



Abonnez-vous à POUR LA SCIENCE

Plus de
24%
de réduction

OFFRE DÉCOUVERTE
12 n°s par an
4,90€
PAR MOIS
SEULEMENT

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☒ **OUI**, je m'abonne à **Pour la Science** formule Découverte.
Je règle par prélèvement automatique de 4,90€ par mois et
je complète l'autorisation ci-contre. **J'économise 24% par mois.**
(IPV4E90)

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____

@ _____

J'accepte de recevoir les informations de *Pour la Science* ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/03/2017 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à *Pour la Science*. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre.

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA En signant ce mandat SEPA, j'autorise *Pour la Science* à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

IBAN _____
(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier

Pour la Science - 8 rue Férou - 75006 Paris

N° ICS FR92ZZZ426900

N° de référence unique de mandat (RUM)

Joindre un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

La simulation **numérique** au service du **son 3D**

Matthieu Aussal et François Alouges

Un univers sonore comme si vous y étiez, mais avec un simple casque d'écoute : grâce notamment à des méthodes efficaces pour résoudre numériquement certaines équations, ce rêve des techniques de réalité virtuelle se concrétise enfin.



L'ESSENTIEL

■ On cherche à reproduire fidèlement et en temps réel des scènes sonores, de façon que l'auditeur, muni d'un simple casque, perçoive la direction et la distance de chacune des sources de sons.

■ Cela nécessite entre autres la détermination de fonctions, nommées HRTF, qui caractérisent l'influence de la forme de la tête et des oreilles de l'auditeur sur le son perçu.

■ On sait aujourd'hui calculer avec efficacité ces fonctions, plutôt que les mesurer en laboratoire, ce qui est fastidieux et coûteux.

© Eshkin | Shutterstock.com

Avec la révolution numérique, des techniques qui relevaient autrefois de la science-fiction s'introduisent dans nos vies et se banalisent rapidement. Il en est ainsi de la visualisation de scènes en relief, ou visualisation 3D. Une décennie a suffi pour que les cinémas, suivis de la télévision ou des jeux vidéo, soient conquis, et l'on a assisté à l'essor de casques de réalité virtuelle qui immergent leur porteur dans une scène visuelle d'aspect réaliste où il peut se déplacer. Même si des applications autres que récréatives (conception assistée par ordinateur, aide au diagnostic médical, entraînement de chirurgiens, etc.) sont encore en développement, le potentiel de

■ LES AUTEURS



Matthieu AUSSAL est ingénieur de recherche au Centre de mathématiques appliquées (CMAP) de l'École polytechnique, à Palaiseau.

François ALOUGES est professeur de mathématiques appliquées au CMAP.

Matthieu Aussal a reçu en 2015 le prix AMIES (Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société) pour sa thèse de doctorat.

ces systèmes laisse peu de doutes quant à leur avenir.

Ces casques de visualisation immersive commencent à livrer des informations acceptables et persuasives pour notre système visuel. Mais il n'en est pas de même pour ce qui est des informations fournies à notre système auditif.

De quoi s'agit-il ? Au même titre que nos yeux nous permettent de voir en trois dimensions, nos oreilles nous fournissent, inconsciemment et en continu, des informations spatiales contenues dans le son, notamment sur la position et le mouvement des sources sonores. Lorsque ces informations auditives sont absentes, voire contradictoires avec les informations visuelles, notre système cognitif le supporte mal. Parfois, il supprime même l'illusion offerte par le dispositif de réalité virtuelle, ce qui rend désagréable l'expérience vécue par l'utilisateur et peut même provoquer des nausées.

La compréhension des mécanismes physiques et physiologiques de la spatialisation sonore est donc indispensable pour offrir une expérience immersive, complète et persuasive de réalité virtuelle : s'il est facile de comprendre que nos deux yeux voient la même scène d'un point de vue légèrement différent, il est beaucoup plus difficile de savoir ce qu'entend exactement chacune de nos oreilles lorsque nous sommes plongés dans une scène sonore.

Parmi les nombreuses recherches consacrées à ce sujet, l'une des démarches consiste à simuler par ordinateur, à l'aide de modèles mathématiques, la propagation des ondes sonores, de la source du son jusqu'au

conduit auditif de l'oreille. Ces simulations numériques, qui sont l'objet du présent article, peuvent en effet livrer des résultats comparables à ceux des mesures effectuées en laboratoire, mais avec davantage de souplesse et de répétabilité, pour un coût modique. Ces « expériences numériques » autorisent la confrontation d'hypothèses, la validation ou l'invalidation de modèles, et fournissent des données utiles pour les applications destinées au grand public.

Pour mieux comprendre l'intérêt des recherches sur le son 3D et l'approche par la simulation numérique, rappelons qu'il existe déjà sur le marché des dispositifs réalisant une spatialisation du son, au moyen d'un ensemble de haut-parleurs diffusant chacun un canal sonore approprié. Les chaînes *home cinema* 5.1 ou 7.1, voire les 64 canaux proposés par le système Atmos de Dolby, en sont des exemples. Ces dispositifs permettent de positionner virtuellement des objets sonores autour de l'auditeur, en jouant par exemple sur des différences d'intensité entre les haut-parleurs, des effets de retard ou de réverbération. C'est une sorte de généralisation du système de stéréophonie bien connu.

Un rendu spatial avec juste un casque

D'autres techniques plus récentes, telles que la HOA (*High Order Ambisonics*, « ambisonie d'ordre élevé ») ou la WFS (*Wave Field Synthesis*, ou « synthèse de front d'ondes »), fonctionnent sur des principes équivalents, quoique plus complexes dans leur formalisme mathématique.

Cependant, tous ces systèmes sont confrontés à la même limitation : la précision du rendu spatial est directement proportionnelle au nombre d'enceintes. Ils restent donc encombrants, malgré les efforts de miniaturisation. Aussi, bien que ces dispositifs soient tout indiqués pour équiper de grands volumes (salles de cinéma, auditoriums, salles de spectacle, etc.), ils sont incompatibles avec la portabilité et la mobilité des casques de réalité virtuelle. Il faut donc se tourner vers la technique de spatialisation sonore adaptée, à savoir la « synthèse binaurale » sur casque audio.

L'écoute binaurale désigne les perceptions auditives engendrées par une stimulation sonore des deux oreilles. L'idée de la synthèse binaurale est donc de synthétiser le son adéquat destiné à chaque oreille.

LE SYSTÈME WAVE FIELD SYNTHESIS (WFS), ou Synthèse de front d'ondes, ici celui de l'Ircam à Paris, utilise un grand nombre de haut-parleurs pour créer dans l'espace des « hologrammes sonores », c'est-à-dire des sources virtuelles donnant l'impression que c'est d'elles, et non des haut-parleurs, qu'émane le son.

