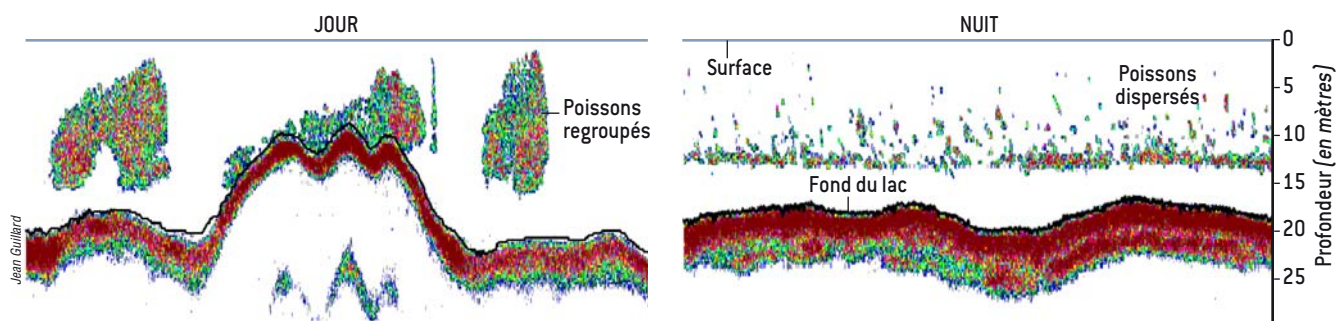




3. LE COMPORTEMENT DES POISSONS change entre le jour et la nuit. Il peut être étudié à l'aide de sondeurs hydroacoustiques. Sur cet enregistrement dans le lac d'Annecy, le fond (la ligne noire) se trouve à environ 20 mètres de profondeur. En fonction de la densité de biomasse, l'intensité du signal enregistré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

combine avec d'autres pour créer une image composite. Si cette image se modifie légèrement, certains détails changent et l'activation du groupe de neurones correspondant est aussi modifiée.

Quand le cerveau traite l'information visuelle, il ne doit pas seulement enregistrer une image, à l'instar d'un appareil photographique. Il doit reconnaître les objets et les intégrer à ce qu'il connaît. À partir du cortex visuel primaire, l'activation neuronale déclenchée par une image se propage vers des aires frontales à travers une série de régions corticales. Chaque neurone de ces aires visuelles supérieures réagit à un visage entier ou à un objet dans son ensemble, et non à des détails. Un seul de ces neurones peut déterminer si une image représente un visage ou la tour Eiffel. Quand on transforme légèrement l'image, qu'on la fait bouger ou qu'on change son éclairage, cela perturbe certains détails, mais sans modifier notablement l'activation des neurones des aires visuelles supérieures – une propriété qualifiée d'invariance visuelle.

De l'image au concept

Ces neurones envoient de l'information au lobe temporal médian (une zone incluant l'hippocampe et le cortex environnant), qui est impliqué dans la mémoire et où nous avons découvert le neurone de Jennifer Aniston. Dans l'hippocampe, les neurones s'activent en réponse à des stimulus bien plus spécifiques que dans le cortex visuel supérieur. Chacun d'eux réagit à une personne particulière ou, plus précisément, au concept de cette personne: non seulement à son visage et aux autres composantes de son apparence, mais aussi à des attributs qui lui sont étroitement associés, tel son nom.

Nous avons cherché à déterminer le nombre de neurones qui s'activent pour représenter un concept donné: y en a-t-il seulement un, des dizaines, des milliers, ou des millions? En d'autres termes, à quel point la représentation des concepts est-elle « épars »? Bien sûr, on ne peut pas mesurer directement ce nombre, car il est impossible d'enregistrer l'activité de tous les neurones d'une aire cérébrale. Par des méthodes statistiques, Stephen Waydo, alors doctorant au Caltech (l'Institut de technologie de Californie) et l'un de nous (Ch. Koch) ont estimé qu'un concept déclenche l'activation d'au plus un million de neurones, sur le mil-

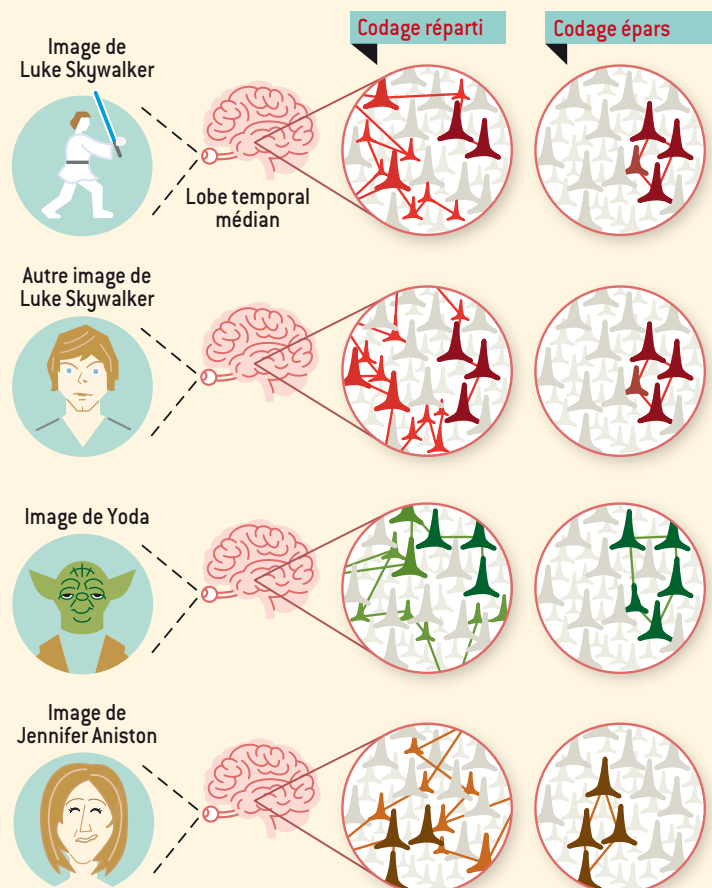
liard que compte le lobe temporal médian. Ce nombre étant calculé à partir d'images familières – qui tendent à déclencher plus de réponses, il doit être considéré comme une borne supérieure. Le nombre de neurones représentant un concept donné pourrait être 10 à 100 fois inférieur et s'approcher des 18 000 estimés par Lettvin.

Pour les détracteurs de l'hypothèse du neurone grand-mère, seul un codage réparti sur des populations neuronales plus vastes

et moins spécifiques serait à même de représenter tous les concepts possibles, car un même neurone s'activerait pour plusieurs d'entre eux. Cependant, un individu moyen ne se souvient que d'environ 10 000 concepts au maximum. C'est peu comparé au milliard de neurones qui constituent le lobe temporal médian. En outre, comme nous l'avons souligné, les neurones de cette aire cérébrale ne distinguent pas les différentes représentations d'un même concept; peu

LE CODAGE CÉRÉBRAL DES SOUVENIRS

Deux théories s'affrontent sur la façon dont le cerveau code les souvenirs. Selon l'une d'elles (*colonne du milieu*), tous les éléments d'une image, représentant par exemple Luke Skywalker (le héros du film *La guerre des étoiles*), sont enregistrés par des millions, voire des milliards de neurones, dont l'activité collective crée le sens. L'autre théorie (*colonne de droite*) soutient qu'un nombre assez petit de neurones, de l'ordre de quelques milliers ou moins, code le concept représenté par l'image. Chacun d'eux s'active en réaction à une image de Luke Skywalker, quels que soient l'angle de vue et la distance, ainsi qu'à l'énoncé ou à la lecture de son nom. Certains neurones du même groupe – mais pas tous – sont aussi activés par l'image de Yoda (un autre Jedi). De même, un groupe de neurones spécifiques est associé à la comédienne Jennifer Aniston. Plusieurs études récentes accréditent cette seconde théorie.



Stephen Savage



LE HÉROS DU FILM MEMENTO devient incapable de former des souvenirs à long terme en raison d'un traumatisme crânien. Une lésion de l'hippocampe pourrait l'expliquer. Dans cette aire cérébrale profonde se trouveraient des « neurones de concepts », essentiels pour donner un sens à une perception, la rattacher aux concepts déjà connus et former de nouveaux souvenirs.

importe que Luke Skywalker soit debout, assis, en train de combattre Darth Vader ou de piloter un vaisseau, seul compte le fait que le stimulus lui soit lié. Les neurones sont activés par le concept lui-même, quelle que soit la façon dont il est présenté. Plus le concept est abstrait – c'est-à-dire indépendant d'une représentation particulière –, moins le neurone a besoin d'information pour le coder. Cela lui permet de devenir hautement sélectif, en réagissant par exemple à Luke Skywalker mais pas à Jennifer Aniston.

Les simulations de S. Waydo illustrent bien ce fonctionnement. En s'inspirant du traitement cérébral des données visuelles, il a élaboré un logiciel qui apprend à reconnaître de nombreuses images d'avions, de voitures, de motos et de visages humains. Fondé sur un réseau de neurones artificiels, ce logiciel déterminait si une image donnée représentait un avion ou une voiture, sans contrôle humain. Il examinait l'immense diversité des images possibles en essayant de les rapprocher d'un petit nombre d'individus ou d'objets. Chacun de ces derniers était codé par un petit sous-ensemble de neurones artificiels, afin de reproduire nos découvertes dans le lobe temporal médian. À l'instar de son homologue naturel, le réseau artificiel a appris à distinguer une personne ou un objet même quand ils lui étaient présentés de différentes façons.

■ BIBLIOGRAPHIE

R. Quian Quiroga, **Concept cells: the building blocks of declarative memory functions**, *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 13, pp. 587-597, 2012.

N. Suthana et I. Fried, **Percepts to recollections: insights from single neuron recordings in the human brain**, *Cognitive Sciences*, vol. 16(8), pp. 427-436, 2012.

R. Quian Quiroga *et al.*, **Sparse but not "Grandmother-Cell" coding in the medial temporal lobe**, *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 12(3), pp. 87-91, 2008.

Nos recherches sont liées à la façon dont le cerveau interprète le monde extérieur et traduit des perceptions en souvenirs. Considérons le cas d'un patient identifié par ses initiales H. M., qui souffrait d'une épilepsie incurable. En 1953, lors d'une tentative désespérée de mettre fin à ses crises, un neurochirurgien lui enleva l'hippocampe et les régions adjacentes dans les deux hémisphères cérébraux. Après cette opération, H. M. pouvait encore reconnaître des personnes et des objets rencontrés auparavant, ainsi que se remémorer des événements antérieurs, mais il n'était plus capable de forger de nouveaux souvenirs à long terme. Tout ce qui lui arrivait tombait rapidement dans l'oubli. Le héros du film *Memento*, sorti en 2000, souffre d'une affection neurologique similaire.

Des ponts vers la mémoire à long terme

Le cas de H. M. montre que l'hippocampe, et le lobe temporal médian en général, n'est pas nécessaire à la perception, mais est crucial pour la transformation de souvenirs à court terme (qui ne durent qu'un instant) en souvenirs à long terme (gardés en mémoire pendant des heures, des jours ou des années). Selon nous, les neurones de concepts, situés dans ces aires cérébrales, sont indispensables à la traduction d'éléments conscients – issus d'entrées sensorielles ou stockés puis remémorés – en souvenirs à long terme; ces derniers seront ensuite enregistrés dans diverses aires corticales. Ainsi, le neurone associé au concept de Jennifer Aniston ne serait pas nécessaire pour que le patient reconnaisse cette comédienne ou se remémore son identité. En revanche, il permettrait de ramener ce concept à la conscience pour forger de nouveaux souvenirs qui lui sont liés, tel le fait d'avoir vu une photographie de l'actrice.

Ce qui importe, c'est de saisir l'essentiel de situations particulières, et non de se souvenir d'une quantité écrasante de détails sans signification. Si nous croisons une connaissance dans un café, mieux vaut garder en mémoire quelques points marquants de la rencontre que la couleur des chaussures de cette personne ou la physionomie des autres clients. Ainsi, les neurones de concepts ont tendance à s'activer pour des éléments pertinents pour nous, tels ceux qui impliquent des

individus ou des objets familiers ; de la sorte, on évite de gaspiller des ressources dans la fabrication de souvenirs inutiles.

Les souvenirs sont bien plus que des concepts isolés. Le stockage d'un événement complet en mémoire requiert des liens entre des concepts différents, mais associés : par exemple, le concept de Jennifer Aniston serait lié à celui de notre propre personne assise dans un canapé, en train de manger une glace et de regarder *Friends*.

Quand deux concepts sont liés, certains des neurones qui codent l'un tendent aussi à s'activer pour l'autre. Cette coactivation serait le mécanisme physiologique par lequel le cerveau encode les associations. Elle permettrait la création des souvenirs dits épisodiques (des événements vécus) et le flux de conscience spontané d'un concept à l'autre. Par exemple, en voyant Jennifer Aniston, on peut se remémorer la télévision, le canapé et la glace – des concepts liés au sein du souvenir épisodique d'avoir regardé un épisode de *Friends*. Un mécanisme similaire pourrait aussi créer des

liens entre les divers aspects d'un même concept, tels le parfum, la forme, la couleur et la texture d'une rose, stockés dans des aires corticales différentes.

Là encore, le codage séparé des concepts par des réseaux restreints et distincts est un avantage. En effet, les simulations montrent qu'un tel codage est nécessaire à la création rapide d'associations. Pour le comprendre, imaginons à l'opposé une représentation dite répartie de la personne rencontrée au café, avec des neurones codant les moindres de ses caractéristiques. Le café serait codé par une autre représentation répartie. Établir une connexion entre les deux nécessiterait la création de liens entre les détails de chaque représentation, qui sont parfois voisins de ceux d'autres souvenirs – le café peut ainsi ressembler à une salle à manger et l'ami rencontré à une autre connaissance. En conséquence, le processus est lent et aboutirait à un mélange des souvenirs.

À l'inverse, l'établissement de telles connexions avec des réseaux spécifiques est rapide et facile. Il nécessite seulement

de créer quelques liens entre les groupes de neurones associés à chaque concept, en faisant s'activer quelques neurones pour les deux concepts. Un autre avantage de ce type de représentation est qu'un élément nouveau peut être ajouté sans modifier profondément le réseau.

Les neurones de concepts ne sont pas tout à fait identiques aux neurones grand-mère qu'avait envisagés Lettvin, mais ils pourraient constituer l'un des principaux fondements physiologiques des capacités cognitives humaines. Ils relient la perception à la mémoire et donnent une représentation abstraite d'une connaissance sémantique – les personnes, les lieux, les objets et tous les concepts qui sont importants pour nous. Ils constituent les éléments de construction de nos souvenirs personnels. Ils permettent d'ignorer les innombrables détails sans importance et de dégager un sens qui sert à fabriquer de nouvelles associations et de nouveaux souvenirs. Ainsi, ils encodent l'essentiel de ce qu'il y a à retenir de nos expériences. ■

A poster for the 'NUI!' exhibition at the Jardin des Plantes. The background is a dark, starry night sky with a large, bright full moon. Silhouettes of bare tree branches frame the top and sides. In the center, the word 'NUI!' is written in large, white, block letters. Below it, the word 'EXPOSITION' is in smaller white letters, followed by 'Jardin des Plantes' and the dates '12 fév. — 3 nov. 2014'. At the bottom, the website 'NUIT.MNHN.FR' is listed. A circular logo for the 'MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE' is in the bottom right corner. The bottom of the poster features a row of logos for various partners: E, TROIS, PARIS REGION, JUNIOR, ANOUS PARIS, 20, LE FIGARO, and Europe 1.

NUI!

EXPOSITION
Jardin des Plantes
12 fév. — 3 nov. 2014

NUIT.MNHN.FR

Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire — Paris 5^e

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

E TROIS PARIS REGION JUNIOR ANOUS PARIS 20 LE FIGARO Europe 1

De minuscules billes de plastique, d'un diamètre compris entre 30 et 50 nanomètres, peuvent être facilement obtenues à partir d'émulsions de type eau-huile. Leurs applications vont de l'électronique à la médecine.

Des mini-émulsions aux

Daniel Klinger, Nicolas Vogel et Katharina Landfester

Similia similibus solvuntur.

Les semblables ne se dissolvent que dans leurs semblables, savaient déjà les alchimistes. Et les dissemblables, que font-ils ? Ils forment des émulsions ! Ainsi, les molécules d'eau (H_2O) diffèrent beaucoup des molécules du plus fréquent des acides gras, l'acide oléique de formule brute $C_{18}H_{34}O_2$. Cette différence fait que les liquides qui les contiennent en grand nombre – le vinaigre et l'huile d'olive, par exemple – ne sont pas miscibles. Si on les verse l'un après l'autre dans le même récipient, ils ne se mélangent pas : l'huile surnage. Toutefois, si on les bat vigoureusement, une vinaigrette, c'est-à-dire un mélange homogène de gouttelettes d'huile dans l'eau, se forme.

La vinaigrette, le lait, la mayonnaise, le beurre fondu, la margarine, par exemple, sont des émulsions familières. Il en existe une grande variété, dont nous examinerons les propriétés avant de nous concentrer sur les mini-émulsions. Ces dernières permettent de produire des nanocapsules qui transportent des médicaments dans l'organisme, des surfaces microstructurées, ou encore des microcouches protectrices complexes.

L'ESSENTIEL

- Les émulsions sont des dispersions homogènes de gouttelettes d'un liquide non miscible avec celui qui les contient.
- On produit aujourd'hui des « mini-émulsions », où les gouttelettes ont des diamètres allant de 30 à 50 nanomètres.
- Grâce aux mini-émulsions, il est facile d'obtenir des microcapsules, par polymérisation de monomères issus du liquide dont sont formées les gouttelettes.
- Les microcapsules ont de nombreuses applications, qui vont du transport de médicaments dans l'organisme à la nanostructuration de surfaces.

© Mallory Morrison/Corbis

La caractéristique des émulsions est de sembler homogènes, alors qu'il s'agit de dispersions de particules d'un ou plusieurs liquides en suspension dans un autre avec lequel ils ne sont pas miscibles. Elles constituent un cas particulier de colloïdes, ces suspensions de particules solides ou liquides suffisamment petites pour que le mélange paraisse homogène. Ainsi, le lait ou les lotions sont des émulsions de corps gras dans l'eau, tandis que la margarine ou le beurre liquides sont des émulsions d'eau dans de la matière grasse liquide.

Les émulsions sont instables

Toutefois, deux liquides non miscibles tendent à se séparer. Cette séparation se produit à mesure que le mouvement brownien (l'agitation erratique) des gouttelettes les font se rencontrer. En effet, quand deux gouttes entrent en contact, elles se transforment souvent en une seule, ce qui minimise leur surface et, par conséquent, leur énergie de surface.

Pour stabiliser une émulsion, il faut contrôler sa tendance à se dissocier. Pour ce faire, on ajoute un tensioactif, c'est-à-dire un agent qui abaisse l'énergie de