

POUR LA SCIENCE HORS-SERIE

Edition française de Scientific American

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT!



N° 88 (juil. 15)
réf. DO088



N° 89 (oct. 15)
réf. DO089



N° 90 (janv. 16)
réf. DO090



N° 91 (avr. 16)
réf. DO091



N° 92 (juil. 16)
réf. DO092



N° 93 (oct. 16)
réf. DO093



N° 94 (janv. 17)
réf. DO094



N° 95 (avr. 17)
réf. DO095



N° 96 (août 17)
réf. DO096



N° 97 (nov. 17)
réf. DO097



N° 98 (févr. 18)
réf. DO098



N° 99 (mai 18)
réf. DO099

RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR/HORS-SERIE.HTML

À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science Hors-série, au tarif unitaire de 10,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ x 10,90 € = 1090 €

2^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

3^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

4^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

5^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

6^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Offre valable jusqu'au 31/12/2018 en France Métropolitaine. Pour une livraison à l'étranger, merci de consulter boutique.pourlascience.fr

Les informations que nous collectons dans ce bon de commande nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls> Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :

Groupe Pour la Science – Siège social: 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret: 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z



PLUS SIMPLE, PLUS RAPIDE
ABONNEZ-VOUS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR

Un son en trois dimensions

Essentielle aux jeux vidéo et aux home cinémas, la spatialisation du son consiste à créer l'illusion que des sons proviennent de diverses directions et à organiser ainsi des scènes sonores en trois dimensions. Un domaine en plein essor.

B

ien installé dans votre fauteuil, vous savourez: les cuivres se font entendre à votre droite, les bois suivent à gauche, avant de laisser place aux ensembles de cordes droit devant vous. Incroyable cette nouvelle philharmonie parisienne avec son acoustique presque parfaite ! Pourtant, vous n'êtes pas dans ce nouveau lieu dédié à la musique symphonique, vous

êtes... dans votre canapé, à écouter de la musique via votre tout nouveau système de home cinéma.

C'est en tout cas ce que vantent les publicités pour les systèmes de «son 3D». Y a-t-il tromperie sur la marchandise ? Non, mais la spatialisation du son proposée par les équipements audio grand public est loin d'être parfaite. En conséquence, ce domaine de recherche est en plein essor. Au fait, de quoi parle-t-on ?

JEUX VIDÉO ET HOME CINÉMA

La spatialisation du son rassemble les techniques de contrôle de la direction apparente de provenance des sons et la simulation ou la modification des effets acoustiques d'une salle de concert. L'introduction des techniques électroacoustiques en musique, au cours du xx^e siècle, a

L'ESSENTIEL

- La perception auditive spatiale dépend de caractéristiques physiologiques et d'un traitement cognitif.

- La spatialisation du son autorise des expériences de réalité augmentée et de nouvelles façons d'écouter, notamment sur les appareils mobiles.

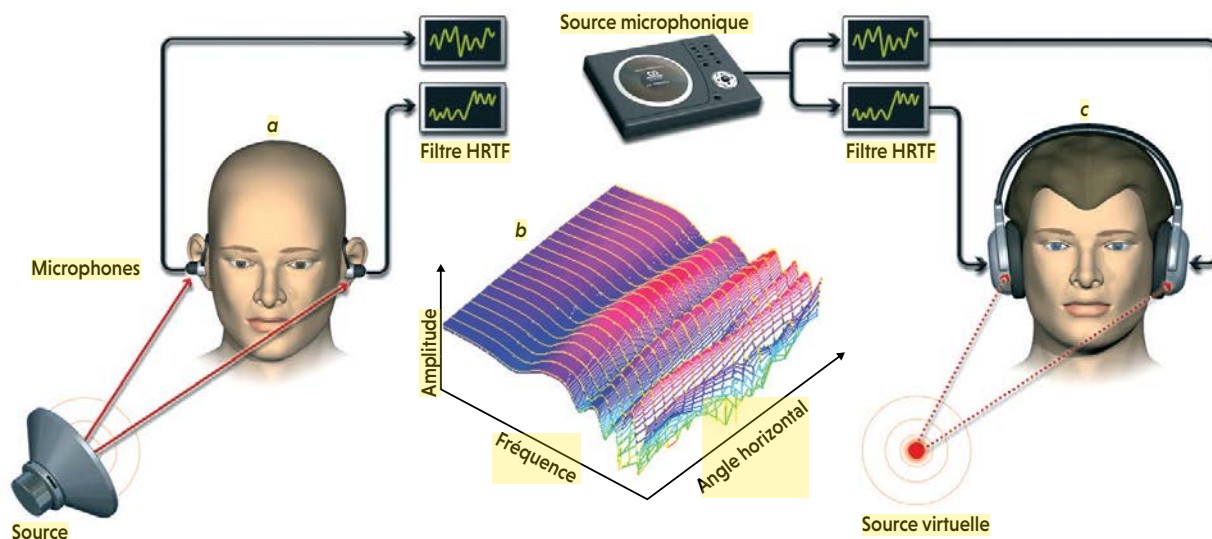
- La technique binaurale restitue l'illusion d'un son spatialisé dans un casque à l'aide de filtres encodant l'effet des directions de provenance.

- L'holophonie consiste à reconstruire le champ acoustique voulu dans toute une région de l'espace.

L'AUTEUR



OLIVIER WARUSFEL est chargé de recherche à l'Ircam, où il dirige l'équipe Acoustique des salles.



considérablement enrichi le répertoire des timbres, mais aussi la mise en scène des sons dans l'espace. La spatialisation du son est devenue un aspect incontournable de la création musicale. Grâce à l'outil informatique, il est désormais possible de placer et d'animer des sources sonores de façon arbitraire, dans n'importe quelle direction, et ainsi de prolonger la scène traditionnelle où se trouvent les instrumentistes.

En parallèle, la spatialisation du son a connu une percée fulgurante chez le grand public par le biais des dispositifs de son 3D pour le home cinéma ou les jeux vidéo. Dans ces derniers, une composante sonore spatialisée est essentielle pour accroître le réalisme et l'immersion du joueur dans l'environnement de synthèse.

Quel que soit leur domaine d'application, les procédés de spatialisation font appel à plusieurs disciplines : informatique, acoustique, traitement du signal, psychoacoustique ou encore cognition. La synthèse de la direction et de la distance des sources sonores, de la propagation du son, ainsi que sa reproduction s'appuient à la fois sur la modélisation physique des phénomènes en jeu et sur des modèles de la perception auditive spatiale.

D'OÙ VIENT CE SON ?

Intéressons-nous d'abord à la perception spatiale du son, à la base de diverses techniques de spatialisation du son. Contrairement à la vue, qui chez l'être humain, souffre d'un champ limité, l'audition couvre l'ensemble de l'espace. Notre capacité à localiser des sources sonores repose sur la comparaison entre les signaux parvenant à nos deux oreilles, qui dépendent bien sûr de la position de celles-ci, mais aussi de la diffraction des ondes acoustiques sur notre tête. Ces phénomènes dépendent de la direction d'incidence des ondes et permettent de localiser la source.

Les performances de localisation du système auditif humain en azimut (dans le plan

La restitution binaurale. Pour une source donnée, on mesure d'abord les différences de temps d'arrivée et d'amplitudes aux deux oreilles d'un auditeur (a). Ces différences, qui permettent de localiser la source sonore, sont caractérisées par une paire de filtres dits HRTF (b). On construit de même des filtres pour toutes les directions. Pour spatialiser un son monophonique, il suffit ensuite d'appliquer au signal émis la paire de filtres correspondant à la direction souhaitée : tout se passe comme si le son reconstruit venait d'une source virtuelle située au même endroit que la source réelle d'origine (c).

horizontal) sont de l'ordre de trois degrés pour des sources voisines du plan de symétrie de la tête. Elles tombent à une dizaine de degrés pour des sources situées sur le côté.

Comment fonctionne la localisation en azimut ? Les deux indices fondamentaux sont la différence entre les temps d'arrivée aux oreilles (ITD, pour *interaural time difference*), traduisant leur écartement, ainsi que la différence d'intensité (ILD, pour *interaural level difference*), liée à l'obstacle de la tête. Ces indices dits binauraux décrivent les relations entre les signaux captés par les deux oreilles. Toutefois, des considérations géométriques simples révèlent qu'à un couple de valeurs données des indices interauraux de retard et d'intensité correspondent plusieurs directions possibles. Ainsi, pour chaque direction dans le plan médian, les différences interaurales sont nulles. Des mécanismes plus fins sont nécessaires pour différencier les directions dans cette zone de confusion et plus généralement permettre la localisation en élévation.

En raison de l'interaction complexe des ondes sonores avec notre corps (diffraction par le crâne, le pavillon de l'oreille, les épaules...), les variations de différences d'intensité dépendent de la fréquence du son. Dans les basses fréquences, les longueurs d'onde – plusieurs mètres – sont grandes par rapport aux dimensions de la tête. Celle-ci n'est donc pas un obstacle majeur et la différence de niveau sonore entre l'oreille du côté de la source (ipsilatérale) et l'oreille opposée (controlatérale) est faible.

Plus la fréquence du son est élevée – plus sa longueur d'onde diminue –, plus les caractéristiques morphologiques contribuent à différencier les signaux parvenant aux deux oreilles. Ainsi, chaque direction d'incidence s'accompagne d'une « coloration spectrale » particulière du son, que notre cerveau apprend à identifier. En d'autres termes, la perception auditive spatiale consiste à décoder l'effet de notre propre perturbation sur