

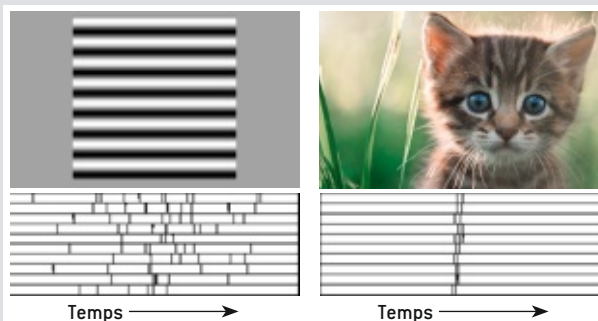
Un codage neuronal optimisé pour les images naturelles ?

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 Hüllden

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 Lévy/Anadolu

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