

Etude de la normalisation d'un casque d'écoute en studio

G. Theile

Tiré à part de la Revue de l'UER – Technique, n° 197 (février 1983)

**Editeur : Centre Technique de l'Union Européenne de Radiodiffusion
Avenue Albert Lancaster 32, B-1180 Bruxelles (Belgique)**

Les textes actuels de la CEI et du CCIR ne mentionnent pas l'écoute au casque, bien que celle-ci se justifie dans certains cas. Une étude des travaux récents sur les propriétés de l'ouïe spatiale conduit à montrer que la correction dite « de champ en espace libre » appliquée aux casques ne peut pas donner de bons résultats. La correction est plus satisfaisante si l'on se réfère au champ diffus défini à partir de la moyenne des fonctions de transfert de l'oreille externe dans différentes directions. L'article montre aussi que les mesures de sonie conduisent à des résultats erronés et il rend compte d'essais subjectifs réalisés sur des casques du commerce. Il propose enfin un programme d'action destiné à définir une norme internationale applicable aux casques d'écoute.

Etude de la normalisation d'un casque d'écoute en studio*

G. Theille**

1. Introduction

L'emploi du casque est relativement rare en studio, bien qu'il ne le cède en rien aux grands haut-parleurs de régie du point de vue de la largeur de bande, des distorsions non linéaires, de la pression acoustique maximale, etc. A cela il y a diverses raisons. La principale est le phénomène de « localisation dans la tête », qui fait qu'en stéréophonie d'intensité, l'événement sonore semble se situer dans la tête ou en son voisinage. Cette fausse appréciation des distances entraîne une perte notable du rendu spatial et le haut-parleur donne une meilleure appréciation globale en stéréophonie que le casque.

Cependant, à côté de ses inconvénients, le casque offre d'appréciables avantages. Il permet de restituer sans difficulté l'intensité sonore originale; avec des moyens simples, il fournit une excellente qualité sonore, et cela indépendamment des propriétés acoustiques du local d'écoute et de son isolation phonique. Il évite aussi de perturber le voisinage de sorte que la dynamique du programme peut, sans inconvénient, être utilisée à plein. En maintes circonstances, l'écoute au casque restitue donc l'événement sonore avec une meilleure intensité et à l'abri de toute gêne; c'est pourquoi le public la préfère souvent à l'écoute sur haut-parleurs.

Une importance supplémentaire a été conférée au casque par la stéréophonie à tête artificielle. Depuis une dizaine d'années, les radiodiffuseurs allemands diffusent de telles productions, qui présentent surtout un intérêt pour les auditeurs. Il y a environ un an,

une tête artificielle pour studio (KU 81, Neumann) est apparue sur le marché et l'on peut s'attendre à ce que ce type de prise de son soit utilisé en concurrence avec la stéréophonie d'intensité. De ce point de vue, l'écoute au casque constitue une alternative importante à l'écoute sur haut-parleurs et il convient de ne pas en minimiser l'intérêt.

L'écoute au casque ne s'impose pas seulement pour les productions avec tête artificielle et pour l'écoute en ambiance perturbée. Elle constitue aussi un complément commode de l'écoute sur haut-parleurs pour toutes les productions normales, puisque beaucoup d'auditeurs utilisent des casques.

Dès lors que, pour une écoute de qualité, on attribue au casque une importance comparable à celle du haut-parleur, la qualité ne doit plus être évaluée uniquement par l'emploi de haut-parleurs. On s'est aperçu, d'autre part, que certains défauts sont même mieux perçus au casque. Ainsi, dans le cas d'une « écoute sans bruit » au casque, le rapport signal/bruit dépasse jusqu'à 10 dB la valeur obtenue avec des haut-parleurs, à égalité d'intensité sonore. Il en est de même pour ce qui concerne la gêne due aux claquements (erreurs dans les transmissions numériques), aux erreurs de quantification, aux distorsions non linéaires, etc.

L'Avis 562-1 du CCIR donne des indications importantes sur l'évaluation subjective de la qualité en ce qui concerne le choix de l'échelle, la nature des séquences, les observateurs et le déroulement des essais. Il contient également des recommandations sur l'écoute, mais elles ne portent que sur l'emploi de haut-parleurs, l'écoute au casque n'ayant manifestement pas été envisagée pour l'évaluation de la qualité.

Il y a là une lacune, non seulement pour les raisons évoquées plus haut, mais aussi parce que les conditions d'écoute au casque peuvent être définies avec une grande précision et qu'elles sont facilement reproductibles

* Dieser Aufsatz erscheint gleichzeitig in Deutsch unter dem Titel « Untersuchungen zur Standardisierung eines Studiokopfhörers » in Rundfunktechnische Mitteilungen, Heft 1, 1983.

** Le Dr. Theille est à l'Institut für Rundfunktechnik, à Munich.

sans erreur systématique. Il n'en est pas de même avec l'écoute sur haut-parleurs. Les efforts internationaux pour normaliser les caractéristiques acoustiques et géométriques des cabines de prise de son et des locaux d'écoute n'ont pas encore permis d'atteindre - pour des raisons compréhensibles - une homogénéité suffisante. Ni la Recommandation R22-1980 de l'UER, ni à plus forte raison le Rapport 797-1 du CCIR ne garantissent des conditions d'écoute suffisamment homogènes. On ne doit pas attendre de l'avenir des progrès notables dans la normalisation internationale de l'écoute sur haut-parleurs.

En revanche, les conditions de l'écoute au casque se prêtent mieux à une normalisation pratique. Si l'écoute est indépendante des propriétés géométriques et acoustiques du local, l'homogénéité des essais s'obtient très facilement; au surplus, de nombreux observateurs pourront participer simultanément aux expériences. Les tolérances sont nettement moindres que dans l'écoute sur haut-parleurs. Seules les influences qui affectent le rendu stéréophonique du fait de l'interaction entre les haut-parleurs ne pourront être appréciées que dans ce mode d'écoute.

Il apparaît toutefois qu'actuellement les conditions d'écoute au casque ne sont pas assez clairement définies. Les directives contenues dans les Publications 268-7 (1981) et 581-10 de la CEI, ou dans les normes DIN 45 619, feuillet 1 (1975) et 45 500, feuillet 10 (1975), ne garantissent ni la neutralité sonore optimale, ni l'homogénéité de l'image sonore.

Les études sur la stéréophonie à tête artificielle ont permis de résoudre les problèmes de compatibilité entre les différents procédés de prise de son et de restitution [1]. On a aussi été amené à développer les conceptions théoriques du fonctionnement de l'ouïe dans l'écoute spatiale et à décrire ces conceptions au moyen d'un modèle de localisation dit d'association [2]. Il en est résulté une explication unifiée de tous les phénomènes importants de l'écoute spatiale et ces résultats sont mis à profit pour définir un casque de studio.

2. Modèle d'association

2.1. Définition

Le modèle est fondé sur l'hypothèse que les phénomènes d'association constituent un principe fondamental dans l'élaboration sensorielle d'une excitation. En conséquence, dans l'audition, la perception spatiale résulte de deux processus d'élaboration distincts. Chacun d'eux s'accomplit par voie de sélection de modèle à commande associative: une excitation momentanée produite par une source sonore déclenche, dans une première étape, une association de lieu et, dans une seconde étape, une association de forme*. La caractéristique du modèle de localisation réside dans l'élaboration bidimensionnelle du stimulus. Elle contient non seulement l'étape d'élaboration qui détermine l'emplacement, mais aussi celle qui détermine la forme, et le

* Le mot « forme » est pris ici au sens de la *Gestalt-theorie*: structure préexistante dans le cerveau et à laquelle la structure perçue est directement comparable (Réd.).

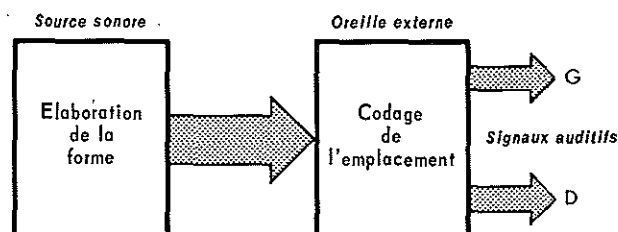


Fig. 1. — Production des deux caractéristiques fondamentales d'un événement sonore.

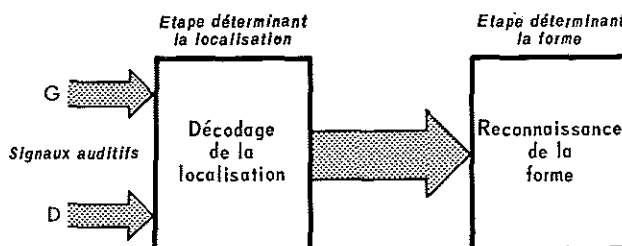


Fig. 2. — Production des deux caractéristiques fondamentales de l'audition.

stimulus ne constitue une perception qu'après ces deux étapes (Fig. 2). Les deux processus fixent donc conjointement les caractéristiques du phénomène sonore, ce qui correspond précisément aux deux domaines élémentaires de la perception sonore: les signaux auditifs doivent être rapportés à ces deux caractéristiques simultanées mais indépendantes de la source sonore, à savoir la localisation et la forme (Fig. 1).

La Fig. 3 représente de manière simplifiée le fonctionnement du modèle. Le système spatial de transmission de l'ouïe comprend l'oreille externe caractérisée par la fonction de transfert M et l'étape de localisation caractérisée par la fonction inverse M^{-1} . La relation entre les signaux auditifs et l'emplacement de la source se conçoit sous la forme d'un codage de l'information spatiale (M), dont la connaissance permet de décoder l'information spatiale (M^{-1}). Le décodage M^{-1} s'opère dans l'étape d'association d'emplacement. L'effet peut être assimilé à celui d'un filtre dont la fonction de transfert M^{-1} est l'inverse de la fonction M de l'oreille externe, cela en raison de la reconnaissance associative du modèle.

La fonction d'adaptation, dans l'étape de localisation, permet de définir deux conditions à respecter par un casque optimal; nous allons les examiner brièvement.

2.2. Objections relatives au « champ en espace libre »

Le filtrage inverse M^{-1} débarrasse les signaux auditifs des influences dues à l'oreille externe, avant que le signal sonore n'atteigne l'étape de la forme. Il s'ensuit que, dans l'écoute naturelle, les particularités spectrales dues à la directivité de l'oreille externe sont appréhendées de telle manière qu'elles n'influencent pas sur la coloration (Fig. 3). Selon le modèle d'association, la coloration est indépendante de l'emplacement de la source sonore. Ce phénomène se vérifie aisément, mais il n'a été décrit que récemment dans une publication [3].

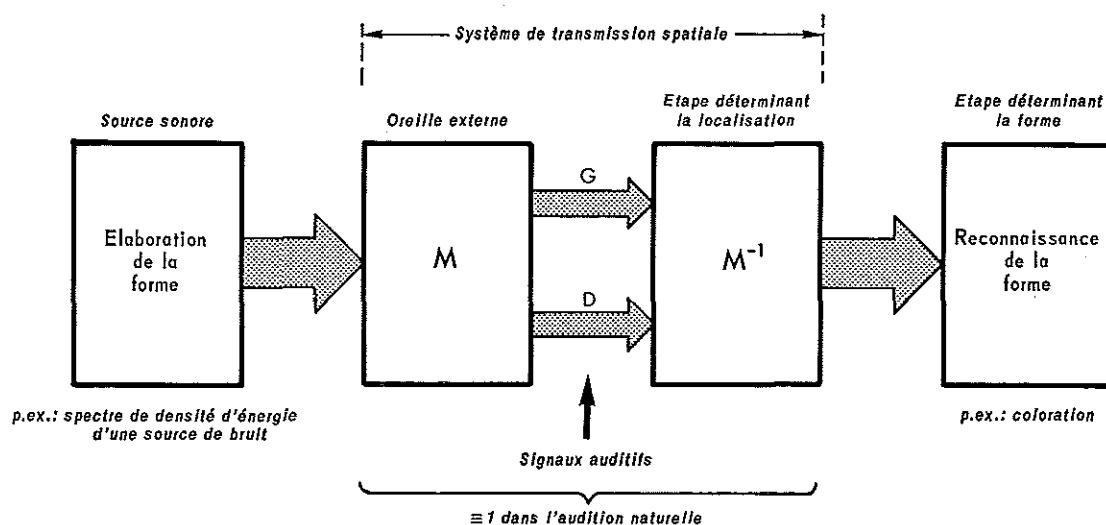


Fig. 3. — Effet du système de transmission spatial de l'ouïe.

Le filtrage M^{-1} ne se produit toutefois que lorsque l'effet de l'oreille externe a été « reconnu » dans la formation des signaux auditifs. Ce filtrage inverse s'opère normalement dans « l'écoute naturelle », c'est-à-dire lorsque les signaux auditifs ayant une largeur de bande suffisante présentent les caractéristiques correspondantes de l'oreille externe.

En revanche, dans l'écoute au casque, l'effet de l'oreille externe est simulé par la correction normalisée en espace libre. Si cette simulation suffisait, le processus de localisation jouerait pour un signal monophonique et le phénomène sonore apparaîtrait hors de la tête (plus exactement au point de référence adopté pour la correction du casque) [4, 5]. En stéréophonie d'intensité, la fonction de transfert du casque ne peut cependant jamais donner une simulation convenable [6]. Dans ce cas, l'étape de localisation fait l'adaptation sur les écouteurs [1], ce qui se traduit par une localisation dans la tête (*source fantôme*) [2]. Cela signifie que les caractéristiques spectrales des signaux produits par le casque corrigé en espace libre interviennent, non dans l'étape de localisation, mais dans celle de la forme. Le filtrage inverse M^{-1} fait alors défaut, d'où des erreurs de coloration (Fig. 3). Si la fonction de transfert en espace libre est uniforme, le casque introduira, par son principe, des défauts de coloration.

2.3. Objections relatives aux mesures de sonie

La deuxième conséquence intéresse non la définition de la fonction de transfert du casque, mais sa mesure par comparaison de sonie.

D'après le modèle d'association, l'influence de l'oreille externe sur le signal auditif est compensée dans le processus de localisation. Les distorsions linéaires dues au filtre directif constitué par l'oreille externe sont, en principe, sans influence sur la coloration. En d'autres termes, on ne peut assimiler l'ouïe à un microphone suivi d'une pondération fixe. Les perceptions correspondant à la sonie et à la coloration ne sont pas complètement déterminées par la pression et le spectre dans le conduit auditif. Notre ouïe correspond à un

microphone suivi d'une pondération variable de signal intervenant de manière complexe, car elle dépend du processus de localisation associé à la formation de l'événement perçu.

Il s'ensuit que les mesures comparatives de sonie avec des sondes donneront des résultats différents toutes les fois que l'on comparera les sonies d'événements audibles dont les emplacements ne coïncident pas. Pour déterminer les fonctions de transfert de l'oreille externe ou du casque, on ne pourra comparer les sonies qu'en supprimant totalement la localisation des sources ou en s'assurant que, dans les deux cas, les événements audibles sont perçus au même endroit. Ces conditions ne sont pas satisfaites pour les mesures prévues dans la Publication 268-7 de la CIE et dans la norme DIN 45 619.

3. Définition d'un casque de studio

On vient de montrer, à partir du modèle d'association, qu'une fonction de transfert uniforme en espace libre fausse la coloration et qu'une fonction de transfert obtenue par la comparaison des sonies est erronée. Il s'agit, à présent, de préciser les critères caractérisant un casque de haute fidélité.

3.1. Fonction de transfert uniforme en champ diffus

La question de la meilleure référence pour la correction d'un casque est traitée en [1]. Elle constitue un aspect particulier du problème général de la compatibilité entre prise de son et restitution.

Le problème de la compatibilité est schématisé à la Fig. 4. A la prise de son, comme à la restitution, on trouve un système se référant à l'espace et un autre se référant à la tête (la définition de ces notions se trouve en [1]). Les deux principes « stéréophonie d'intensité - haut-parleur » (procédé se référant à l'espace) et « stéréophonie à tête artificielle - casque » (procédé se référant à la tête) sont, par définition, compatibles. On est libre, en principe, du choix de la correction à introduire entre la prise de son et la restitution.

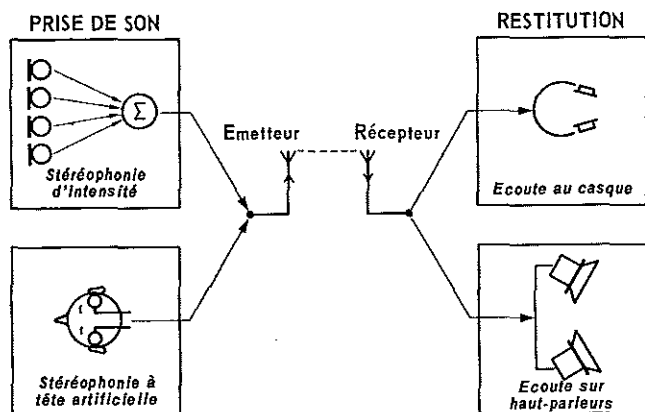


Fig. 4. — Compatibilité des procédés de prise de son.

Il y a, par contre, incompatibilité de principe entre la stéréophonie d'intensité et l'écoute au casque, de même qu'entre la stéréophonie avec tête artificielle et la restitution sur haut-parleurs. Dans chacun de ces cas, le dispositif fait intervenir un procédé se référant à l'espace et un autre se référant à la tête. L'incompatibilité provient du traitement auquel sont soumis les signaux auditifs dans l'étape de localisation de l'oreille (voir le § 2). La restitution sans altération de coloration ne peut s'obtenir que si les conditions suivantes sont respectées :

- dans l'écoute sur haut-parleurs de signaux issus d'une tête artificielle, la correction correspond à la direction de référence vers cette tête;
- dans l'écoute au casque de signaux en stéréophonie d'intensité, l'emplacement d'écoute correspond à la direction de référence prise pour la correction.

Il en résulte que :

- l'adaptation en espace libre d'une tête artificielle constitue une mauvaise correction pour la restitution sur haut-parleurs;
- l'adaptation normalisée en espace libre du casque constitue une mauvaise correction pour la restitution de la stéréophonie d'intensité.

On a montré [1, 7] que, dans les deux cas, la correction entre la prise de son et la restitution ne doit pas se limiter à une direction de référence unique, mais que l'on doit remplacer l'ensemble des fonctions de transfert de l'oreille externe par une fonction moyenne, de manière à minimiser la coloration.

La pratique a montré que, lorsque la tête artificielle est adaptée en champ diffus, la correction est optimale pour l'écoute sur haut-parleurs [7].

En revanche, aucune expérimentation n'a encore été faite avec un casque adapté en champ diffus et utilisé en stéréophonie d'intensité. Cette proposition est, pour l'instant, fondée sur des considérations purement théoriques; on peut néanmoins formuler quelques indications pratiques en faveur du remplacement de la mention « champ en espace libre » par celle de « champ diffus » dans la norme DIN 45 619 et la Publication 268-7 de la CEI.

Si le casque simulait effectivement la fonction de transfert de l'ensemble haut-parleur - conduit auditif,

l'impression sonore serait aussi mauvaise qu'avec un haut-parleur dans une ambiance sourde. Cela est également valable dans le cas de « haut-parleurs disposés pour la stéréophonie » (procédé LSE [8]). La condition « haut-parleurs dans un local d'habitation » serait nettement plus favorable pour la détermination de la fonction de transfert. Bien qu'elle mette en jeu bon nombre de paramètres difficiles à définir, l'intention exprimée par la condition « image sonore simulant celle des haut-parleurs » serait plus satisfaisante. On comprend donc que les constructeurs de casques n'aient guère tiré profit, pour améliorer leur matériel, des nombreuses mesures particulières (en espace libre) qui ont été publiées, pas plus que de la simulation exacte des fonctions de transfert spécifiques.

Les constructeurs de casques connaissent bien la médiocrité de la coloration des appareils corrigés pour le champ en espace libre. On tente généralement de l'améliorer en élargissant le champ des tolérances de la norme DIN 45 500 (voir par exemple [9]), mais un tel élargissement constitue précisément la mauvaise voie. Il faudrait, au contraire, resserrer les tolérances prescrites pour les corrections.

Les mesures faites sur les casques montrent que les tolérances de l'adaptation normalisée en espace libre sont volontiers utilisées dans le sens d'une adaptation en champ diffus (voir le § 4.1).

3.2. Mesures par sonde

La Publication 268-7 de la CEI, de même que la norme DIN 45 619, préconisent de relever la fonction de transfert en espace libre d'un casque par « comparaison d'intensité sonore en onde progressive ». Avec ce procédé, on admet que (indépendamment du mode de construction du casque) l'on retrouve la même impression sonore [10] qu'avec un haut-parleur, si le casque fournit la même sonie par tiers d'octave. Cette hypothèse va de soi.

Cependant, la théorie indique que les résultats seront différents entre les mesures par sonde et les mesures comparatives de sonie, lorsque ces dernières portent sur des événements sonores non localisés au même endroit (effet de localisation de la source [11]). Ce phénomène apparaît surtout dans les mesures normalisées sur les casques. La Fig. 5 présente les fonctions de transfert en espace libre de différents casques (différences entre mesures de sonie et mesures par sonde, tirées des publications et de nos propres travaux). La différence moyenne est indiquée par la courbe inférieure. On voit nettement que, surtout aux fréquences moyennes, les mesures de sonie donnent des valeurs plus élevées.

Ces divergences pourront vraisemblablement être évitées si la localisation des sources sonores est fixe durant les comparaisons. Il faudra donc utiliser des sons purs, une tête fixe et un observateur qui ignore l'emplacement de la source sonore; enfin, on devra supprimer les trajets secondaires des sons de conduction.

De telles conditions ne sont pas réalisables en pratique avec un équipement de mesure des casques. C'est seulement aux fréquences basses qu'on a pu véri-

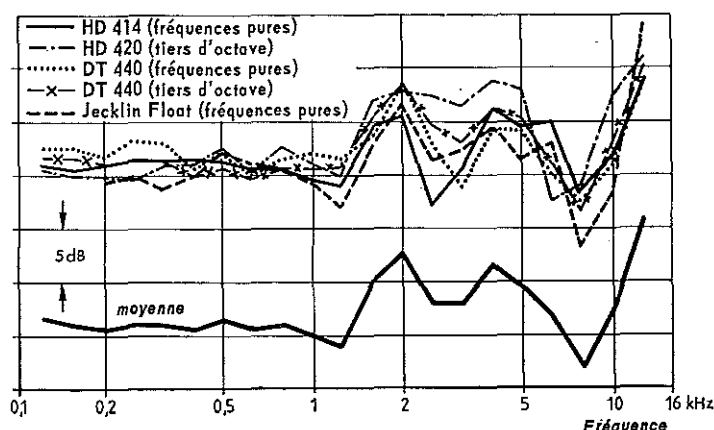


Fig. 5. — Fonctions de transfert en espace libre de différents casques (différence entre les mesures de sonie et les mesures par sonde).

fier qu'ainsi les mesures comparatives de sonie donnent les mêmes résultats que les mesures par sonde [11].

En outre, les mesures ont montré que, même en champ diffus, on peut atténuer suffisamment l'effet de localisation de source, même avec la comparaison monaurale des sonies. La perception de la distance n'est pas identique dans l'écoute au casque et dans l'écoute en local réverbérant. Il s'ensuit qu'on trouvera les mêmes différences qu'en espace libre entre les fonctions de transfert dans les mesures comparatives de sonie et dans les mesures par sonde.

L'écart entre les mesures de sonie et par sonde est moindre si les perceptions de distance concordent mieux. Si l'on compare, par exemple, les sonies en champ libre et en champ diffus, on retrouve les résultats de Robinson, Whittle et Bowsher [12], à savoir que la sonie est déterminée uniquement par les pressions sonores aux oreilles. Cette conclusion est erronée. Nos propres essais, ainsi que ceux de Mathers/Landsdowne [13] montrent par exemple que dans l'écoute sur haut-parleur et dans celle au casque, les différences des niveaux de pression sonore dans le conduit auditif se situent entre 7,5 et 14 dB, l'observateur ayant réglé les deux écoutes à égalité sonore. Cet effet varie à la fois avec la distance et le signal. Dans l'écoute au casque, l'égalité d'impression correspond à une pression sonore plus élevée dans l'oreille. On observe des phénomènes similaires lorsque, dans l'écoute au casque, on passe de la stéréophonie à tête artificielle à la stéréophonie d'intensité.

Au total, on retiendra que la méthode de comparaison des sonies ne convient pas pour déterminer les fonctions de transfert de l'oreille externe et du casque. On peut prouver que la sonie est une grandeur de perception qui dépend très étroitement des grandeurs de perception spatiales; elle n'est pas entièrement déterminée par la pression sonore dans l'oreille. Il faut donc se référer à des mesures par sonde qui s'effectuent aisément avec un microphone à électret miniaturisé. Il suffit de prendre les précautions suivantes :

- le point de mesure doit se situer au moins à 4 mm en arrière de l'orifice auriculaire;
- le point de mesure doit se situer au moins à 4 mm en arrière de l'orifice auriculaire;

- la sonde ne doit pas perturber la diffusion sonore au voisinage de l'oreille externe (jusqu'à 4 mm en arrière du plan de l'orifice);
- les fonctions de transfert de l'oreille externe et du casque sont mesurées sur chaque observateur directement et immédiatement l'une après l'autre, sans modifier aucunement la disposition de la sonde.

Il est inutile de corriger la sonde, puisqu'on prend le quotient des fonctions de transfert de l'oreille et du casque. Comme la mesure est relative, l'emplacement de la sonde est pratiquement sans influence sur le résultat. Les erreurs de mesure qui peuvent éventuellement se produire par suite de différences dans l'adaptation de l'entrée du conduit auditif peuvent être négligées, car les casques courants présentent un volume d'adaptation suffisamment grand par rapport à celui du conduit auditif.

Les mesures par sonde sont plus simples à réaliser et plus rapides que les comparaisons de sonies. Selon les cas, la mesure par sonde est presque aussi facile qu'une mesure faite avec un observateur-type. On peut se dispenser d'effectuer la moyenne sur plusieurs personnes, dès lors que l'on a sélectionné un tel observateur-type, c'est-à-dire dont l'oreille présente un facteur de concentration proche des valeurs indiquées à la Fig. 6 (mesure par sonde) (voir le § 3.3). Dans l'avenir, on mettra peut-être au point une réplique de l'oreille externe type (tête artificielle).

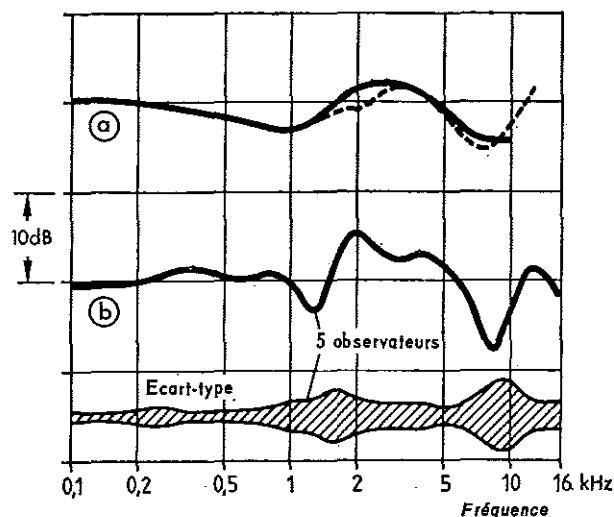


Fig. 6. — Facteur de concentration de l'oreille externe :
a) Mesure de sonie d'après la Norme ISO 454 (la moyenne suivant Robinson et ses collaborateurs est indiquée en pointillés).
b) Mesure par sonde.

3.3. Transposition des résultats

Si au lieu du champ en espace libre (incidence sonore frontale), on se réfère au champ diffus, on observe une différence spécifique dans les fonctions de transfert. La Fig. 6 représente le facteur de concentration de l'oreille externe, c'est-à-dire la différence entre les fonctions de transfert en champ libre à 0° et en champ

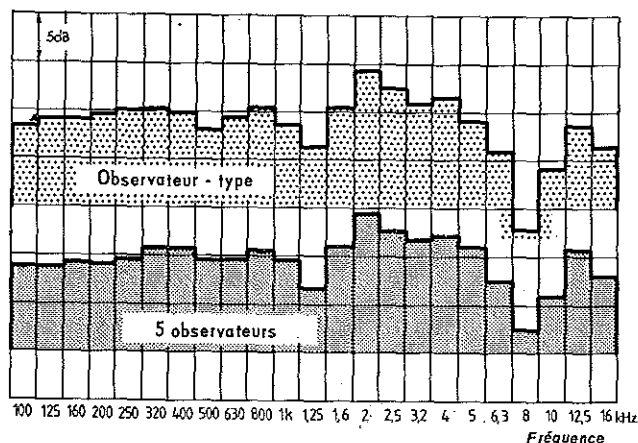


Fig. 7. — Facteur de concentration de l'oreille externe : mesures par sonde.

diffus (fonction de transfert en champ libre rapportée au champ diffus). Cette grandeur a été mesurée par sonde sur cinq personnes. À titre comparatif, on donne la courbe moyenne des mesures de sonie [12], ainsi que la courbe tirée de la norme ISO 454. Par principe, le facteur de concentration permet de passer de l'adaptation à l'espace libre du casque à celle en champ diffus, et inversement. On reconnaît sur la Fig. 7 que le facteur de concentration, chez l'observateur-type, est très proche de la moyenne.

Il est donc inutile de mesurer la fonction de trans-

fert pour le champ diffus d'un casque dans une enceinte réverbérante. On peut continuer à relever cette fonction en espace libre par sonde. Elle sera ensuite transposée pour obtenir le champ diffus, grâce au facteur de concentration. Si l'on choisit l'espace libre comme référence, les mesures par sonde (Fig. 7) donneront au casque les distorsions linéaires correspondant à la courbe du facteur de concentration (voir le § 2.2).

On reconnaît du reste clairement sur les deux courbes de la Fig. 6 que les mesures de sonie et les mesures par sonde divergent particulièrement aux fréquences moyennes. Les écarts sont moindres dans la détermination du facteur de concentration que dans les mesures sur les casques, parce que les caractéristiques spatiales des événements sonores comparés sont moins dissimilaires (voir le § 2.3).

L'examen de la courbe de la Fig. 5 et du facteur de concentration de la Fig. 6 conduit à tracer une courbe de correction qui représente la différence entre les fonctions de transfert en espace libre (mesure de sonie selon la norme) et en champ diffus (mesure par sonde) d'un casque. Dans ces conditions, en dépit d'une nouvelle normalisation imposant l'adaptation au champ diffus et des mesures par sonde, la mesure de sonie pourrait être admise à titre de variante. Il conviendrait toutefois de préciser l'écart existant entre la norme de comparaison de sonie et celle de mesure par sonde. La courbe de la Fig. 5 ne constitue qu'une indication; elle devrait être mesurée très soigneusement pour qu'on puisse en tirer une transposition chiffrée.

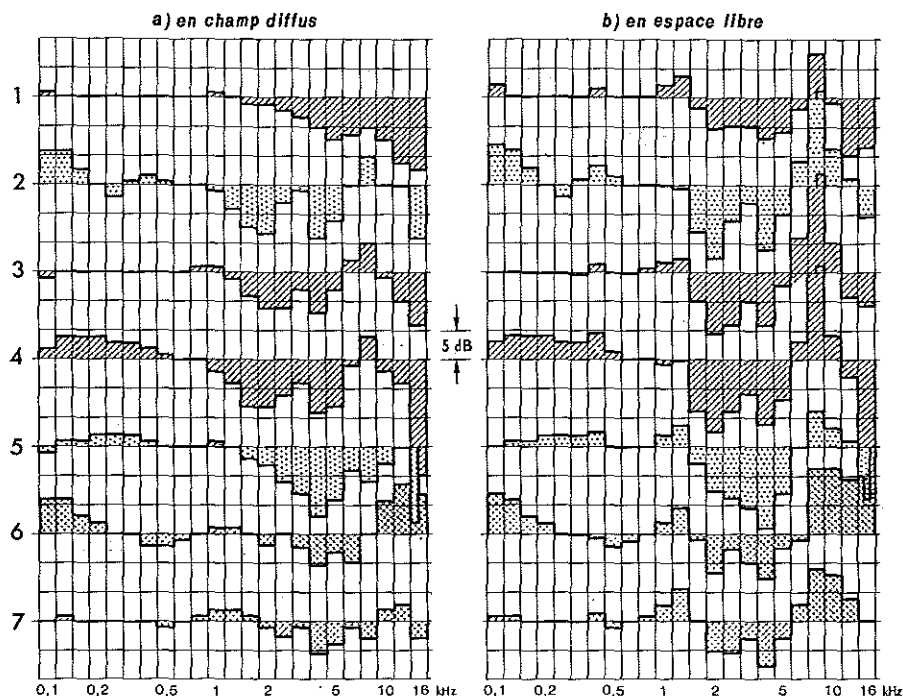


Fig. 8. — Fonctions de transfert de quelques casques.

Les casques sont repérés par des numéros qui correspondent aux appareils suivants :

1 : DT 440 2 : DT 660 3 : DT 880 4 : HD 430

5 : HD 230 6 : Jecklin Float 7 : Stax SR-Lambda.

Cette nomenclature est utilisée dans toutes les figures qui suivent.

4. Appréciation de la qualité des casques

4.1. Mesures sur les casques

Au cours d'une série d'essais, on a relevé les fonctions de transfert en espace libre et en champ diffus sur sept casques de différents types. Les mesures par sonde ont été faites sur un même observateur. Tout comme pour la correction d'une tête artificielle, on a procédé par tiers d'octave, car la mesure à bande plus étroite présente plutôt des inconvénients [7] et cet intervalle suffit pour mettre en évidence les distorsions linéaires.

Les résultats sont regroupés à la Fig. 8. On constate que tous les casques sont mieux adaptés au champ diffus qu'au champ en espace libre. On remarque aussi que les corrections sont fort différentes selon les appareils. Enfin, un casque réputé pour sa qualité, le Stax-SR-Lambda, présente une bonne adaptation au champ diffus.

4.2. Essais d'écoute

On a voulu vérifier si l'adaptation au champ diffus confère au casque (comme pour la correction de la tête artificielle) la neutralité sonore optimale. A cet effet, les sept casques ont été adaptés à l'espace libre et au champ diffus grâce à des filtres, conformément à la Fig. 8. L'observateur pouvait choisir entre ces deux adaptations ou éliminer toute correction. Un seul des casques était utilisé pour chaque séance.

Les expériences avaient été préparées soigneusement au cours d'essais préliminaires. Elles comportaient des séquences de musique classique, de jazz, de musique « pop » et de parole. Pour la séquence classique, on avait retenu cinq enregistrements différents d'un même passage, réalisés par divers preneurs de son au cours des vingt dernières années. On obtenait ainsi la certitude que les résultats ne risquaient pas d'être faussés par une coloration particulière caractéristique d'un preneur de son.

Vingt-quatre observateurs participaient aux essais d'écoute. Il s'agissait en majorité de professionnels (dont quatre preneurs de son) et de personnes exercées à juger de la qualité d'une transmission. Pour chaque casque et chaque séance d'écoute, on devait indiquer quelle était l'image sonore préférée, avec une des trois corrections possibles et en fonction des deux critères : naturel et agrément. Ces critères étaient apparus comme particulièrement significatifs à l'occasion de divers essais sur les haut-parleurs et les casques.

Les résultats des écoutes sont donnés à la Fig. 9. On y trouve les valeurs moyennes et les intervalles de confiance pour les neuf séquences de programme et pour les opinions : « plus naturel » et « plus agréable ». On constate que, pour tous les casques, l'adaptation au champ diffus jouit d'une nette préférence. Ce n'est que pour l'appréciation « agréable » des casques 7 et 3 que cette préférence est moins marquée.

La fonction de transfert originale des casques influe sur les fréquences statistiques des choix. L'écart d'appréciation pour le casque 7 (Stax-SR-Lambda) est particulièrement faible entre « sans correction » et « adap-

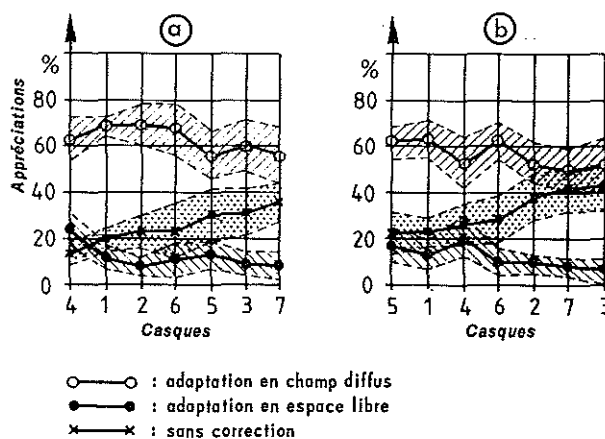


Fig. 9. — Appréciation d'ensemble de la qualité des casques :
a) caractère naturel b) agrément d'écoute.

tation au champ diffus». Cela corrobore la bonne concordance entre la fonction de transfert originale et la fonction de transfert manifestement optimale pour le champ diffus (Fig. 8).

Comme on s'y attendait, les fonctions de transfert en espace libre sont nettement désavantagées par rapport à celles en champ diffus, mais moins que par rapport à la position sans correction, en particulier pour les casques 4 (HD 430) et 1 (DT 440). Les résultats globaux font apparaître, en outre, que l'adaptation au champ diffus donne une écoute particulièrement naturelle, mais cela n'implique pas nécessairement une coloration spécialement agréable pour les casques 2, 3, 4 et 7, pour lesquels le constructeur s'est manifestement efforcé de réaliser une sonorité conforme à un goût et à un matériel sonore précis.

On peut faire une analyse plus fine à partir des Fig. 10 et 11. On y voit, dans le détail, que l'adaptation au champ diffus donne, dans quelques cas isolés, une sonorité moins agréable que la correction prévue par le constructeur. Ces exceptions n'entament en rien la supériorité de l'adaptation au champ diffus.

Au surplus, il est apparu que les colorations sont très voisines pour les casques uniformément adaptés au champ diffus. On a été surpris de l'analogie de coloration pour des casques de constructions très diverses. Les différences de prix, notamment entre les modèles Stax-SR-Lambda et DT 880, paraissent à peine justifiées.

5. Résultats

On a élargi les représentations théoriques de la fonction de l'ouïe en écoute spatiale et on a décrit cette fonction d'après le modèle d'association. Les nouveaux résultats ainsi obtenus, pour la correction optimale d'un casque, conduisent à dresser le bilan suivant.

L'adaptation au champ en espace libre constitue, en principe, une fausse correction pour la stéréophonie d'intensité. La référence au champ en espace libre ne donne pas une impression sonore satisfaisante. Bien que la fonction de transfert du casque soit déduite de la directivité de l'oreille externe en espace libre, sa

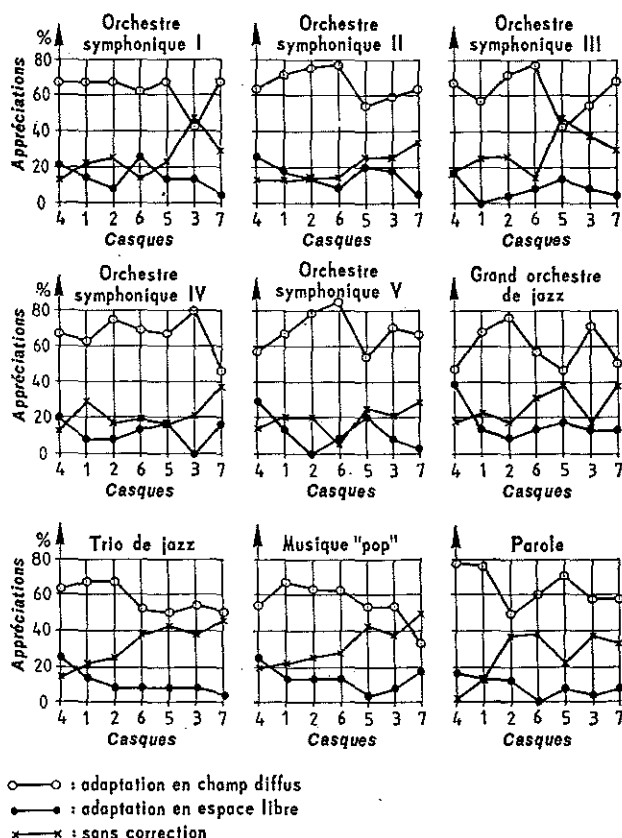


Fig. 10. — Evaluation du caractère naturel de la reproduction par les casques.

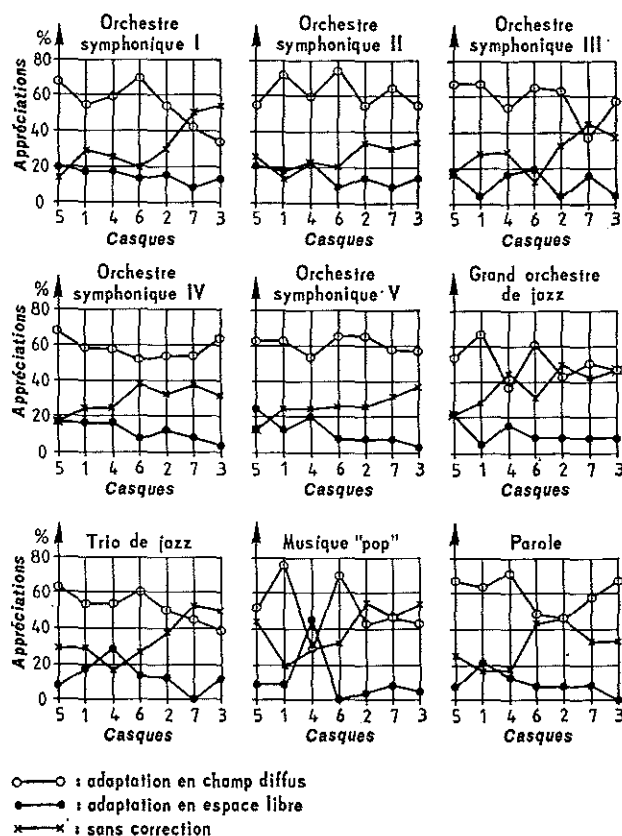


Fig. 11. — Evaluation de l'agrément de la reproduction par les casques.

représentation est beaucoup trop imprécise en comparaison des particularités spectrales que l'oreille serait capable d'apprécier pour la localisation. Si cette précision était suffisante, la localisation aurait lieu pour un signal monophonique et le phénomène sonore serait perçu en dehors de la tête. Dans ce cas, l'impression de coloration serait cependant aussi médiocre qu'avec un haut-parleur dans un local sourd. En stéréophonie d'intensité, il est d'ailleurs théoriquement impossible d'obtenir une localisation hors de la tête; l'oreille ne peut pas prendre en considération les particularités directives des signaux auditifs reproduits par le casque. Cela revient à dire que la fonction de transfert uniforme en espace libre entraîne des défauts de coloration qui altèrent l'image sonore.

Pour la correction d'un casque, on ne peut se limiter à une direction de référence unique; l'ensemble des fonctions de transfert de l'oreille externe doit être remplacé par la fonction moyenne correspondante. Cela s'obtient grâce à la référence au champ diffus. Dans les essais de qualité effectués sur les casques, l'adaptation au champ diffus (c'est-à-dire une fonction de transfert uniforme en champ diffus) donne l'image sonore optimale.

Des mesures de sonie d'après la norme DIN 45 619 et la Publication 268-7 de la CEI conduisent à des résultats erronés. Une comparaison de sonie n'est valable que pour des événements sonores qui présentent des caractéristiques spectrales identiques. On peut montrer par exemple qu'un haut-parleur, bien que perçu avec la même intensité apparente qu'un casque, provoque dans le conduit auditif une pression sonore de 7,5 à 14 dB plus faible. La différence dépend de la fréquence, ainsi que de l'emplacement du haut-parleur et du signal. La sonie n'est pas entièrement déterminée par la pression dans le canal auditif.

Les mesures par sonde et les mesures de sonie diffèrent notamment aux fréquences supérieures à 1,6 kHz. La cause se trouve vraisemblablement dans cette propriété de l'ouïe qui fait que certaines caractéristiques du signal auditif sont utilisées pour la localisation ou pour l'appréciation de la coloration. Etant donné que, dans les mesures comparatives normalisées de sonie, les événements sonores ne sont pas situés au même endroit et qu'il est impossible d'éliminer à coup sûr le processus de localisation par l'ouïe, les mesures sur les casques devraient se fonder, non sur l'appréciation du spectre auditif qui dépend de ce processus, mais sur la mesure physique du spectre. Les mesures par sonde sont plus faciles à réaliser et plus rapides que celles de sonie. Elles nécessitent moins d'observateurs; dans certains cas, on peut même se contenter d'une personne unique dont l'oreille type servira pour tous les essais. On peut imaginer que, dans l'avenir, l'oreille humaine sera remplacée par une reproduction artificielle.

La mesure de la fonction de transfert en champ diffus ne requiert pas nécessairement un local réverbérant; on peut faire la mesure en espace libre, mais avec une sonde. Grâce au facteur de concentration de l'oreille externe (différence entre les fonctions de transfert en champ libre et en champ diffus), on peut calculer la fonction de transfert du casque en champ diffus.

On propose d'élaborer une norme nationale et internationale pour les casques à haute fidélité. Contrairement aux normes actuelles qui prévoient une fonction de transfert uniforme en espace libre et des mesures comparatives de sonie avec de grandes tolérances, la nouvelle norme devrait porter sur une fonction de transfert uniforme en champ diffus et prévoir des mesures par sonde dans un conduit auditif type. Cette prescription garantit une coloration neutre optimale, de sorte que le gabarit de tolérance deviendra nettement plus étroit.

Les mesures physiques ainsi définies permettront alors de fixer les caractéristiques minimales des casques qui garantiront (comme pour les microphones et les haut-parleurs) une restitution suffisamment homogène de l'image sonore. L'appréciation subjective de la qualité de l'écoute au casque en radiodiffusion se trouve ainsi convenablement définie et elle devrait pouvoir être introduite dans l'Avis 562 du CCIR.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. Theile : *Zur Theorie der optimalen Wiedergabe von stereofonen Signale über Lautsprecher und Kopfhörer* (Considérations théoriques sur la reproduction optimale de signaux stéréophoniques au moyen de haut-parleurs et d'écouteurs). Rundfunktechnische Mitteilungen, n° 4, juillet-août 1981, pp. 155-170.
- [2] G. Theile : *Über die Lokalisation im überlagerten Schallfeld* (Sur la localisation en champ sonore superposé). Thèse présentée à l'Université Technique de Berlin, 1980.
- [3] H.-J. Platte : *Zur Beurteilung der Aussenohrübertragungseigenschaften für den Nachrichtenempfänger « menschliches Gehör »* (Appréciation des propriétés de transmission du récepteur constitué par l'oreille externe). Thèse présentée à l'Université Technique d'Aix-la-Chapelle, 1979.
- [4] P. Laws : *Zum Problem des Entfernungshörens und der Im-Kopf-Lokalisierung von Hörereignissen* (Les problèmes de la perception des distances et de la localisation d'événements sonores dans la tête). Thèse présentée à l'Université Technique d'Aix-la-Chapelle, 1972.
- [5] H.-J. Platte, P. Laws et H. v. Hövel : *Anordnung zur genauen Reproduktion von Ohrsignalen* (Dispositif de reproduction exacte des signaux auriculaires). Fortschritte der Akustik, DAGA 75, Braunschweig. Physik Verlag, Weinheim 1975, pp. 361-363.
- [6] H.-J. Platte et P. Laws : *Problèmes techniques posés par l'emploi de procédés de transmission stéréophonique à tête artificielle*. Revue de l'UER, n° 167, février 1978, pp. 11-15.
- [7] G. Theile : *Zur Kompatibilität von Kunstkopfsignalen mit intensitätsstereofonen Signalen bei Lautsprecherwiedergabe: Die Klangfarbe* (Compatibilité des signaux de tête artificielle et des signaux en stéréophonie d'intensité en cas de reproduction par haut-parleur : coloration du son). Rundfunktechnische Mitteilungen, n° 4, juillet-août 1981, pp. 146-154.
- [8] J. Blauert et P. Laws : *Verfahren zur orts- und klanggetreuen Simulation von Lautsprecherbeschallungen mit Hilfe von Kopfhörern* (Méthode de simulation géométriquement et acoustiquement fidèle de la sonorisation par haut-parleurs au moyen de casques écouteurs). Acustica, n° 5, novembre 1973, pp. 273-277.
- [9] K.J. Wischgoll : *Der halboffene Stereokopfhörer* (Le casque stéréophonique mi-ouvert). Funkschau, n° 4, 20 février 1981, pp. 73-74.
- [10] H.J. Gries : *Was ist das « Freifeld-Übertragungsmass » eines Kopfhörers ?* (Qu'appelle-t-on « fonction de transfert en espace libre » d'un casque ?). Funkschau, n° 17, 11 août 1978, pp. 811-812.
- [11] W. Rudmose : *The case of the missing 6 dB* (L'affaire des 6 dB disparus). Journal of the Acoustical Society of America, n° 3, 1982, pp. 650-659.
- [12] D.W. Robinson, L.S. Whittle et J.M. Bowsher : *The loudness of diffuse sound fields* (La sonie des champs diffus). Acustica, n° 6, 1961, pp. 397-404.
- [13] C.D. Mathers et K.F. Landsdowne : *Hearing risk to wearers of circumaural headphones: an investigation* (Etude des risques présentés par les casques enveloppants pour l'ouïe des auditeurs). Rapport RD 1979/3 de la BBC.

