



l'ensemble musical dense. En effet, la focalisation de l'attention sur un flux donné conduit à une diminution de l'intensité perçue des flux non sélectionnés. Nous avons réalisé une expérience où nous avons mesuré cette atténuation subjective due à l'attention : les sujets écoutent différents flux sonores dont les intensités physiques sont identiques et fixées à 70 décibels. Nous avons mesuré que l'auditeur est capable, grâce à ce mécanisme mental d'atténuation, de diminuer l'intensité relative des flux qu'il souhaite ignorer d'au moins 15 décibels. Nous mettons en place ce même mécanisme mental quand nous

cherchons à suivre une conversation particulière dans une pièce bondée, ou quand nous parvenons à «oublier» les pas dans les allées pendant le concert.

Nous avons aussi montré que le cerveau ne semble pas être capable de créer autant de flux simultanés qu'il y a de sources potentielles dans l'environnement. Nos recherches, menées en collaboration avec Carolyn Drake de l'Université Paris 5, indiquent que le nombre de flux perceptifs serait limité à quatre (trois flux intelligibles, plus un fond inorganisé). Dans notre expérience, le sujet écoute, dans un casque, des séquences sonores composées de la superposition de sous-séquences rythmiques simples et régulières. Il doit détecter un léger changement de rythme dans une de ces sous-séquences ; il ne peut le faire que s'il perçoit la sous-séquence comme un flux régulier, indépendamment de l'irrégularité générale de l'ensemble. Le sujet ne semble pas capable d'écouter plus de quatre flux simultanément. Emmanuel Bigand et Cécilia Garnier, du Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement de l'Université de Bourgogne, ont fait des expériences similaires avec des sons de la vie quotidienne, tels les aboiements de chiens ou des bruits de voiture ; ils ont confirmé nos résultats, en montrant que les auditeurs ne peuvent pas dénombrer plus de quatre flux indépendants au sein de scènes sonores composées de plusieurs sources différentes.

Pourquoi Bach a-t-il alors composé des fugues comportant jusqu'à six voix, puisqu'il est impossible d'en écouter plus de quatre simultanément, même pour un auditeur expert ? D'après l'analyse de ses partitions, quel que soit le nombre total de lignes mélodiques, Bach a composé de telle sorte qu'il n'y en ait que trois ou quatre jouées à la fois. Bach connaissait les limites du système auditif de son public...

Renaud BROCHARD, Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement, Université de Bourgogne

Cristallisation acoustique

On a cristallisé de l'hélium liquide avec des ondes sonores intenses.

Dans l'imagination du dessinateur Hergé, la voix de la Castafiore avait une puissance telle qu'elle brisait les verres à distance. Plus sérieusement, dans les hôpitaux, les médecins parviennent à casser des calculs rénaux à l'aide d'ultrasons. À l'École normale supérieure de Paris, avec Xavier Chavanne et Frédéric Caupin, nous utilisons aussi des ondes sonores... pour cristalliser un liquide.

Inutile de vous égosiller pour tenter de transformer de l'eau en glace, vous n'arriverez jamais aux puissances nécessaires. Pour atteindre 200 décibels, 100 000 fois le bruit d'un moteur d'avion à réaction, nous avons placé un émetteur piézo-électrique directement dans un liquide. Afin d'augmenter l'intensité sonore, l'émetteur est hémisphérique, ce qui focalise les ondes dans une région qui est d'autant plus petite que la longueur d'onde est courte (ou encore la fréquence élevée). Nous utilisons par conséquent des ultrasons de haute fréquence, à un mégahertz, environ six octaves au-dessus de la limite audible par l'homme.

Pour explorer les effets des ultrasons dans la matière, nous avons commencé par l'hélium liquide à 65 millikelvins (environ -273°C) et à 25 fois la pression atmosphérique normale (25×10^5 pascals), tout près de la pression d'équilibre entre le liquide et le solide. Nous avons mesuré l'intensité de

nos ultrasons en étudiant la réflexion d'un faisceau laser sur une plaque de verre propre, insérée dans l'hélium liquide, au point focal acoustique. L'intensité laser réfléchie varie en fonction de la densité de l'hélium, et nous en avons déduit la pression locale. Lorsque la pression au point focal atteint $4,7 \times 10^5$ pascals de plus que les 25×10^5 pascals ambiants, de petits cristaux apparaissent au point focal de l'onde sonore.

Ces cristaux croissent jusqu'à 15 micromètres (15 millièmes de mètres) en 150 nanosecondes (150 milliardièmes de seconde) pendant la phase de compression de l'onde, donc à la très grande vitesse de 100 mètres par seconde. Un quart de période plus tard, l'onde acoustique passe en phase de décompression, les cristaux fondent aussi vite, et ainsi de suite, tant que l'onde sonore est entretenue. Nous avons observé ce phénomène relativement facilement parce que les cristaux d'hélium croissent ou fondent extrêmement



Cristal d'hélium obtenu par compression lente à partir d'un germe.

rapidement. Plus pur et plus froid que tous les autres liquides, l'hélium cristallise en effet 10 milliards de fois plus vite vers 100 millikelvins que l'eau vers 0 °C. Bien que la «cristallisation acoustique» puisse avoir lieu dans tout liquide, son observation est plus facile dans l'hélium où les cristaux, croissant plus vite, sont plus gros.

Aussi spectaculaire que cette cristallisation paraisse, nous cherchons en fait à reculer les limites de son déclenchement. Nous nous intéressons en effet au retard que subit le passage de la matière d'un état «métastable» à un état stable. L'eau, par exemple, existe «en surfusion» en dessous de 0 °C : elle peut rester liquide jusqu'à -40 °C (à condition de prendre de l'eau et un récipient très propres). Mais pourquoi la matière tarde-t-elle ainsi à changer d'état? Pour le comprendre, nous étudions aussi un phénomène symétrique,

la «cavitation acoustique» : des bulles de gaz naissent dans les liquides à basse pression, lorsqu'ils sont soumis aux mêmes ondes acoustiques intenses, mais, cette fois, pendant les phases de fortes détentes. Cette cavitation est utile en médecine (pour la destruction des calculs rénaux, par exemple) ou pour le nettoyage des surfaces.

En observant de l'hélium liquide surpressurisé (de $4,7 \times 10^5$ pascals), nous avons obtenu une surpression 100 fois supérieure à celles mesurées précédemment (avec d'autres techniques), et nous devrions être capables de faire encore mieux. Insensible aux impuretés, la cristallisation acoustique devrait permettre de comprendre quelle est la limite extrême jusqu'à laquelle un liquide peut être comprimé sans cristalliser.

Sébastien BALIBAR,

Laboratoire de Physique statistique, École normale supérieure

Le pouvoir du rien

Votre esprit peut-il convaincre votre corps de guérir tout seul?

Prenez ces pilules, elles contiennent un analgésique puissant. Dans quelques minutes, votre rage de dents ne sera qu'un mauvais souvenir. Quelques minutes plus tard, le mal a disparu. Pourtant, les pilules ne contenaient... rien. Vous avez bénéficié de l'effet placebo.

L'influence de l'esprit sur le corps est bien connue : par exemple, la colère dilate les vaisseaux sanguins de notre visage, ou bien, la tristesse nous tire les larmes. Et l'effet de l'esprit sur la douleur? Et l'effet placebo? S'il reste mystérieux, quelques travaux nous éclairent sur son fonctionnement.

Pour étudier l'effet placebo, Fabrizio Benedetti et ses collègues de l'Université de Turin ont tapé, plusieurs

fois par jour, pendant plusieurs jours, sur l'avant bras de volontaires ; la douleur était supprimée par de la morphine. Le dernier jour, ils ont remplacé la morphine par une solution d'eau salée : l'effet analgésique a persisté. Puis ils ont ajouté, à la solution d'eau salée, de la naloxone, un composé qui inhibe les endorphines, des substances que l'on synthétise naturellement et qui ont des effets analogues à ceux de la morphine, c'est-à-dire qu'elles luttent contre la douleur. Ils ont alors constaté que la douleur réapparaissait ; dans ce cas, l'effet placebo était bien réel, puisqu'il était aboli par la naloxone.

Ainsi, quand la solution placebo contient de la naloxone, qui empêche les substances analgésiques naturelles d'agir, la douleur réapparaît. En cas de douleur (les coups) l'organisme synthétise des endorphines dont l'effet est renforcé par l'administration de morphine. Lorsque l'organisme est «conditionné» à ces endorphines libérées en cas de douleur, ces substances suffisent à calmer la douleur, même en l'absence de morphine. Dans cette expérience, l'effet analgésique du placebo est dû, au moins en partie, à la libération des dérivés opiacés humains naturels.

On ignore encore comment la «foi» libère des endorphines. De nombreux paramètres semblent intervenir. Par exemple, on a montré que des pilules sans effet sont plus «efficaces» quand elles sont rouges plutôt que bleues, vertes ou jaunes... La façon dont le médicament est prescrit joue aussi un rôle sur son efficacité. Selon une autre étude, les prescriptions des médecins chaleureux, amicaux et rassurants sont plus efficaces que celles de praticiens qui se contentent d'une consultation formelle. Dès lors comment peut-on étudier l'effet placebo? Des essais cliniques pourraient per-

mettre de trancher enfin le débat. Toutefois, ils ne satisfont ni partisans ni adversaires du concept de l'effet placebo : quand on veut tester un traitement, classique ou alternatif, on supprime nécessairement toute personnalisation des soins, ce qui, pour certains, est au cœur de l'efficacité des placebo.

Asbjorn Hrobjartsson et ses collègues de l'Université de Copenhague, ont précisé l'étendue de l'effet placebo. Ils ont analysé les résultats de 114 essais cliniques où l'on évaluait l'efficacité d'un futur médicament soit en administrant réellement le médicament, soit en faisant croire au patient qu'on lui administrait la substance, mais il ne recevait qu'un placebo, soit en ne lui prescrivant aucun traitement du tout. Selon ces résultats, dans les maladies où les résultats attendus sont nets (on guérit complètement ou non), le placebo n'a pas plus d'effet que l'absence de traitement. En revanche, l'effet placebo se manifeste dans les traitements dont l'effet attendu est plus nuancé (l'état du malade peut s'améliorer même si la guérison n'est pas complète), ou dans les traitements contre la douleur.

L'effet placebo et la médecine classique sont-ils pour autant irréconciliables? Peut-on offrir le choix aux malades, comme le proposent les services de santé britanniques entre un traitement classique et un traitement alternatif? Ce choix pose des questions d'éthique aux médecins quand ils savent que le résultat est fondé sur l'effet placebo, lequel n'est pas garanti. Longtemps dans l'histoire de la médecine, la compassion et l'attention, qui contribuent pour beaucoup à l'effet placebo, ont été les seuls traitements (ou presque) que les médecins avaient à offrir. La science a enrichi l'arsenal thérapeutique, mais quelques expériences récentes indiquent que l'effet placebo semble aussi avoir sa place dans la lutte contre certaines maladies.

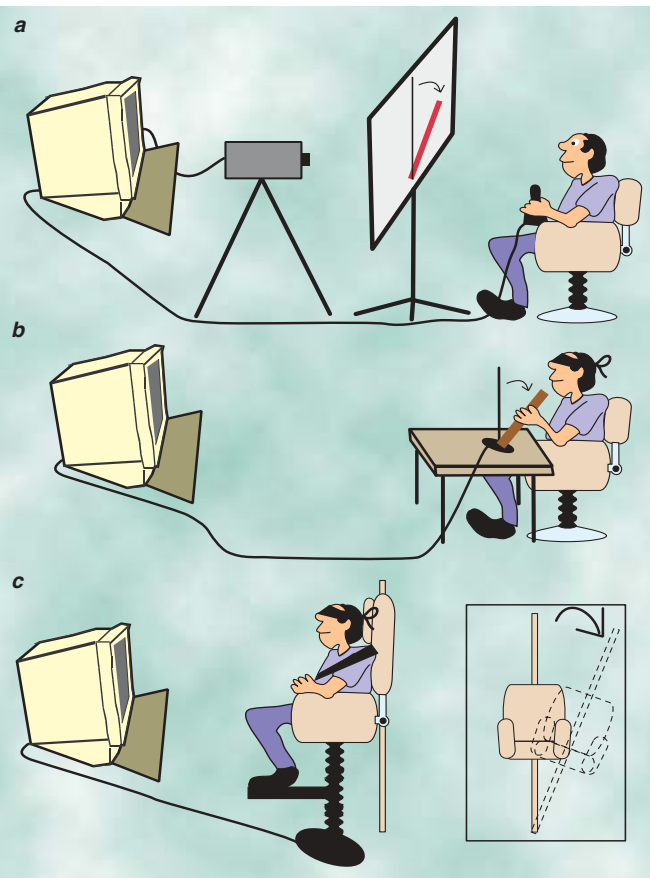


Une question de bon sens

Notre organisme perçoit mieux la direction verticale que les directions obliques.

Sur les manèges des fêtes foraines, tous nos sens sont soumis à rude épreuve. Notre sens de l'orientation aussi : quand nous n'avons pas la tête en bas, le manège penche à droite, puis à gauche, et encore à droite. On se sent bien plus à l'aise dès que le manège retrouve sa position de départ et nous, une orientation «normale». Nous venons de réaliser une expérience qui montre que les différents sens de notre organisme perçoivent mieux l'orientation verticale que les orientations obliques.

De façon générale, l'orientation d'un objet dans l'espace se définit par rapport à un axe de référence, et par l'angle qu'il forme avec cet axe. Deux orientations se distinguent parmi toutes celles de notre environnement : l'axe vertical, qui correspond à la direction de la force de gravitation à laquelle nous sommes soumis, et l'axe horizontal, qui est celui de l'horizon visuel. La combinaison de ces deux axes forme un



La direction verticale constitue une orientation de référence pour notre perception de l'espace, quel que soit le système perceptif étudié, comme le montrent ces trois expériences. Dans la première expérience qui explore le système visuel (a), le sujet observe une baguette projetée sur un écran ; puis, on la déplace et il doit la remettre dans la même orientation, à l'aide d'une manette. Dans la deuxième expérience qui explore le système haptique (b), le sujet a les yeux bandés et doit retrouver l'orientation initiale d'une baguette par le toucher. Dans la troisième expérience (c), le sujet est placé sur une chaise inclinable et doit retrouver l'inclinaison initiale de la chaise. Dans les trois cas, les sujets retrouvent plus facilement l'orientation verticale (toutes les données sont enregistrées sur ordinateur).

cadre de référence dans un espace bidimensionnel où toutes les autres orientations sont dites obliques.

L'orientation est une propriété spatiale perçue par les yeux (le système visuel), par la main (le système «haptique») ou encore par l'ensemble du corps (le système «somato-vestibulaire»). Nous avons réalisé trois expériences avec Marion Luyat (Université de Lille), Yvette Hatwell (Université de Grenoble), et le Centre de recherches du service de santé des armées de La Tronche, pour déterminer si l'orientation verticale est utilisée comme une norme de référence par ces trois systèmes pour définir les orientations obliques. Si l'orientation verticale est privilégiée, dans quelle mesure cette norme de référence verticale est-elle commune aux trois systèmes perceptifs ?

Dans les trois expériences, 36 adultes devaient retrouver soit l'orientation initiale d'une baguette, en la regardant ou en la touchant les yeux bandés, soit l'orientation de leur propre corps, par la perception «somato-vestibulaire», grâce à une chaise inclinable. Dans la première épreuve, visuelle, le sujet regarde une baguette lumineuse projetée sur un écran dans une pièce noire. La baguette prend différentes orientations, verticale ou obliques (-45 degrés, -30 degrés, -15 degrés, 15 degrés, 30 degrés et 45 degrés). Puis la baguette disparaît, et, après dix secondes, le sujet doit repositionner la baguette (déviée de plus ou moins 20 degrés par rapport à l'orientation testée) et lui rendre l'orientation qu'elle avait au début, à l'aide d'une manette.

Dans la deuxième épreuve, haptique, le sujet a un bandeau sur les yeux. Il explore avec sa main droite une baguette réelle, puis on la lui enlève. Dix secondes plus tard, on la lui redonne (déviée de plus ou moins 20 degrés) et il doit reproduire son orientation en utilisant seulement sa main droite (il a toujours les yeux bandés). Dans la troisième épreuve, somato-vestibulaire, le même sujet, dont les yeux sont bandés, est assis sur une chaise inclinable robotisée. On impose à la chaise une des inclinaisons testées, puis, quelques instants plus tard, on impose cette position avec un écart de plus ou moins 20 degrés ; le sujet, toujours assis sur la chaise, doit reproduire son inclinaison initiale, en orientant lui-même la chaise à l'aide d'une manette.

Pour chaque épreuve et pour chaque orientation, nous avons mesuré l'écart en degrés entre l'orientation initiale et celle reproduite par le sujet. Dans les trois épreuves, les personnes qui ont participé aux expériences retrouvent avec plus de précision l'orientation verticale que les six autres orientations obliques, ce qui était connu pour les systèmes visuel et haptique. En revanche, c'est la première fois que l'on montre que c'est aussi le cas pour le système somato-vestibulaire. Ainsi, les trois systèmes perceptifs semblent utiliser l'orientation verticale comme référence pour définir les orientations obliques. Par ailleurs, les sujets retrouvent plus facilement l'orientation verticale grâce à la vue, un peu moins avec le corps, et encore moins bien par le toucher.

Le système visuel semble donc plus efficace pour percevoir les orientations, que les systèmes somato-vestibulaire et haptique. En revanche, un sujet «doué» pour retrouver une orientation grâce à la vue ne l'est pas forcément quand il utilise les systèmes haptique ou somato-vestibulaire. Il semble qu'il n'y ait aucun lien, chez une même personne, entre la perception des orientations dans l'espace par les trois systèmes : l'efficacité de l'un des systèmes n'impose pas que les autres systèmes soient performants. Bien que l'orientation verticale soit une norme de référence pour chacun des trois systèmes de la perception, les mécanismes sous-jacents différencieraient d'un système à l'autre. De quoi faire tourner la tête des chercheurs pour quelques temps encore.

Édouard GENTAZ, Laboratoire cognition et développement de l'Université de Paris 5