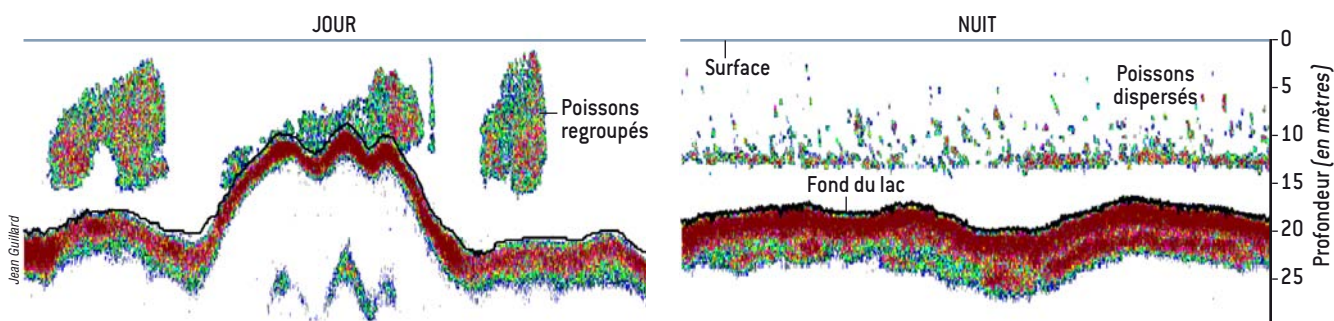




3. LE COMPORTEMENT DES POISSONS change entre le jour et la nuit. Il peut être étudié à l'aide de sondeurs hydroacoustiques. Sur cet enregistrement dans le lac d'Annecy, le fond (la ligne noire) se trouve à environ 20 mètres de profondeur. En fonction de la densité de biomasse, l'intensité du signal enregistré change (l'intensité

croissante du vert au rouge). Durant la journée, les poissons se regroupent par bancs (à gauche). Ils se protègent ainsi contre les prédateurs. Au contraire, durant la nuit, les prédateurs sont moins dangereux, et les poissons se dispersent (à droite) pour se nourrir de zooplancton.

favorise le développement excessif d'algues, ce qui réduit la concentration en oxygène de l'eau – a été l'une des principales perturbations du lac il y a une cinquantaine d'années. Elle est en passe d'y être résolue, mais d'autres facteurs tels que la hausse de la température et des pollutions par des xénobiotiques (pesticides, médicaments...) sont susceptibles de toucher aujourd'hui les populations de poissons et nécessitent de surveiller le lac sur le long terme.

Vers une approche écosystémique

Le suivi doit être régulier, mais un autre critère est également pris en compte aujourd'hui : au lieu d'analyser les espèces indépendamment les unes des autres, on privilégie les approches écosystémiques, qui offrent une vue globale des poissons au sein de leur écosystème. Comme pour le lac du Bourget, il est important de connaître les conditions physico-chimiques de l'eau. Et l'hydroacoustique, à nouveau, apporte de nombreuses informations. Par exemple, la propagation des ondes acoustiques dépend de la densité de l'eau, qui change avec la salinité, la température ou la présence de bulles. En outre, les modifications des caractéristiques de l'eau s'accompagnent de changements dans la répartition des organismes qui peuvent alors servir de marqueurs pour les paramètres hydrologiques. Il est ainsi possible d'observer des panaches sous-marins de méthane, de détecter des thermoclines ou oxyclines (des zones de transition rapide de température ou d'oxygène dissous en profondeur) et de détecter des entrées d'eau douce dans la mer.

Un autre aspect important d'un réseau écosystémique est la relation entre les proies

et les prédateurs. Les poissons interviennent à différents niveaux dans la chaîne alimentaire, comme proies et comme prédateurs. L'hydroacoustique permet de recenser les éléments de la chaîne alimentaire en détectant les plantes immergées, les populations de phyto- et de zooplancton, ainsi que les petits poissons dont se nourrissent les poissons prédateurs. Par exemple, au centre de l'océan Atlantique équatorial, on a mis en évidence de fortes concentrations de thons (*Katsuwonus pelamis* et *Thunnus albacares*), qui ont attiré une intense activité de pêche. Cette densité s'explique par la présence de nombreux bancs de petits poissons *Vinciguerria nimbaria* (*Photichthyidae*).

Des campagnes acoustiques ont montré que, pendant l'hiver boréal, ces proies ont un comportement inhabituel dont on ignore la cause : normalement, le jour, les petits poissons restent à plusieurs centaines de mètres de profondeur, cachés dans l'obscurité, pour se protéger des prédateurs. Or, dans cette région de l'océan, les petits poissons restent présents près de la surface ; les thons, prédateurs visuels, en profitent pour s'en nourrir. Cela a été confirmé par l'étude des contenus stomacaux de thons capturés.

Les changements climatiques qui s'ajoutent à de multiples pressions anthropiques vont conduire à une évolution des écosystèmes aquatiques en termes de propriétés physico-chimiques de l'eau, de qualité des eaux, d'impacts sur le réseau trophique et, par conséquent, sur les populations de poissons. Comment ces écosystèmes et les communautés de poissons réagiront-ils face à ces changements ? L'hydroacoustique permet d'y répondre et d'évaluer les actions menées pour réduire les pressions anthropiques. On peut, par

exemple, chercher à restaurer la qualité des eaux en milieux lacustres, aménager les cours d'eau, (voir l'encadré page 42), améliorer la gestion des ressources halieutiques. Mais on ne maîtrise pas tous les paramètres, et le suivi des communautés de poissons, qui sont des indicateurs de la qualité des eaux lacustres ou marines, est donc plus que jamais indispensable pour anticiper l'évolution des écosystèmes et des réserves de poissons. La capacité de l'acoustique à fournir une vue d'ensemble du milieu, des conditions physico-chimiques au comportement des prédateurs supérieurs, en fait une source précieuse d'informations.

Une méthode incontournable

Avec les données obtenues par hydroacoustique, les chercheurs précisent leurs modèles biogéochimiques et trophiques. Ils cherchent à proposer des scénarios d'évolution des milieux et des populations de poissons en fonction des changements climatiques. Les nouveaux développements, tels que l'approche multifaisceaux ou multifréquences, devraient encore améliorer certains aspects, notamment l'identification des organismes. Au cours des 40 dernières années, l'hydroacoustique est devenue un outil important de l'évaluation des stocks halieutiques. Sa polyvalence et la précision des mesures en font un instrument incontournable pour la gestion écosystémique, car elle permet d'intégrer un grand nombre de facteurs concernant l'environnement et le comportement des poissons. Reste encore à convaincre toutes les parties concernées que les informations qu'elle fournit soient appliquées ! ■

Comment les **concepts** sont-ils codés dans le cerveau ?

Rodrigo Quijan Quiroga, Itzhak Fried et Christof Koch

L'idée d'une personne ou d'un objet connu serait codée par un petit ensemble de neurones, qui s'activeraient spécifiquement.

Akakhi Akakhievitch, brillant neurochirurgien russe, avait un patient qui ne supportait plus sa mère et voulait l'oublier. Il lui ouvrit le crâne et lui retira quelques milliers de neurones liés à la représentation de sa mère. Après l'intervention, le souvenir de la mère avait disparu. Fort de ce succès, A. Akakhievitch se mit en quête des neurones codant le souvenir de la grand-mère.

Cette histoire, bien sûr fictive, est l'œuvre du neurophysiologiste Jerry Lettvin (1920-2011), qui l'a racontée à un groupe d'étudiants de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) en 1969. Il souhaitait ainsi illustrer son hypothèse provocatrice selon laquelle environ 18 000 neurones seulement pourraient coder l'ensemble des expériences conscientes (souvenirs et pensées) liées à une personne ou un objet. Désignée ironiquement par l'expression « théorie du neurone grand-mère », cette affirmation suscite de nombreux débats depuis plus de 40 ans.

Dès la fin du XIX^e siècle, le psychologue américain William James avait émis une idée voisine, postulant que l'expérience

L'ESSENTIEL

■ On identifie une personne ou un objet connu quelle que soit sa représentation (images variées, nom écrit, etc.). Autrement dit, le concept de cet objet ou de cette personne est enregistré dans le cerveau.

■ Pour certains spécialistes, les concepts sont codés par un petit nombre de neurones, voire un seul. Selon d'autres, ils sont répartis sur des centaines de millions de neurones.

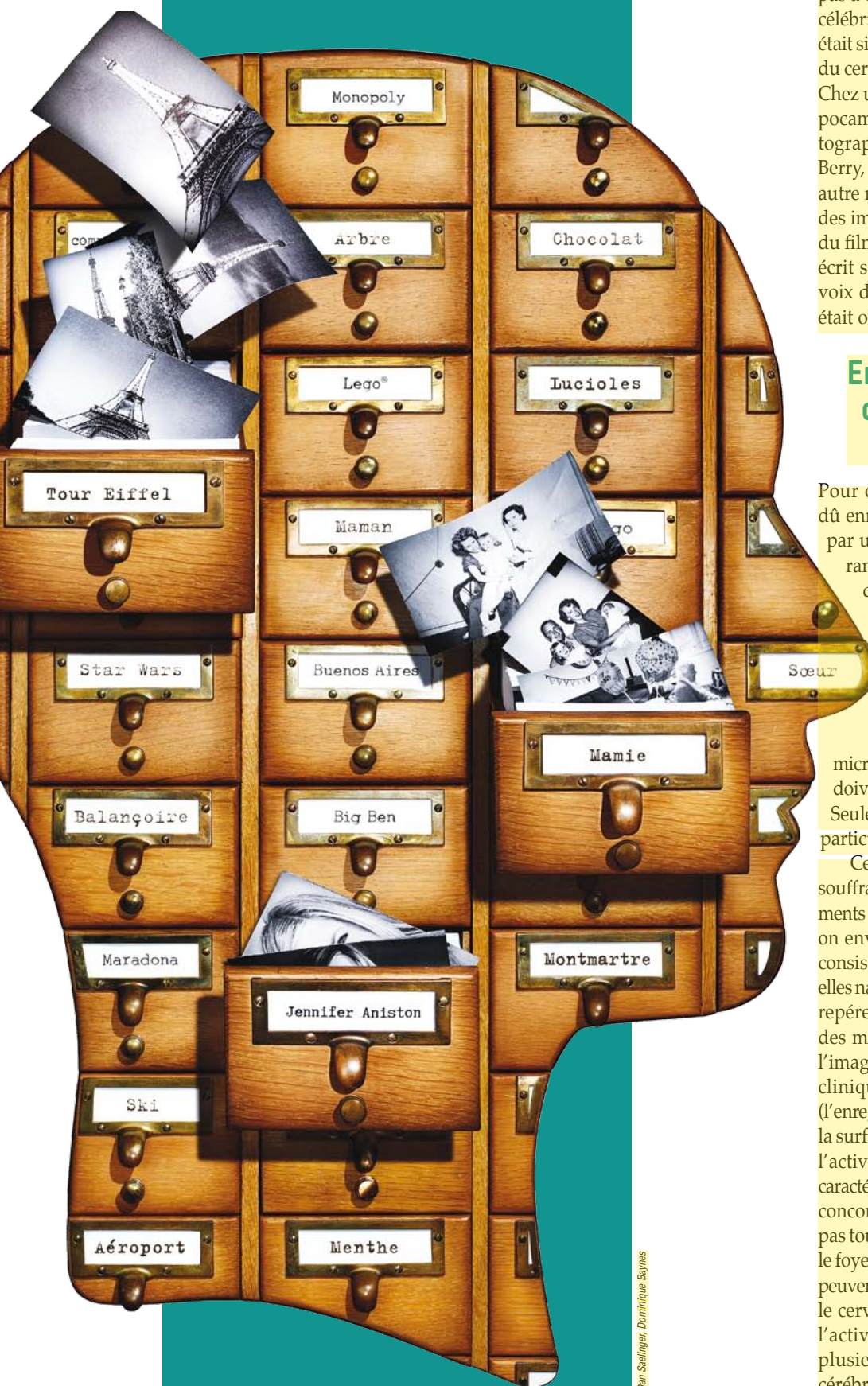
■ Des expériences réalisées lors d'opérations chirurgicales du cerveau confortent la première théorie.

consciente de chaque objet était portée par une cellule cérébrale spécifique. Cependant, l'hypothèse du neurone grand-mère est en opposition avec la théorie dominante, selon laquelle la perception d'un individu ou d'un objet est traitée par des groupes de millions, voire de milliards de neurones. D'après cette théorie, l'activité d'un seul neurone ne crée pas de signification ; seuls de multiples neurones qui coopèrent en sont capables.

La question n'est pas tranchée : un petit nombre de neurones – quelques milliers, voire moins – suffit-il à « emmagasiner » un concept, ou bien en faut-il des centaines de millions, répartis à travers tout le cerveau ? Des études récentes apportent un nouvel éclairage sur cette question, ainsi que sur le fonctionnement de la mémoire et de la pensée consciente.

Il y a quelques années, avec Gabriel Kreiman, de la Faculté de médecine de Harvard, aux États-Unis, et Leila Reddy, du Centre de recherche sur le cerveau et la cognition, à Toulouse, nous avons découvert chez un patient un neurone qui réagissait fortement aux photographies





Dan Seelinger, Dominique Baynes

de la comédienne Jennifer Aniston, mais pas à celles de dizaines d'autres acteurs, célébrités, lieux ou animaux. Ce neurone était situé dans l'hippocampe, une région du cerveau importante pour la mémoire. Chez un autre sujet, un neurone de l'hippocampe s'activait à la vue d'une photographie ou du nom de l'actrice Halle Berry, et ne réagissait à rien d'autre. Un autre neurone réagissait sélectivement à des images de Luke Skywalker (le héros du film *La guerre des étoiles*) et à son nom écrit sur un écran ou prononcé par une voix de synthèse. Le même phénomène était observé pour d'autres célébrités.

Enregistrer l'activité cérébrale neurone par neurone

Pour obtenir ces résultats, nous avons dû enregistrer l'activité de neurones un par un. Or les techniques les plus courantes, telle l'imagerie fonctionnelle, détectent des activités globales et peuvent cibler quelques millions de neurones, mais pas de petits groupes, encore moins des cellules spécifiques. Pour enregistrer les impulsions électriques émises par un seul neurone, des microélectrodes plus fines qu'un cheveu doivent être implantées dans le cerveau. Seules des circonstances médicales bien particulières le justifient chez l'homme.

Cela peut être le cas chez des personnes souffrant d'épilepsie. Lorsque les médicaments ne suffisent pas à contrôler les crises, on envisage une opération chirurgicale consistant à retirer la zone du cerveau où elles naissent, le « foyer épileptique ». Pour repérer cette région, on utilise d'abord des méthodes non invasives, telles que l'imagerie cérébrale, l'examen d'indices cliniques et l'électroencéphalographie (l'enregistrement des signaux électriques à la surface du crâne) ; cette dernière révèle l'activité pathologique liée à l'épilepsie, caractérisée par une multitude de décharges concomitantes. Cependant, cela ne suffit pas toujours pour localiser avec précision le foyer épileptique. Les neurochirurgiens peuvent alors implanter des électrodes dans le cerveau du patient, afin de surveiller l'activité cérébrale en continu pendant plusieurs jours et d'analyser l'activité cérébrale pendant les crises.

Parfois, on demande aux patients s'ils acceptent de se porter volontaires pour diverses études pendant ce suivi. Ils effectuent certaines tâches cognitives, telles que regarder des images sur un ordinateur ou faire appel à différents souvenirs, pendant qu'on enregistre leur activité cérébrale. À l'Université de Californie à Los Angeles, nous avons utilisé des électrodes flexibles rattachées à des microfils. Cette technique a été mise au point par l'un d'entre nous (I. Fried), qui dirige un programme de chirurgie de l'épilepsie et collabore avec des chercheurs du monde entier, dont les deux autres coauteurs de cet article. C'est grâce à elle que nous avons pu enregistrer l'activité de neurones un par un, et découvrir celui associé à Jennifer Aniston, ce qui a involontairement relancé le débat déclenché par Lettvin il y a plus de 40 ans.

Un seul neurone par concept ou un petit groupe ?

Les neurones associés aux personnalités sont-ils ceux de la théorie controversée du neurone grand-mère ? Selon une version extrême de cette hypothèse, un seul neurone répondrait à un concept particulier. Cependant, le fait que nous ayons trouvé un neurone réagissant à l'idée de Jennifer Aniston suggère qu'il y en a plusieurs : en effet, s'il était unique, la chance de le découvrir parmi des milliards d'autres serait infime. En outre, une maladie ou un accident qui détruirait ce seul neurone supprimerait toute trace du concept, ce qui semble très improbable.

Une version moins extrême de l'hypothèse postule qu'à chaque concept correspond un petit ensemble de neurones. Cette hypothèse est plausible, mais difficile, voire impossible, à prouver. On ne peut pas passer en revue tous les concepts existants pour montrer qu'un neurone ne s'active que pour Jennifer Aniston. On connaît d'ailleurs de nombreux neurones qui réagissent à plus d'un concept ; si ce n'est pas le cas lors d'une expérience, c'est sans doute parce qu'on n'a pas présenté les bons stimuli.

Ainsi, après avoir découvert le neurone de Jennifer Aniston, nous avons répété l'expérience en utilisant de nombreuses images liées à l'actrice. Nous avons montré que ce neurone s'active aussi pour Lisa Kudrow, une autre vedette de la série

■ LES AUTEURS



Rodrigo QUIAN QUIROGA est professeur à l'Université de Leicester, en Angleterre, où il dirige un groupe de recherche en bio-ingénierie.



Itzhak FRIED est professeur de neurochirurgie à l'Université de Californie à Los Angeles (UCLA), aux États-Unis, et à l'Université de Tel-Aviv, en Israël. Il dirige un programme de chirurgie de l'épilepsie à l'UCLA.



Christof KOCH est professeur à l'Institut de technologie de Californie (Caltech) et directeur scientifique de l'Institut Allen pour les sciences du cerveau, à Seattle, aux États-Unis.

Un neurone qui réagissait à l'image et au nom de Luke Skywalker s'activait aussi devant une représentation de Yoda.

télévisée *Friends*, qui a rendu célèbres les deux comédiennes. De même, le neurone de Luke Skywalker réagit également à Yoda (un autre jedi du film *La guerre des étoiles*) ; un même neurone s'active pour deux joueurs de basketball différents ; un autre neurone réagit à plusieurs chercheurs qui s'occupent du patient dont on enregistre l'activité cérébrale, etc. Ces neurones pourraient tout de même être considérés comme des neurones grand-mère, mais qui réagiraient à des concepts plus étendus, tels que les deux femmes blondes de *Friends*, les jedis de *La guerre des étoiles*, les joueurs de basketball ou les scientifiques réalisant des expériences avec le patient.

Laissons ce débat de côté et concentrons-nous sur certains aspects clés des neurones dits de Jennifer Aniston. En premier lieu, leurs réactions sont assez sélectives : chacun s'active face à une petite partie des images (de célébrités, d'hommes politiques, de parents, d'événements marquants, etc.) présentées au patient. En second lieu, chaque neurone réagit à de multiples représentations d'un individu ou d'un lieu particulier, sans se soucier des caractéristiques de l'image utilisée. De fait, un neurone s'active de façon similaire en réponse à différentes images de la même personne, ainsi qu'à son nom écrit ou prononcé. Ainsi, il semble bien réagir au concept, c'est-à-dire à toutes les représentations de la chose elle-même. Il serait donc plus approprié de parler de «neurone de concept» plutôt que de neurone grand-mère. De tels neurones pourraient être activés par plusieurs concepts, à condition que ces derniers soient liés.

Le trajet cérébral d'une perception

Pour comprendre comment un petit groupe de neurones s'associe à un concept particulier, précisons la façon dont le cerveau traite et stocke les images auxquelles il est exposé. L'information captée par les yeux est d'abord transmise, *via* le nerf optique, au cortex visuel primaire, situé à l'arrière du cerveau. Là, chaque petite zone de l'image entraîne l'activation d'un neurone particulier, un peu comme s'il s'agissait d'un pixel d'une image numérique ou d'une touche de peinture d'un tableau pointilliste.

Le neurone codant un détail visuel n'indique pas s'il appartient à un visage, à une tasse de thé ou à la tour Eiffel. Chaque neurone fait partie d'un ensemble et se