

Gérard Pelé – Laurent Millot – ENS Louis-Lumière – HD3D

Note de présentation de la méthode de caractérisation des installations audio

Exposé de la problématique

La caractérisation des équipements et installations audio fait appel à deux sortes de méthodes : les mesures et les tests subjectifs. L'industrie des équipements fait appel aux mesures afin de garantir la conformité de ses appareils aux normes, et elle a parfois recours à l'évaluation subjective de la qualité audio, basée par exemple sur la recommandation de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT-R BS 1116), mais dans des situations qui ne peuvent pas être identiques à celles où ses appareils seront utilisés. Les utilisateurs (installateurs d'équipements ou utilisateurs finaux) peuvent, de leur côté, vérifier par des mesures que les appareils répondent aux spécifications des constructeurs, et peuvent également effectuer des essais comparatifs au moyen de tests subjectifs effectués, cette fois, dans la situation où l'équipement sera exploité.

Cependant, il n'a jamais été possible d'obtenir mieux que des corrélations partielles entre les mesures et la qualité évaluée par la méthode des tests subjectifs. Il n'existe pas, en particulier, de correspondance certaine entre les caractéristiques mesurables d'un appareil par rapport à un autre, par exemple une plus grande bande passante, et la qualité ressentie à l'écoute de ces appareils. Pour cette raison, certains chercheurs ont tenté de rétablir ce lien par le développement de méthodes d'évaluation objective de la qualité audio, notamment basées sur le standard PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) de l'UIT (UIT-R BS 1387). En France, le centre de recherche en télécommunications (CCETT) a réalisé un outil, baptisé POM (Perceptual Objective Measurement), conforme à ce standard et adapté à l'évaluation des faibles dégradations du signal audio, typiquement dans le cas des transmissions avec encodage à réduction de débit.

Il est important de comprendre que les méthodes d'évaluation dites « objectives » de la qualité audio ne se substituent ni aux mesures classiques ni aux tests subjectifs.

Les méthodes d'évaluation objectives de la qualité audio empruntent aux mesures classiques leur rigueur et leur reproductibilité du fait qu'elles sont déterministes, les mêmes causes produisant les mêmes effets, et aux tests subjectifs qu'elles sont fondées sur des modèles psycho acoustiques, c'est-à-dire sur des modèles de l'audition. Ce sont donc des méthodes alternatives qui possèdent plusieurs des avantages des deux autres mais aussi certains inconvénients, parmi lesquels il faut signaler la nécessité de disposer d'une référence à quoi comparer le message testé, qui est le défaut des méthodes subjectives, et le caractère réducteur d'une évaluation globale de la qualité, qui est le caractère spécifique de toute mesure. Considérant néanmoins la difficulté de mettre en œuvre des tests subjectifs et leur traitement statistique, ainsi que l'exigence de fournir un procédé « portable » pour le programme HD3D de caractérisation des équipements audio, notre choix s'est porté sur une méthode d'évaluation objective de la qualité : objective parce que métrologique, et qualitative car basée sur un modèle psycho acoustique global.

Choix du modèle

La seconde étape de notre étude a consisté à définir le modèle psycho acoustique susceptible de produire une information pertinente dans le cadre du problème posé. S'il avait suffi de caractériser des équipements électroniques et numériques, il eût été judicieux de s'inspirer du standard PEAQ mais, puisqu'il fallait y inclure l'électroacoustique des transducteurs (haut-parleurs) et l'acoustique des lieux de diffusion, il était nécessaire de prendre en compte ce changement de dimension (de unidimensionnel pour un signal électrique à tridimensionnel pour sa transduction dans notre espace ordinaire) par un choix de modèle adapté, de plus, à des altérations d'un tout autre ordre de grandeur que celles qui s'observent dans les appareils électroniques tout en restant suffisamment sensible pour détecter leurs petits défauts.

Or Émile Leipp avait proposé, dès les années 1970, une approche qui consistait à simuler certains aspects de l'audition, dont les mécanismes sont mal connus et difficilement observables comme, par exemple, la sensation auditive « d'ordre lointain », sans souci de leur réalité anatomo-physiologique. En d'autres termes, cette « oreille artificielle » imitait les réponses auditives à des stimuli sonores par une voie différente de celle qui établit ces réponses dans l'audition humaine. Cette machine, qu'il a appelée Intégrateur de Densité Spectrale (IDS), lui a permis d'étudier les réponses à des situations variées, parmi lesquelles

on trouve justement l'évaluation des équipements audio, salles comprises. En étudiant ses résultats et en prenant en compte la simplicité et l'élégance de sa démarche, ils nous ont semblé suffisamment pertinents pour motiver notre choix de nous inspirer du modèle d'Émile Leipp pour concevoir notre propre méthode de caractérisation des équipements audio.

Caractéristiques du modèle « IDSE » (IDS étendu)

Notre version « d'oreille artificielle » conserve les caractéristiques principales de l'IDS original : le découpage du spectre audio en sous-bandes, irrégulier du grave à l'aigu, est conforme à l'importance que notre audition confère à ces différents registres ; ce modèle spectral de l'audition est excité par les sons mêmes qui peuvent apparaître dans les différentes situations où se trouverait un véritable auditeur ; le principe de l'intégrateur rend compte de la sensation d'ordre lointain, c'est-à-dire du fait que l'audition est conditionnée, dans certaines limites, par les sons qui ont précédé ceux qu'un auditeur perçoit à chaque instant.

Les changements apportés par notre modèle reposent sur son implémentation dans un environnement numérique qui offre des fonctionnalités et une souplesse que ne permettait pas l'appareillage électronique analogique utilisé par Émile Leipp. En premier lieu, nous avons ajouté deux sous-bandes, l'une dans l'extrême grave pour tenir compte de son influence sur la perception (suite à des recherches que nous avons menées sur ce sujet), l'autre dans l'extrême aigu afin d'actualiser notre analyseur aux possibilités des équipements actuels. En second lieu, l'algorithme de filtrage utilisé n'introduisant pas de déphasage, l'extraction des sous-bandes s'effectue sans recouvrement ; elle est donc plus précise et, de plus, cette méthode autorise une restitution audio sans aucune distorsion de tout ou partie du programme de test. En troisième lieu, la dynamique de mesure permise par le numérique améliore la sensibilité et le rapport signal à bruit de l'analyseur, ce qui permet de l'utiliser dans des conditions réelles, y compris avec de faibles niveaux de diffusion.

Le portage de l'application dans un environnement informatique procure également d'autres avantages et des fonctionnalités supplémentaires par rapport à l'appareil d'origine, entre autres : l'expressivité des résultats obtenus sous forme graphique ; une ergonomie qui rend son emploi très intuitif, et renseigne complètement l'utilisateur sur les valeurs des paramètres de contrôle et celles des paramètres calculés à partir des « profils IDS » obtenus ; la possibilité d'enregistrer, d'imprimer, de rappeler et de comparer des profils, qui n'est limitée que par la quantité de mémoire de masse disponible dans l'ordinateur ou sur un

support externe. Nous avons enfin conçu notre application pour la rendre, autant que possible, fiable et autonome, c'est-à-dire pour qu'elle puisse fonctionner avec un minimum de périphériques facilement accessibles. Ainsi, l'interface audio peut être intégrée à l'ordinateur où l'application est installée ou externe et les microphones de mesure peuvent être choisis dans une gamme à faible coût sans que cela n'influence de manière rédhibitoire les résultats, ce qui est l'avantage principal de la méthode comparative. En résumé, confrontée aux approches traditionnelles de caractérisation des équipements audio, notre méthode est originale, moins coûteuse qu'un équipement calibré d'analyse en 1/3 d'octave, plus rapide à mettre en œuvre qu'un protocole de tests subjectifs, et présente ses résultats sous une forme facilement interprétable.

Justification de la méthode

La méthode de caractérisation des équipements audio que nous avons proposée dans le cadre du programme HD3D peut paraître déconcertante, voire obscure, car elle se heurte à un certain nombre de dogmes et d'habitudes bien établis en cette matière. Du fait que les tests subjectifs sont difficiles à mettre en œuvre et peu susceptibles d'être soumis à une démarche critique qui est la règle en matière de sciences expérimentales, puisque « des goûts et des couleurs, on ne discute pas », les différents acteurs concernés par l'évaluation qualitative des équipements audio ont toujours cherché à s'en affranchir au moyen de mesures « objectives ». Or la validité de ces mesures dépend nécessairement de celle des théories qui les sous-tendent, à savoir les lois des systèmes électroniques, des systèmes électroacoustiques, et les lois de l'acoustique. Pour les signaux unidimensionnels qui circulent dans les appareils électroniques et, sous réserve que soient respectées les contraintes qui découlent du « traitement analogique du signal » et du « traitement numérique du signal », les mesures rendent compte de manière assez fidèle des phénomènes mais, dès lors que l'on est passé dans le domaine de l'acoustique par le biais de transducteurs, le simple fait de constater que les mesures ne sont plus corrélées avec la perception des phénomènes aurait dû faire soupçonner un défaut de la théorie acoustique standard. Cependant, faute de disposer d'une théorie plus complète, l'habitude a perduré de faire des mesures que l'on sait biaisées : « c'est toujours mieux que rien » et « si ça ne guérit pas le malade, ça ne peut pas lui faire de mal » (cela reste à voir, ndla).

Néanmoins, il aurait été inconséquent de critiquer les méthodes de caractérisation des équipements audio en vigueur sans proposer une base théorique et un formalisme bien établis, en mesure de conférer à notre démarche une légitimité qu'il n'avait pas été possible de consolider à l'époque d'Émile Leipp. Les développements mathématiques exposés par

Laurent Millot dans le document d'accompagnement de notre méthode ne sont certes pas accessibles sans un solide bagage en physique théorique, mais ils garantissent que notre approche est fondée sur des bases sûres, les lois qui gouvernent le comportement de tous les systèmes physiques, et peuvent par conséquent être vérifiés.

Pour l'essentiel, les résultats de ces développements mathématiques confortent nos hypothèses, à savoir que le paradigme ondulatoire, la loi de linéarité ou de superposition des excitations élémentaires, ne conviennent qu'à l'aspect unidimensionnel des signaux, et que ces hypothèses ne peuvent plus être acceptées dès lors que l'on se situe dans l'espace où ont lieu nos perceptions auditives. Les conclusions de cette nouvelle théorie ne sont pourtant pas aussi difficiles à transposer que son écriture pourrait faire craindre, puisqu'elles se traduisent concrètement par le fait que toute mesure destinée à caractériser une installation doit utiliser les signaux mêmes qui sont susceptibles d'y être diffusés, et non des signaux de laboratoire : sinusoides, sinusoides « glissantes » ou bruits divers. Par contre, cela a une incidence sur la méthode et l'interprétation des résultats qu'elle produit, puisqu'on ne peut plus procéder que par comparaison et, par conséquent, en ayant une certaine « mémoire » de notre expérience auditive dans des situations bien identifiées, ce qui se traduit concrètement par la possibilité de disposer de profils « typiques » correspondant à ces situations.

Exploitation de la méthode

À partir du moment où l'on s'est affranchi de la nécessité de procéder à un maillage de la zone de mesure et aux calculs permettant de reconstituer un spectre fréquentiel à partir de la distribution spatio-temporelle de l'énergie, ce qui devrait être fait, en toute rigueur et bien que ce ne soit jamais le cas, avec un analyseur en 1/3 d'octave, la mise en œuvre de l'analyseur IDS est aussi simple que celle d'un analyseur classique : mise en place des microphones de mesure aux endroits choisis, avec la garantie d'une position peu critique, raccordement à l'ordinateur où l'application est installée, et diffusion du programme de test, sachant qu'il est également possible d'utiliser le programme en prélevant les signaux à différents niveaux de leur cheminement, par exemple en sortie d'un lecteur de CD, en sortie de console ou d'amplificateur.

Il est important de comprendre que l'utilisateur de cette méthode de caractérisation des équipements audio pourra développer des stratégies différentes, adaptées au contexte et à ses propres « façons de faire », à partir du moment où il respecte le principe selon lequel le programme de test doit

être composé avec des éléments qui correspondent à ce qui est susceptible d’être entendu au lieu considéré.

L'une des stratégies consiste à évaluer comment le « signal » est transformé au cours des différentes étapes, de son traitement à sa diffusion. En ce cas, la référence est un échantillonnage des programmes susceptibles d’être diffusés et leurs profils sont comparés à ceux qui sont mesurés à ces étapes jusqu’au lieu où ils sont entendus (avec les microphones).

Il est possible, également, de composer un programme de test avec des sons de nature très différente (voix, musiques de différentes sortes, bruits...) afin de tenter d’apprécier, en examinant comment ils sont transformés, dans quelle mesure l’équipement est plus ou moins adapté à l’usage pour lequel il est prévu. Cette démarche complète et approfondit la précédente en précisant le domaine d’application de l’équipement étudié.

Une autre utilisation de l’application consiste à étudier comment les programmes seront reçus en différents points d’écoute, en déplaçant les microphones de mesure. Par un choix judicieux de ces points, il devient possible de cartographier la répartition de l’énergie en fonction des différents registres spectraux dans une salle et, pourquoi pas, de confronter ces résultats avec ceux des logiciels d’acoustique architecturale prédictifs.

On peut imaginer des stratégies à plus long terme, par l’élaboration progressive d’une base de profils IDS réalisés avec différents équipements. La caractérisation revient alors à rapprocher ou à différencier l’équipement étudié par rapport à des équipements typiques et connus. Cette démarche est tout à fait dans l’esprit de notre proposition en ce qu’elle s’appuie sur un principe de relativité selon lequel une « bonne » installation est, avant tout, une installation adaptée à l’usage pour lequel elle a été conçue.

Perspectives d’évolution

Il est probable que d’autres stratégies et de nouvelles approches émergeront pour répondre au problème de la caractérisation des équipements audio. L’application que nous avons proposée est conçue dans un esprit d’ouverture qui permet déjà d’élargir l’expérimentation bien au-delà de ce que nous avons initialement envisagé. Son principe « relativiste » s’inscrit dans une démarche qui se refuse à accepter le dogmatisme qui prévaut dans le milieu des acousticiens parce que, en dépit de leurs calculs, il existe depuis longtemps des « dispositifs », qu’ils soient purement acoustiques (théâtres ou salles de concert) ou électroacoustiques, qui présentent des qualités unanimement reconnues, mais qui auraient

été condamnés par l'orthodoxie d'une théorie largement dépassée et par l'habitus des pratiques qu'elle a fondé.

L'application que nous avons développée est opérationnelle, mais nous sommes conscients qu'elle ne pourra être appréciée que dans ses résultats et, par conséquent, que dans un usage suffisamment prolongé pour qu'ils puissent être confrontés à ceux qui sont fournis par les méthodes traditionnelles. Pour atteindre cet objectif nous avons, en premier lieu, démarré une campagne de mesure d'équipements variés (studios, auditoriums, salles de cinéma...) afin de constituer une base de données de référence. Dans ce cadre, nous avons également entamé une réflexion sur la possibilité de concevoir des programmes de tests adaptés à ces différents contextes, de manière à réduire la variabilité des interprétations qu'il est possible de faire quand les programmes sont tous différents.

Nous envisageons enfin une évolution de notre application dans le sens d'une automatisation de l'interprétation. Il est en effet possible, par une technique assez simple de reconnaissance de formes, de classer les profils IDS en fonction des différentes catégories d'usages et de leur ressemblance avec des équipements existants. Le but de ce module de reconnaissance et d'identification serait de faciliter l'évaluation qualitative des équipements pour les non-spécialistes en leur fournissant des repères connus (acoustique proche de celle du Rex, de la salle Pleyel, du studio n° 3 d'Abbey Road...).

Ce qu'il faut retenir

Les mesures classiques destinées à évaluer la qualité des équipements audio ont montré leurs limites au regard de tests subjectifs, quand à eux incapables de « faire la preuve » (au sens algorithmique) de leur validité.

L'IDS étendu est une proposition alternative scientifiquement fondée, destinée non seulement à faire avancer les connaissances dans le domaine très ouvert de l'audition, mais de plus présentant des fonctionnalités qui en font un dispositif opérationnel de caractérisation des équipements audio. Il eût été facile de présenter un appareil « à la Ron Hubbard », une boîte noire qui aurait noté les équipements sans autre justification que ce que la croyance et le désir peuvent produire.

Nous avons choisi une voie plus périlleuse en exposant une démarche et une théorie qui peuvent être critiquées selon les principes scientifiques actuellement en vigueur, et sommes disposés à les accepter pour faire évoluer de manière constructive notre thèse et ses implications concrètes.

Toute innovation comporte des risques d'autant plus difficiles à maîtriser que l'on se situe dans un domaine où l'expertise est jalouse de ses prérogatives. En plus de présenter une méthode qui, tout en ne se distinguant des pratiques classiques en matière de caractérisation des équipements audio que par son exploitation, remet en question les usages les mieux admis en cette matière, nous avons suggéré que la correction électronique ou numérique de ces systèmes ne pouvait être qu'un « pis aller », alors même que cette démarche se généralise avec, par exemple, des haut-parleurs équipés de systèmes d'analyse et d'égalisation intégrés. Dans ce contexte, nous ne faisons pas seulement face aux dogmes de l'acoustique classique, mais aussi à une industrie puissante qui a trouvé dans ce principe d'égalisation systématique une occasion de son développement commercial.

Il a fallu beaucoup de temps pour que, par tâtonnements successifs, les méthodes de mesure traditionnelles donnent l'apparence d'une théorie bien établie. L'IDS étendu est une « oreille artificielle » qui requiert un peu de patience pour « rendre » les concepts qui ont fondé son développement sous une forme exploitable. Les enjeux de notre démarche dépassent la simple évaluation de la notion de « qualité audio », non pas dans le sens de sa réduction selon une échelle, mais en direction d'une description plus exacte des phénomènes. Cependant, dans cette recherche, l'application de certains de ses résultats a permis la réalisation d'un « utilitaire » susceptible d'aider à l'exploitation judicieuse des équipements audio dans le cadre de la diffusion de contenus variés. Nous serions alors tentés de proposer une nouvelle approche de ces installations qui ne viserait plus à leur « idéalisation » mais à leur « valeur d'usage », en somme une démarche qui prendrait en compte l'histoire des sons et leur culture.