation and Evaluation Methodology. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting* 1985; 29: 814–818.
- [36] Hsu Y-L, Huang C-C, Yo C-Y, et al. Comfort evaluation of hearing protection. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2004; 33: 543–551.
- [37] De Ketele JM, Roegiers X. *Méthodologie du recueil d'informations. Fondements des méthodes d'observations, de questionnaires, d'interviews et d'études de documents*. DeBoeck. Bruxelles, 1993.
- [38] Pierrette M, Parizet E, Chevret P, et al. Noise effect on comfort in open-space offices: development of an assessment questionnaire. *Ergonomics* 2015; 58: 96–106.
- [39] Bouletreau A, Chouanière D, Wild P, et al. Concevoir, traduire et valider un questionnaire. A propos d'un exemple, EUROQUEST. *Notes scientifiques et techniques de l'INRS*; NS 178.
- [40] Moret L, Mesbah M, Chwalow J, et al. Validation interne d'une échelle de mesure: relation entre analyse en composantes principales, coefficient alpha de Cronbach et coefficient de corrélation intra-classe. *Revue d'épidémiologie et de santé publique* 1993; 41: 179–186.
- [41] Corder GW, Foreman DI. *Nonparametric Statistics: A Step-by-Step Approach*. 2nd Edition. Wiley, 2014.

- [42] Cohidon C, Wild P, Senn N. A structural equation model of the family physicians attitude towards their role in prevention: a cross-sectional study in Switzerland. *Family Practice* 2019; 36: 297–303.
- [43] Hu L, Bentler PM. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* 1999; 6: 1–55.
- [44] Chen FF. Sensitivity of Goodness of Fit Indexes to Lack of Measurement Invariance. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* 2007; 14: 464–504.
- [45] Terroir J, Doutres O, Sgard F. Towards a “global” definition of the comfort of earplugs. In: *Inter-noise*. Hong Kong, 2017, pp. 1–7.
- [46] Doutres O, Sgard F, Terroir J, et al. A critical review of the literature on comfort of hearing protection devices: analysis of the comfort measurement variability. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2020; 1–12.
- [47] Doutres O, Sgard F, Terroir J, et al. A critical review of the literature on comfort of hearing protection devices: definition of comfort and identification of its main attributes for earplug types. *International Journal of Audiology* 2019; 58: 824–833.
- [48] Miguel AS. Personal Hearing Protection. *Safety Science* 1996; 23: 183–184.
- [49] Laitinen H, Poulsen T. Questionnaire investigation of musicians’ use of hearing protectors, self reported hearing disorders, and their experience of their working environment. *International Journal of Audiology* 2008; 47: 160–168.
- [50] Santoni CB, Fiorini AC. Músicos de pop-rock: avaliação da satisfação com protetores auditivos. *Braz j otorhinolaryngol (Impr)* 2010; 76: 454–461.
- [51] Sweetland KF. *Physical predictors for earmuff comfort*. Loughborough University, 1983.
- [52] Nielsen J. *Usability Engineering*. San Diego, USA: Academic Press, Inc., Harcourt Brace & Company, 1993.
- [53] Coles RRA, Rice CG. Speech communications effects and temporary threshold shift reduction provided by VGR and selectone-K earplugs under conditions of high intensity impulsive noise. *Journal of Sound and Vibration* 1966; 4: 156–171.
- [54] Ivarsson A, Toremalm NG, Brühl P. Eczema, Itching, Heat and Humidity Problems - Impediments to the Effective Use of Hearing Protectors. In: *Inter-Noise*. 1990, pp. 1093–1096.
- [55] Candido Fernandes J. Effects of hearing protector devices on speech intelligibility. *Applied Acoustics* 2003; 64: 581–590.
- [56] Lhuede EP. Ear muff acceptance among sawmill workers. *Ergonomics* 1980; 23: 1161–1172.
- [57] Fischer G, Vischer J. *L'évaluation des environnements de travail : la méthode diagnostique*. Presse de l'Université de Montréal, 1997.
- [58] Marshall L, Lapsley Miller JA, Heller LM, et al. Detecting incipient inner-ear damage from impulse noise with otoacoustic emissions. *The Journal of the Acoustical Society of America* 2009; 125: 995–1013.
- [59] Neitzel RL, Somers S, Seixas N. Variability of Real-World Hearing Protector Attenuation Measurements. *Ann Occup Hyg* 2006; 50: 679–691.
- [60] Brown-Rothwell DJ. *The comfort of earplugs: basis for a descriptive model*. University of Southampton, 1986.
- [61] Gerges SNY. Hearing protectors: noise attenuation and comfort. 2010; 1–19.
- [62] Kanada (ed). *Guidelines for the safe use of ultrasound. 2: Industrial and commercial applications*. Ottawa: Minister of Supply and Services Canada, 1991.
- [63] Terroir J, Perrin N, Wild P, et al. Assessing the comfort of earplugs: development and validation of the French version of the COPROD questionnaire. *Ergonomics* 2021; 64: 912–925.
- [64] Trompette N, Arz J-P, Gozzo J. Valeurs limites d'exposition au bruit et port de protecteurs individuels. Préconisations de l'INRS. 2021; ED 133: 1–4.