

Rendez-vous sur

■ POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

- Retrouvez gratuitement les actualités scientifiques quotidiennes.
- Écoutez nos entretiens audio ou téléchargez-les.
- Recevez nos lettres d'information et réagissez aux articles en vous inscrivant sur www.pourlascience.fr/newsletters
- Consultez les archives de tous nos magazines depuis 2004.
- Accédez aux numéros numériques compris dans votre abonnement en créant votre compte.
- Suivez notre actualité en direct :



<http://www.pourlascience.fr/rss>



<http://twitter.com/pourlascience>



<http://www.pourlascience.fr/pls-facebook>

+ de 10000 fans



À très bientôt sur www.pourlascience.fr !

Le langage des

Terry Sejnowski
et Tobi Delbruck

La communication cérébrale repose sur une chronologie précise des signaux électriques transmis d'un neurone à l'autre.

Notre cerveau est plus performant que *Google* ou que le meilleur des robots du film *iRobot*. Du moins pour certaines tâches... Il est capable d'effectuer instantanément des recherches parmi une multitude d'expériences et d'émotions. En une fraction de seconde, nous reconnaissons le visage d'un parent, d'un ami ou d'une ancienne connaissance, même dans une semi-obscrité, et quel que soit l'angle d'observation – une tâche que les systèmes robotiques les plus perfectionnés peinent à accomplir. Nous sommes aussi multitâches : nous pouvons sortir un mouchoir de notre poche et nous essuyer le front tout en discutant. Or un « cerveau électronique » qui permettrait à un robot de réaliser cette simple combinaison de comportements reste une perspective éloignée.

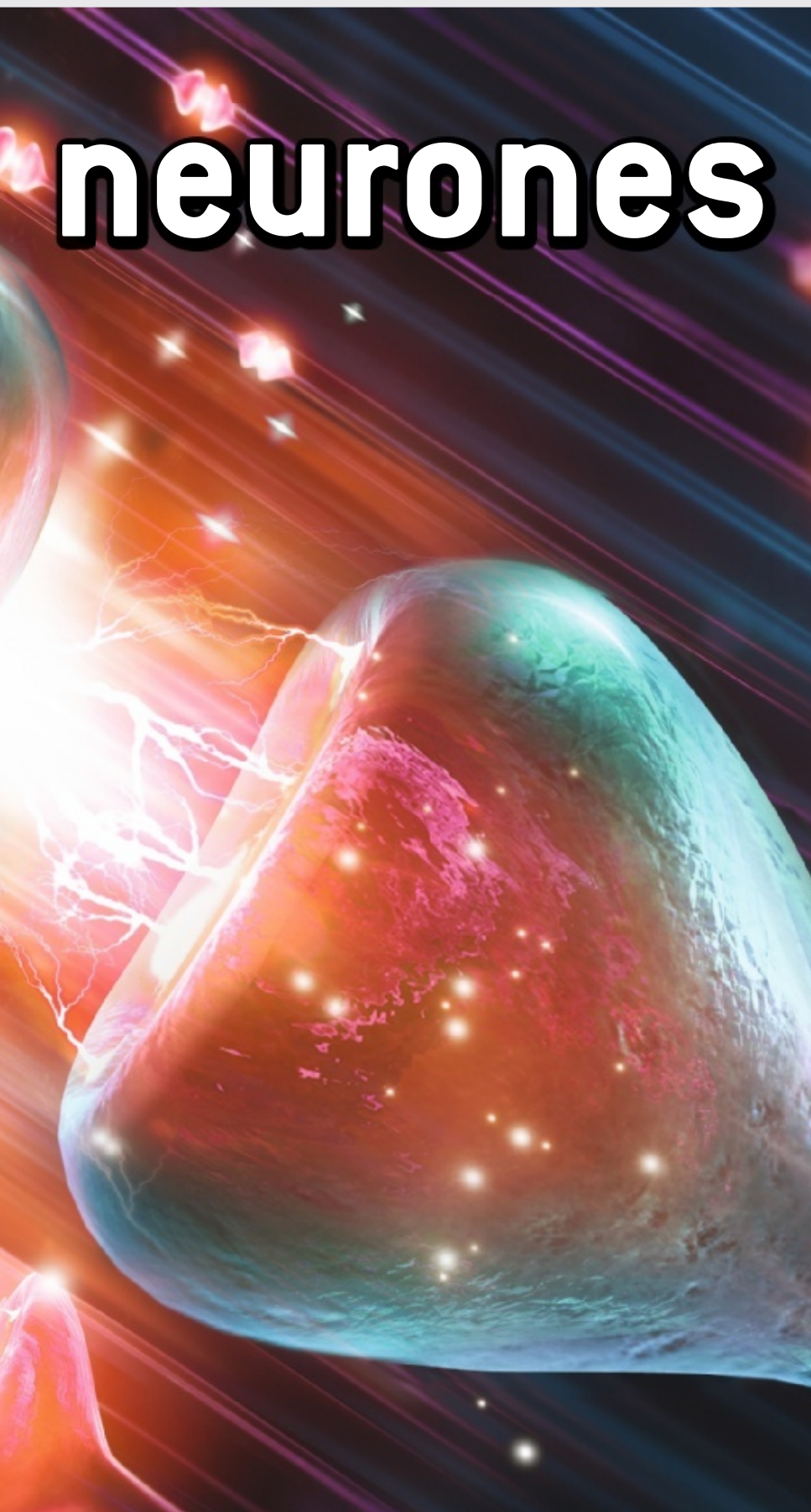
Comment le cerveau réalise-t-il ces performances, sachant que la complexité de ses réseaux, où des milliards de neurones forment des milliers de milliards de connexions, rivalise avec celle d'Internet ? En partie grâce à son efficacité énergétique : lorsqu'une cellule nerveuse communique avec une autre, le cerveau consomme un million de fois moins d'énergie qu'un ordinateur effectuant l'opération équivalente. Cet

L'ESSENTIEL

■ La chronologie des signaux électriques (les potentiels d'action) échangés entre neurones au travers de multiples points de contact (les synapses) est un élément essentiel de la communication cérébrale.

■ Ainsi, la fréquence moyenne d'émission des potentiels d'action et les instants où ils sont émis sont porteurs d'information.

■ En outre, des signaux d'entrée identiques peuvent déclencher ou non la décharge d'un neurone cible, selon leurs instants d'arrivée relatifs.



neurones

organe de moins de un kilogramme et demi aurait ainsi acquis, au cours de l'évolution, un fonctionnement «économe en énergie».

Cependant, ce bon rendement ne peut expliquer à lui seul les performances du cerveau, qui présente par ailleurs de nombreuses limites intrinsèques. Ainsi, un neurone du cortex cérébral met plusieurs millisecondes à réagir (sous forme d'une impulsion électrique, ou potentiel d'action) au signal d'un autre neurone, une vitesse d'escargot comparée à celle des transistors : utilisés comme interrupteurs dans les circuits électroniques des ordinateurs, ces composants commutent en quelques milliardièmes de seconde. En outre, le réseau neuronal est peu fiable, le signal se perdant souvent en cours de route.

La façon dont le cerveau extrait des informations de l'ensemble des signaux qui le parcourent est mal comprise. Cependant, avec d'autres scientifiques, nous avons récemment montré comment le cerveau tire parti de la chronologie précise des potentiels d'action pour coder l'information, ce qui permet de traiter des problèmes difficiles en un temps record. En effet, des assemblées de neurones synchrones transfèrent beaucoup plus efficacement l'information qu'une même cohorte de neurones désorganisés temporellement (mode asynchrone). Outre leur intérêt théorique, nos travaux pourraient conduire à la conception d'ordinateurs d'un nouveau genre. On a déjà construit des circuits électroniques «neuromorphiques», qui imitent certains aspects du réseau cérébral. Ces dispositifs sont parfois constitués d'un million de neurones électroniques et des systèmes de plus grande taille sont prévus. À terme, on espère construire des calculateurs neuromorphiques qui fonctionnent beaucoup plus vite que les ordinateurs modernes, tout en consommant moins d'énergie.

Comme de nombreux autres neuroscientifiques, nous utilisons souvent le système visuel comme banc d'essai, notamment parce que son schéma de câblage est assez bien connu. On soupçonne depuis longtemps que, dans ce système et d'autres, la chronologie des signaux est un élément essentiel du mode de communication cérébrale. Pendant plusieurs décennies, on a négligé cette idée ; elle nécessitait en effet de comparer l'activité de différentes

LES SYNAPSES SONT DES CONNEXIONS
entre deux neurones. Elles régulent
la circulation des informations dans le cerveau.

Kenn Brown, Mondolithic Studios

parties du cerveau, mais il était difficile de mesurer l'activité de plus d'un neurone à la fois. Toutefois, divers travaux expérimentaux et théoriques, ainsi que le développement de modèles numériques du système nerveux, l'ont remise sur le devant de la scène.

Les cellules cérébrales reçoivent toutes sortes de signaux d'entrée, à différentes échelles de temps. Les hormones, véhiculées par le sang, circulent lentement. Pour les réponses rapides, les signaux les plus importants de la communication cérébrale sont les potentiels d'action, de brèves variations du potentiel électrique membranaire qui se propagent dans le réseau neuronal. Les impulsions utilisées pour la communication entre neurones durent quelques millisecondes. Chaque neurone reçoit de nombreux signaux d'entrée. Quand la somme des «entrées» qui tendent à l'activer dépasse la somme de celles qui tendent à l'inhiber, le neurone émet un potentiel d'action. Ce dernier court le long de l'axone (une extension du neurone jouant le rôle de câble électrique) jusqu'à ses extrémités. Le signal est ensuite transmis par voie chimique à travers des jonctions nommées synapses, qui relient l'extrémité de l'axone aux cellules réceptrices.

100 millions de photorécepteurs

Dans la rétine de chaque œil, 100 millions de photorécepteurs captent les variations de la lumière. Les signaux qu'ils émettent traversent plusieurs couches de neurones, puis sont convertis en séquences de potentiels d'action par un million de cellules ganglionnaires, situées à l'arrière de la rétine. Ces potentiels d'action sont transmis par des axones à diverses parties du cerveau, qui envoient à leur tour des signaux à d'autres régions et engendrent finalement une perception consciente du signal visuel. Chaque axone peut transmettre plusieurs centaines de potentiels d'action par seconde, bien qu'il n'en véhicule le plus souvent que quelques-uns par seconde. Tout ce que nous voyons (les formes, les couleurs et les mouvements) est encodé dans cette «rivière» de potentiels d'action espacés d'intervalles de temps variables.

L'enregistrement simultané de l'activité de nombreux neurones est essentiel

pour comprendre le fonctionnement du cerveau, mais il est extrêmement difficile à réaliser. Lors de travaux publiés en 2010, Eduardo Chichilnisky et ses collègues de l'Institut Salk d'études biologiques, à La Jolla, en Californie, ont enregistré simultanément les potentiels d'action de centaines de cellules ganglionnaires voisines dans des rétines de singe. Ces travaux ont permis d'identifier les photorécepteurs qui communiquent avec chaque cellule ganglionnaire. De tels progrès dans les techniques de mesure devraient nous aider à déchiffrer le code utilisé par le cerveau pour véhiculer les informations.

Les neurobiologistes utilisent plusieurs méthodes pour déceler la signification des

TOUT CE QUE NOUS VOYONS (les formes, les couleurs et les mouvements) est encodé dans cette «rivière» de potentiels d'action.

trains de potentiels d'action provenant de la rétine. L'une d'elles consiste à compter les potentiels d'action dans chaque axone pendant une période donnée : plus leur fréquence est élevée, plus le signal est intense. Certaines informations visuelles, telle la distribution locale du contraste, sont codées par des variations de cette fréquence et véhiculées par des groupes spécifiques de neurones.

Les informations sont également codées par la chronologie relative des potentiels d'action émis par plusieurs neurones. Les cellules ganglionnaires de la rétine, par exemple, sont sensibles à l'intensité lumineuse et répondent à une scène visuelle changeante en transmettant des potentiels d'action à diverses parties du cerveau. Chaque cellule ganglionnaire peut être activée par une caractéristique physique particulière d'un objet (par exemple, sa couleur ou son orientation). Lorsque plusieurs d'entre elles sont activées de façon quasi simultanée, le cerveau interprète cette simultanéité comme le signe de la détection d'un attribut particulier du même objet. Horace Barlow, de l'Université de Cambridge, qualifie ces activations simultanées de «coïncidences suspectes».

Des ingénieurs essaient de tirer parti de ces découvertes pour créer des systèmes d'enregistrement d'images plus efficaces, qui intègrent le principe de codage par la chronologie relative des signaux. L'un de nous (T. Delbruck) a

mis au point une caméra émettant des impulsions électriques en réaction aux variations de luminosité. Elle permet de filmer des objets qui se déplacent très vite, avec un traitement du signal minimal (voir l'encadré page 54).

De la rétine au cortex

Divers travaux ont confirmé que le cortex visuel s'appuie sur des indices temporels pour comprendre ce que voient les yeux. Les cellules ganglionnaires de la rétine n'ont pas de projections directes dans le cortex, mais elles lui sont reliées *via* le thalamus, situé au cœur du cerveau. Quelque 100 millions de cellules s'activent alors dans chaque cortex visuel (localisé à l'arrière de chaque hémisphère cérébral), puis les signaux sont envoyés à d'autres régions du cerveau pour l'interprétation consciente.

L'examen des connexions entre les neurones relais du thalamus et ceux du cortex visuel nommés neurones étoilés épineux (appartenant à la couche du cortex où arrivent les axones des neurones thalamiques) est riche d'enseignements. En 1994, Kevan Martin, aujourd'hui à l'Université de Zurich, et ses collègues ont découvert que seulement six pour cent des synapses présentes sur chaque neurone étoilé épineux sont issues d'un axone de neurone thalamique. Comment un signal si faible peut-il être transmis de façon fiable à des neurones situés dans les différentes couches du cortex ?

Les neurones du cortex sont très sensibles aux signaux d'entrée fluctuants, auxquels ils peuvent répondre en émettant un potentiel d'action en quelques millisecondes. En 2010, avec Hsi-Ping Wang et Donald Spencer, de l'Institut Salk, et Jean-Marc Fellous, de l'Université de l'Arizona, l'un de nous (T. Sejnowski) a modélisé sur ordinateur un neurone étoilé épineux. Une telle cellule ne peut être activée par un seul potentiel d'action ; en revanche, les potentiels d'action transmis par seulement quatre axones entraînent son activation, à condition qu'ils ne soient espacés que de quelques millisecondes. Lorsque les signaux d'entrée proviennent du thalamus, il suffit qu'un petit sous-groupe de neurones du cortex visuel soit activé pour représenter le contour et la texture d'un objet. Chaque neurone étoilé épineux répond préférentiellement à un

stimulus visuel donné (traduit en potentiels d'action), tel que l'orientation d'un objet.

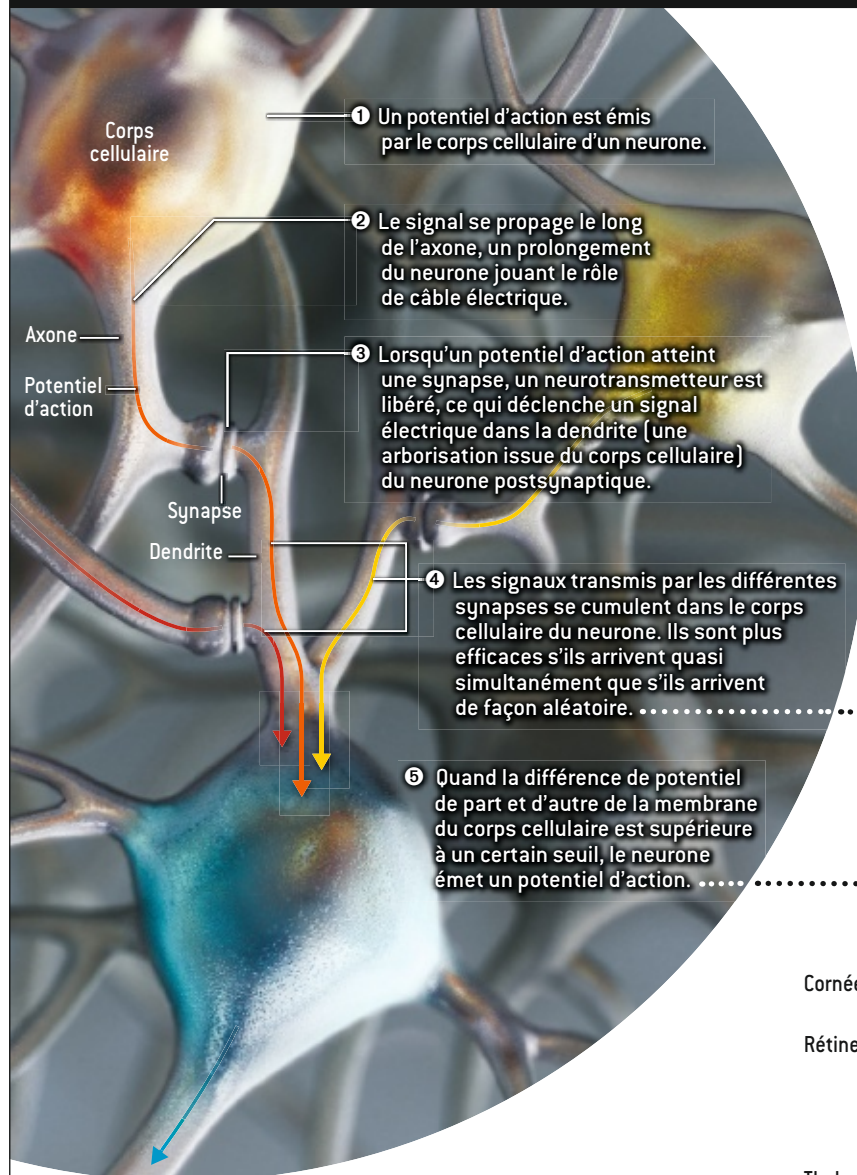
Dans les années 1960, David Hubel, de la Faculté de médecine de Harvard, et Torsten Wiesel, aujourd'hui à l'Université Rockefeller, ont découvert qu'un neurone du cortex ne répond intensément à son stimulus préférentiel que si l'objet correspondant se situe dans une zone particulière du champ visuel, nommée champ récepteur du neurone. Les neurones liés à la fovéa (la région cen-

trale de la rétine) ont les plus petits champs récepteurs, environ de la taille de la lettre *e* sur cette page. C'est un peu comme si chacun de ces neurones observait le monde à travers une paille. Dans les années 1980, John Allman, de l'Institut de technologie de Californie (Caltech), a montré que la présence de divers stimulus dans la périphérie « silencieuse » du champ récepteur peut influencer sur la fréquence d'activation des neurones corticaux en réponse à un

stimulus situé dans leur champ récepteur. L'information issue du pourtour du champ récepteur permet ainsi au neurone de moduler sa réponse en fonction du contexte général.

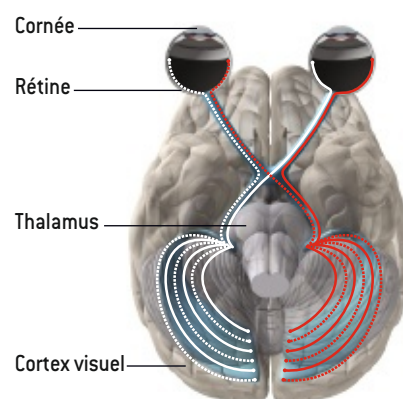
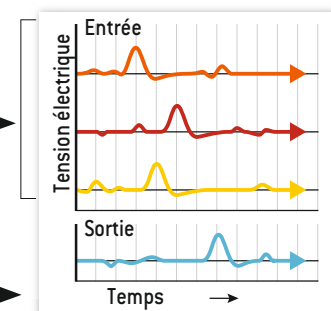
Le pourtour du champ récepteur n'influe pas seulement sur la fréquence moyenne, mais aussi sur la précision temporelle de la décharge neuronale, autrement dit sur les instants d'émission des potentiels d'action. Lors d'une expérience récente, David McCormick et ses collègues de l'Université Yale

LA VOIE RAPIDE DE LA COMMUNICATION CÉRÉBRALE



Les potentiels d'action sont de brèves variations de la différence de potentiel qui règne de part et d'autre de la membrane d'un neurone. Ils durent quelques millisecondes et se propagent dans les axones, du corps cellulaire d'un neurone jusqu'à d'autres neurones. Ces signaux permettent au cerveau de vite réagir à un événement. Leur coordination dans le temps augmente l'efficacité du réseau cérébral, qui comporte des milliers de milliards de connexions entre neurones.

Les potentiels d'action (ci-dessous) qui parviennent à un neurone dans une étroite fenêtre temporelle de quelques millisecondes sont en mesure d'activer ce neurone.



Lors de la perception visuelle d'un objet, des impulsions sont émises par des neurones de la rétine. Elles passent par la « station-relais » du thalamus, puis parviennent au cortex visuel. Des signaux synchronisés, représentant chacun une caractéristique donnée de l'objet (telle que la couleur ou l'orientation spatiale), sont intégrés dans le cortex, où s'élabore la perception de l'objet.

Emily Cooper

■ LES AUTEURS



Terry SEJNOWSKI est chercheur à l'Institut médical Howard Hugues et dirige le Laboratoire de neurobiologie computationnelle de l'Institut Salk d'études biologiques, à La Jolla, en Californie.

Tobi DELBRUCK codirige le groupe sur les capteurs de l'Institut de neuro-informatique, à l'Université de Zurich.

ont projeté un film à des chats et enregistré les réponses de certains neurones de leur cortex visuel. Lorsqu'ils réduisaient l'image du film pour la faire tenir dans le champ récepteur de ces neurones (aucun signal ne provenait de la zone environnante), les instants d'émission des potentiels d'action variaient aléatoirement. En revanche, lorsque les expérimentateurs agrandissaient l'image pour stimuler également la zone entourant la périphérie du champ récepteur, les potentiels d'action étaient moins fréquents, mais leur émission était temporellement plus précise (elle se produisait toujours aux mêmes instants du film). D'autres expériences montrent l'influence du contexte perceptuel sur la fréquence d'émission des potentiels d'action (voir l'encadré page ci-contre).

La chronologie des potentiels d'action est aussi importante pour d'autres processus neuronaux. On pense que leur synchronisation est nécessaire à l'assemblage d'une image à partir de ses différentes composantes (telles que la couleur et l'orientation),

chaque potentiel d'action véhiculant l'une d'elles. Un potentiel d'action codant la propriété « rouge » est par exemple émis de façon synchrone avec un autre codant un contour arrondi, ce qui permet au cortex visuel de fusionner ces signaux pour créer une image mentale de pot de fleurs.

Les neurones corticaux qui reçoivent les signaux d'entrée visuels ont aussi des interactions excitatrices et inhibitrices avec d'autres neurones corticaux. Un grand nombre de ces derniers, distants les uns des autres, s'activent spontanément et périodiquement, à des fréquences inférieures à 100 hertz. Cela permettrait de coordonner les multiples neurones responsables de la perception visuelle.

L'attention, facette essentielle de la cognition, serait aussi fondée sur des séquences de potentiels d'action synchronisés. Celles-ci renforceraient l'importance d'une perception ou d'un souvenir atteignant la conscience. Robert Desimone, aujourd'hui à l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), et ses collègues ont étudié ce phénomène sur des singes : lorsque ces derniers prêtent attention à un stimulus donné, il en résulte une augmentation du nombre de neurones corticaux émettant des potentiels d'action synchronisés à des fréquences situées dans la bande gamma (30 à 80 hertz), ainsi qu'une augmentation du rythme d'émission.

Synchronisation et maladies mentales

L'étude de cette bande de fréquences pourrait aussi se révéler utile pour comprendre l'autisme et la schizophrénie. En effet, les électroencéphalogrammes, qui mesurent des variations de potentiel électrique à la surface du crâne résultant de l'activité d'un grand nombre de neurones, enregistrent des oscillations aux fréquences de la bande gamma. Or ces oscillations sont moins amples chez les patients atteints de schizophrénie ou d'autisme. David Lewis, de l'Université de Pittsburgh, Margarita Behrens, de l'Institut Salk, et d'autres chercheurs ont incriminé des neurones corticaux nommés cellules à panier, qui participent à la synchronisation des potentiels d'action : un déséquilibre de l'inhibition ou de l'excitation de ces neurones (eux-mêmes inhibiteurs d'autres neurones) semble réduire l'activité synchronisée dans la bande gamma et pourrait expliquer en partie les troubles neurologiques. Des anomalies

Quand la rétine inspire un nouveau type de caméra

Les caméras numériques traditionnelles sont peu efficaces. Elles enregistrent 24 images par seconde (une toutes les 40 millisecondes), chacune étant composée d'une mosaïque de pixels. Chaque pixel enregistre l'intensité moyenne reçue pendant les 40 dernières millisecondes, le temps mis par une balle de tennis pour parcourir environ 1,5 mètre. Ainsi, les caméras produisent une avalanche de données, qui nécessitent un temps de traitement très long. Avec ses collègues de l'Institut de neuro-informatique de

l'Université de Zurich (INI), l'un des auteurs (T. Delbruck) a alors développé un nouveau type de caméra, qui imite la façon dont certaines parties de la rétine encodent des images pour le cerveau.

Nommée capteur de vision dynamique (ou DVS, pour *Dynamic Vision Sensor*), la caméra ne détecte que les parties d'une scène qui varient d'une image à l'autre. Les pixels se comportent comme certaines cellules ganglionnaires rétiniennes : ils émettent une impulsion électrique quand la luminosité change.

Ainsi, la caméra peut filmer des objets qui se déplacent en enregistrant très peu de données. Elle capte un changement d'intensité lumineuse en une microseconde, de sorte qu'elle peut suivre des mouvements plus rapides que les caméras ordinaires, qui enregistrent une image toutes les 40 millisecondes.

La caméra DVS pourrait jouer un rôle de sentinelle, détectant tout ce qui bouge : voiture, piéton, personne âgée qui glisse et qui tombe... Elle a déjà été incorporée dans divers dispositifs robotiques : système placé devant une cage de but pour empêcher les balles d'entrer, dispositif tenant un crayon en équilibre, véhicule qui suit une ligne tracée au sol, capteurs qui détectent des particules dans des écoulements.

L'approche consistant à ne réenregistrer que ce qui change dans une scène visuelle est également utilisée pour d'autres applications. Des chercheurs de l'Université Cornell ont ainsi élaboré une prothèse de rétine qui fonctionne sur ce principe.



La caméra DVS n'enregistre que les parties changeantes d'une scène, en détectant les variations de luminosité sur chaque pixel. De telles variations se produisent par exemple lorsqu'un enfant bouge (à gauche). Sur l'image du jongleur (à droite), les mouvements de balle récents apparaissent en rouge et les plus anciens en bleu.

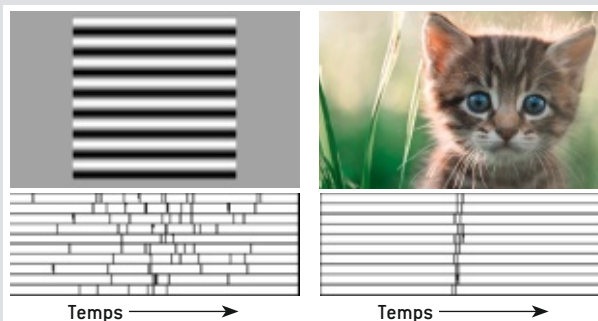
Un codage neuronal optimisé pour les images naturelles ?

Chaque neurone du cortex visuel est sensible à une zone restreinte de l'espace, nommée champ récepteur : seul un stimulus situé dans cette zone peut déclencher l'émission d'un potentiel d'action. Pourtant, le contexte visuel global a une influence sur la précision temporelle du codage, comme l'a montré une expérience menée au Laboratoire UNIC (Unité de Neurosciences, Information et Complexité), à Gif-sur-Yvette.

Une électrode a été implantée dans le cortex visuel d'un animal (préalablement anesthésié), afin de mesurer l'activité d'un neurone et de caractériser ses réponses fonctionnelles. La pointe de l'électrode, d'un diamètre de 0,1 micromètre, pénètre dans le corps cellulaire du neurone, dont le diamètre est d'une vingtaine de micromètres. Les réponses du même neurone ont été comparées pour deux films distincts, couvrant l'ensemble du champ visuel et présentés dix fois à l'animal : des bandes sombres et

claires alternées qui défilent et une séquence animée d'images « naturelles » (voir la figure ci-contre). Lorsqu'un stimulus (tel un trait orienté d'une certaine façon) passe dans le champ récepteur du neurone, un ou plusieurs potentiels d'action sont émis.

Pour le film composé de bandes, de nombreux potentiels d'action sont émis, à des instants variables d'une projection à l'autre. Pour le film composé d'images naturelles, les potentiels d'action sont beaucoup moins nombreux, mais émis à des instants quasi identiques du film à chaque projection. Ainsi, la réponse du neurone dépend de l'environnement perceptuel, en particulier du type d'image (artificielle ou naturelle, simple ou riche en information). Ces résultats suggèrent que le cerveau ajuste la précision temporelle du code neuronal à la quantité d'information à traiter, et que son fonctionnement s'est adapté aux images qui nous sont familières :



Des potentiels d'action sont émis en plus grand nombre et de façon plus aléatoire quand des bandes noires et blanches défilent (à gauche) que pour un film composé d'images naturelles (à droite). Sur les diagrammes du bas, chaque bande horizontale correspond à l'enregistrement de l'activité neuronale pour une projection du film et chaque trait à un potentiel d'action.

pour ce type de stimulus, le cerveau fonctionnerait sur un mode « optimisé » et sans bruit (tous les potentiels d'action sont porteurs d'information).

Cette optimisation s'effectue sans doute lors d'une période d'apprentissage précoce. Saura-t-on un jour concevoir un dispositif de vision arti-

ficielle calqué sur ce modèle, c'est-à-dire optimisant le codage et le rapport signal sur bruit en fonction de l'image à reconnaître ?

Yves Frégnac

est professeur en sciences cognitives à l'École polytechnique et directeur du Laboratoire UNIC, au CNRS.

Yves Frégnac, © Shutterstock/Smil

similaires dans les circuits du cortex préfrontal pourraient être à l'origine des troubles de la pensée accompagnant la schizophrénie.

Outre l'attention, la mémoire dépendrait aussi de la synchronie des impulsions. Lors de l'enregistrement des souvenirs, la chronologie relative des potentiels d'action semble être aussi importante que la fréquence d'activation. En particulier, l'émission synchronisée de potentiels d'action dans le cortex renforce les synapses (c'est-à-dire augmente l'intensité de la réponse du neurone postsynaptique à un potentiel d'action), ce qui est essentiel pour la mémoire à long terme. En 1997, Henry Markram et Bert Sakmann, de l'Institut Max Planck de recherche médicale, à Heidelberg, ont découvert un mécanisme nommé plasticité dépendante du temps d'arrivée des signaux : quand des potentiels d'action parviennent à une synapse à une fréquence de la bande gamma et que le neurone postsynaptique émet systématiquement un potentiel d'action dans les dix millisecondes qui suivent, la synapse se renforce ; au contraire, quand le neurone postsynaptique s'active dix millisecondes avant l'arrivée du potentiel d'action, la connexion synaptique s'affaiblit.

Certaines preuves de l'importance de la chronologie des potentiels d'action pour

la mémoire proviennent de recherches sur l'hippocampe, une aire cérébrale impliquée dans la mémorisation des objets et des événements. L'émission de potentiels d'action par les neurones de l'hippocampe et des régions avec lesquelles il interagit est notablement influencée par des oscillations synchrones des ondes cérébrales, dans une bande de fréquences allant de quatre à huit hertz (bande θ). De telles oscillations se produisent par exemple lorsqu'un rat explore sa cage. Elles coordonneraient l'émission des potentiels d'action par les neurones et modifieraient durablement les synapses.

Les neurosciences sont à un tournant, car de nouvelles méthodes permettent d'enregistrer simultanément l'activité de milliers de neurones ; elles révèlent des schémas clefs dans la chronologie des potentiels d'action et alimentent d'énormes bases de données. D'autres techniques sont apparues, telle l'optogénétique, qui consiste à activer sélectivement ou maintenir silencieuses des classes spécifiques de neurones en utilisant la lumière. Elles nous aideront à comprendre la façon dont sont encodées les communications internes du cerveau. Alors pourrions-nous progresser dans la construction de machines peut-être aussi efficaces que le cerveau. ■

■ SUR LE WEB

Conférence de Terry Sejnowski sur le fonctionnement des neurones : www.podcast.ethz.ch/podcast/episodes/?id=607

Vidéo sur une caméra imitant le fonctionnement de la rétine : ScientificAmerican.com/oct2012/dvs

■ BIBLIOGRAPHIE

J. Fournier et al., *Adaptation of the simple or complex nature of V1 receptive fields to visual statistics*, *Nature Neuroscience*, vol. 14, pp. 1053-1060, 2011.

S. Liu et T. Delbruck, *Neuromorphic sensory systems*, *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 20(3), pp. 288-295, 2010.

K. Boahen, *Puces de silicium pour retrouver la vue*, *Pour la Science*, n° 332, 2005.

Du nouveau / au royaume de CRÉSUS

Oliver Hülten

La Lydie, le pays où coule le Pactole, était un riche royaume
à l'époque archaïque, qui reste mal connu.

Après plus d'un siècle de fouilles dans sa capitale,
les archéologues viennent d'étendre leurs recherches
à la province lydienne.

An 550 avant notre ère. Crésus règne. Le roi de Lydie reçoit d'alarmantes nouvelles concernant son beau-frère Astyage, le roi des Mèdes. Un coup d'État militaire vient de renverser le souverain de ce peuple d'origine iranienne établi dans les montagnes qui séparent Anatolie et Iran. Pire : c'est un vassal perse d'Astyage du nom de Cyrus II qui est à l'origine du coup d'État. Un Perse ! Nul doute qu'il va vouloir agrandir encore son empire... Une guerre menace. Crésus décide de consulter les dieux quant au sort éventuel des armes lydiennes.

L'adversaire perse est dangereux, mais en ce VI^e siècle avant notre ère, la Lydie, qui domine l'Anatolie occidentale, l'est aussi. Malheureusement, nous ignorons presque tout de ce pays, hormis ce que la tradition grecque nous a livré et les quelques vestiges retrouvés à Sardes, sa capitale. Heureusement, les choses changent : après avoir fait le point sur le dossier historique et archéologique lydien, nous exposerons le résultat des recherches que nous avons récemment menées dans la province lydienne.

L'ESSENTIEL

■ La Lydie fut un royaume anatolien bien connu des Grecs archaïques entre le VIII^e et le VI^e siècle avant notre ère.

■ Hormis le récit de la chute de son dernier roi, Crésus, les Anciens nous ont peu informé sur la Lydie.

■ Les fouilles menées depuis le XX^e siècle ont confirmé le récit grec, livré des détails sur la vie quotidienne, mais peu de choses sur l'organisation typique d'une cité lydienne.

■ Identifiée récemment, une ville de province lydienne apporte de nouvelles informations.

© RMN-Grand Palais (musée du Louvre) / Hervé Lewandowski

Fort de sa renommée, Crésus aurait sans doute mieux fait de faire le dos rond. Toutefois, il tient à venger son beau-frère, et peut aussi se sentir fort, puisqu'il a fait de la Lydie le plus grand royaume d'Asie Mineure et lui a associé les villes grecques de la côte. Avant lui, son père, dont il a hérité du trône vers -560, avait aussi soumis nombre de peuples anatoliens, conclu avec les Mèdes une paix durable, et convenu avec eux que le fleuve que les Turcs nomment aujourd'hui le Kizilirmak, c'est-à-dire la « rivière rouge », mais que les Anciens nommaient l'Halys, servirait de frontière entre Lydie et Médie.

Tester l'oracle

Crésus a donc envie d'agir, mais... sans risquer trop. Pour cela, une méthode s'impose dans son esprit : consulter un oracle. Toutefois, il se méfie. Afin d'éprouver la qualité de la divination pratiquée dans les grands sanctuaires, il décide de la tester au préalable. Il envoie donc des messagers à qui il a donné l'ordre de ne se présenter