

dissipation qui se fait au travers des collisions avec les molécules voisines.

Autrement dit, un échauffement local se produit autour des molécules ayant absorbé de la lumière, que celles-ci se trouvent dans un milieu gazeux, liquide ou solide. Au lieu d'advenir uniquement en surface, l'échauffement dans un gaz ou dans un milieu transparent se produit en volume, et est proportionnel à la concentration de molécules qui absorbent la lumière. Le résultat est toujours une émission de son si la lumière est modulée.

SPECTROSCOPIE ET IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUES

Un autre intérêt de ce processus est sa sélectivité. Comme il implique une transition entre deux niveaux moléculaires d'énergie, il suffit de choisir la bonne fréquence lumineuse pour exciter préférentiellement certaines molécules. C'est particulièrement utile dans la détection de gaz à l'état de traces. Par exemple, de nombreux gaz polluants ou composés organiques volatils absorbent à certaines longueurs d'onde comprises entre 1 et 10 micromètres (dans l'infrarouge). L'amplitude de la réponse acoustique étant proportionnelle à la concentration du gaz sondé, on peut remonter à la valeur de cette dernière, indépendamment des conditions de température, de pression, de présence d'autres composés, etc.

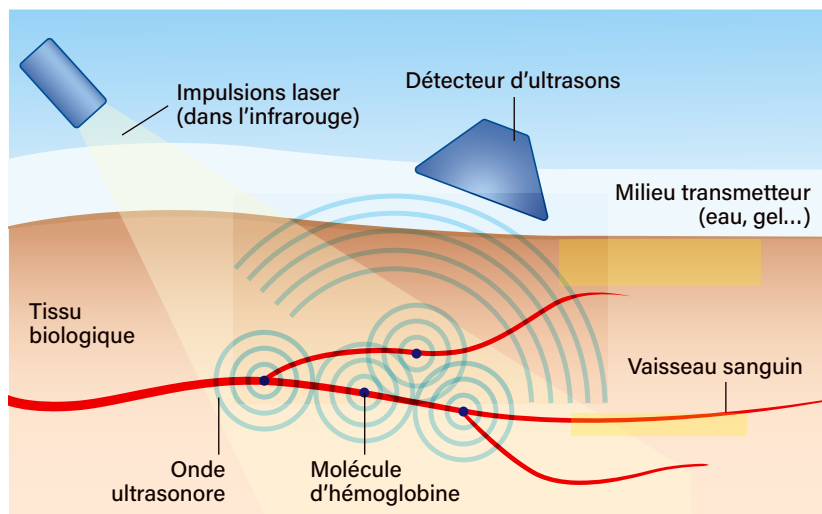
Les meilleurs dispositifs permettent ainsi de détecter dans l'air des concentrations d'éthylène ou d'hydrogène sulfuré inférieures à une partie par million. Dans le souci actuel de mieux vérifier la qualité de la ventilation, on trouve aussi désormais des détecteurs photoacoustiques de gaz carbonique. Par ailleurs, avec une source lumineuse accordable, il est possible de sonder plusieurs gaz à la fois en faisant varier la fréquence lumineuse.

Enfin, on peut inverser la démarche et étudier le spectre d'absorption lumineux d'un matériau en enregistrant sa réponse acoustique. C'est particulièrement judicieux lorsque le matériau absorbe très peu : le son qu'il émet est proportionnel à la quantité d'énergie lumineuse absorbée. Sa mesure se fait par rapport à une référence «sourde» (l'équivalent acoustique d'un fond noir), indépendamment de l'énergie lumineuse restante.

On retrouve ces avantages et d'autres encore dans un domaine très différent, celui de l'imagerie médicale (voir l'encadré ci-dessus). En effet, de nombreuses

IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUE

L'effet photoacoustique a des applications en imagerie médicale. Si par exemple la longueur d'onde lumineuse est choisie de façon à correspondre à l'excitation des molécules d'hémoglobine, on peut visualiser les vaisseaux sanguins. Une source laser émet des impulsions lumineuses à une certaine fréquence f . En absorbant des photons et en se désexcitant, les molécules d'hémoglobine (ici quatre sont pointées) échauffent leur environnement immédiat lors des phases éclairées, d'où une alternance de dilatations et de compressions qui engendre l'émission d'ondes acoustiques de fréquence f . Ces ondes, qui se propagent sans déformation dans les tissus mous, sont enregistrées par des capteurs acoustiques. L'analyse des signaux permet alors de construire une image.



molécules naturellement présentes dans le corps humain ont une réponse photoacoustique forte, ce qui évite l'injection des «agents de contraste» utilisés dans d'autres techniques d'imagerie. C'est, par exemple, le cas de l'hémoglobine; on obtient ainsi, avec la photoacoustique, des «images» de bonne résolution de la vascularisation sanguine, ce qui faciliterait le diagnostic précoce de certaines tumeurs (qui s'accompagnent de la création de nouveaux vaisseaux sanguins).

L'excellente qualité de ces images tient aussi au fait que les tissus mous du corps diffusent très peu les ondes acoustiques, contrairement au cas des ondes lumineuses. Grâce à cette transparence, les ondes acoustiques émises par les zones qui absorbent la lumière se propagent dans toutes les directions sans être déformées. En disposant un réseau de capteurs qui recueillent ces ondes à différents instants, il est possible de remonter à l'origine de l'émission de ces ondes et de reconstruire ensuite les images tridimensionnelles correspondantes : tel est le principe de la tomographie photoacoustique. Une bien belle descendance pour le photophone, invention que Bell tenait pour plus importante encore que le téléphone... ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Vilov et al., **Imagerie photoacoustique biomédicale**, *Photoniques*, n° 94, pp. 24-29, 2018.

M. Duquesnoy et al., **Détection de gaz par spectroscopie photoacoustique : principe et mise en œuvre**, *Photoniques*, n° 94, pp. 38-44, 2018.

A. C. Tam, **Applications of photoacoustic sensing techniques**, *Reviews of Modern Physics*, vol. 58(2), pp. 381-431, 1986.

ABONNEZ-VOUS À

Pour la Science

OFFRE RENTRÉE

1 AN

3 FORMULES
AU CHOIX

	FORMULE PAPIER	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an			✓
Le hors-série papier 4 numéros par an		✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an			✓
Accès à pouirlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996			✓
10 € DE RÉDUCTION		✓	✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	59€ Au lieu de 82,80€	69€ Au lieu de 114,40€	89€ Au lieu de 174,40€
	29 % de réduction *	40 % de réduction *	49 % de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Service Abonnements Pour la Science – 56, rue du Rocher – 75008 Paris – Courriel : serviceclients@groupepourlascience.fr

PAG21REN



**OUI, je m'abonne
pour 1 an à** Pour la Science

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)

☐	FORMULE PAPIER • 12 n° du magazine papier	59€ Au lieu de 82,80€	1-F-PAP-N-12N-59€
☐	FORMULE PAPIER + HORS SÉRIE • 12 n° du magazine papier • 4 Hors-série papier	69€ Au lieu de 114,40€	1-F-HSPAP-P-12N-69€
☐	FORMULE INTÉGRALE • 12 n° du magazine (papier et numérique) • 4 Hors-série (papier et numérique) • Accès illimité aux contenus en ligne	89€ Au lieu de 174,40€	1-F-INT-P-12N-89€

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Téléphone :

Courriel : (indispensable pour la formule intégrale)

.....@.....

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



Pour un paiement par carte bancaire, rendez-vous sur boutique.groupepourlascience.fr/offres-rentree-PLS

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/03/2022 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site boutique.groupepourlascience.fr. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément les numéros de Pour la Science pour 6,90 € et les hors-séries pour 7,90 €.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement 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@pouirlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris CEDEX 14 - Sarl au capital de 32 000€ - RCS Paris B 311 797 393 - Siret : 311 797 393 000 23 - APE 58.14 Z