

Evaluation des risques
pour l'audition des opérateurs des
centres d'appels téléphoniques
et solutions de prévention.

Nicolas TROMPETTE
Jacques CHATILLON

NST 289

Résumé :

L'évaluation des risques pour l'audition des opérateurs des centres d'appels téléphoniques a nécessité le développement d'une nouvelle méthodologie utilisant un appareillage de mesure spécifique conforme à la norme ISO 11904-2 parue en 2005. Cet appareillage, basé sur un simulateur de tête et torse et d'un simulateur d'oreille occluse, a été déployé par l'INRS dans 21 centres d'appels pour estimer le risque auditif de plus d'une centaine d'opérateurs. L'estimation de l'exposition quotidienne de ces opérateurs, basée sur la norme ISO 9612 parue en 2009, est évaluée sur la base des temps journaliers de conversation téléphonique et avec le calcul des incertitudes. Les résultats de cette campagne de mesures montrent que le dépassement des seuils réglementaires est très rarement constaté mais peut survenir. Cependant, d'autres problèmes existent dans les centres d'appels téléphoniques : les chocs acoustiques sont des accidents rares mais mal supportés par les opérateurs et le bruit ambiant est trop souvent à des niveaux incompatibles à la fois avec un travail intellectuel et un bon confort d'écoute au téléphone. Des solutions de prévention ont été étudiées pour améliorer cette situation. Les limiteurs de niveaux et les protecteurs acoustiques permettent souvent de garantir une atténuation des chocs acoustiques et une limitation de l'exposition journalière. L'aménagement des plateaux (traitement acoustique du local, surface par opérateur) est discuté dans ce rapport. Suivre des recommandations simples sur cet aménagement peut conduire à des diminutions appréciables des niveaux de bruit rencontrés dans ces locaux de travail.

Abstract:

Risk assessment of hearing loss among call center operators has required development of new methodology based on specific measuring equipment complying with ISO Standard 11904-2 (published in 2005) and, in particular, a head and torso simulator and an ear simulator. The methodology has been applied by INRS at 21 call centers to assess the risk of hearing damage in over a hundred operators. Operator daily exposure was evaluated based on daily telephone conversation time in compliance with the requirements of ISO Standard 9612 (published in 2009) and measurement uncertainties were also calculated. The results of this measurement survey show that noise exposure can, but only very seldom, exceed regulatory limits. On the other hand, there are other problems at telephone call centers: acoustic shocks are rare, but are unbearable to operators and ambient noise is too often inconsistent with both intellectual work and comfortable listening on the telephone. Prevention solutions were studied to improve this situation: electronic devices or acoustic protectors can often ensure acoustic shock attenuation and daily exposure limitation. Workspace layout (room acoustic treatment, operator working area) is discussed in this report. Applying simple layout recommendations can lead to significant reductions in the ambient noise levels in these workplaces.

1. Introduction.....	7
2. Réglementation et recommandations	9
2.1. Bruits lésionnels et risques de pertes auditives.....	9
Réglementation	9
Problème de la mesure sous le casque d'écoute	9
Problème des données épidémiologiques.....	10
2.2. Confort acoustique dans le tertiaire.....	10
Des recommandations.....	10
Une norme architecturale	10
Les courbes de confort	10
Estimation globale du bruit	11
Acceptation d'un niveau de bruit.....	12
3. Méthodologie de mesure.....	12
3.1. Moyens de mesure.....	12
3.2. Évaluation simplifiée du niveau d'émission d'un poste téléphonique	13
3.3. Évaluation précise du niveau de bruit reçu sous le casque téléphonique pendant une conversation.....	14
3.4. Echantillonnage.....	15
3.5. Évaluation de l'exposition sonore quotidienne	16
3.6. Calcul de l'incertitude de mesure	17
Incertitude liée à l'échantillonnage.....	17
Autres facteurs d'incertitude	18
Incertitude globale de mesure	18
4. La campagne de mesure	19
4.1. Description des centres d'appels.....	19
Activité	19
Aménagement	19
Matériel.....	20
4.2. Résultats de la campagne de mesure	20
Exposition au bruit	20

Bilan – Bruit ambiant	22
Synthèse.....	24
<u>5. Les chocs acoustiques.....</u>	<u>24</u>
5.1 Description	24
5.2 Effets : constat et bibliographie	25
5.3 Synthèse	25
<u>6. Les solutions de prévention.....</u>	<u>26</u>
6.1 Les amplificateurs et les protecteurs numériques	26
Description.....	26
Validation.....	26
6.2. Limitation simple du niveau	27
6.3. Intelligibilité.....	28
6.4. Conclusion sur les solutions de prévention	30
<u>7. L'aménagement acoustique du plateau</u>	<u>30</u>
7.1. Surface par opérateur.....	30
7.2. Traitement acoustique du local.....	31
7.3. Mobilier.....	32
7.4. Aménagement.....	32
7.5 Organisation du travail et comportement dans la collectivité.....	33
7.6 Autres contraintes	33
<u>8. Conclusion</u>	<u>34</u>
<u>Bibliographie.....</u>	<u>35</u>
<u>Annexe A : Dispositions réglementaires.....</u>	<u>37</u>
<u>Annexe B : Définition des grandeurs acoustiques utilisées.....</u>	<u>38</u>
<u>Annexe C : Evaluation de l'incertitude liée à l'échantillonnage</u>	<u>39</u>
<u>Annexe D : Evaluation de l'incertitude</u>	<u>48</u>

1. Introduction

Les centres d'appels téléphoniques employaient en France, en 2006, plus de 250 000 salariés. En dépit de nombreuses délocalisations¹, leur nombre atteignait environ 3500 plateaux et leur croissance était estimée à 5 % par an. Les salariés des centres ont pour tâche principale de converser avec leur client par téléphone afin de répondre aux attentes de ces derniers : prise de commande ou de rendez-vous mais aussi conseil, renseignement, saisie de données informatiques, démarchage, etc. Parallèlement aux conversations clients-salariés, il est fréquent que les employés des centres d'appels aient besoin de communiquer entre eux. Comme ils sont généralement installés dans de grands espaces ouverts (bureaux paysagers), leur environnement de travail est rendu bruyant par le grand nombre de conversations simultanées. Pour comprendre sans hésitation les paroles du client, l'opérateur ajuste souvent le volume de réception de son casque téléphonique à un niveau élevé. Il est donc susceptible d'être exposé à des niveaux de bruit dangereux pour sa santé.

Une étude métrologique effectuée par l'INRS en 2002 a eu pour objectif d'évaluer l'exposition sonore des opérateurs de centres d'appels. Cette étude proposait une méthodologie de mesure pour l'évaluation de l'exposition sonore et présentait les résultats de mesures d'exposition effectuées dans une vingtaine de centres d'appels téléphoniques [1].

Les résultats obtenus à l'époque permettaient de conclure qu'un risque d'exposition des opérateurs à des niveaux supérieurs à 85 dB(A) existait dans 27 % des entreprises visitées, ce risque étant augmenté dans 67 % des entreprises par un bruit de fond supérieur à 55 dB(A). La méthodologie proposée a ensuite été déployée par les Centres de Mesures Physiques des Caisses Régionales d'Assurance Maladie (CRAM/CARSAT). Elle s'est révélée très lourde à mettre en œuvre, voire inapplicable dans certains cas (en particulier, dans le cas des casques sans fil et des oreillettes miniatures). De plus, la mesure étant effectuée au poste d'un superviseur au lieu de l'être au poste des salariés, elle a été critiquée par différents acteurs. En outre, une nouvelle norme de mesure des sources de bruit placées à proximité de l'oreille a été publiée en 2005 [2]. Pour finir, des changements ont eu lieu tant dans la réglementation qui a évolué en 2006 [3] que dans les aménagements des plateaux téléphoniques, que ce soit au niveau des matériels (apparition des limiteurs de niveaux) que de l'acoustique architecturale.

C'est pour toutes ces raisons que l'INRS a décidé, dès 2007, de conduire une seconde étude, en collaboration avec les Centres de Mesures Physiques des CRAM/CARSAT, afin de :

- mettre au point une nouvelle méthodologie de mesure de l'exposition sonore ;
- estimer le risque lié au bruit dans les centres d'appels téléphoniques ;
- préconiser, pour ces métiers, des solutions de prévention des risques.

¹ Sur lesquelles, récemment, de nombreuses sociétés ont fait marche arrière, pour au moins deux raisons principales : les compétences techniques demandées aux opérateurs sont de plus en plus pointues et les clients acceptent parfois mal de constater que leurs interlocuteurs sont à l'étranger.

Le but de cette publication est de rendre compte de cette étude et des résultats obtenus en 2008 et 2009 suite à une campagne de mesures qui a concerné plus d'une vingtaine de centres d'appels et une centaine d'opérateurs.

Le risque auditif est analysé suivant la réglementation (liée au risque de surdité) et les diverses recommandations (liées au confort acoustique). Ce risque provient de deux sources qui peuvent être corrélées : le bruit ambiant régnant dans l'espace de travail, qui, en général dans les centres d'appels, ne conduit pas à une exposition sonore suffisamment importante pour la comparer aux seuils réglementaires, et le bruit émis dans l'oreille des salariés par les casques d'écoute (conversations, chocs acoustiques – cf. § 5), qui, au contraire du bruit ambiant, peut atteindre des niveaux quotidiens susceptibles de créer à terme des troubles de l'audition.

Les autres risques ne sont pas abordés dans cette publication même s'il convient de souligner qu'ils sont l'objet d'études qui dépassent le cadre des nuisances physiques (bruit, éclairage, confort thermique, etc.). Les risques d'augmentation du stress, les risques de troubles musculo-squelettiques, la charge mentale ou la charge posturale liés à l'organisation du travail ou au management sont l'objet de l'attention de nombreux préventeurs, ergonomes, psychologues, que ce soit pour la fonction d'opérateur en centre d'appels ou pour d'autres métiers recourant à des casques communicants [4, 5, 6, 7]. Le préventeur doit d'ailleurs être conscient que le bruit est souvent un point d'entrée pour les salariés qui ont à se plaindre d'un mal-être au travail parfois lié à des causes plus difficiles à exprimer ou à identifier clairement.

Les autres travailleurs au casque ne sont pas dans le périmètre de cette publication même si la méthodologie d'évaluation de l'exposition sonore, développée pour les centres d'appels téléphoniques, est applicable aussi, par exemple, dans les centres de préparation de commandes utilisant la commande vocale [8]. En réalité, sous la dénomination de travailleur au casque, on trouve une grande variété de métiers et une grande variété de niveaux de risques liés au bruit : centres d'appels et centres de préparation de commandes, comme cela a été dit, mais aussi, par exemple, les professions du spectacle (disc-jockeys, ingénieurs et techniciens du son), certains techniciens ou commerciaux itinérants, ou les secrétaires réécoutant des dictaphones [9], [10].

Cette publication est divisée en quatre grands chapitres. Après un rappel de la réglementation et des recommandations sur le bruit au travail et après quelques réflexions sur l'épidémiologie, la méthodologie développée pour évaluer les risques liés au bruit dans les centres d'appels est présentée. Les résultats de la campagne de mesures sont ensuite décrits. Pour finir, des solutions de prévention du risque sont détaillées.

2. Réglementation et recommandations

2.1. Bruits lésionnels et risques de pertes auditives

Réglementation

La réglementation française de 2006 [3], transposée de la directive européenne 2003/10/CE, se focalise sur les niveaux de bruits lésionnels pouvant conduire à des pertes auditives. Elle tient compte de l'exposition quotidienne moyennée sur la journée de travail $L_{ex,8h}$ et de l'exposition à des niveaux de crête $L_{p,c}$ (cf. tableau 1). Elle définit, pour chacune de ces grandeurs acoustiques, deux valeurs d'exposition (inférieure et supérieure) déclenchant des actions de prévention et une valeur limite d'exposition au bruit (tenant compte du protecteur individuel contre le bruit). L'annexe A détaille les actions de prévention à entreprendre lorsque les seuils sont dépassés.

Seuils	Paramètres	Niveaux
Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI)	Exposition moyenne ($L_{ex,8h}$)	80 dB(A)
	Niveau de crête ($L_{p,c}$)	135 dB(C)
Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS)	Exposition moyenne ($L_{ex,8h}$)	85 dB(A)
	Niveau de crête ($L_{p,c}$)	137 dB(C)
Valeur limite d'exposition (VLE) en tenant compte du port éventuel des PICB (protecteurs individuels contre le bruit)	Exposition moyenne ($L_{ex,8h}$)	87 dB(A)
	Niveau de crête ($L_{p,c}$)	140 dB(C)

Tableau 1 : niveaux de bruit admissibles pour la réglementation (Code du Travail article R4431-2).

Problème de la mesure sous le casque d'écoute

Les niveaux de l'exposition quotidienne au bruit et les niveaux de crête sont définis par la réglementation en s'appuyant sur la norme ISO 9612 [11] de mesure du *champ acoustique diffus* ambiant auquel sont soumis les travailleurs. Or les opérateurs de centres d'appels ne sont pas dans un champ diffus mais reçoivent le bruit *directement dans le conduit auditif* par l'intermédiaire du casque. Par conséquent, la mesure acoustique doit être faite *sous le casque d'écoute*, ensuite le résultat doit être ramené, par un calcul, à la valeur équivalente qui serait mesurée à l'extérieur de l'oreille. Un tel calcul pose une difficulté métrologique qui est levée en s'appuyant sur la norme ISO 11904-2 [2] préconisant l'utilisation d'un simulateur de tête et torse (en anglais : HATS Head and torso simulator) couplé à un simulateur d'oreille occluse : il est aisé de mettre en place, sur une telle tête artificielle, un casque d'écoute. La fonction de transfert entre le simulateur d'oreille occluse et le champ extérieur étant connue, il est alors possible d'en déduire le champ acoustique auquel serait soumis le salarié pour avoir la pression acoustique mesurée dans l'oreille.

Problème des données épidémiologiques

La comparaison avec les seuils réglementaires n'est pas sans poser quelques questions au préventeur. La réglementation est fondée sur des données épidémiologiques compilées dans la norme ISO 1999 [12] et acquises il y a plus de quarante ans sur des cohortes de salariés travaillant dans des industries bruyantes, soumis, dans ces conditions, à un champ acoustique diffus. Les salariés travaillant au casque sont dans des bureaux et reçoivent une dose de bruit au plus près du tympan. Pour une population aussi éloignée de celle observée il y a quarante ans, de nouvelles données épidémiologiques sont-elles nécessaires ? En l'absence d'études publiées, la réponse n'est pas connue. Néanmoins, aucun indice précoce d'alerte (IPA) inquiétant n'a été détecté, à notre connaissance, par les médecins du travail en charge de cette population.

2.2. Confort acoustique dans le tertiaire

Des recommandations

Aucune disposition réglementaire ne régit le niveau de bruit ambiant dans un local de travail tant que ce niveau n'atteint pas les seuils lésionnels explicités dans le tableau 1. Néanmoins, diverses recommandations, applicables au secteur tertiaire, permettent de déterminer dans quelle mesure les salariés soumis à un certain bruit ambiant peuvent être capables d'effectuer leur travail en évitant la fatigue et en particulier la fatigue auditive, en diminuant les risques de stress (le bruit étant un cofacteur) et en maintenant leurs performances (par exemple : diminution des risques d'erreurs).

Une norme architecturale

La norme NF-S31080 [13] définit des critères de performance acoustique des bureaux et espaces ouverts (comme les plateaux téléphoniques). Un des critères est le niveau sonore ambiant *en l'absence d'activité* (mais en tenant compte du bruit des équipements comme la climatisation, des bruits de chocs et du bruit extérieur) qui doit rester inférieur à certaines valeurs (globalement ou par bandes d'octaves) afin de garantir la qualité acoustique du local. C'est donc une norme purement architecturale, qui, si elle permet d'atteindre certains objectifs à la réception d'un local créé ou réaménagé, ne permet pas de se confronter à la complète réalité du bruit ambiant sur un plateau téléphonique, *une fois le local en activité*, puisque les sources sonores additionnelles et prépondérantes sont souvent les conversations des opérateurs eux-mêmes.

Les courbes de confort

Quand on estime le bruit de fond par bandes de fréquence, on peut se servir des courbes de Wisner [14] bien connues et utilisées largement en France par les préventeurs, des courbes NR (Noise Rating) développées par l'ISO en 1971 [15] ou de leurs dérivées (Preferred Noise Criterion, PNC ou Balanced noise-criterion, NCB [16]). Ces diverses courbes sont utilisées pour définir, par bandes de fréquence, des limites à des ambiances sonores supportables ou non par des salariés du tertiaire selon la difficulté du travail intellectuel qui leur est demandé. Les courbes de Wisner, rappelées

figure 1, fixent les limites suivantes, pour le niveau de bruit ambiant mesuré octave par octave entre 125 Hz et 4 kHz :

- dans la zone 1, le travail intellectuel, même complexe et demandant une grande concentration, s'effectue sans aucune gêne vis-à-vis du niveau de bruit,
- dans la zone 2, le travail intellectuel complexe peut devenir pénible. Le travail routinier (administratif ou commercial) n'est pas gêné de façon nette,
- dans la zone 3, le travail intellectuel complexe est extrêmement pénible. Le travail routinier (administratif ou commercial) est difficile,
- dans la zone 4, une exposition prolongée peut conduire à une surdité.

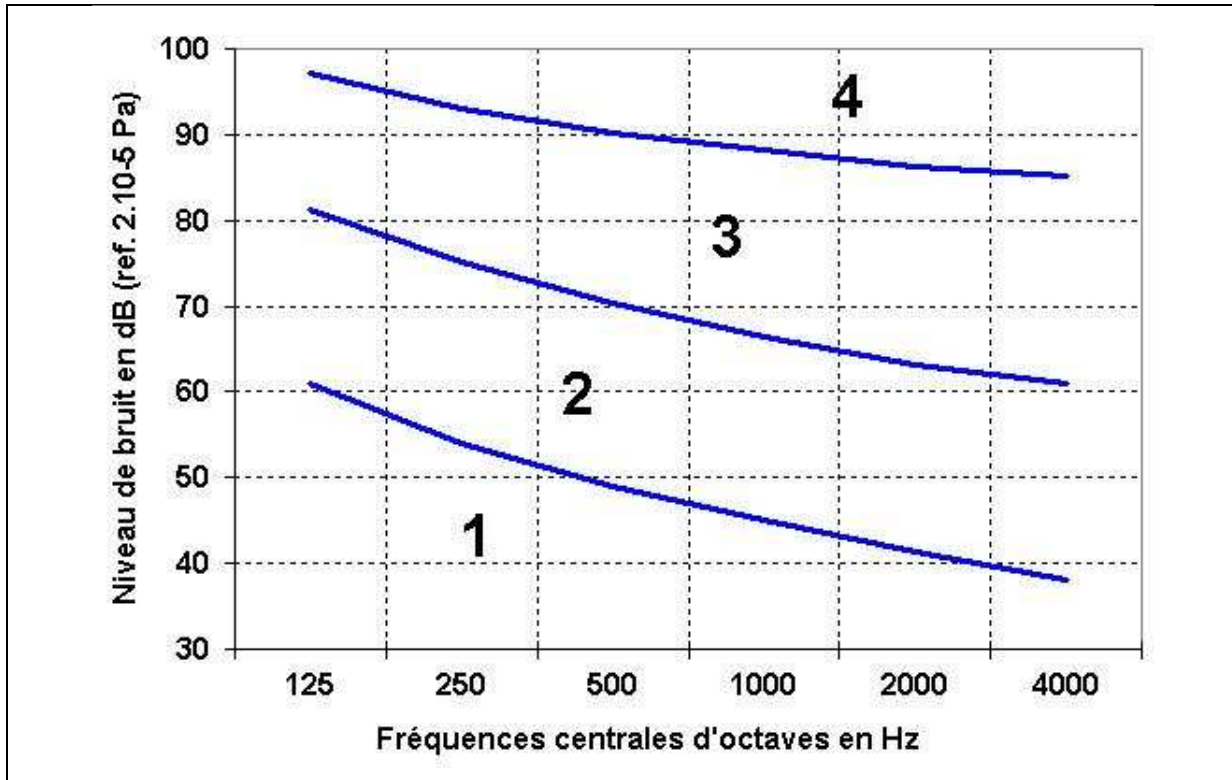


Figure 1 : courbes de Wisner.

Estimation globale du bruit

Quand il évalue le bruit ambiant de manière globale, le préventeur peut s'appuyer sur plusieurs recommandations :

- l'INRS, dans une brochure spécifique aux centres d'appels téléphoniques [17] fixe les limites du niveau de bruit de fond à **52 dB(A)** (travail intellectuel non-gêné) ou **55 dB(A)** (travail sur écran plus routinier),
- les normes françaises ou internationales [18], [19] fixent la limite, pour les locaux ouverts occupés par des salariés, à **55 dB(A)**.

Ces critères globaux peuvent être évalués conjointement avec des indices statistiques (voir le paragraphe suivant) afin de vérifier que le bruit ambiant est relativement stable durant la mesure.

Acceptation d'un niveau de bruit

Il convient de souligner que les critères précédents (pour le bruit global ou mesuré en bandes d'octaves) ont l'avantage d'être simples à estimer, mais le confort acoustique est une notion complexe relevant *du ressenti* des personnes. Les études effectuées depuis des années dans le domaine de la psychoacoustique montrent que le confort acoustique ne peut pas être complètement évalué par des critères globaux aussi simples que ceux cités précédemment. En particulier, les variations brusques du niveau en fonction du temps et les émergences rares de bruits forts dans une ambiance relativement calme peuvent être ressenties comme pénibles², alors qu'une mesure moyennée dans le temps ne les fait pas apparaître. C'est pourquoi on préfère parfois mesurer aussi des grandeurs statistiques comme, par exemple, le L₁₀, le L₅₀ ou le L₉₀, qui représentent les niveaux de bruit atteints ou dépassés respectivement, 10, 50 ou 90 % du temps. Ces indicateurs estiment donc la stabilité du bruit. D'autre part, les composantes basse-fréquence d'un bruit ambiant, alors qu'elles ne contribuent pas fortement au niveau global car elles sont atténuées par la pondération A, peuvent être très mal ressenties par certaines personnes. Pour finir, les bruits non identifiés par un auditeur, ou ne semblant pas utiles au travail effectué, sont toujours moins bien acceptés que les bruits identifiés ou jugés indispensables.

3. Méthodologie de mesure

3.1. Moyens de mesure

Comme cela a été mentionné au § 2.1, la mesure du niveau de bruit reçu sous un casque d'écoute peut s'effectuer facilement à l'aide de l'appareillage spécifique appelé simulateur de tête et torse (HATS), couplé à un simulateur d'oreille occluse. Cet appareillage est présenté figure 2.

Pour la partie qui nous intéresse, la tête artificielle permet de supporter un casque d'écoute et elle est munie d'un pavillon d'oreille en matière plastique ayant une souplesse comparable à celle de l'oreille humaine : le casque s'adapte donc dessus comme sur l'oreille d'un opérateur. A l'intérieur de cette oreille, au fond d'une cavité représentant le conduit auditif, est placé un microphone qui mesure les niveaux de bruit. Ces niveaux mesurés dans cette cavité peuvent être ramenés, puisqu'on connaît *la fonction de transfert de ce simulateur d'oreille occluse*, aux niveaux équivalents en champ diffus provoquant la même excitation sur le tympan. La figure 3 montre cette fonction de transfert. En utilisant ce matériel, on se conforme donc à la réglementation, qui impose de considérer les niveaux de bruit à proximité mais à l'extérieur de l'oreille du travailleur, afin d'en déduire l'exposition sonore. La méthode choisie est normalisée depuis 2005 [2]. Le matériel à utiliser est spécifié dans cette norme.

² C'est pourquoi, paradoxalement, il arrive qu'on bruite (en émettant, par exemple, un bruit blanc de faible niveau) un espace de travail ouvert trop feutré, afin de garantir la confidentialité des conversations locales mais aussi la plus faible émergence des événements acoustiques gênants.

Figure 2 : simulateur de tête et torse (HATS) équipé d'un casque téléphonique (en blanc, oreille gauche du HATS équipée d'un simulateur d'oreille occluse).

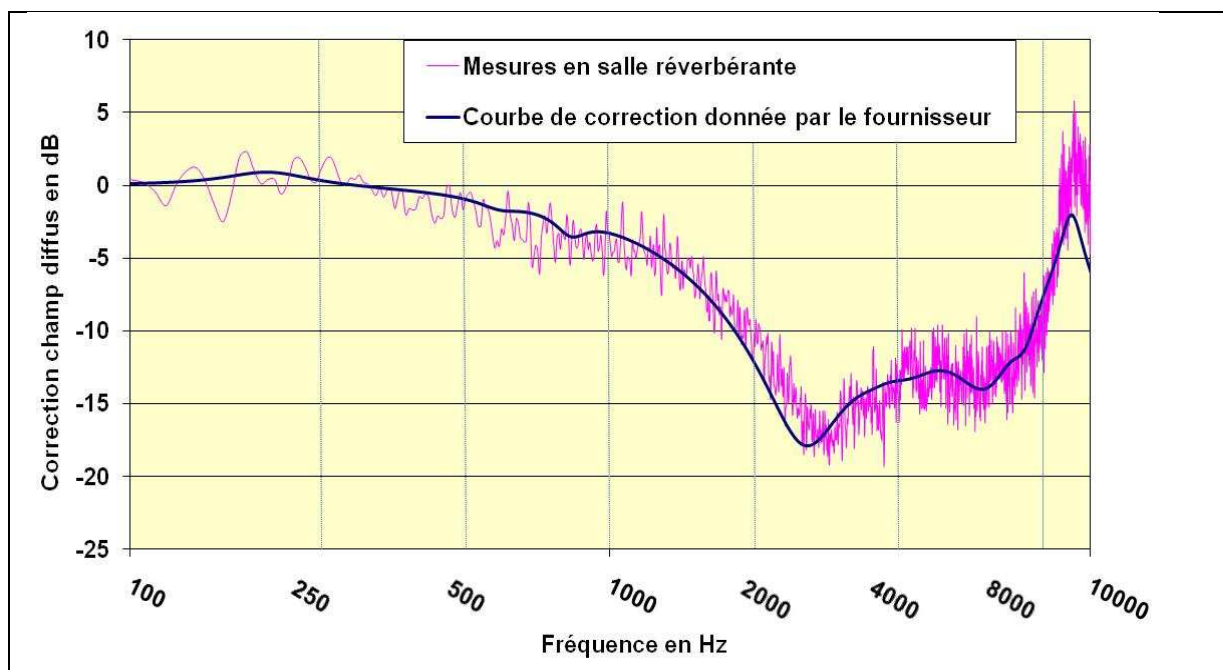


Figure 3 : simulateur de tête et torse (HATS) - Fonctions de transfert (entre le niveau de bruit mesuré par le microphone du HATS et le niveau de bruit équivalent en champ diffus extérieur) théorique (donnée par le fournisseur) et mesurée en chambre réverbérante.

3.2. Évaluation simplifiée du niveau d'émission d'un poste téléphonique

Afin de limiter l'effort de mesure aux seuls opérateurs travaillant à des niveaux d'écoute élevés, une évaluation simplifiée du niveau de réglage sonore du casque téléphonique peut être envisagée, à

l'aide du HATS et conformément à la norme ISO 11904-2, préalablement à des mesures plus complexes. Cette évaluation consiste à :

- arrêter provisoirement le travail de l'opérateur,
- conserver tous les réglages habituels de son poste (réglages au poste, et éventuellement, sur le casque et le limiteur acoustique),
- positionner le casque de l'opérateur sur le HATS,
- appeler un répondeur sur lequel des sons spécifiques (bruits blanc et de conversation) ont été enregistrés,
- mesurer, pour ces sons, les niveaux de bruit reçus par le microphone du HATS,
- comparer ces niveaux reçus à des seuils préalablement établis,
- en déduire la dangerosité potentielle du poste pour l'audition de l'opérateur, vu ses réglages usuels.

Ces niveaux de bruit reçus par le microphone du HATS ne sont pas comparables aux seuils de la réglementation, puisque ce sont des niveaux instantanés et qu'ils ne sont pas recalculés en champ diffus. Par contre, ils peuvent être comparés à des seuils empiriques établis par l'expérience. La campagne de mesures effectuée par l'INRS en 2008-2009 a montré qu'il y avait un risque pour l'opérateur d'être exposé à des niveaux supérieurs à 80 dB(A) dès que le niveau mesuré pour le bruit blanc était supérieur à 96 dB(A), ou que le niveau équivalent maximum mesuré sur 125 ms ($L_{A\max,0,125}$ cf. annexe B) pour le message vocal était supérieur à 100 dB(A).

Quand aucune des deux conditions précédentes n'est réunie, l'exposition sonore des opérateurs (plusieurs dizaines ont été testés) n'a jamais été mesurée au-dessus du 1^{er} seuil d'action de la réglementation.

Même si cette évaluation préliminaire repose sur des observations empiriques, elle permet de détecter rapidement et facilement, dans une population d'opérateurs pour laquelle le risque auditif n'a pas encore été évalué, quels sont ceux pour lesquels une métrologie plus lourde devra être déployée.

3.3. Évaluation précise du niveau de bruit reçu sous le casque téléphonique pendant une conversation

Une évaluation précise du niveau de bruit reçu sous le casque téléphonique pendant une conversation peut être effectuée, à l'aide du HATS et conformément à la norme ISO 11904-2, en utilisant le principe de la double écoute (cf. figure 4).

L'opérateur dont on veut évaluer l'exposition sonore doit continuer à travailler normalement. Pour cela, on met donc son poste en dérivation sans changer les réglages : son casque d'origine est placé sur le HATS tandis qu'on lui fournit un casque de substitution. Ce dernier doit être électriquement séparé du circuit d'origine par un amplificateur d'isolement afin de ne pas modifier les impédances du circuit et donc les niveaux électriques d'origine.

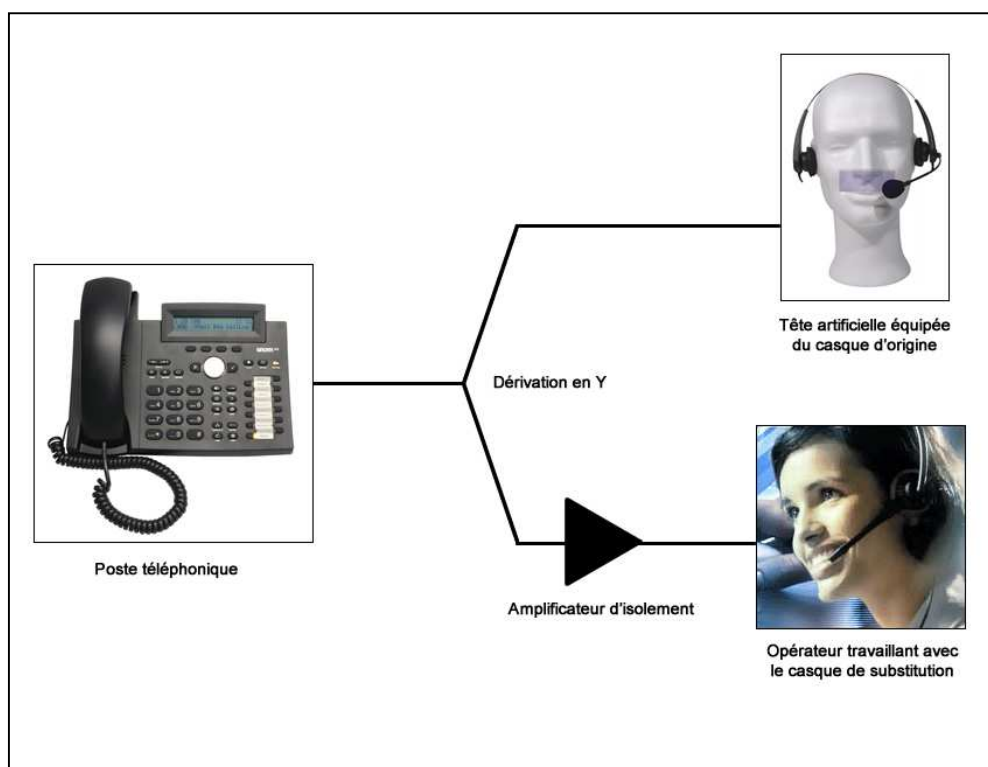


Figure 4 : principe de la double écoute.

On peut alors enregistrer les conversations pour mesurer les niveaux reçus sous le casque. Ramenés en champ diffus grâce au calcul utilisant la fonction de transfert du HATS (cf. § 3.1), ces niveaux donnent finalement, au sens de la réglementation, la dose de bruit reçue par l'opérateur durant chacune de ses conversations (cf. annexe B).

3.4. Echantillonnage

Réglementairement, l'exposition doit être mesurée conformément à la norme harmonisée ISO 9612 [11]. Cette norme propose trois méthodes de mesurage : par « tâche », « fonction » ou « journée entière ». Dans le cas des centres d'appels, la méthode qui s'impose est celle dite par tâche. En effet, la seule tâche exposant les opérateurs à des niveaux sonores importants est la communication téléphonique. La norme exige de répéter la mesure trois fois au minimum et, si l'écart-type entre les résultats dépasse 3 dB, trois mesures supplémentaires sont exigées. Le mesurage peut donc être effectué par un échantillonnage de quelques conversations pour un opérateur – trois au minimum, une dizaine en règle générale.

Un exemple du déroulement de quelques conversations enregistrées durant une vingtaine de minutes est montré figure 5. On y remarque que les niveaux recalculés en champ diffus (cf. annexe B) atteignent des maxima de 90 à 100 dB(A) durant une conversation, tandis que les niveaux maxima du bruit de fond sont plutôt de l'ordre de 55 à 60 dB(A).

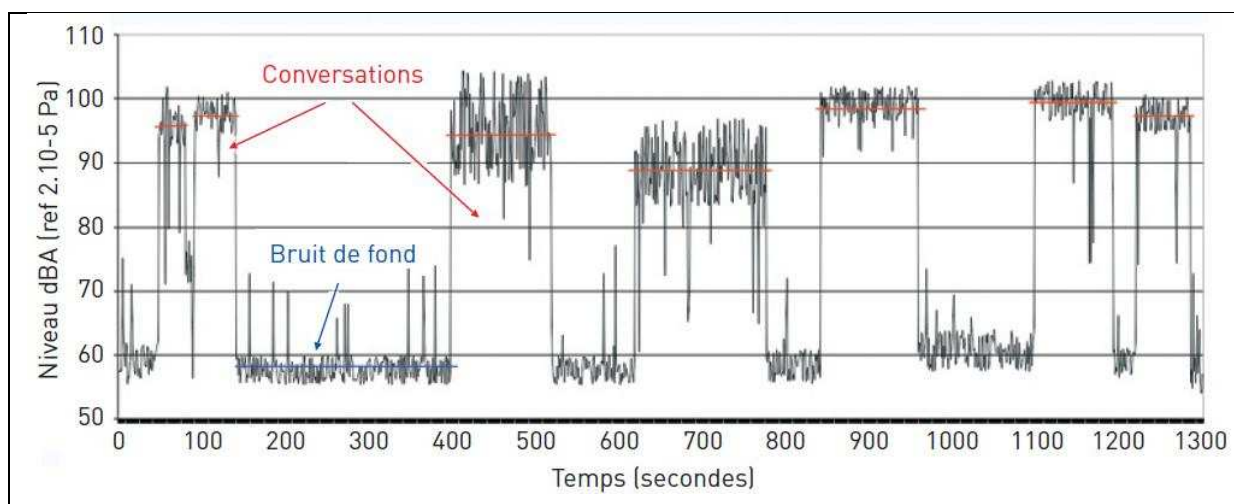


Figure 5 : niveaux relevés sous le casque et recalculés en champ diffus équivalent.

3.5. Évaluation de l'exposition sonore quotidienne

La dose de bruit étant estimée pour quelques conversations d'un opérateur, il faut extrapoler sur la journée quotidienne pour obtenir le niveau d'exposition quotidienne moyennée sur la journée de travail $L_{ex,8h}$.

Dans un premier temps, on effectue une moyenne des niveaux reçus sur quelques conversations, en supposant qu'elles sont représentatives de toutes celles reçues pendant la journée. Si l'on note N_m le nombre de conversations mesurées et N_T le nombre total de conversations dans la journée, avec N_m inférieur ou très inférieur à N_T pour limiter l'effort de mesurage, on suppose donc :

$$\text{moyenne}(L_{Aeq,Tc(i)})_{i=1}^{N_m} \approx \text{moyenne}(L_{Aeq,Tc(j)})_{j=1}^{N_T}$$

où $L_{Aeq,Tc(i)}$ est un niveau de bruit pondéré A mesuré sous le casque et recalculé en champ diffus pour la $i^{\text{ème}}$ conversation de durée $T_c(i)$.

A cette étape, il ne reste plus qu'à estimer le temps cumulé passé en conversation pendant la journée : $T_c = \sum_i T_c(i)$. Ce temps très variable selon les métiers (vente, démarchage, service après vente, assistance technique, renseignements de premier niveau, etc.) effectués par les salariés des centres d'appels est souvent connu très précisément et pour chacun d'entre eux grâce aux systèmes de gestion informatisés dont sont équipés ces entreprises. Pour une journée nominale de 8 heures, ce temps cumulé peut varier de moins d'une heure à plus de 6 heures. Dans les métiers de la téléphonie, une étude chez un opérateur a montré que ces temps étaient de l'ordre de 2 à 4 heures par jour [20].

L'exposition quotidienne est ensuite calculée par :

$$L_{ex,8h} = L_{Aeq,Tc} + 10 \log \left(\frac{T_c}{8} \right)$$

Par exemple, si T_c est de l'ordre de 2 à 4 heures par jour, l'exposition quotidienne est donc estimée par la dose mesurée précédemment sur quelques conversations diminuée de 6 dB (2 heures) à 3 dB (4 heures).

Il reste alors à évaluer l'incertitude de mesure qui, réglementairement, doit être affichée avec le niveau d'exposition.

3.6. Calcul de l'incertitude de mesure

Incertitude liée à l'échantillonnage

L'incertitude liée à l'échantillonnage dépend des facteurs suivants :

- *les niveaux* des conversations sont fluctuants : les interlocuteurs extérieurs appellent avec des matériels très divers, depuis un téléphone fixe (classique ou par voix « Internet Protocol ») ou un téléphone mobile, et les niveaux reçus dépendent d'une chaîne électronique aujourd'hui très complexe car elle implique en général plusieurs réseaux pouvant, en plus, répondre à des normes différentes ;
- *les temps* de conversation sont variables : d'une journée à l'autre pour un opérateur donné, et entre différents opérateurs pour la même journée ;
- *les natures* des conversations peuvent être assez différentes, notamment dans les métiers complexes comme par exemple le support technique.

Il y a effectivement une grande variabilité dans la nature des conversations de part les différences entre les métiers, mais, d'un centre d'appels à l'autre, les distributions statistiques des niveaux sont relativement similaires (cf. figures A2 à A6 de l'annexe C). Lorsque la méthode par tâche est utilisée pour évaluer l'exposition, la norme ISO 9612 évalue l'incertitude à partir de la distribution statistique des échantillons et montre un exemple pour une distribution gaussienne.

Dans le cas des centres d'appels, la distribution statistique a été évaluée sur plusieurs journées de travail et pour 5 métiers différents. Elle est proche d'une distribution rectangulaire et ses bords sont en escalier (cf. annexe C). Cette distribution étant atypique, l'incertitude liée à l'échantillonnage n'était pas connue analytiquement. Elle a donc été évaluée à partir de simulations (méthode de MONTE-CARLO) puis la courbe résultant des simulations a été interpolée afin d'arriver à une formule simple reliant l'écart type au nombre d'échantillonnage. Cette formule est (cf. annexe C) :

$$\sigma = \frac{6,375}{\sqrt{3 \times n}}$$

Où n est le nombre de conversations échantillonnées et σ l'écart type.

L'approche par tâche introduit aussi une incertitude liée à l'estimation de la durée quotidienne passée à exécuter chaque type de tâche. Cependant, on peut considérer que cette incertitude est nulle en centre d'appels puisque le temps quotidien passé au téléphone T_c est connu avec précision grâce aux relevés informatisés de l'activité des opérateurs.

Autres facteurs d'incertitude

Les autres facteurs d'incertitude sont répertoriés par les normes ISO 11904-2 et ISO 9612. Ils sont liés aux instruments de mesure et au matériel d'étalonnage, auxquels il faut ajouter la reproductibilité de la mesure.

- Les instruments de mesure sont le simulateur d'oreille occluse et le HATS. La norme ISO 11904-2 fournit l'estimation de l'incertitude pour ces deux instruments. En particulier, cette norme explicite les incertitudes liées à la représentativité du simulateur d'oreille occluse vis-à-vis de la physiologie de l'oreille de l'opérateur.
- Le HATS ne subit évidemment pas d'étalonnage. Il est important qu'il soit représentatif de la physiologie de l'opérateur pour une source placée à proximité de l'oreille mais beaucoup moins dans le cas d'un casque émettant directement dans le conduit. Ce point n'a donc pas été considéré.
- La reproductibilité a été évaluée à partir de tests inter-laboratoires (3 laboratoires³) : elle est de l'ordre de 1 dB. La norme ISO 11904-2 l'évalue de son côté à 0,5 dB. C'est cette dernière valeur qui a été retenue.

Le tableau en annexe D récapitule tous ces facteurs et les incertitudes associées.

Un facteur d'incertitude supplémentaire est à considérer : la position de l'écouteur sur l'oreille artificielle du mannequin. Des essais comparatifs ont été effectués pour différentes positions de l'écouteur (centré sur le conduit auditif artificiel, décalé vers le haut ou le bas, sur la droite ou la gauche). Ces essais montrent des variations de plusieurs dB suivant le positionnement. Cependant, les résultats sont stables et systématiquement les plus élevés lorsque l'écouteur du casque est centré sur le conduit auditif artificiel. La solution finalement retenue est de placer systématiquement le casque dans la position la plus défavorable (du point de vue de l'évaluation de l'exposition sonore), c'est-à-dire avec l'écouteur positionné exactement en face de l'entrée du conduit auditif artificiel. Cette façon de procéder peut conduire à une surévaluation de l'exposition réelle mais permet d'ignorer l'incertitude de mesure liée à la position de l'écouteur.

Incertitude globale de mesure

Le cumul de toutes les incertitudes (cf. tableau final en Annexe B) conduit à l'expression finale de l'incertitude de mesure :

$$U = k \times \sqrt{1,24^2 + \left(\frac{6,375}{\sqrt{3 \times n}}\right)^2}$$

Où n est le nombre de conversations échantillonnées, σ l'écart type et k le facteur d'élargissement.

³ Ces tests, encore en cours à l'heure de la rédaction du présent document, réunissaient l'INRS, le Laboratoire National d'Essais et un fabricant de matériel téléphonique et avaient pour but de tester des limiteurs de niveaux. Les premiers résultats de ces tests ont permis d'estimer l'incertitude de la reproductibilité de la mesure.

La norme ISO 9612 demande à ce que le niveau de confiance soit élargi unilatéralement à 95 % et préconise un facteur d'élargissement de 1,65. Ce facteur d'élargissement a été vérifié numériquement pour l'incertitude liée à l'échantillonnage, toujours à partir de simulations par la méthode de MONTE-CARLO (cf. annexe C). Pour les autres facteurs, la norme ISO 9612 retient le même facteur. Un tableau récapitulatif donnant l'incertitude en fonction du nombre de conversations échantillonnées par opérateur est fourni en annexe C (tableau A2).

4. La campagne de mesure

4.1. Description des centres d'appels

Activité

Les 21 centres d'appels qui ont participé à la campagne de mesure 2008-2009 n'ont pas été choisis mais correspondaient à des demandes d'évaluation des risques provenant des CRAM/CARSAT. On trouve dans ces 21 centres une grande variété de métiers mais les centres d'appels « prestataires » (sous-traitants), où travaille la majorité des opérateurs au casque et où les conditions de travail sont réputées être les plus difficiles, sont sous-représentés. La répartition est la suivante :

Catégorie du centre d'appels	Nombre de centres d'appels	Nombre de postes de travail mesurés
Prestataire	4	32
Administration	2	7
Banque et assurance	3	14
Téléphonie et internet	3	12
Vente par téléphone	5	33
Assistance technique - SAV	4	19
Total	21	117

Tableau 2 : campagne de mesures - répartition des centres d'appels.

Aménagement

Tous les centres d'appels étudiés étaient aménagés sur un ou plusieurs espaces ouverts comprenant entre 11 et 240 postes. Les postes étaient distribués sur l'espace ouvert soit en marguerites de 6 personnes, soit en marguerites de 4 personnes, soit en box, soit enfin en bureaux classiques groupés par 2 ou par plus de 2. Les box étaient systématiquement séparés par des écrans de hauteurs supérieures à 1,6 m. Les marguerites comportaient en général des écrans, dont la hauteur variait entre 1 m et 1,4 m. Sur certains plateaux, des écrans classiques, de plain-pied, en général de 1,8 m de hauteur, permettaient de délimiter des zones ou d'isoler des machines bruyantes

(imprimantes ou photocopieurs). Sur d'autres, des éléments de mobilier tenaient lieu d'écrans. La plupart du temps, les faux-plafonds étaient constitués de dalles acoustiques absorbantes. Les sols étaient en général moquetés, parfois carrelés ou en linoléum.

Matériel

La plupart des opérateurs utilisaient des casques qui pouvaient être monauraux ou binauraux. Ces casques étaient en général filaires, parfois sans fil (10 cas sur les 117) et dans ce cas ils étaient systématiquement monauraux et incluaient un système de commande de volume (un bouton de réglage sur l'écouteur). Quelques écouteurs filaires incluaient également une commande de volume au moyen d'un boîtier électronique de réglage inséré dans le câble. Très peu d'opérateurs employaient encore un combiné. Cette pratique est pratiquement abandonnée et n'a pas été incluse dans les essais. Un seul opérateur employait un insert (micro-casque intra-auriculaire) et il a été inclus dans les essais. Tous ces dispositifs étaient équipés de microphones directifs.

Parmi les centres d'appels testés dans cette étude, la moitié d'entre eux utilisait des casques de téléphone reliés directement à l'ordinateur. Dans ce cas, le volume est ajustable par le « softphone » (logiciel fonctionnant comme un téléphone) ou par la carte son de l'ordinateur. Les autres employaient un terminal téléphonique classique permettant la commande du volume, généralement à l'aide de boutons poussoirs « plus/moins ».

Enfin, dans certains cas, un boîtier électronique était intercalé entre le téléphone et le casque. Ce boîtier pouvait être de deux types : amplificateur ou dispositif de protection (dénominations génériques des fabricants). Le rôle de ces boîtiers est détaillé § 6.

4.2 Résultats de la campagne de mesure

Exposition au bruit

La méthodologie de mesure décrite § 3 a été appliquée sur 21 sites et pour 117 opérateurs. Les résultats de cette campagne de mesure sont présentés figures 6 et 7. La figure 6 montre la distribution du niveau acoustique $L_{A,DF}$ moyen de conversation (cf. annexe B) pour 117 opérateurs. Cette distribution suit une loi gaussienne. Quatorze opérateurs sur 117 (12 %) travaillent à un niveau d'écoute élevé c'est-à-dire strictement supérieur à 80 dB(A) et sont donc susceptibles d'être exposés à plus de 80 dB(A) sur 8 h de travail. La figure 7 montre la distribution des niveaux d'exposition de la même population. Elle est donc déduite de la première distribution en pondérant les valeurs par le temps journalier passé au téléphone (cf. § 3.5). Sur les 14 opérateurs précédents, 6 sont exposés à un niveau journalier supérieur à la première limite réglementaire d'action – 80 dB(A) – et un seul est exposé au-dessus de la seconde limite réglementaire d'action – 85 dB(A). La valeur limite d'exposition – 87 dB(A) – n'est jamais dépassée.

Ces résultats sont moins alarmants que ceux publiés en 2003 [1]. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces différences :

- Les centres d'appels ont changé depuis 10 ans, principalement grâce à l'évolution des équipements électroniques : nouveaux postes, nouveaux casques, généralisation de la voix IP, apparition des softphones, des limiteurs, etc.
- Le nouveau dispositif de mesure (HATS) ne donne pas les mêmes résultats que celui employé dans le passé (oreille artificielle cf. [1]). La mesure avec une oreille artificielle entraîne parfois une surestimation du niveau. Cela a été démontré par le Laboratoire National d'Essais [21] : quand le casque de téléphonie ferme la cavité de l'oreille artificielle, il change l'impédance de l'ouverture ce qui modifie la réponse acoustique. Cette modification se traduit par une surestimation du niveau délivré par le casque aux moyennes fréquences (~1kHz) de l'ordre de 10 dB puis une sous-estimation aux plus hautes fréquences (~5 kHz). Avec le HATS et son simulateur d'oreille occluse, ces erreurs n'ont pas lieu.
- Le nouveau mode opératoire : en 2003, toutes les mesures avaient été faites au réglage maximum, afin d'estimer le risque potentiel maximum, alors que pour cette campagne le réglage de l'opérateur a été conservé afin d'estimer le risque individuel.

En conclusion, les opérateurs des centres d'appels observés en 2008-2009 ne subissent que très rarement, contrairement aux observations faites en 2001-2002, des expositions sonores quotidiennes qui pourraient conduire à terme à des risques pour l'audition.

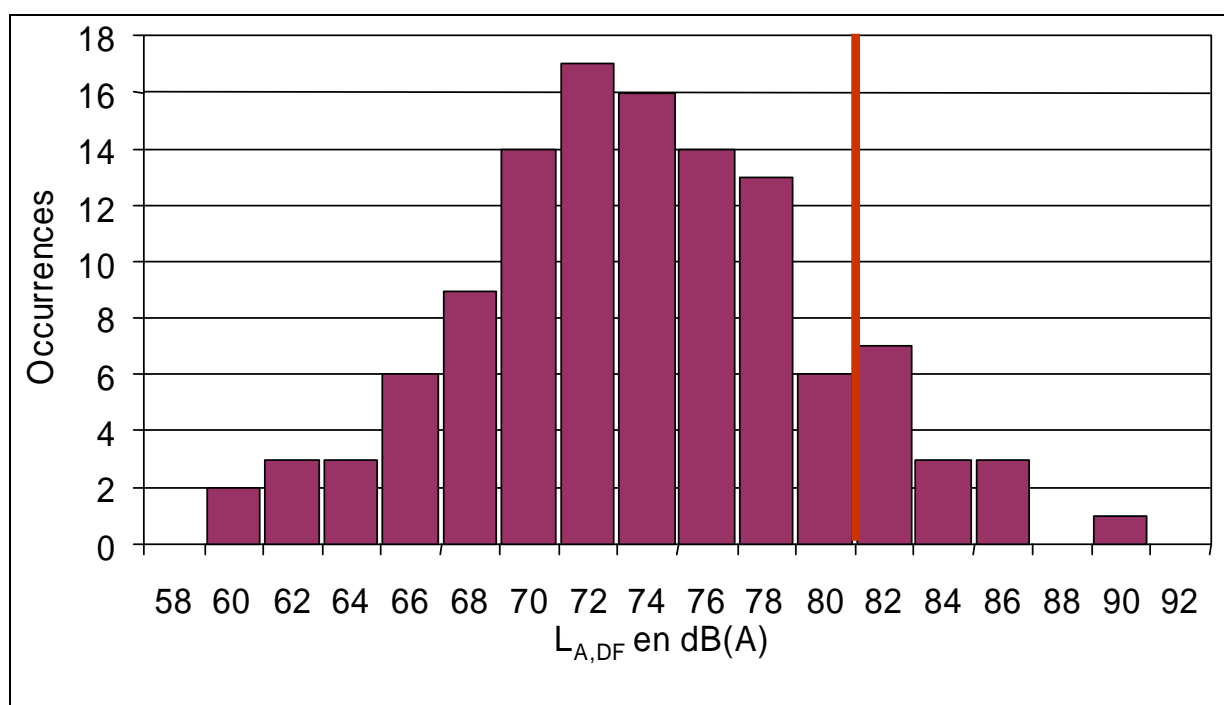


Figure 6 : distribution du niveau acoustique équivalent moyen en champ diffus $L_{A,DF}$ (cf. annexe B) par opérateur (moyenne sur les conversations enregistrées) – 117 opérateurs.

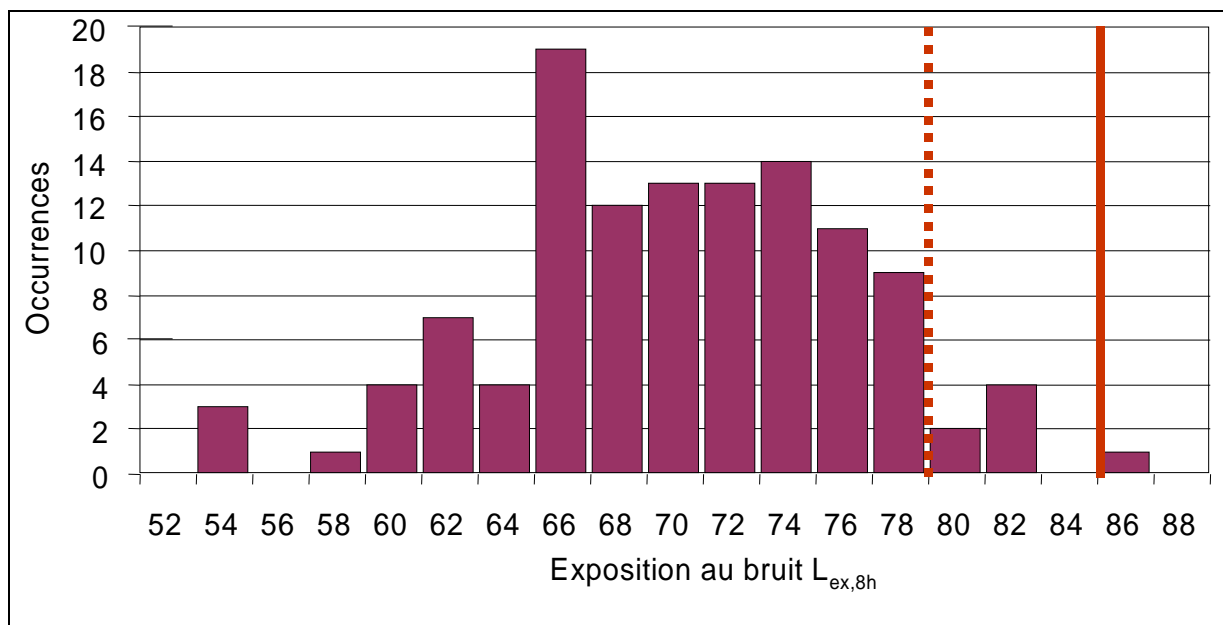


Figure 7 : distribution du niveau d'exposition quotidien $L_{ex,8h}$ par opérateur – 117 opérateurs.

Les résultats de cette nouvelle campagne ont été comparés avec ceux obtenus par le Health and Safety Executive (HSE, Royaume-Uni) en 2001 [22], par des universitaires italiens en 2003 [23] et par des institutionnels australiens en 1996 [24] avec la même méthodologie (utilisation d'un mannequin). Par rapport au HSE, les distributions sont similaires avec un décalage de 3 dB : la distribution obtenue par le HSE pour 150 opérateurs est régulière et centrée sur 77 dB(A), celle mesurée par l'INRS sur 74 dB(A). Les niveaux s'étendent de 65 à 88 dB(A), contre 60 à 90 dB(A) sur la figure 6. Cette différence s'explique par le fait que, dans l'étude du HSE, les opérateurs observés réglait en grande majorité leur volume sonore au maximum contre environ 50% dans notre cas. Les Italiens ont réuni moins d'échantillons (49 opérateurs) et obtiennent tout de même une distribution assez régulière centrée comme celle de la figure 6 sur 74 dB(A) avec des niveaux allant de 58 à 87 dB(A). Les Australiens ne montrent pas de distribution mais obtiennent des niveaux compris entre 70 et 84 dB(A) pour une moyenne de 74 dB(A). Les résultats de la nouvelle campagne de mesure de l'INRS sont donc assez homogènes avec ceux rapportés ailleurs dans le monde.

Bilan – Bruit ambiant

Les opérateurs des centres d'appels sont exposés à d'autres sources de bruit que leur casque : sonneries de fax, bruit des imprimantes, conversations entre d'autres opérateurs. Dans certains centres d'appels, des comparaisons ont été faites entre le niveau de bruit d'un enregistrement (d'une durée d'une demi-heure ou d'une heure) comprenant à la fois le bruit ambiant et le bruit dû aux conversations reçues sous le casque et le niveau de bruit d'un enregistrement comprenant seulement les conversations. Les différences se sont révélées négligeables. Ainsi, le bruit ambiant ne contribue pas à l'exposition des opérateurs. En revanche, il est un des facteurs influençant l'opérateur à régler le niveau d'écoute de son téléphone à un certain seuil. Et il est indispensable qu'il soit en dessous d'une

certaine limite pour que les opérateurs travaillent avec une bonne intelligibilité et pour qu'ils soient dans une ambiance acoustique compatible avec un travail intellectuel normal.

Le bruit ambiant a été mesuré dans tous les centres d'appels participant à la campagne. Les mesures ont été effectuées pour 3 à 5 postes de travail, libres (sans occupant), à l'aide d'exposimètres mis en place en arrivant sur le site et relevés à la fin des mesures d'exposition.

La figure 8 montre la distribution du bruit ambiant (moyenne sur la durée de la mesure et sur l'ensemble des points de mesure) pour les 21 centres d'appels.

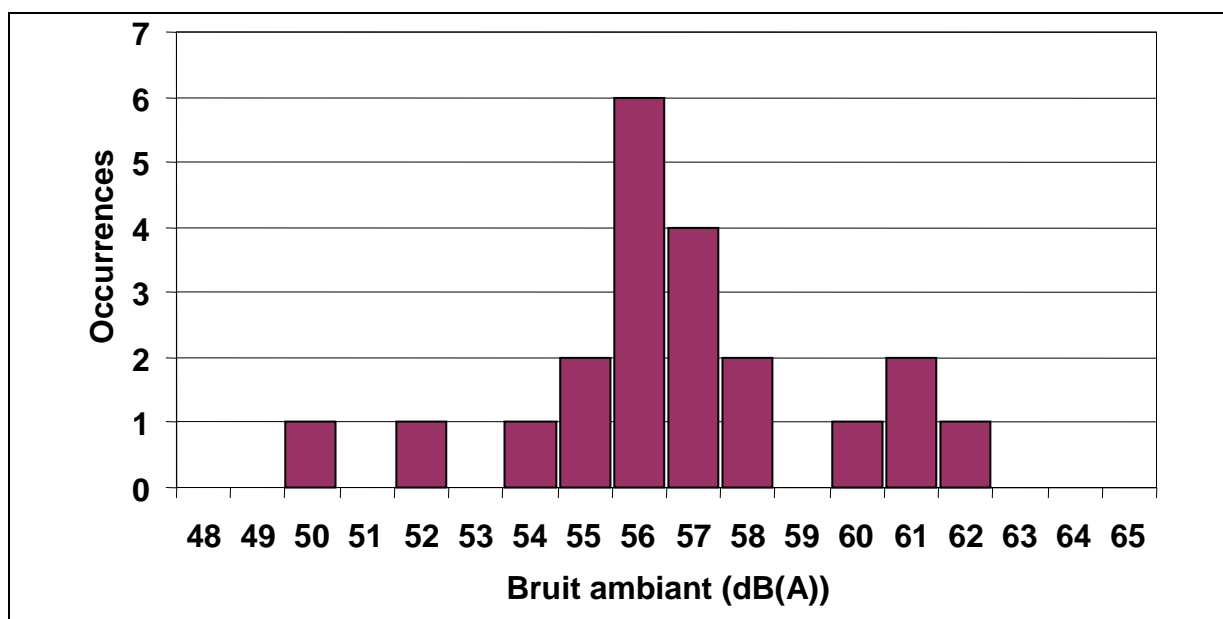


Figure 8 : distribution du bruit ambiant – 21 centres d'appels.

Seule une petite minorité composée de 5 centres d'appels téléphoniques sont en dessous des limites de confort évoquées § 2.2. Douze se situent légèrement au-dessus et peuvent potentiellement la respecter moyennant un meilleur aménagement des locaux. Les 4 cas extrêmes (niveaux supérieurs à 60 dB) s'expliquent pour 3 d'entre eux par des surfaces par opérateur bien trop faibles. Pour le quatrième opérateur, les observations mettent en plus en évidence les faibles dimensions du local et donc l'influence néfaste de la réverbération des bruits dans ce local couplée à une surface par opérateur faible.

Cette limite préconisée de 55 dB(A) est discutable car elle est finalement assez élevée et beaucoup d'experts la considèrent aujourd'hui comme la limite haute pour un travail de bureau. On a d'ailleurs constaté que les opérateurs des centres d'appels visités se plaignaient presque systématiquement du niveau du bruit ambiant. Le confort acoustique dans les centres d'appels ayant participé à la campagne était donc mauvais dans la plupart des cas. Ce bilan négatif s'explique en général par une combinaison de facteurs : un traitement acoustique du local et un aménagement insuffisants, une surface par opérateur trop faible.

Synthèse

La campagne de mesure a confirmé que les opérateurs des centres d'appels pouvaient être exposés par les conversations téléphoniques à des niveaux de bruit quotidiens supérieurs aux limites réglementaires d'actions. Le dépassement reste cependant rare et on ne trouve aucun cas au-dessus de la valeur limite d'exposition. Le risque d'exposition à des bruits lésionnels est donc faible mais avéré et doit être pris en compte par les employeurs.

Un autre problème a été mis en évidence : celui du bruit ambiant. Il est très souvent trop élevé et dépasse dans la majorité des cas les limites de confort, justifiant ainsi les nombreuses plaintes des opérateurs.

5. Les chocs acoustiques

5.1 Description

On entend par chocs acoustiques des bruits généralement de courte durée, intenses et non désirés qui surviennent accidentellement dans le réseau téléphonique. Leur fréquence d'apparition est impossible à généraliser car elle est très variable suivant les centres d'appels touchés et suivant les périodes : quotidiennement, plusieurs fois par semaine ou plusieurs fois par mois. Il s'agit généralement de tonalités aiguës, ressemblant à des sifflements de type « larsen » et se produisant à des fréquences proches de 3 kHz, parfois à plus basses fréquences – jusqu'à 1 kHz pour ceux que nous avons pu observer. Parfois, il s'agit aussi de sons un peu plus complexes (plusieurs tonalités mélangées). Leur niveau est théoriquement limité à 118 dB par le bridage des casques téléphoniques. Ceux que nous avons pu enregistrer atteignaient au maximum 115 dB dans l'oreille du HATS (ce n'est donc pas un niveau comparable au niveau de bruit extérieur considéré par la législation et mesurable en champ diffus). Nous avons aussi testé en laboratoire des casques téléphoniques et les plus puissants sont capables de délivrer en tonalité pure (signal sinusoïdal) jusqu'à 123 dB – toujours dans l'oreille du mannequin. Recalculés en champ diffus, ces niveaux peuvent donc être considérés comme équivalents à des niveaux de l'ordre de 120 dB pour une source placée à proximité de l'oreille d'une personne (champ diffus : comparable à la législation).

L'origine exacte des chocs acoustiques est généralement difficile à identifier. Ils peuvent provenir de : 1) boucles de rétroactions de type larsen (survenant par exemple lorsque des équipements différents sont trop proches), 2) de croisement de câbles mal isolés, 3) des multiples changements de réseaux téléphoniques. Ces trois dernières sources de chocs proviennent de cas élucidés en France, mais d'autres origines sont évoquées dans la littérature [25] comme par exemple une impulsion électrique sur le réseau téléphonique ou des malveillances. Dans les trois cas évoqués, ils se produisaient de façon répétée (plusieurs fois par mois).

Bien que ces chocs acoustiques puissent affecter n'importe quel utilisateur de téléphone, les opérateurs des centres d'appels y sont évidemment plus exposés car ils passent beaucoup de temps au téléphone, parce qu'un casque est plus long ou difficile à éloigner de l'oreille qu'un combiné et surtout car leur métier les conduit à garder le casque téléphonique sur les oreilles lorsque le choc

acoustique survient, dans l'espoir de reprendre la communication avec leur client. Les opérateurs des centres d'appels sont donc potentiellement les premières victimes des chocs acoustiques.

5.2 Effets : constat et bibliographie

Lors de nos interventions, nous avons été confrontés dans deux centres d'appels à des problèmes de survenues récurrentes de chocs acoustiques. Nous avons aussi enregistré fortuitement un choc acoustique dans un troisième centre. Dans aucun des trois cas il n'a été constaté de traumatisme de l'oreille. Les effets sur les opérateurs étaient donc plutôt de l'ordre du stress. En revanche, plusieurs publications ou communications ([25] à [27]) ont rapporté que les chocs acoustiques pouvaient causer plusieurs symptômes : nausée et malaise juste après l'exposition, maux de tête, bourdonnement (acouphènes) et hypersensibilité aux bruits forts à long terme. D'après les auteurs, ces symptômes disparaîtraient en général au court du temps mais pourraient perdurer dans quelques cas [26]. Les opérateurs qui subissent un choc acoustique ressentiraient aussi une appréhension. Les travaux cités ([25] et [27]) ne sont cependant pas complètement convaincants car ils ne présentent pas d'études de terrain mais sont basés sur des observations ou des communications mal référencées, à l'exception de la référence [26]. Cette publication présente une étude réalisée à partir des dossiers médicaux d'opérateurs ayant fait constater leurs traumatismes par des médecins ORL. Les auteurs affichent dans les diagrammes de synthèse 18% de cas avec pertes auditives temporaires. Les auteurs émettent aussi une hypothèse sur le mécanisme qui conduirait à un dommage auditif : il s'agirait d'un abaissement du seuil de déclenchement du réflexe stapédien lié au stress. Mais ils reconnaissent n'avoir pas réellement étudié les mécanismes physiologiques. Il est difficile de conclure sur ces seuls travaux. On ne peut donc pas exclure que les chocs acoustiques soient dangereux pour l'audition, bien qu'ils se produisent à des niveaux inférieurs aux limites réglementaires. L'Australian Communications Industry Forum [28], dans son guide sur la sûreté acoustique des équipements de téléphonie, arrive à la même conclusion et recommande donc de s'en protéger par mesure de précaution.

5.3 Synthèse

Même s'ils sont parfois rares ou impossibles à provoquer sciemment, les chocs acoustiques sont une réalité. Ils se caractérisent par l'apparition soudaine d'un signal généralement pur (tonalité) pouvant atteindre des niveaux élevés (de l'ordre de 120 dB). Dans certains centres d'appels, ils se produisent de façon répétée. Leurs effets sur l'audition et le mécanisme physiologique conduisant à ces effets ne sont pas clairement établis, ni par la littérature ni par nos observations, car ils n'ont pas été étudiés de façon assez approfondie pour arriver à une conclusion certaine. Il reste indéniable qu'un choc acoustique traumatise certains opérateurs et génère un stress lorsqu'ils doivent réutiliser leur téléphone. De plus, il ne peut être exclu qu'ils aient des effets physiologiques au moins temporaires. Ainsi, tout doit être mis en œuvre pour les prévenir ou pour les supprimer, notamment lorsqu'ils se produisent de façon récurrente.

6. Les solutions de prévention

6.1 Les amplificateurs et les protecteurs numériques

Description

A partir du moment où l'exposition au bruit peut dépasser les limites d'actions réglementaires, il devient nécessaire de proposer des solutions de prévention. Les fabricants de matériel de téléphonie ont anticipé le problème en ajoutant à leur gamme des amplificateurs ou des protecteurs numériques. Les amplificateurs ont deux fonctions : ils amplifient le signal entrant en fonction du réglage de l'opérateur mais ils le limitent également en deçà d'une certaine valeur, agissant en tant que compresseur (ou atténuateur) dans ce dernier cas. Ce sont donc en réalité des « amplificateurs-atténuateurs » mais les fabricants les appellent simplement « amplificateurs ».

Les protecteurs numériques remplissent les mêmes fonctions d'amplification et d'atténuation. De plus, ils nettoient la parole des tonalités indésirables et filtrent donc la plupart des chocs acoustiques. Enfin, ils sont supposés être conformes à la législation, ce qui signifie que le niveau délivré par le casque est limité à une valeur qui devrait garantir une exposition quotidienne au bruit de l'opérateur inférieure à 80 dB(A). Cependant, cette notion de conformité est à considérer avec précaution car les fabricants ne sont généralement pas capables d'expliquer comment la limitation de l'exposition est garantie.

Tous ces dispositifs utilisent un contrôle automatique de gain (ou AGC Automatic Gain Control) pour réguler le niveau sonore. L'AGC assure une atténuation des niveaux forts et une augmentation des niveaux faibles sur une étendue de +/-6 dB avec une vitesse d'adaptation de 1 dB/sec. Cela permet à l'utilisateur de ne pas avoir à régler son volume à chaque appel. Mais le temps d'adaptation peut impacter la qualité vocale si l'AGC est mal programmé par le fabricant.

Validation

Malheureusement, aucune norme de téléphonie n'a été éditée pour le test de tous ces dispositifs. L'utilisateur en est réduit à faire confiance au fabricant. Pour pallier cette carence, l'INRS a décidé de tester certains de ces équipements à travers une série d'essais :

- envoi d'un sinus balayé (gamme 200 Hz à 3,4 kHz) à différents niveaux de courant. Ce test permet d'observer à quel niveau sonore le protecteur limite le niveau sonore fourni au casque téléphonique et s'il régule bien ce niveau en fonction de son réglage,
- envoi de signaux de parole (signal normalisé P50) féminin et masculin à différents niveaux de courant. Ce test permet d'observer à quel niveau acoustique équivalent (global) sur la conversation le protecteur limite le niveau fourni au casque téléphonique et qu'il régule bien ce niveau de conversation en fonction de son réglage,
- envoi de 13 signaux impulsifs à niveau de courant très élevé, ces 13 signaux ayant des réponses centrées en fréquence sur respectivement chacune des 13 bandes de tiers d'octave

couvrant la bande passante du téléphone (200 Hz à 3,4 kHz). Ce test permet de valider le filtrage ou la limitation des chocs acoustiques,

- envoi de 3 enregistrements de chocs acoustiques réels. Ce dernier test permet de confirmer le précédent test.

Les résultats sont présentés dans le tableau 3. Toutes les grandes marques proposent soit des amplificateurs soit des limiteurs et – à une exception près – leurs matériels satisfont aux tests avec quelques précisions importantes :

- tous doivent être associés à des casques de la même marque ou de même puissance, à l'exception du SOUNDSHIELD de POLARIS qui est réglé par le fournisseur en fonction du casque. Ce point est très important : en général, la gamme de casques d'un fabricant est homogène (même volume sonore délivré pour une tension électrique donnée) mais cela n'est pas vrai d'un fabricant à l'autre,
- l'amplificateur SENNHEISER UI740 ne limite pas suffisamment le volume sonore pour que le niveau acoustique équivalent d'une conversation reste inférieur à 85 dB(A),
- le protecteur numérique PLANTRONICS DM15 limite le niveau acoustique équivalent d'une conversation en dessous de 85 dB(A) et non pas 80 dB(A). Ce point, mis en évidence par les tests, a de plus été vérifié sur un site équipé avec ce matériel,
- le casque sans fil GN NETCOM 9350 est à notre connaissance le seul casque sans fil sur le marché incluant une protection numérique. Il propose plusieurs réglages et les tests montrent que cette protection n'est suffisamment efficace que sur le réglage « level 3 ».

Marque	Type	Limitation du niveau	Filtrage des chocs acoustiques	Régulation du niveau sonore
GN NETCOM	JABRA 8210	oui	oui	oui
GN NETCOM	JABRA 9350	oui	oui	oui
PLANTRONICS	DM15	oui	oui	oui
SENNHEISER	UI740	non	non	oui
SENNHEISER	UI760	oui	oui	oui
SOUNDSHIELD	SS3G	oui	oui	oui
TECHPHONE	T610-M	oui	non	non

Tableau 3 : protecteurs numériques testés.

6.2. Limitation simple du niveau

Les limiteurs de niveaux sont des systèmes plus simples que les équipements présentés au § 6.1. Ils écrêtent simplement les niveaux trop forts qui seraient reçus dans le casque. Cette solution, la simple limitation du niveau, est théoriquement acceptable mais elle pose en pratique deux problèmes : sa mise en œuvre et la conservation de l'intelligibilité.

En ce qui concerne sa mise en œuvre, les installateurs savent régler les niveaux électriques délivrés par le réseau (en général en VoIP – Internet Protocol – mais pas toujours) aux postes de téléphone. Le problème est de connaître le niveau électrique qui garantirait l'absence de risque d'exposition des opérateurs. C'est possible si on se réfère à nos observations empiriques sur les niveaux mesurés sous le casque, avec des signaux artificiels (répondeur téléphonique) cf. § 3.2. Lors de nos mesures d'exposition, nous avons constaté que lorsque le niveau sonore maximum ($L_{A\max,0.125}$ cf. annexe B) délivré par le casque dans l'oreille du mannequin restait inférieur à 96 dB(A), le niveau acoustique équivalent sur les conversations ne dépassait jamais 80 dB(A). De façon empirique, nous pouvons donc garantir l'absence de risque d'exposition si le niveau sonore reste inférieur à cette limite. La limitation est donc une solution possible mais elle exige la mise en œuvre d'une chaîne de mesure conforme à la norme [2] sur le site afin de valider la limite choisie, une parfaite homogénéité du matériel et une nouvelle validation à chaque changement de matériel.

6.3. Intelligibilité

La régulation (§ 6.1.) ou la simple limitation du niveau (§ 6.2.) par des systèmes électroniques intermédiaires (limiteurs, amplificateurs ou protecteurs) peuvent conduire à une dégradation de la qualité du signal et donc à un problème d'intelligibilité. La littérature [29] établit qu'une émergence de 9 à 18 dB est nécessaire afin que l'intelligibilité soit bonne pour une conversation dans un bruit ambiant créé par d'autres conversations. Comme le bruit ambiant est souvent entre 55 et 60 dB(A) en centre d'appels, le niveau d'écoute nécessaire pourrait être compris entre 64 et 78 dB(A) et la marge par rapport à la limitation à 80 dB(A) imposée par les protecteurs acoustiques ou par les limiteurs de niveau est donc faible. De plus, plusieurs facteurs vont contribuer à réduire cette marge : les fluctuations des niveaux d'émission des interlocuteurs, la qualité du casque téléphonique et la qualité du signal de conversation.

Les fluctuations du niveau d'émission ont déjà été évoquée § 3.6. Elles sont de l'ordre de 6 dB avec un amplificateur ou un protecteur et de l'ordre de 12 dB sans ces systèmes. Si les opérateurs veulent conserver une bonne intelligibilité, il faudra qu'ils disposent d'une large gamme de réglages. Sinon, ils auront tendance à positionner leur réglage assez haut, de façon à garantir une bonne intelligibilité quel que soit le niveau d'entrée et ils vont donc travailler à niveau élevé. Ce sera le cas en particulier pour des opérateurs qui n'ont pas l'habitude de régler leur téléphone en cours de conversation et qui représentent la majorité d'après l'étude du HSE concernant 150 opérateurs [22].

La qualité du casque conditionne aussi l'intelligibilité et le réglage du niveau sonore. Il n'existe malheureusement pas de norme permettant d'estimer cette qualité. La solution est de les faire tester par les futurs utilisateurs avant tout achat. Quelques critères de choix sont aussi à considérer :

- il a été démontré [30] que l'usage d'un casque binaural permettait d'abaisser de 3 dB le niveau d'écoute à intelligibilité égale. Il est aussi admis que la reconnaissance de certains sons est gênée lors de l'écoute monaurale [31]. Les casques binauraux sont donc à privilégier dans la mesure où ils sont bien acceptés,

- certains casques proposent aussi un réglage de volume. Ce réglage est difficile d'accès (bouton presseur sur l'oreillette) et il augmente inutilement et dangereusement la dynamique globale de réglage du volume sonore du poste. Ce type d'équipement est donc à proscrire ou doit être couplé à un limiteur. En général, il faut privilégier des équipements dont les réglages sont simples et accessibles pour les opérateurs et bien entendu éviter des équipements sophistiqués nécessitant une formation lourde pour les utiliser de façon optimale.

Enfin, le réseau peut aussi avoir une influence déterminante. Une analyse présentée en 2008 (communication de J. FAURE [6]) montrait que le type de réseau utilisé par le centre d'appels a une influence sur l'intelligibilité, notamment le type de CODEC⁴ utilisé en réseau IP (Internet Protocol) et le débit afférent au CODEC : la plupart des centres d'appels sont sous réseau IP et utilisent soit les CODEC G711 ou G722 (64 kbps) soit le CODEC G729 (8 kbps à 32 kbps). Or le second dégrade nettement l'intelligibilité (voir la figure 9 adaptée de la communication [6]).

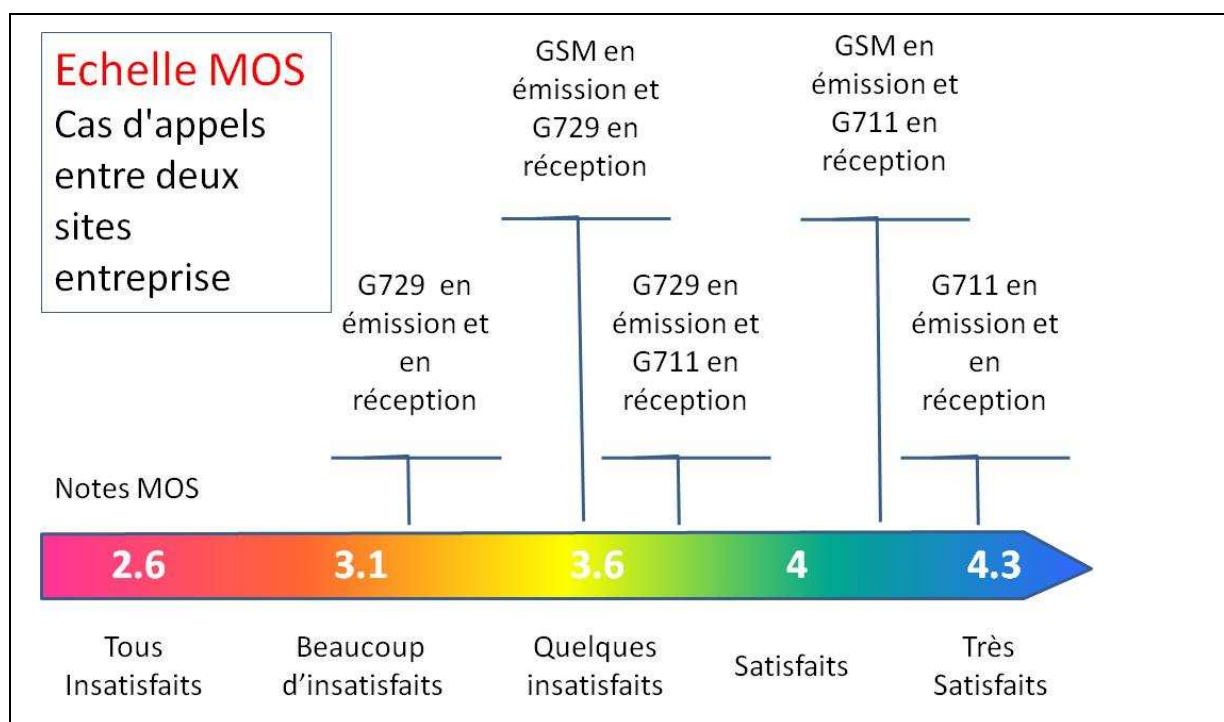


Figure 9 : influence du type de réseau IP sur l'intelligibilité, ici caractérisé par le MOS Factor (Mean Opinion Score, métrique mesurant la qualité d'une ligne téléphonique).

On remarque que la qualité du réseau de réception influence fortement la qualité du signal même lorsque le réseau d'émission est de faible qualité (GSM ou G729). Les centres d'appels devraient donc tous choisir des fournisseurs d'accès leur proposant de forts débits (64 kbps), ce n'est pas toujours le cas.

⁴ Un CODEC (COde-DECode en anglais) est un procédé capable de compresser et/ou de décompresser un signal numérique. Ce procédé peut être implanté sur une puce électronique ou un logiciel.

6.4. Conclusion sur les solutions de prévention

La simple limitation du niveau peut être une solution pour prévenir l'exposition à des niveaux sonores dangereux pour l'audition. Mais elle est difficile à mettre en œuvre et elle doit être accompagnée d'une bonne maîtrise du bruit ambiant et d'un choix de réseau et de matériel de téléphonie performants afin que les opérateurs conservent une bonne intelligibilité. Les amplificateurs avec la fonction atténuateur constituent la solution la plus simple à mettre en œuvre et une des mieux adaptées car ils régulent le niveau sonore et offrent ainsi une meilleure flexibilité pour garantir l'intelligibilité. Enfin, les protecteurs numériques, comparables aux amplificateurs, ont en plus l'avantage de filtrer le signal afin de l'améliorer et d'éviter la survenue de chocs acoustiques. En revanche, il semble que leurs traitements numériques du signal soient parfois trop lents et qu'ils conduisent à une dégradation de l'intelligibilité et/ou créent une impression d'écho. Dans tous les cas, ces solutions doivent être testées puis implantées en concertation avec les opérateurs, d'autre part les nouveaux arrivants doivent être informés des risques et formés à l'utilisation du matériel.

7. L'aménagement acoustique du plateau

La campagne de mesure (cf. § 4) a montré que dans la majorité des cas le bruit ambiant était au-dessus de la limite haute de confort de 55 dB(A). Le chapitre précédent a aussi montré qu'il devait être maintenu en dessous de cette limite pour que les solutions de prévention de l'exposition au bruit puissent être implantées sans dégrader l'intelligibilité lors des conversations téléphoniques. Or le bruit ambiant dépend de plusieurs paramètres qui devront tous être pris en compte pour permettre le respect de cette limite : la surface par opérateur, le traitement acoustique du local, le mobilier et en particulier les écrans, l'aménagement et enfin le comportement de chacun et l'organisation du travail dans la collectivité.

7.1. Surface par opérateur

Il est incontestable que la surface par opérateur est un facteur déterminant pour le niveau de bruit ambiant : pour l'acousticien, cette surface permet de calculer la densité de sources bruyantes (les opérateurs) dans le local. Il est évident qu'elle participe à déterminer le bruit global mais il est difficile de lui fixer une valeur puisqu'elle n'est pas le seul facteur. Les normes d'ergonomie recommandent entre 10 m² [18] et 15 m² [19] par opérateur. Ces valeurs sont jugées trop élevées par les gestionnaires ou concepteurs de centres d'appels essentiellement pour des raisons de coûts du bâti (surtout en région parisienne). Lors de notre campagne de mesure, nous avons tenté d'effectuer la corrélation entre le bruit ambiant et la surface réelle allouée à chaque opérateur. Cette dernière a été calculée comme le ratio entre la surface du plateau et le nombre moyen d'opérateurs présents pendant la mesure de bruit ambiant. Il s'agit donc d'une valeur moyenne. Elle ne reflète ni la situation instantanée ni l'activité du plateau téléphonique mais cette approche simplifiée permet de constater des tendances. Les résultats sont présentés figure 10 pour 21 centres d'appels et 101 points de mesure du bruit ambiant. La régression linéaire entre la surface par opérateur et le niveau de bruit

ambiant montre une faible corrélation. En revanche, il est intéressant de constater que, en-dessous de 7 m^2 , le bruit ambiant est toujours supérieur à 55 dB(A) en moyenne sur la durée de mesure et que, au-dessus de 10 m^2 , il est toujours inférieur à cette valeur. D'après ces relevés, il faudrait donc une surface minimale de 7 m^2 pour que le bruit ambiant soit acceptable et une surface largement supérieure à 10 m^2 , de l'ordre de 12 m^2 , pour en être certain. Les limites données par les normes d'ergonomie citées sont donc cohérentes avec le respect d'un niveau de bruit ambiant de confort.

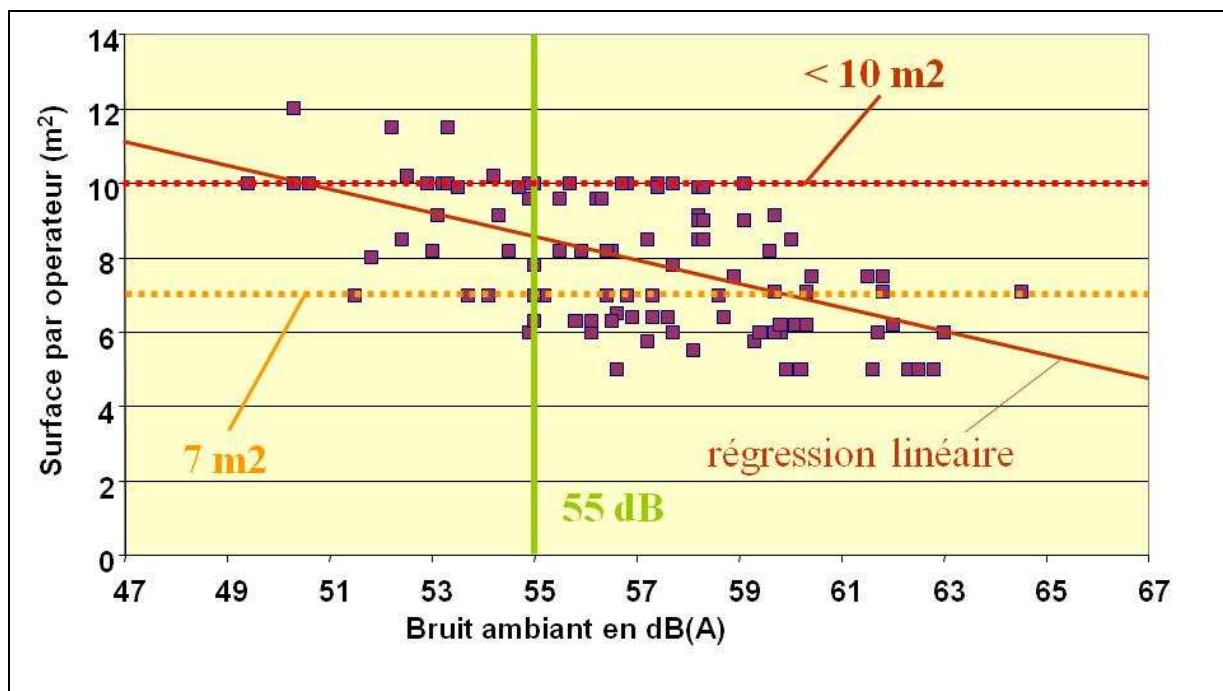


Figure 10 : bruit ambiant en fonction de la surface par opérateur.

7.2. Traitement acoustique du local

Le local doit en premier lieu être conçu le plus silencieux possible. Pour cela, l'isolation par rapport aux bruits extérieurs, d'une part, et les équipements techniques, d'autre part, doivent être conçus pour que le bruit (local inoccupé) ne dépasse pas 45 dB(A) , en conformité avec la norme NF S 31 080 [13]. En particulier, la climatisation doit respecter cette limite quel que soit son régime de fonctionnement.

Si ce premier point est vérifié, les sources prépondérantes contribuant au bruit ambiant seront alors seulement les opérateurs. Statistiquement, les opérateurs constituent des sources à peu près homogènes et distribuées sur tout l'espace. En conséquence, pour limiter la réverbération acoustique du local et diminuer globalement le bruit ambiant, le traitement acoustique du plafond est déterminant. Nous l'avons vérifié lors de notre campagne d'essais. En particulier, nous avons relevé des niveaux de l'ordre de 57 à 59 dB(A) sur un plateau où la surface par opérateur était de 10 m^2 mais où le plafond n'était pas traité. Le plafond doit donc être habillé d'un faux-plafond acoustique de classe A, la classe d'absorption la plus élevée. Le bruit constitué de paroles est à dominante fréquentielle basse à moyenne (300 Hz à 3000 Hz). Pour que l'absorption soit la plus élevée possible aux basses fréquences, toujours difficiles à atténuer, il est également important que le plénum (vide d'air entre le

plafond et le faux-plafond) soit de 200 mm. Enfin, un gain supplémentaire toujours aux fréquences basses sera obtenu avec des plaques acoustiques du plafond présentant une épaisseur de 40 mm au lieu des 20 mm habituels. En dehors du traitement du plafond, incontournable, l'absorption acoustique du local pourra être également améliorée avec un traitement acoustique des vitrages au moyen de stores en tissus ou stores acoustiques, le traitement des murs (habillages en mousses ou laines revêtues de panneaux de tôles ou de bois perforés), du mobilier adapté (cf. ci-dessous) c'est-à-dire incluant des écrans absorbants aux fréquences de la parole ou des perforations apportant un effet résonateur de Helmholtz et des plantes vertes de bonne envergure.

7.3. Mobilier

Le mobilier conditionne le niveau de bruit généré entre postes voisins. En général, les opérateurs sont répartis sur des bureaux groupés, appelés aussi marguerites, de 2, 4, 5 ou 6 places. L'espacement entre les postes d'une marguerite est faible et le son direct provenant des autres postes de la marguerite prédomine sur le son réverbéré ou provenant des autres marguerites. Pour diminuer l'impact du son direct, les fabricants de mobilier mettent généralement en place des écrans entre les postes. Or, pour qu'un écran soit efficace, il faut qu'il masque largement l'opérateur de ses vis-à-vis ainsi que des opérateurs des postes adjacents. D'autre part, les écrans présentent une isolation qui dépend de leur masse surfacique. Pour qu'ils soient efficaces, il faut donc aussi qu'ils soient assez lourds. Enfin, il faut tout de même une distance la plus grande possible entre les postes et de la place pour l'opérateur.

Nous préconisons donc l'utilisation de marguerites de 4 personnes (au-delà, les postes de travail risquent d'être trop petits), avec des écrans entre postes d'au moins 1,4 m de hauteur et débordant sur les côtés afin de bien masquer les postes adjacents. Ces écrans devront présenter une bonne isolation (en particulier, ne pas présenter d'ouvertures ou de fuites) et être absorbants aux basses fréquences (fréquences de la parole). Pour que les opérateurs puissent se voir, ils pourront comporter une partie vitrée (vitrage épais, éviter le plexiglas qui est trop léger et donc apporte peu d'isolation acoustique) par exemple en partie haute. Enfin, chaque poste devra respecter les contraintes ergonomiques habituelles, c'est-à-dire permettre de faire varier la hauteur du clavier, la hauteur, l'orientation et l'inclinaison de l'écran, la hauteur du plan de travail (73 ± 10 cm), la distance écran-œil (entre 50 et 70 cm pour un écran de 15").

7.4. Aménagement

L'aménagement peut aussi influencer l'ambiance acoustique. Un des paramètres prépondérant est la forme du plateau. Souvent, il s'agit de grandes surfaces rectangulaires. Or cela est défavorable car les sources sonores (les opérateurs) sont ainsi toutes susceptibles de contribuer au bruit en un point donné. Il vaut donc mieux privilégier les formes allongées, ou positionner des bureaux ou des locaux communs (salles de réunion – toilettes – accès) au centre du plateau afin de casser le volume. Les formes arrondies ont aussi un effet positif sur le bruit car elles réduisent le nombre de postes en vue directe. Enfin, il convient d'éviter les trop grands espaces.

Lorsque les marguerites sont trop proches les unes des autres, elles doivent être séparées par des écrans de plain-pied présentant les mêmes caractéristiques que les écrans intra-marguerite : bonne isolation, absorption aux basses fréquences et présence d'une partie vitrée. Leur hauteur doit être d'au moins 1,8 m.

Chaque centre d'appels doit inclure une salle de repos parfaitement isolée du plateau, en particulier sans accès direct, une ou des salles de formation (les formations sur le plateau sont à proscrire) et une ou des salles de réunion. Il s'agit de règles de bon sens mais qui ne sont pas toujours respectées. Les zones de circulation doivent être prévues de manière à perturber le moins possible les opérateurs en conversations. Il faut les concevoir pour qu'elles soient courtes et matérialisées par des panneaux acoustiques afin que les opérateurs les utilisent naturellement sans prendre des raccourcis qui gêneraient leurs collègues. Ces surfaces de circulation peuvent utilement séparer des rangées de marguerites.

Enfin, les machines (fax, imprimantes...) doivent être isolées, en les plaçant dans des salles à part ou au moyen de panneaux acoustiques. Elles ne contribuent généralement que faiblement au bruit ambiant mais sont gênantes pour les opérateurs. Elles sont surtout très souvent mal tolérées, car elles s'ajoutent à un bruit ambiant déjà élevé pour un travail de bureau.

7.5 Organisation du travail et comportement dans la collectivité

Les centres d'appels mettent très rarement en place une organisation du travail dédiée pour limiter le bruit ambiant. Ce constat est regrettable car c'est un outil contraignant mais très efficace. Les règles collectives sont très simples : éviter les discussions longues sur le plateau, parler à voix mesurée aussi bien au téléphone qu'entre collègues, éviter les briefings individuels ou les formations sur les postes des opérateurs, discuter avec les postes éloignés par téléphone ou en se déplaçant.

Cela suppose l'existence de salles de formation, de salles de réunion et d'espace de détente. L'application de ces règles collectives doit donc être impérativement subordonnée à un aménagement correct du centre d'appels et au choix d'un équipement performant. Il convient aussi que le management les respecte. Sinon, elles ne seront pas acceptées par les opérateurs.

La façon dont les opérateurs parlent à leurs correspondants est aussi très importante. En particulier dans les métiers de la vente ou dans les cas conflictuels. Ainsi, une formation renouvelée régulièrement à la relation client est nécessaire et peut avoir un impact positif sur l'ambiance acoustique des plateaux.

7.6 Autres contraintes

L'aménagement acoustique doit être réalisé en respectant les autres contraintes, en particulier en ce qui concerne l'ergonomie, l'éclairage et la thermique. Les obligations réglementaires sont répertoriées dans un document de l'INRS [32]. Plusieurs brochures de conseil et d'aide à l'aménagement le complètent ([17], [33] à [34]).

8. Conclusion

L'étude présentée dans ce document montre que quelques opérateurs de centres d'appels téléphoniques ont été trouvés exposés à des niveaux de bruit supérieurs aux limites réglementaires. La méthodologie utilisée est basée sur une norme internationale. La comparaison avec d'autres études montre une très bonne corrélation des résultats. Le risque est donc faible mais avéré.

La prévention de ce risque est possible, soit par la limitation du niveau soit par l'utilisation d'amplificateurs ou de protecteurs numériques couplés à un choix de matériel et d'un réseau téléphonique de qualité et une bonne maîtrise du bruit ambiant.

Cette étude montre aussi que le bruit ambiant est élevé en centres d'appels, d'ailleurs souvent supérieur aux limites de confort communément admises. Sa maîtrise exige un bon aménagement du centre d'appels, avec en particulier une surface raisonnable par opérateur, un local bien traité du point de vue de l'acoustique, un mobilier adapté et une bonne formation et information des salariés. Or notre campagne de mesure montre que ces contraintes d'aménagement, pourtant raisonnables, sont très rarement respectées.

En conclusion, le risque d'exposition à des niveaux de bruits dangereux pour l'audition doit être évalué. S'il est avéré, des solutions de prévention existent. Par ailleurs, le bruit ambiant doit rester inférieur à 55 dB(A), afin que l'ambiance acoustique soit acceptable et que l'intelligibilité au téléphone soit correcte lorsque le niveau d'écoute est limité. Un bon aménagement des locaux, notamment lors de leur conception, le permettra.

Bibliographie

- [1] PLANEAU V., ROBINET D. – Évaluation de l'exposition sonore quotidienne des opérateurs de centres d'appels téléphoniques. INRS. Note Scientifique et Technique NST 231 – Février 2003.
- [2] NF EN ISO 11904-2 Acoustique - Détermination de l'exposition sonore due à des sources sonores placées à proximité de l'oreille - Partie 2 : technique utilisant un mannequin. Paris, AFNOR, Juin 2005, 16 p.
- [3] CODE DU TRAVAIL Quatrième partie – Livre IV – Titre III – Articles R4431 à R4436.
- [4] RIBERT-VAN DE WEERDT C. " Prise en compte des émotions au travail : cas pratique en entreprise ". ND 2287. Paru dans Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires, 2e trimestre 2008, pp. 5-12 ;
- [5] GOVAERE V. Le guidage vocal en logistique - Un suivi des modifications pour les utilisateurs. Actes du 42ème Congrès de la SELF "Ergonomie des produits et des services", Saint-Malo, 5-7 septembre 2007, pp. 645-654
- [6] Journée AFNOR. Rencontre du Club des Adhérents - L'acoustique des centres d'appel - Une dimension essentielle. 19 novembre 2008. Paris (sans actes).
- [7] GROSJEAN V., RIBERT-VAN DE WEERDT C. - Vers une psychologie ergonomique du bien-être et des émotions. Les effets du contrôle dans les centres d'appels. Le travail humain, 2005, vol. 68, n°4, pp. 355-378.
- [8] MORAND P., GOVAERE V., CHATILLON J., DAVEZIES P. - La reconnaissance vocale: effets sur la santé et la sécurité des préparateurs de commandes. Communication à PREVENTICA Lyon 2009 (sans actes).
- [9] NIOSH HEALTH HAZARD EVALUATION REPORT, Evaluation of a Telephone Dictation System used by Medical Transcriptionists for Excessive Noise Exposures Through their Headsets – Report 2003-0287-2974. NIOSH, Santa Clara, California, USA. June 2005, 35 p.
- [10] RICE C.G., ROSSI G., OLINA M. – Damage risk from personal cassette players – British journal of Audiology, Volume 21(4), Issue 3, November 1987, pp. 279-288.
- [11] NF EN ISO 9612:2009. Acoustique - Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail - Méthode d'expertise. Paris, AFNOR, Décembre 2009.
- [12] ISO 1999:1990 Acoustique. Détermination de l'exposition au bruit en milieu professionnel et estimation du dommage auditif induit par le bruit. Paris, AFNOR. Janvier 1990.
- [13] NF S31080. Bureaux et espaces associés - Acoustique - Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace. Paris, AFNOR, Janvier 2006, 18 p.
- [14] WISNER A. - Manuel Bruits et Vibrations. Chapitre II : Éléments de Physiologie et de Pathologie des Bruits. Editions INRS n°254B, 1970
- [15] ISO International Organization for Standardization. Recommendation ISO/R 1996—1971, Acoustics — Assessment of Noise with Respect to Community Response.
- [16] BERANEK L.L. Balanced noise-criterion (NCB) curves. J. Acous. Soc. Am. 86(2). August 1989, pp. 650-664.
- [17] Institut national de recherche et de sécurité (INRS) – Fiche pratique de sécurité. ED 108 : Les centres d'appels téléphoniques. Août 2009. 6 p.

- [18] ISO 9241-5:1998 - Exigences ergonomiques pour travail de bureau avec terminaux à écrans de visualisation (TEV) – Partie 5: Aménagement du poste de travail et exigences relatives aux postures. Paris, AFNOR. Octobre 1998.
- [19] NF X 35-102. Conception ergonomique des espaces de travail en bureaux. Paris, AFNOR. Décembre 1998.
- [20] CHATILLON J., TROMPETTE N., OTTAVIANI P., PELLETIER E - Observation de l'activité en centre d'appels téléphoniques et limites d'exposition au bruit. INRS - *Hygiène et sécurité du travail* - 3e trimestre 2009 - 216 pp.33-40. ND 2314.
- [21] RODRIGUES D., DUROCHER J.N., PERDEREAU J., LAMBERT J.M., CELLARD P., « La mesure des dispositifs d'écoute individuelle », *Acoustiques et Techniques* n° 52, pp. 27-35, 2008.
- [22] PATEL J.A., BROUG K. – Assessment of the Noise Exposure of Call Centre Operators - *Occupational Hygiene*, Volume 46, No. 8, pp. 653-661, 2002.
- [23] PERRETTI A., PEDRIELLI F., BAIAMONT M. - Headphone Noise : Occupational Noise Exposure Assessment – Euronoise, Naples, 2003.
- [24] DAJANI H., KUNOV H., SESHAGIRI B., Real-time method for the measurement of noise exposure from communication headsets – *Applied Acoustics*, Volume 49, Issue 3, November 1996, pp. 209-224.
- [25] DILLON H., FISHER M. – National Acoustic Laboratories – Acoustic shock - an overview – Communication ISA, Melbourne, Mars 2002
- [26] WESTCOTT M., Acoustic Shock Injury, *Australia Acta Otolaryngol Suppl.*, 2006
- [27] MILHINCH J.C., Acoustic Shock Injury: Real or Imaginary ?, *America Audiology Network*, 2002.
- [28] Australian Communications Industry Forum: Guideline – Acoustic safety for telephone equipment – publication ACIF G616, 2004.
- [29] LAZARUS H. - Prediction of verbal communication in noise – A development of generalized SIL curves and the quality of communication (Part 2) – *Applied Acoustics*, 1987, Volume 20 issue 4, pp. 245-261.
- [30] SHAWA W.A., NEWMAN E.B. and HIRSH I.J. – The difference between monaural and binaural thresholds – *Applied Acoustics*, 1987, Volume 37, Issue 3, June 1947, pp. 229-242.
- [31] GERRY A. STEFANATOSA & all – Activation of human auditory cortex during speech perception: Effects of monaural, binaural, and dichotic presentation – *Neuropsychologia*, Volume 46, Issue 1, 2008, pp. 301-315.
- [32] LEROY A. - Conception des lieux de travail. Obligations des maîtres d'ouvrage. Réglementation ED 773, édition INRS, 1996.
- [33] Institut national de recherche et de sécurité (INRS) – L'aménagement des bureaux. Principales données ergonomiques – Fiche Pratique de Sécurité ED 23, édition INRS, 2007.
- [34] BALZER J., CHARVOLIN M., DUCHET M., UNGEMUTH M.C. - Démarche pour intégrer la prévention aux différentes étapes d'un projet de conception ou d'aménagement des lieux de travail, ED 937, édition INRS, 2005.

Annexe A : Dispositions réglementaires

Résumé des dispositions réglementaires concernant la protection des travailleurs contre le bruit (décret 2006-892 du 19 juillet 2006).

Valeurs limites d'exposition à ne dépasser en aucun cas - compte tenu du port de PICB (*) -	$L_{ex,d} < 87$ dBA	
	$L_{p,C} < 140$ dBC	
Actions requises selon les niveaux sonores (**)	$L_{ex,d}$ 80 dBA $L_{p,C}$ 135 dBC	85 dBA 137 dBC
Réduire le bruit au niveau le plus bas raisonnablement possible, compte tenu de l'état des techniques		
Estimer l'exposition sonore des travailleurs et identifier tous les travailleurs exposés		
Maintenir l'exposition sonore compatible avec la santé des travailleurs		
Prévoir le mesurage de l'exposition dans un document soumis pour avis au CHSCT		
Mesurer les niveaux d'exposition sonore		
Tenir les résultats du mesurage à disposition des travailleurs exposés, du médecin du travail, du CHSCT		
Informier et former les travailleurs sur les risques dus à l'exposition sonore et sur les moyens pris pour les prévenir		
Organiser la surveillance médicale incluant le contrôle audiométrique des travailleurs		
Fournir des PICB(*) aux travailleurs		
Prendre toutes les dispositions pour que les PICB(*) soient utilisés		
Signaler les lieux de travail bruyants		
Etablir et mettre en œuvre un programme de mesures techniques ou d'organisation du travail afin de réduire l'exposition sonore ; le présenter au CHSCT dans le programme annuel de prévention des		
(*) PICB : protecteur individuel contre le bruit		
(**) Les dispositions s'appliquent dès que l'un des deux niveaux d'action est dépassé : soit en niveau d'exposition sonore quotidienne $L_{ex,d}$ en dBA, soit en niveau de pression acoustique de crête $L_{p,C}$ en dBC		

Annexe B : Définition des grandeurs acoustiques utilisées

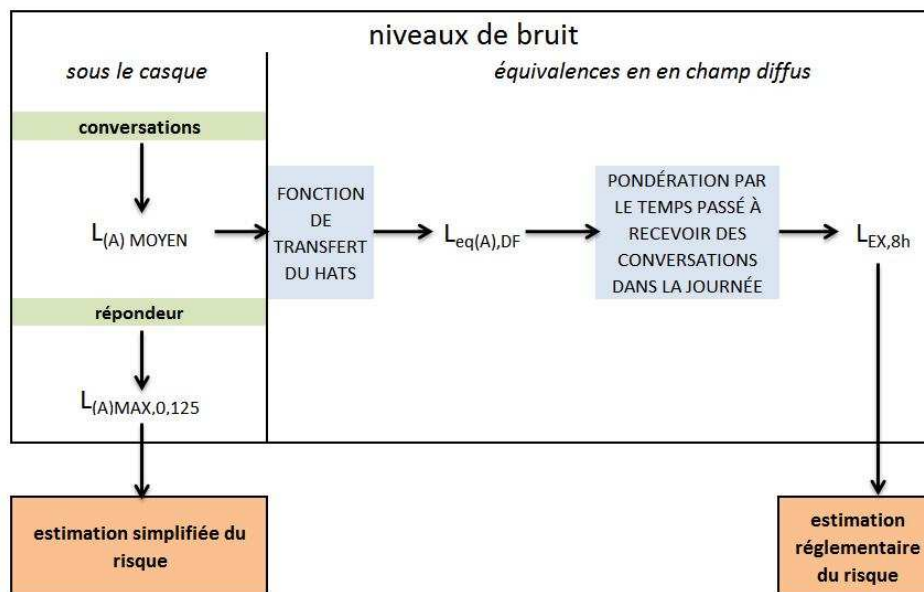
$L_{(A)MAX,0,125}$ en dB(A) : dans le texte, c'est le niveau de pression acoustique équivalent pondéré A maximum **mesuré dans le conduit auditif artificiel du HATS (sous le casque téléphonique)**. Il est mesuré avec une durée d'intégration de 125 ms.

$L_{(A) MOYEN}$ en dB(A) : c'est la moyenne sur le temps de mesure des niveaux de pression acoustique équivalent pondéré A maximum **mesurés dans le conduit auditif artificiel du HATS (sous le casque téléphonique)** pour un certain nombre de conversations.

$L_{eq(A),DF}$ en dB(A) : dans le texte, c'est le niveau acoustique équivalent pondéré A auquel serait soumis l'opérateur s'il était **dans un champ acoustique diffus ambiant**. Il est obtenu à partir du niveau acoustique moyen $L_{(A) MOYEN}$ délivré par le casque dans le conduit auditif artificiel du mannequin conformément à la norme ISO 11904-2.

$L_{EX,8h}$ en dB(A) : niveau d'exposition quotidienne calculé à partir du niveau acoustique équivalent $L_{eq(A),DF}$ pondéré par le temps pendant lequel l'opérateur est exposé.

La figure suivante détaille de manière graphique d'où proviennent ces 4 grandeurs et comment elles sont reliées entre elles.



Annexe C : Evaluation de l'incertitude liée à l'échantillonnage

Méthodologie

L'évaluation de l'incertitude liée à l'échantillonnage a été effectuée au moyen de simulations (Méthode de MONTE CARLO).

Un modèle statistique a été utilisé pour reproduire l'échantillonnage. Le modèle, choisi pseudo-rectangulaire, est défini comme suit :

- (100-u%) des échantillons forment une distribution rectangulaire entre les bornes a et b,
- u% des échantillons ($0 < u < 10\%$) sont à $\pm X$ dB des extrémités a et b

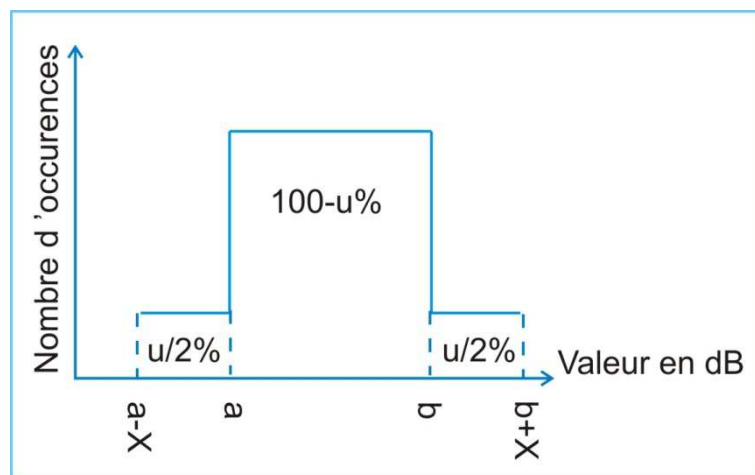


Figure A1 : forme de la distribution.

Dans un premier temps, ce modèle a été validé sur cinq distributions mesurées (cf. Tableau A1). Il s'est révélé adapté à la modélisation de la distribution des niveaux acoustiques équivalents d'un ensemble de conversations (un niveau global par conversation) pour un opérateur donné. Le modèle a ensuite été utilisé pour simuler des échantillonnages allant de 3 à 130 conversations. L'incertitude de mesure a été choisie égale à l'écart type entre les résultats des tirages. Par exemple, 100 000 tirages de 3 conversations ont été effectués. Le résultat final est la moyenne des 3 tirages. L'écart-type entre les 100 000 moyennes est de 2,05 dB et constitue l'incertitude de mesure. La population comprise dans l'intervalle à \pm un écart-type représente 68% des tirages. Ces 68% constituent le niveau de confiance pour un intervalle de \pm un écart-type autour de la moyenne. Enfin, le facteur d'élargissement de l'intervalle à un niveau de confiance unilatéral de 95 % a été évalué toujours par simulation. Il est égal à 1,65.

Validation du modèle

Tel que mentionné dans le paragraphe précédent, le modèle a d'abord été validé sur cinq distributions de niveaux acoustiques équivalents de conversation. Ces distributions ont été obtenues sur cinq sites

différents et pour un seul opérateur par site. Les modèles sont présentés dans le tableau A1. Les paramètres du modèle sont indiqués en dernière colonne.

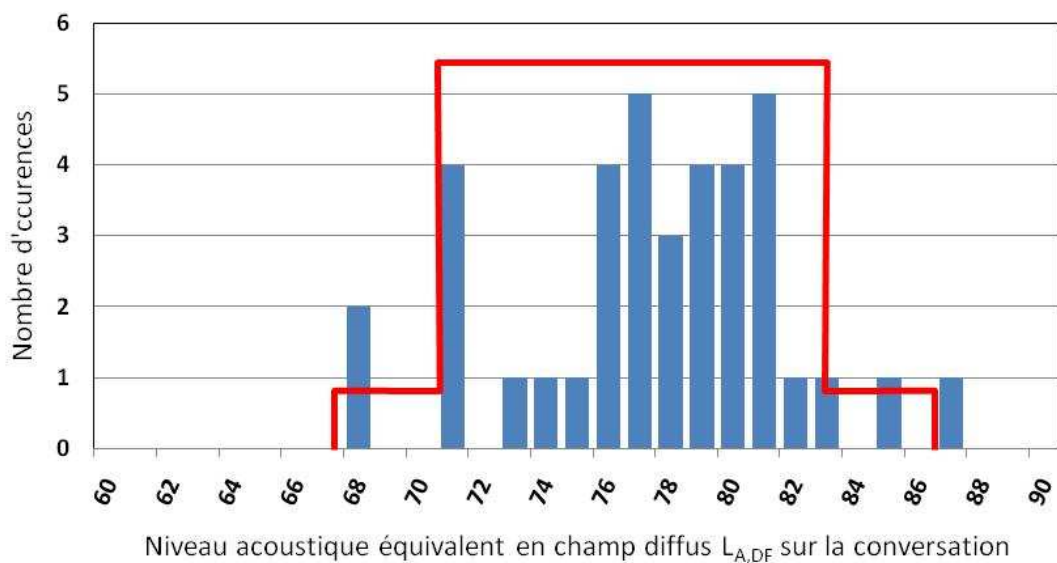
Société/lieu	Durée d'observation	Nombre d'échantillons	Paramètres du modèle
Site n°1	11h	38	Intervalle : a=70,9 – b=83,9 10% des valeurs à ± 3 dB hors de l'intervalle
Site n°2	3h30'	20	Intervalle : a=68,3 – b=80,3 5% des valeurs à ± 4 dB hors de l'intervalle
Site n°3	2h30'	17	Intervalle : a=69,3 – b=83,3 10% des valeurs à ± 3 dB hors de l'intervalle
Site n°4	3h	68	Intervalle : a=66,5 – b=78,5 5% des valeurs à ± 3 dB hors de l'intervalle
Site n°5	1h	30	Intervalle : a=67,1 – b=79,1 10% des valeurs à ± 3 dB hors de l'intervalle

Tableau A1 : modèles retenus pour chacune des 5 mesures de référence.

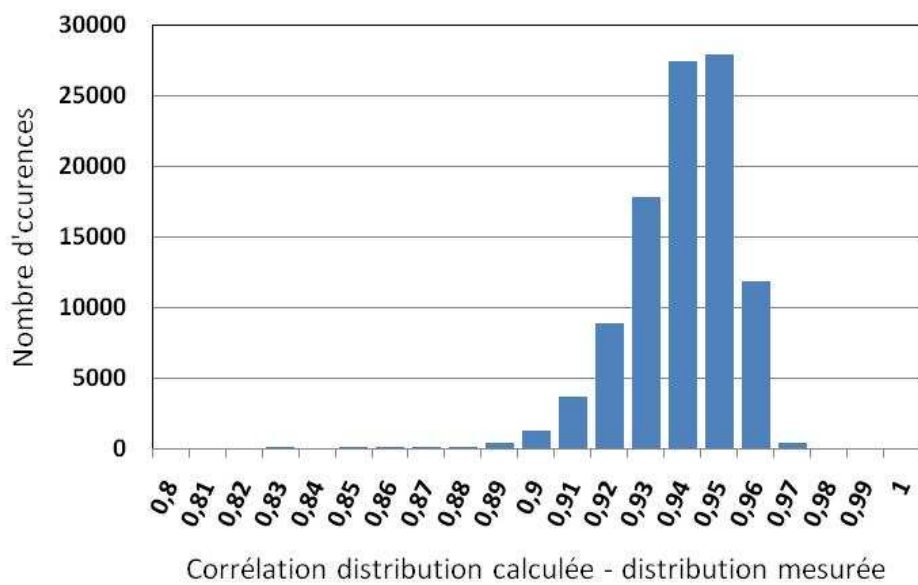
La validation des modèles a été faite par comparaison des moyennes et des écart-types et par le calcul de la corrélation entre chaque tirage et la distribution mesurée. Comme le montrent les figures A2 à A6, il a été à chaque fois possible de retrouver une distribution simulée très proche de la distribution réelle et la corrélation est toujours correcte et même excellente lorsque la distribution mesurée est importante (cas du quatrième site).

Les 5 modèles utilisés sont également très proches. Finalement, un modèle unique a été retenu. Ses paramètres sont : un intervalle de 12 dB et 10% des valeurs s'écartant de ± 3 dB. Ce modèle est présenté figure A7.

A l'issue de cette comparaison entre les modèles statistiques et les mesures, nous pouvons considérer que le niveau acoustique global équivaut d'une conversation téléphonique pour un opérateur donné obéit à la loi pseudo-rectangulaire décrite.



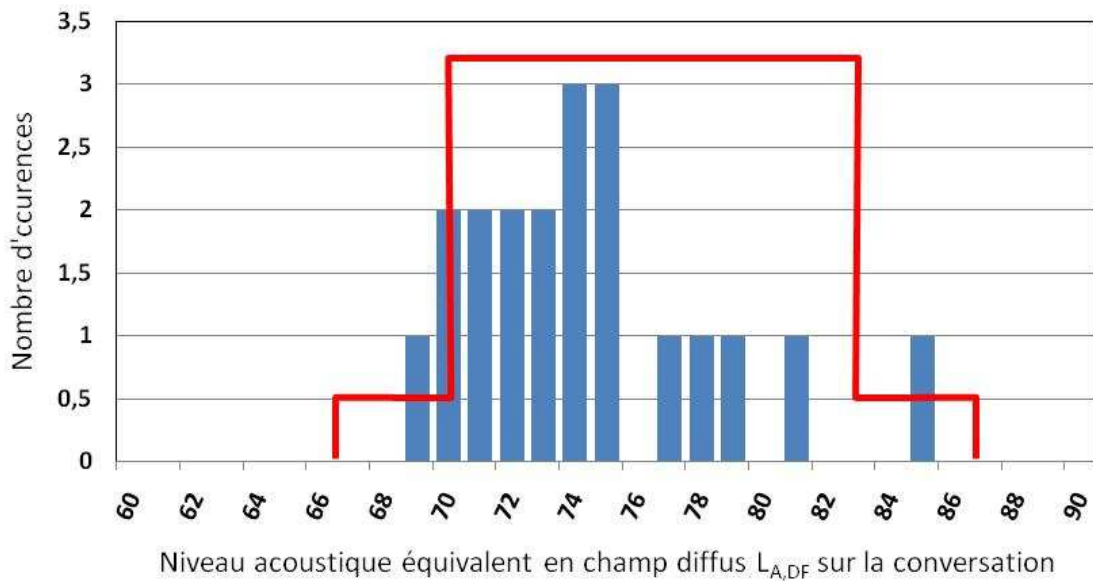
Site n°1 : distribution réelle et modèle (ligne rouge) – 38 échantillons



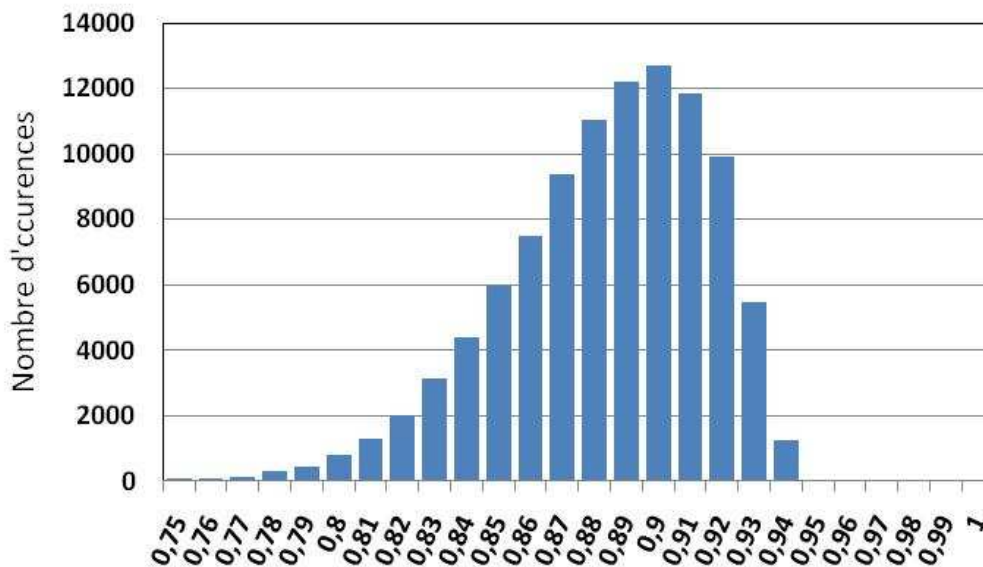
Site n°1 : corrélation entre simulation et mesure – 100 000 tirages

Données	Nombre de tirages	Moyenne	Ecart-type
Mesurées	1	77,4	4,32
Calculées	10 000	77,4	4,4

Figure A2 : premier modèle, comparaison mesures/calcul.



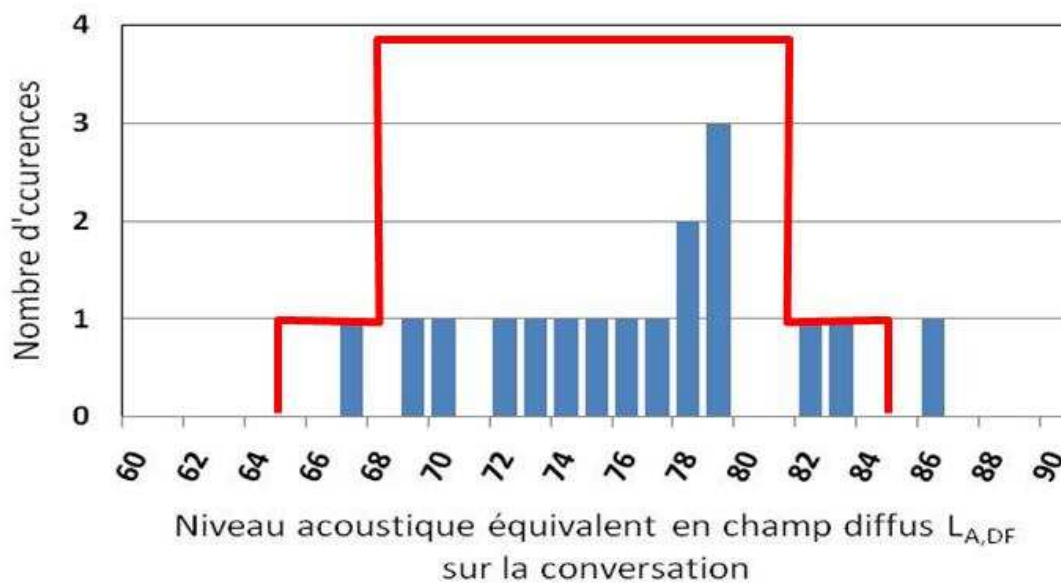
Site n°2 : distribution réelle – 20 échantillons



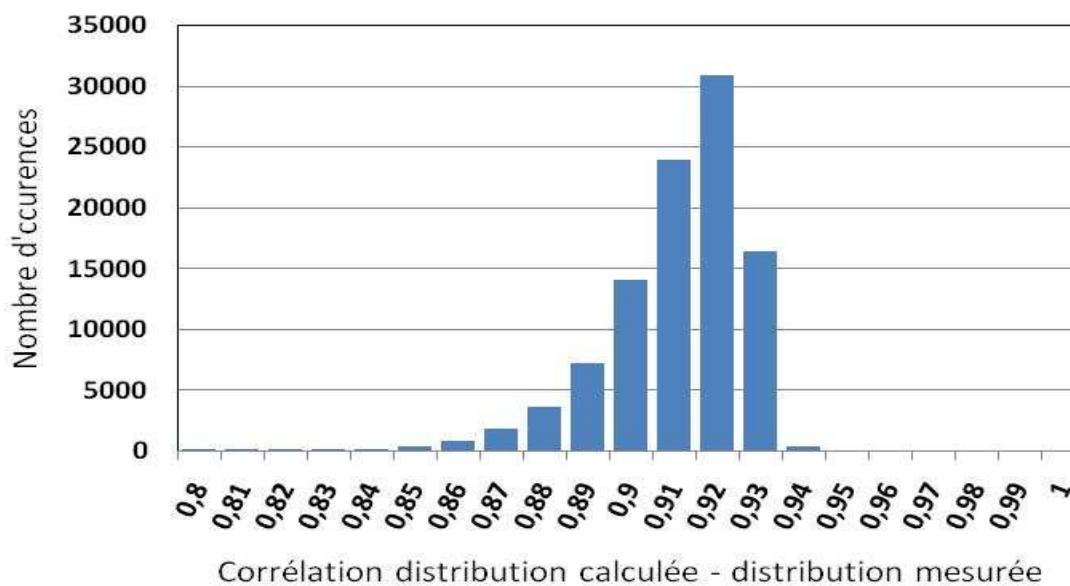
Site n°2 : corrélation entre simulation et mesure – 100 000 tirages

Données	Nombre de tirages	Moyenne	Ecart-type
Mesurées	1	74,3	4
Calculées	10 000	74,4	4

Figure A3 : second modèle, comparaison mesures/calcul.



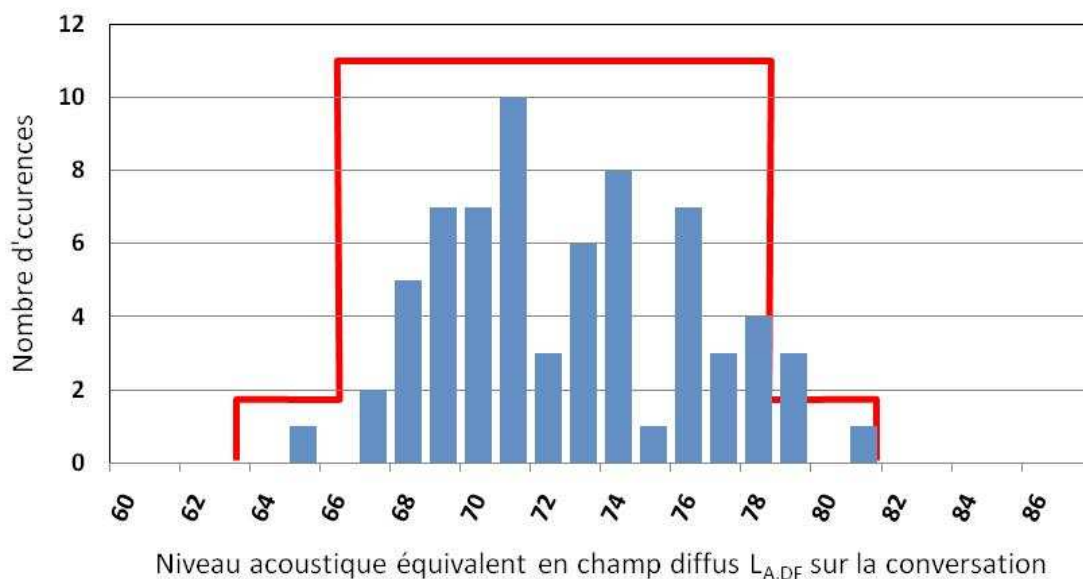
Site n°3 : distribution réelle – 17 échantillons



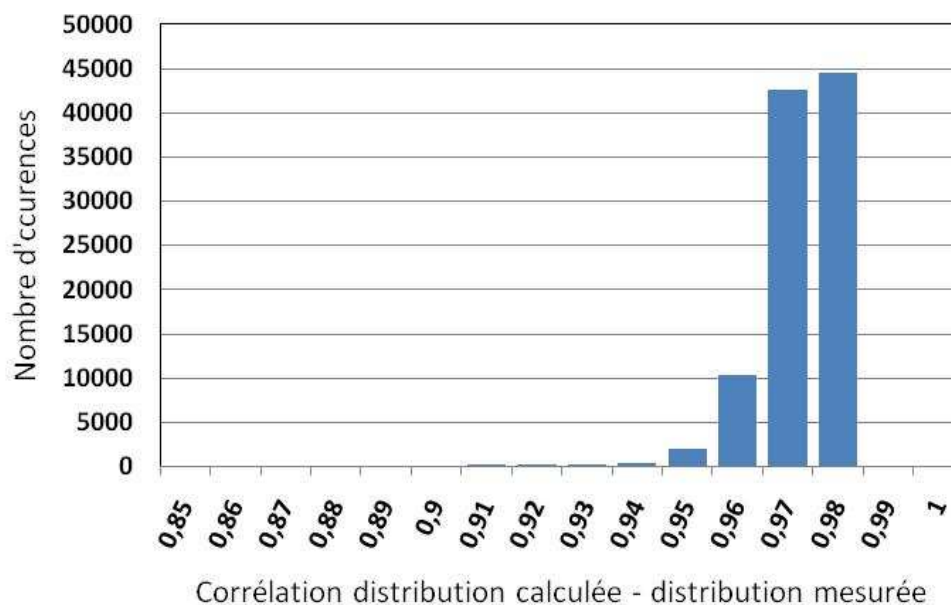
Site n°3 : corrélation entre simulation et mesure – 100 000 tirages

Données	Nombre de tirages	Moyenne	Ecart-type
Mesurées	1	76,3	5
Calculées	10 000	76,3	4,7

Figure A4 : troisième modèle, comparaison mesures/calcul.



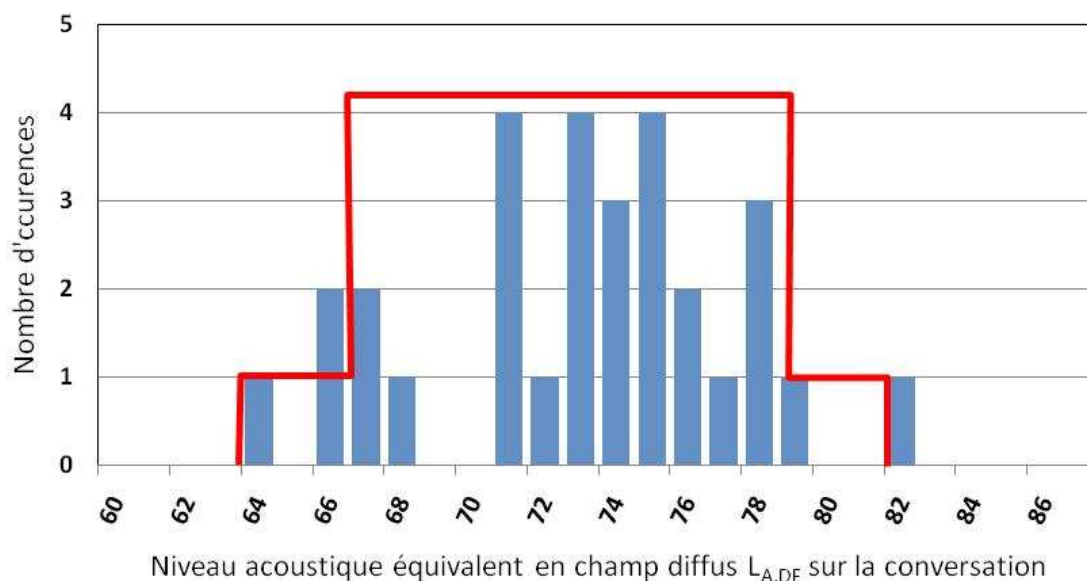
Site n°4 : distribution réelle – 68 échantillons



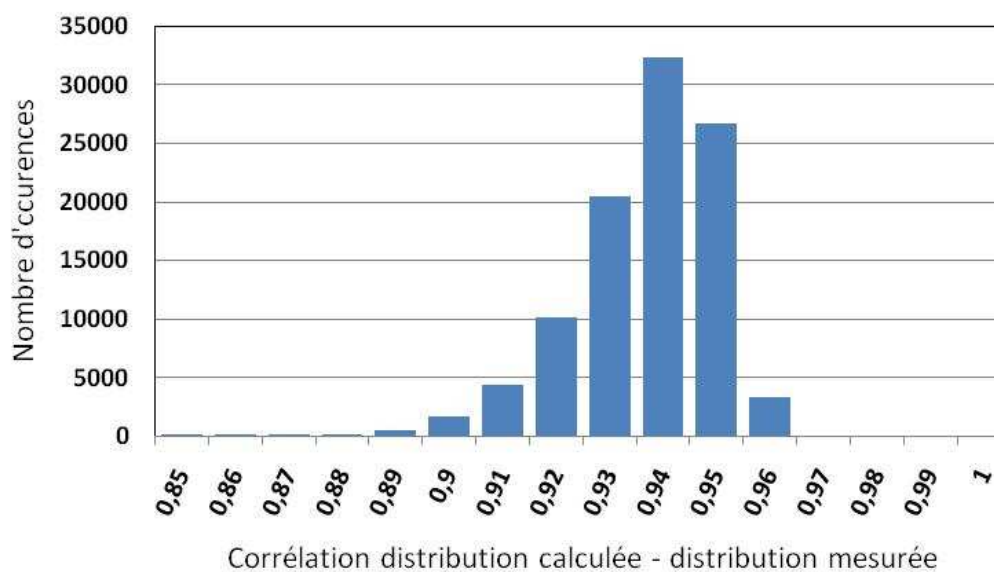
Site n°4 : exemple de distribution simulée – 68 échantillons

Données	Nombre de tirages	Moyenne	Ecart-type
Mesurées	1	72,5	3,6
Calculées	10 000	72,5	3,7

Figure A5 : quatrième modèle, comparaison mesures/calcul.



Site n°5 : distribution réelle – 30 échantillons



Site n°5 : exemple de distribution simulée – 30 échantillons

Données	Nombre de tirages	Moyenne	Ecart-type
Mesurées	1	73,1	4,0
Calculées	10 000	73,1	3,9

Figure A6 : cinquième modèle, comparaison mesures/calcul.

Exploitation des modèles

Calcul de l'incertitude

Le calcul de l'incertitude liée au nombre d'échantillons (c'est-à-dire de conversations) a été effectué avec chacun des 5 modèles décrits dans le tableau A1.

Pour chaque modèle, 10 000 tirages ont été effectués pour chaque séries d'échantillons : série de 3, de 6, et ainsi de suite jusqu'à des séries de 130 échantillons. Le résultat d'un tirage est la moyenne des échantillons. L'incertitude est égale à l'écart-type sur les moyennes pour chacune des séries. A titre d'exemple, 10 000 tirages de 3 échantillons ont été effectués. On a ainsi obtenu 10 000 valeurs moyennes. L'écart type pour cette population de moyennes est considéré comme l'incertitude de mesure liée à l'échantillonnage lorsque l'exposition au bruit est évaluée à partir de la mesure de 3 conversations par opérateur.

Les résultats sont présentés figure A7. En abscisse figure le nombre d'échantillons par tirage, en ordonnées l'écart-type des moyennes de ces échantillons pour 10 000 tirages.

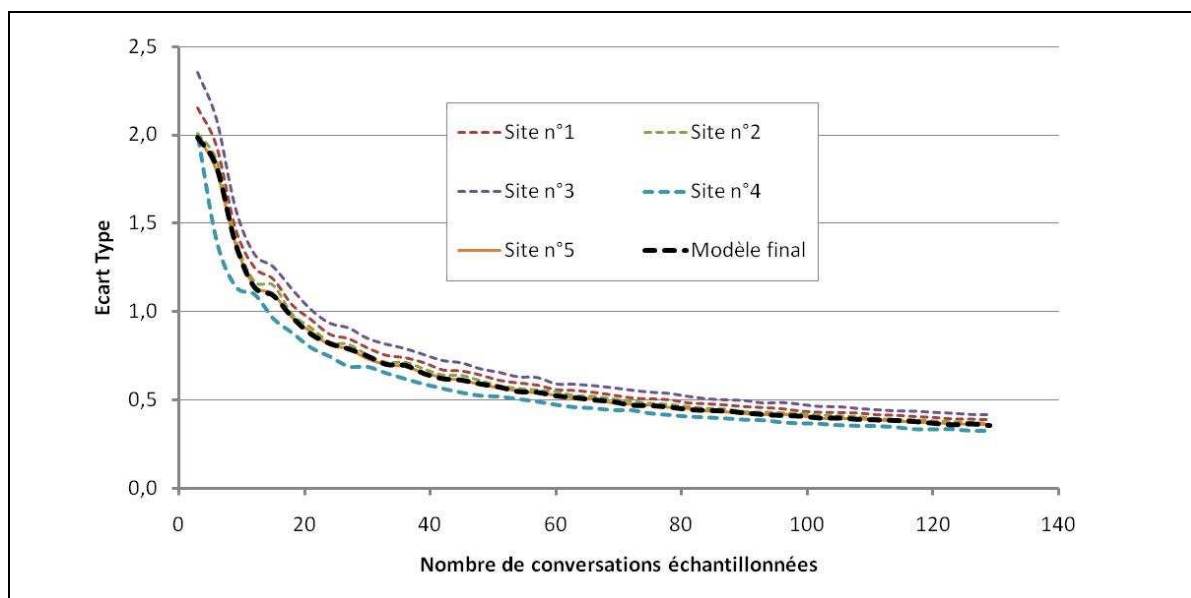


Figure A7 : évolution de l'écart-type en fonction du nombre de conversations échantillonnées.

L'erreur devient inférieure à 1 dB à partir de 20 conversations, et tend vers 0,4 dB à partir de 100 échantillons. Les écarts entre les 5 courbes sont peu élevés : un seul modèle a donc été retenu pour les calculs : celui d'une distribution rectangulaire de largeur 12 dB complétée par 10 % de valeurs à ± 3 dB des bornes de l'intervalle (soit 10 % de valeurs entre -9 et +9 dB).

A partir de ce modèle final, l'incertitude, le niveau de confiance "nominal" (pourcentage des tirages compris dans l'intervalle [valeur moyenne \pm incertitude]) et le facteur d'élargissement (ici, facteur permettant de passer à un intervalle de confiance unilatéral de 95 % soit 5 % des valeurs supérieures à la valeur moyenne augmentée de l'incertitude élargie) ont été calculés.

L'écart-type sur le niveau moyen de conversation a été recalculé à partir de ce modèle en fonction du nombre de conversations échantillonnées. Il est donné tableau A2.

n	3	6	10	20	50
σ	2,05	1,5	1,2	0,8	0,5

Tableau A2 : évolution de l'écart-type sur la moyenne en fonction du nombre de conversations échantillonnées.

Cette écart-type peut être approximé par la fonction :

$$\sigma = \frac{6}{\sqrt{3 \times n}} + 0.05 \times \frac{7,5}{\sqrt{3 \times n}} = \frac{6,375}{\sqrt{3 \times n}}$$

Cette fonction a été établie à partir de valeurs issues des simulations. Mais elle est très proche de l'écart-type pour une loi rectangulaire.

Le niveau de confiance " nominal " et le facteur d'élargissement ont eux aussi été établis à partir des simulations de MONTE-CARLO. Le niveau de confiance "nominal" est de 68 %. Le facteur d'élargissement à un intervalle de confiance unilatéral de 95 % est de 1,65.

En synthèse, l'incertitude liée à l'échantillonnage U se calcule à partir du nombre n de conversations traitées par :

$$U = k \times \frac{6,375}{\sqrt{3 \times n}}$$

Avec, pour k=1, 68 % des valeurs comprises dans l'intervalle [moyenne \pm U] et, pour k=1,65, 95 % des valeurs inférieures à la moyenne augmentée de l'incertitude U.

Annexe D : Evaluation de l'incertitude

La norme ISO 11904-2 propose une évaluation de l'incertitude (annexe B, tableau B1 de la norme). Les facteurs d'incertitude pris en compte dans cette évaluation ont tous été retenus sauf l'erreur de lecture du signal de mesure puisque ce signal est obtenu numériquement. Deux facteurs ont été rajoutés :

- la précision du microphone de mesure,
- l'échantillonnage.

La valeur proposée pour le premier facteur est issue de l'ISO 9612. L'incertitude liée à l'échantillonnage est discutée en annexe C.

Le tableau suivant récapitule les différents facteurs et les valeurs retenues pour leur prise en compte.

Microphone de mesure (calibration)	Distribution rectangulaire
	Largeur 0,5 dB
	Incertitude 0,2 dB (source ISO 11904-2 majorée)
Microphone de mesure (précision)	Incertitude 0,7 dB (source ISO 9612)
Microphone de mesure (environnement)	Distribution rectangulaire
	$25 \pm 5^\circ / 50 \pm 15\%$: largeur donnée par le fabricant : 0,03 dB
	Incertitude négligeable
Mannequin (similarité avec les humains)	Distribution rectangulaire
	Largeur 2,2 dB (source ISO 11904-2)
	Incertitude 0,64 dB
Mannequin (fonction de transfert)	Distribution rectangulaire
	Largeur 2 dB (source ISO 11904-2)
	Incertitude 0,58 dB
Reproductibilité	0,5 dB (source ISO 11904-2)
Erreur d'arrondi	Distribution rectangulaire
	Largeur 0,1 dB (source ISO 11904-2)
	Incertitude 0,03 dB (négligeable)
Méthode de mesure (échantillonnage)	Distribution pseudo-rectangulaire des conversations
	Largeur 12 dB et 10 % de valeurs à ± 3 dB en-dessous ou au-dessus de l'intervalle
	Incertitude $6,375/\sqrt{3} \cdot n$ avec n le nombre d'échantillons

Tableau B1 : facteurs d'incertitude et incertitude associée.

Tous ces facteurs sont indépendants. En effet, le résultat final s'écrit en dB comme la somme de la moyenne des pressions à laquelle on retranche la fonction de transfert du mannequin. L'incertitude liée au mannequin est donc indépendante de celle liée au microphone de mesure. Par ailleurs, les

mesures sont répétées dans les mêmes conditions d'environnement. Le cumul s'écrit donc classiquement :

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} = \sqrt{1,24^2 + \left(\frac{6,375}{\sqrt{3 \times n}}\right)^2}$$

Le facteur d'élargissement à un intervalle de confiance unilatéral de 95 % est de 1,65 pour l'incertitude liée à l'échantillonnage (voir l'annexe C) et est également de 1,65 pour les autres facteurs (cf. norme ISO 9612).

L'incertitude finale s'écrit donc :

$$U = 1,65 \times \sqrt{1,24^2 + \left(\frac{6,375}{\sqrt{3 \times n}}\right)^2}$$

Soit, en fonction du nombre de conversations échantillonnées :

n	3	6	10	20	50
U	4,1	3,2	2,8	2,5	2,2

Tableau B2 : évolution de l'incertitude en fonction du nombre de conversations échantillonnées.

Le temps journalier passé au téléphone est en général connu de façon certaine. Si cela n'est pas le cas, l'incertitude liée à son évaluation peut être prise en compte de deux façons :

- en retenant le temps maximum potentiel pour le calcul de l'exposition, ce qui permet de négliger cette incertitude,
- en effectuant un calcul d'incertitude à partir de la formule du § 3.5.

L'exposition journalière est obtenue par l'équation (cf. § 3.5):

$$L_{ex,8h} = L_{Aeq,Tc} + 10 \log\left(\frac{T_c}{8}\right)$$

A partir de cette équation et si on note ΔT_c l'incertitude absolue sur le temps journalier T_c passé au téléphone, un calcul de la dérivée permet d'évaluer l'incertitude sur l'exposition quotidienne due à ΔT_c .

Elle s'écrit :

$$\frac{10}{\ln(10)} \times \left(\frac{\Delta T_c}{T_c}\right) \text{ en dB}$$