

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

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-

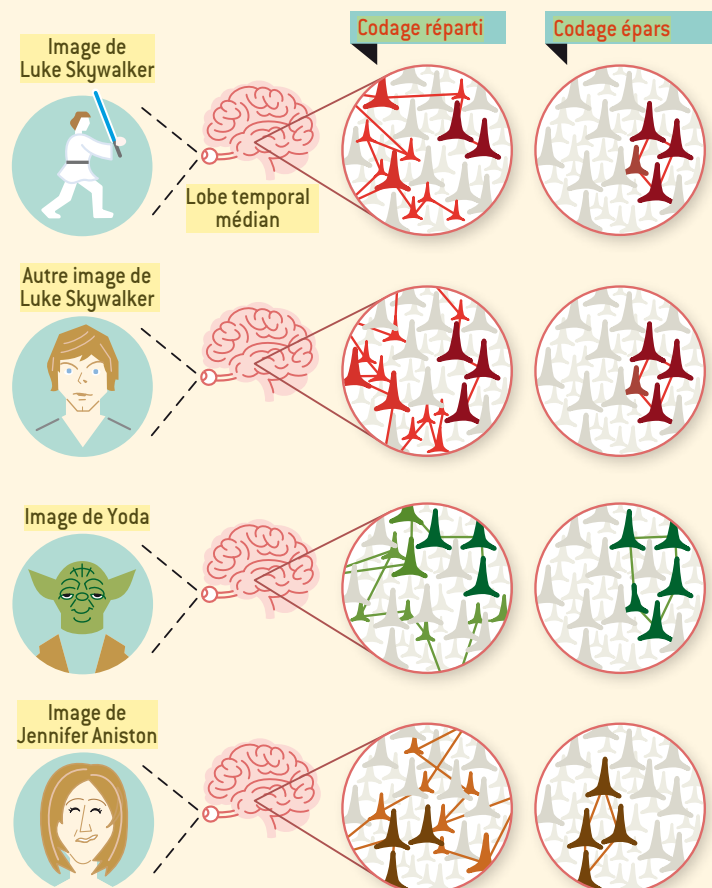
liard que compte le lobe temporal médian. Ce nombre étant calculé à partir d'images familières – qui tendent à déclencher plus de réponses, il doit être considéré comme une borne supérieure. Le nombre de neurones représentant un concept donné pourrait être 10 à 100 fois inférieur et s'approcher des 18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