

## Remarques relatives à la réalisation de mesures binaurales et à leur reproduction

Pour pouvoir correctement analyser et juger un bruit, l'enregistrement et la reproduction de ce bruit doivent, eux aussi, avoir été réalisés correctement. Cette note applicative expose les sources d'erreurs possibles et explique les précautions devant être prises pour réaliser l'enregistrement et la reproduction de signaux.

### Enregistrements réalisés avec une tête artificielle

Pour pouvoir juger des bruits, la courbe de niveau pondérée A ou un spectrogramme ne suffisent pas. L'analyseur « ouïe humaine » doit, lui aussi, être pris en compte dans l'analyse. La reproduction d'un enregistrement réalisé avec un microphone ne suffit cependant souvent pas pour juger un bruit. En effet, c'est uniquement lorsqu'il utilise la technique de mesure reposant sur la tête artificielle que l'ingénieur en acoustique peut enregistrer et reproduire le son comme il aurait été entendu par une personne se trouvant dans le champ sonore correspondant. L'ouïe humaine peut identifier différentes directions d'incidence du son, sélectionner différentes sources sonores et dispose d'autre part d'un grand pouvoir séparateur dans les zones fréquentielle et temporelle. La tête artificielle, qui dispose de caractéristiques de transfert comparables à celles de l'être humain, permet de perfectionner la technique de mesure classique en prenant en compte l'ouïe humaine en tant qu'instrument de mesure [1].

Bien entendu, un bruit peut également être perçu et évalué dès son apparition. C'est cependant dans de nombreuses situations techniquement ou temporellement impossible, par exemple lorsque plusieurs personnes sont sensées évaluer un bruit dans l'habitacle d'un véhicule, assises à la place du conducteur. D'autre part, le fait d'enregistrer un signal a l'avantage, en plus de permettre l'analyse par l'ouïe, de pouvoir aussi soumettre les données à des analyses de mesure assistées par ordinateur. En associant le fait de « voir » et d'entendre, on peut optimiser le diagnostic acoustique et faciliter l'optimisation du son.

Les interfaces d'égalisation permettent d'analyser des enregistrements réalisés avec une tête artificielle compatibles avec les techniques de mesures conventionnelles. Il faut pour cela paramétrer l'interface adaptée au champ sonore pour réaliser l'enregistrement. Les têtes artificielles de HEAD acoustics proposent trois égalisations : l'égalisation pour les champs sonores normalisés Champ libre et Champ diffus ainsi qu'une égalisation qui n'égalise que les portions indépendantes de la direction des bruits. Cette égalisation est appelée « Independent of Direction (ID) » [2] et s'utilise par exemple pour les habitacles de véhicule ne disposant ni d'un champ diffus ni d'un champ libre.

Outre le choix de l'égalisation adaptée au champ sonore correspondant, il faut également choisir la tête artificielle adaptée. HEAD acoustics propose deux groupes de têtes artificielles. Le premier groupe est uniquement réservé à la mesure en champ lointain<sup>1</sup> («tête NVH»), le deu-

---

<sup>1</sup> Champ lointain : l'éloignement  $r$  de la source sonore est supérieur au double de la longueur d'onde  $\lambda$  ( $r > 2\lambda$ ).  
Champ proche : l'éloignement  $r$  de la source sonore est inférieur au double de la longueur d'onde  $\lambda$  ( $r < 2\lambda$ ).

xième groupe peut en plus être utilisé pour les mesures en champ proche («tête télécom.»). Une tête artificielle conçue pour les tâches normales de réduction du bruit (c'est-à-dire les mesures en champ lointain) ne peut pas être utilisée pour les mesures en champ proche.

Des articles ont été publiés par le passé, qui décrivaient l'installation de casques d'écoute sur une tête artificielle pour contrôler la chaîne de mesure et de reproduction : on reproduit dans le casque un enregistrement réalisé avec une tête artificielle et on réalise un nouvel enregistrement. Cette méthode est cependant superflue puisque les divergences pouvant apparaître lorsque l'on compare l'enregistrement réalisé avec la combinaison casque/tête artificielle à l'enregistrement original réalisé avec la tête artificielle, ne sont pas uniquement dues à une mauvaise reproduction, mais plutôt au fait qu'une tête artificielle NVH n'est pas adaptée aux enregistrements en champ proche. Le casque posé sur la tête artificielle modifie l'impédance acoustique, pouvant ainsi fausser l'enregistrement. Un tel setup de mesure ne peut être utilisé au mieux que pour réaliser des mesures comparatives et certainement pas pour déterminer des valeurs absolues. Pour réaliser des mesures en champ proche exactes, HEAD acoustics propose une tête artificielle spéciale qui peut par exemple être utilisée pour réaliser des mesures sur des casques et des terminaux téléphoniques. Lorsque l'on utilise une tête artificielle pour mesurer des casques, il est d'autre part particulièrement important de veiller au bon positionnement du casque. Comme il est difficile de toujours placer les casques à la même position, il faut réaliser plusieurs mesures en repositionnant toujours le casque. On peut alors moyenniser les mesures si c'est nécessaire.

## Reproduction d'enregistrements sonores

Pour reproduire des enregistrements réalisés avec une tête artificielle, HEAD acoustics propose un système de reproduction adapté de manière optimale aux systèmes de tête artificielle. Une chaîne de reproduction dont les éléments sont parfaitement adaptés les uns aux autres garantit le mieux une reproduction correcte. Pourtant, même si la reproduction a été correctement réalisée d'un point de vue métrologique, différents aspects concernant l'environnement, les attentes de la personne ou l'ordre de reproduction des signaux, peuvent en influencer négativement le jugement lors de l'écoute. L'ingénieur écoutant les bruits, ou aussi le responsable qui réalise les tests d'écoute, doit connaître les aspects décrits ci-dessous et veiller dans son travail à obtenir un jugement valide des bruits.

- Le contexte de la reproduction peut grandement influencer la manière dont les bruits sont jugés. Ceci peut avoir plusieurs causes.
  - Les caractéristiques acoustiques spatiales du lieu où est réalisé l'enregistrement et celles de celui où est réalisée la reproduction ne sont pas les mêmes  
Une personne inexpérimentée qui écoute pour la première fois un enregistrement réalisé avec une tête artificielle, est désorientée par la divergence existant entre l'acoustique de la pièce dans laquelle a été réalisé le test et celle de la pièce où elle se trouve. Si la personne est par exemple assise dans une grande pièce avec des murs réverbérants, elle s'attendra à entendre des bruits ayant une certaine réverbération. Des bruits enregistrés dans une pièce sourde ne répondront donc pas à ses attentes et ne seront pas jugés de la même manière. On peut éviter tout jugement incorrect lorsque les caractéristiques acoustiques spatiales du lieu de l'enregistrement et de celui de la reproduction sont les mêmes ou après une période d'apprentissage de la personne.
  - L'environnement du test ne va pas avec le bruit

Certains articles décrivent des tests proposant des bruits à la fois sur le lieu d'origine du bruit (par exemple, dans l'habitacle du véhicule) et dans une salle d'écoute. Si l'on compare les résultats de ces deux séries de tests, on constate en partie des différences nettes. Ces divergences ne sont cependant pas dues à une reproduction incorrecte, mais au fait que ce que la personne s'attend à entendre ne correspond pas à l'environnement de chaque bruit. Un bruit enregistré dans l'habitacle d'un véhicule et reproduit dans une salle d'écoute très calme est perçu comme étant « très fort » par de nombreuses personnes test. Si le même bruit est écouté dans l'habitacle d'un véhicule, les personnes tests le perçoivent moins souvent comme étant « très fort ». Le bon environnement, comme la bonne acoustique d'une salle, permet de placer la personne dans les conditions qui la feront s'attendre à ce type de bruit et donc, un jugement du bruit proche de la réalité. Pour la reproduction de bruits d'habitacle de véhicule, HEAD acoustics a mis au point le SoundCar dans lequel un bruit d'habitacle de véhicule peut être jugé directement à l'intérieur d'un habitacle. Dans certains cas, le fait de pouvoir visualiser la situation, par exemple à l'aide d'une image fixe, d'un film ou d'un paysage en mouvement sur un écran, peut permettre de fournir l'environnement nécessaire. Le choix des images joue dans ce cas un rôle déterminant puisqu'elles ont aussi une influence sur le jugement [3], [4].

- Les vibrations influencent la perception du bruit  
Si un son aérien et un son solidien interviennent en même temps, par exemple avec un bruit d'habitacle, le son solidien peut influencer le jugement du son aérien [5]. Le SoundCar offre la possibilité de faire vibrer le volant et le siège du passager grâce à un shaker et de reproduire ainsi le son solidien de manière adéquate. La reproduction du bruit est donc encore plus proche de la réalité. La représentation supplémentaire de vibrations peut entraîner un meilleur, mais aussi un plus mauvais jugement des bruits [6]. Cela dépend dans de nombreux cas si les vibrations sont perçues comme allant ou n'allant pas avec le bruit.
- La situation du jugement ne correspond pas à la réalité  
Dans la vie quotidienne, un bruit est souvent perçu au second plan et inconsciemment. Lorsqu'il est assis dans l'habitacle d'un véhicule, le conducteur se concentre sur la conduite du véhicule et sur les autres usagers de la route. Il n'a pas la possibilité de ne concentrer son attention que sur le bruit du véhicule. Pourtant, un bruit inopportun ou un changement de bruit inhabituel sera immédiatement perçu. Lors d'un test acoustique au cours duquel la personne ne doit se concentrer que sur le bruit, celui-ci est souvent jugé différemment que s'il était écouté dans la situation réelle [7]. Un exemple simple et facile à retenir de ce jugement déformé est l'enregistrement d'un bruit d'accélération dans l'habitacle d'un véhicule. Lorsqu'elles écoutent ce type de bruit dans un laboratoire, de nombreuses personnes test ont peur de ne pas pouvoir maîtriser l'accélération. Avec le H3S, HEAD acoustics (HEAD 3D Sound Simulation System) propose une solution logicielle qui, associée au matériel nécessaire, permet de conduire un véhicule normalement, tout en écoutant et en jugeant les bruits désirés. La personne a ainsi le contrôle de la conduite du véhicule et donc, du feed-back acoustique. La déformation de son jugement est donc minimisée. Même avec d'autres bruits, un jugement peut fausser l'analyse s'il est sorti de son contexte d'origine (par exemple, les bruits de circulation ou du trafic aérien). Il est alors nécessaire de permettre le ju-

gement des bruits dans leur contexte correct. Pour les analyses de bruits de trafic aérien, il est possible de laisser les personnes test juger les bruits de trafic dans leur environnement habituel, c'est-à-dire chez eux.

- La reproduction à l'aide d'un casque seul peut être insuffisante dans les domaines à basse fréquence. Ce type de reproduction doit être complété d'un caisson de basse. Le signal du casque est dans ce cas égalisé par un PEQ (égaliseur programmable), mais aussi le caisson de basse via un PEQ séparé. Les PEQ permettent alors d'adapter le casque au caisson de basse et vice-versa. Le retard du temps de propagation intervenant entre le signal du casque et celui du caisson de basse est donc compensé, le niveau de pression acoustique est calibré et la courbe de réponse est adaptée. Bien entendu, étant donné qu'un caisson de basse amplifie la reproduction à basse fréquence, ce niveau supplémentaire modifie aussi le jugement du bruit comparé à la reproduction réalisée avec un casque seul.
- La reproduction de bruits avec une comparaison A/B peut influencer le jugement. Si l'on propose à une personne les signaux test en comparaison A/B, elle est en mesure d'identifier les plus petits changements, par exemple les changements de niveau de pression acoustique, et de les prendre en compte dans son jugement. Ce type de comparaisons A/B directes est presque impossible dans la réalité. Les bruits de trafic aérien d'un type d'avion en particulier ne peuvent par exemple pas être directement comparés à ceux d'un autre avion dans la réalité puisqu'ils sont décalés dans le temps. L'ouïe humaine s'oriente normalement à l'aide de modèles contenus dans les bruits et les utilise pour les identifier. Ces modèles peuvent être stockés dans sa mémoire à long terme et être réutilisés pour juger des bruits. Lors d'une comparaison A/B, il est par exemple aussi possible de réutiliser le niveau de pression acoustique stocké dans sa mémoire à court terme. On peut donc obtenir des jugements dans un test acoustique qui divergent de la réalité [8], ce qui doit être pris en compte lors de la conception d'un test acoustique. Si un test acoustique est sensé analyser la capacité de l'ouïe à différencier plusieurs aspects tels que la fréquence ou le niveau, il convient alors plutôt d'utiliser des comparaisons A/B dans le test. Le jugement de la qualité ou de la gêne engendrée par un bruit doit en général avoir lieu de manière absolue, c'est-à-dire sans comparaison directe, car c'est le seul moyen d'obtenir un jugement proche de la réalité.

Ces points ne peuvent bien entendu pas tous être pris en compte lors de la réalisation de tests acoustiques. Le responsable du test doit cependant en connaître les conséquences et les prendre en compte lors de l'analyse des résultats. Il sera ainsi possible d'interpréter les déformations intervenant dans le jugement du bruit et d'en tenir compte. Il est également important d'insister sur le fait qu'une personne se laissant par exemple influencer dans un environnement ne correspondant pas à la réalité, ne fait « rien de mal ». Les attentes de la personne influencent toujours la manière dont elle juge le bruit d'une manière spécifique. En effet, elle ne peut pas faire abstraction de ses attentes et ne peut donc pas donner un jugement objectif. La personne ne peut donc « corriger » l'erreur que par une méthode de test adaptée.

Avez-vous une question à poser à l'auteur de cet article ? Écrivez-nous : [imke.hauswirth@head-acoustics.de](mailto:imke.hauswirth@head-acoustics.de).

Nous serons heureux de prendre connaissance de vos réactions !

## Bibliographie

- [1] K. Genuit  
„Ein Geräuschdiagnosesystem zur Analyse von Schallereignissen unter Ausnutzung des Nachrichtenempfängers menschliches Gehör“  
Fortschritte der Akustik FASE/DAGA 1982, Göttingen, DPG-Verlag Bad Honnef (1982)
- [2] K. Genuit  
„Diskussion einer neuen Schnittstelle zur Definition von Kopfhörersignalen“  
Fortschritte der Akustik FASE/DAGA 1987, Aachen, DPG-Verlag Bad Honnef (1987)
- [3] W. Ellermeier, S. V. Legarth  
“Visual Bias in subjective Assessments of automotive Sounds”  
Euronoise 2006, Tampere, Finland
- [4] T. Hashimoto  
“Tradeoff Level of the Visual Scenery and Seat/Floor Vibrations to the Perception of Sound Quality of Car Interior Noise”  
Inter-Noise 2004, Prague, Czech Republic
- [5] K. Genuit, J. Poggenburg  
„The influence of vibrations on the subjective judgement of vehicle’s interior noise”  
Noise-Con '98, Ypsilanti, Michigan, USA
- [6] A. Sköld, D. Västfjäll  
“Vibrational Influence on Product Sound Quality in Cars”  
Forum Acusticum 2005, Budapest, Ungarn
- [7] B. Schulte-Fortkamp, K. Genuit, A. Fiebig  
“New Approach for the Development of Vehicle Target Sounds”  
Inter-Noise 2006, Honolulu, Hawaii, USA
- [8] K. Jäger, H. Fastl, F. Schöpf, G. Gottschling, U. Möhler  
„Wahrnehmung von Pegeldifferenzen bei Vorbeifahrten von Güterzügen“  
Fortschritte der Akustik DAGA 1997, Kiel, S. 228 – 229.