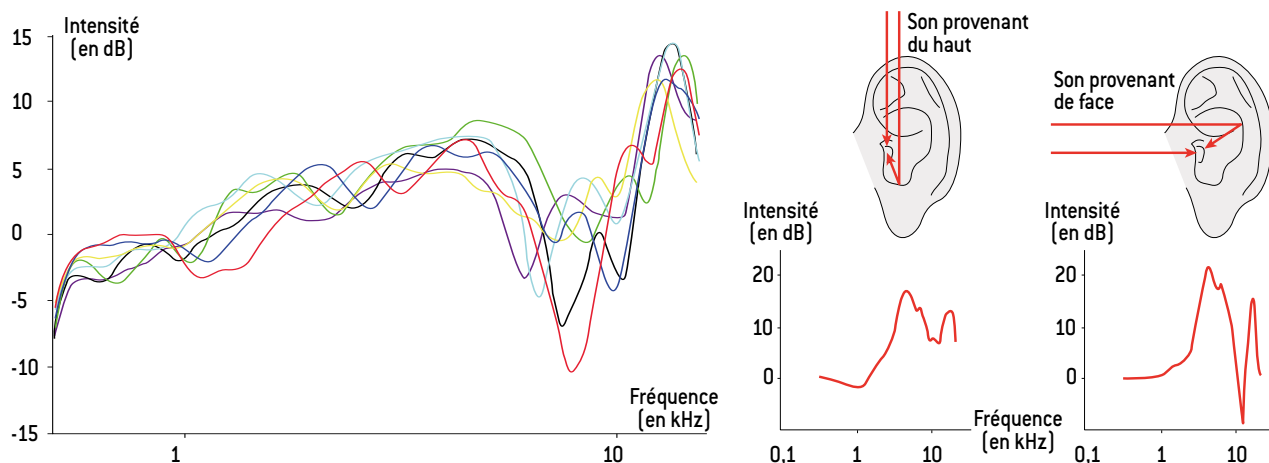




POUR UNE DIRECTION D'INCIDENCE donnée, le son qui parvient au pavillon de l'oreille dépend de la morphologie de la tête de l'auditeur et de son pavillon (à gauche, différentes courbes correspondant à différents

auditeurs). Les variations sont plus importantes pour les sons aigus (plus de 1 kHz). Pour un même individu, on a aussi des variations selon la direction d'incidence (graphiques de droite).

Avant d'expliquer plus précisément en quoi consiste la synthèse binaurale, on peut retracer brièvement sa préhistoire. La première expérience de spatialisation sonore remonte à la fin du XIX^e siècle, avec le théâtrophone (1881) de Clément Ader. Il s'agissait du premier service de retransmission en direct de spectacles, combinant à la fois téléphonie et stéréophonie (voir l'illustration ci-dessous).

Dans les années 1930, l'ingénieur britannique Alan Blumlein introduisit l'enregistrement stéréophonique, tandis que le physicien américain Harvey Fletcher déposa un brevet décrivant un système de téléphone binaural.

L'idée du système de Fletcher était d'utiliser une tête artificielle pour effectuer une prise de son binaurale, à l'aide d'un microphone placé au creux du pavillon de chaque oreille du mannequin, ce dernier devant imiter au mieux la morphologie humaine. Les ondes sonores sont alors diffractées par les détails morphologiques du mannequin, et le son ainsi transformé est enregistré par les microphones. Cet enregistrement stéréophonique particulier peut ensuite être écouté sur n'importe quel casque audio, ce qui donne un résultat souvent spectaculaire (écouter par exemple *Virtual Barber Shop*, sur www.youtube.com/watch?v=IUDTlvagjJA).

LE THÉÂTROPHONE conçu par Clément Ader retransmettait le son capté par deux microphones placés sur la scène de l'opéra ou du théâtre : une sorte de stéréophonie en direct, par téléphone.

Il faut souligner que la sensation d'espace procurée par le dispositif de Fletcher est uniquement perceptive : il n'y a pas de restitution physique d'un quelconque champ sonore, contrairement aux systèmes d'enceintes évoqués précédemment. Toutefois, même si l'approche de Fletcher reste aujourd'hui inégalée en termes de fidélité, tant pour le respect des timbres que pour le rendu spatial, elle nécessite *de facto* un enregistrement préalable à la restitution. Elle ne peut donc pas être interactive. Ainsi, ce procédé n'est pas utilisable dans des conditions de réalité virtuelle, où le système doit être dynamique, avec une adaptation en temps réel aux positions des sources et de l'auditeur.

Aussi, depuis les années 2000, avec l'essor de la puissance des ordinateurs, une

seconde méthode – la synthèse binaurale – a vu le jour dans de nombreux laboratoires, en France (l'Ircam, le Laboratoire d'acoustique musicale, France Telecom, consortium Bili, etc.) et à l'étranger (institut Fraunhofer en Allemagne, université de Californie à Davis, projet Orpheus, etc.). Afin de la mettre en œuvre, il faut d'abord déterminer les filtres HRTF d'un sujet (ou d'un mannequin de morphologie suffisamment proche). Pour ce faire, on place ce dernier au centre d'une sphère de plusieurs mètres de diamètre sur laquelle sont répartis des haut-parleurs. Pour chacun de ces émetteurs sonores, on mesure le son capté par des microphones placés dans les oreilles du sujet. De l'ensemble de ces mesures on déduit les fonctions HRTF.

Vient ensuite la synthèse binaurale proprement dite : si l'on veut donner à l'auditeur la sensation qu'un son provient d'une direction donnée, il suffit de traiter le son en question avec le filtre HRTF correspondant à cette direction. Pour un son numérisé, cela revient à effectuer un calcul sur ce son et à transmettre le résultat au casque de l'auditeur.

De longues mesures expérimentales...

Ainsi, par cette méthode, tout contenu sonore peut être spatialisé, au prix d'un effort de calcul. Mais la tâche reste raisonnable, car le traitement numérique est réalisable sur un ordinateur standard, voire un téléphone mobile. De plus, lorsqu'on effectue ledit calcul en temps



© DR