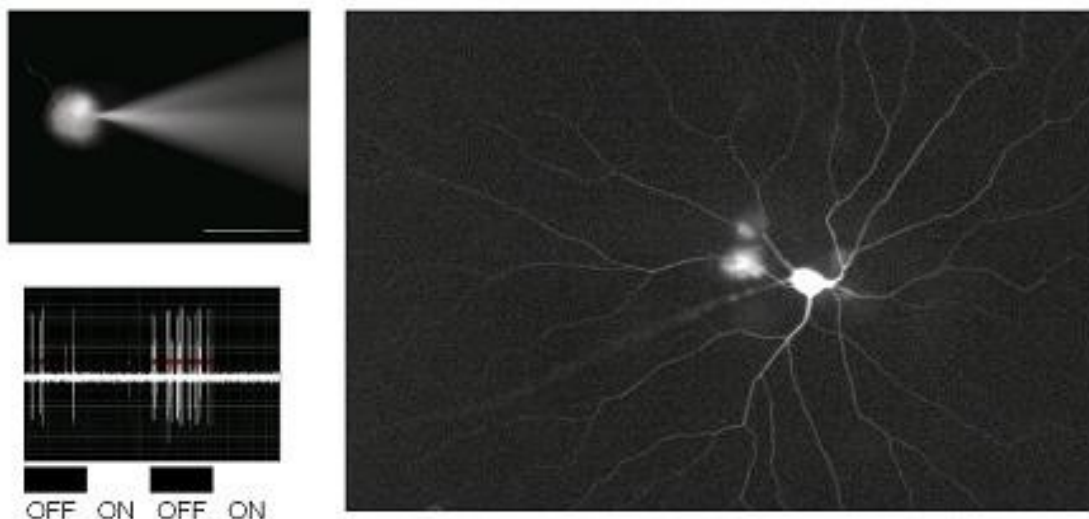


Le traitement des informations visuelles

En science, l'expérimentation nourrit les concepts et ceux-ci permettent de réaliser de nouvelles expériences pour avancer. La compréhension de la vision et de ses pathologies n'échappe pas à cette règle d'or. Témoins, les travaux de l'équipe de Lyle Graham sur les propriétés fonctionnelles du système visuel.

Qu'est-ce qu'un neurone ? Quelles sont ses qualités et ses propriétés propres, qui le rendent si différent des autres cellules de l'organisme et qui nourrissent les facultés extraordinaires de notre cerveau ? La question a longtemps obsédé les physiologistes. A commencer par le Tchèque Johannes Evangelista Purkinje (1787-1869), le découvreur du neurone, et le Britannique Charles Sherrington (1857-1952), l'inventeur de la notion de synapse (synaptein, lier ensemble), la zone de connexion entre deux neurones.

Aujourd'hui les neurobiologistes définissent le neurone comme une cellule capable d'intégrer et de traiter des signaux transmis par d'autres neurones (et d'autres cellules nerveuses, les cellules gliales) et d'ajuster en conséquence son potentiel membranaire pour transmettre, éventuellement, le signal sous forme de « potentiels d'action ».



Un type de réponse sélective d'un neurone. Si on la soumet à un flash lumineux, cette cellule ganglionnaire de la rétine de lapin répond seulement quand la lumière est « off », non quand elle « on » (en bas à gauche). Durant cette expérience, le corps cellulaire du neurone est rempli par une molécule fluorescente à l'aide d'un procédé appelé électroporation réalisé par l'électrode d'enregistrement (en haut à gauche ; barre d'échelle : 50 microns). Ce procédé aboutit à révéler l'ensemble de la structure de l'arbre dendritique et de l'axone de la cellule ganglionnaire (à droite). © L. Graham/Institut de la vision

Mais cette définition est encore approximative ; car ce qui caractérise aussi le neurone, c'est son horreur de la solitude, sa propension à dialoguer avec d'autres neurones, constituant au bout du compte des réseaux de communication d'une complexité inouïe : songez que les dizaines milliards de neurones qui peuplent notre cerveau établissent un nombre astronomique de connexions. Au sein de l'Institut de la vision, l'équipe de

Lyle Graham étudie comment les interactions entre les propriétés des neurones et les circuits complexes qu'ils établissent créent une faculté aussi prodigieuse que la vision dans ses multiples aspects : vision des couleurs, des formes, des mouvements, du relief, etc.

Le sujet est aussi compliqué qu'il en a l'air. Il faut d'abord se rappeler que la plupart des informations visuelles captées par la rétine de l'œil se projettent dans le lobe occipital du cortex cérébral, où se trouvent les aires visuelles. Ces aires sont constituées de régions fonctionnelles (appelées V1 ou cortex visuel primaire, V2, V3, V4, MT, etc.) qui traitent chacune ou en parallèle les différentes caractéristiques des informations provenant de la rétine : formes, couleurs, mouvement, etc. De plus, d'autres aires du cortex participent à l'élaboration de la perception visuelle, comme le cortex temporal et le cortex pariétal.

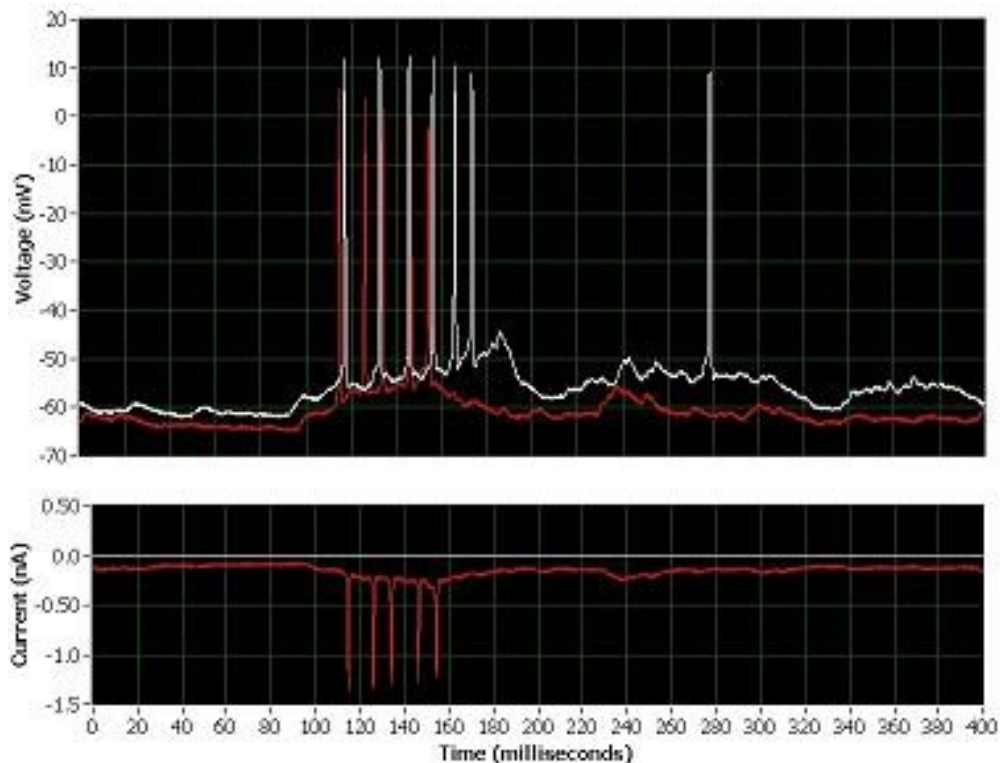
Des déficits pathologiques des traitements visuels, par exemple les agnosies visuelles (difficulté de reconnaissance ou difficultés de localisation), peuvent survenir par suite d'accidents qui lèsent une toute petite partie de ces aires visuelles. Ainsi, un accident vasculaire cérébral affectant une zone bien précise (l'aire V4) rendra le patient insensible aux couleurs sans altérer ses autres capacités perceptives.

La cartographie du cortex visuel :

Dans les années 1960, David Hubel et Torsten Wiesel (Prix Nobel de médecine 1981) ont observé, grâce à des enregistrements de l'activité électrique du cortex cérébral réalisés chez des chats, que la fonction du cortex visuel primaire (V1) est organisée en colonnes telles que les neurones d'une colonne ne sont sensibles qu'à une orientation bien particulière du stimulus lumineux. Une décennie plus tard, l'équipe de Semir Zeki en Grande-Bretagne a observé, chez des singes, que les neurones des aires associées à V1 (cortex associatif ou préstrié) sont également sélectifs : ils répondent soit à des stimulus correspondant à une couleur donnée, soit au mouvement (par exemple de droite à gauche, ou de gauche à droite), soit à la forme. Une véritable cartographie de ces aires a pu être établie. Chez l'homme, des études en imagerie cérébrale fonctionnelle (IRMf) ont retrouvé cette architecture des aires visuelles. Ainsi, les cellules de l'aire V4 sont spécifiques de certaines couleurs et de l'orientation des objets perçus. Les neurones de l'aire MT sont sensibles au mouvement et spécifiques de certaines directions, mais insensibles à la couleur des objets en mouvement. L'aire V3A est sensible aux formes, mais ne répond pas à la couleur des stimuli. Les chercheurs ont identifié jusqu'à présent dans les aires visuelles des dizaines de types de neurones ayant des sensibilités différentes.]

Toutefois, au-delà de l'architecture anatomique des aires visuelles, bien connue désormais, la question centrale est de savoir quelles sont les propriétés intrinsèques (physiques, biochimiques, moléculaires) des neurones qui engendrent leurs spécificités fonctionnelles.

Selon Lyle Graham, comprendre une question aussi complexe exige d'allier étroitement l'expérimentation, en particulier l'enregistrement de l'activité de neurones réalisé sur des animaux vivants (en l'occurrence des rats et des chats), et la modélisation, c'est-à-dire la représentation mathématique des propriétés et des fonctions d'un ou d'un grand nombre de neurones, réalisée à partir de mesures expérimentales. Les modèles permettent de faire des prédictions sur le fonctionnement des réseaux de neurones et de tester ces prédictions en retour à l'aide d'autres études expérimentales.



Réponse d'un neurone sélectif de l'orientation du cortex visuel primaire de chat, lorsqu'on lui présente un stimulus selon son angle préférentiel. Ici la réponse normale (en blanc, en haut) est comparée à la réponse du neurone (en rouge, en haut) obtenue quand on lui applique un courant synaptique artificiel inhibiteur (en rouge, en bas) par la technique du « dynamic clamp ». © L. Graham/Institut de la vision

Seules quelques équipes de recherche au monde, dont celle de Lyle Graham à l'Institut de la vision, sont capables d'effectuer des enregistrements électriques intracellulaires et in vivo dans le système visuel. « D'un point de vue mathématique, on peut dire que l'intégration des informations visuelles par le cerveau correspond à un calcul, explique Lyle Graham. Mais si le cerveau calcule, chacun de ses neurones calcule aussi puisqu'il intègre lui-même des informations provenant d'autres neurones. Il faut donc s'intéresser à la cellule en elle-même pour comprendre l'ensemble. »

Lyle Graham a ainsi mis au point différentes méthodes qui permettent de déterminer quelle est la part des apports des synapses excitatrices et des synapses inhibitrices dans la réponse d'un neurone du cortex visuel ou de la rétine (que l'on appelle l'activité visuelle évoquée), ou même de modifier la composition chimique intracellulaire d'un neurone parallèlement à son enregistrement électrique. De là peuvent découler des analyses expérimentales qui concernent par exemple les bases de la perception sélective de la géométrie dynamique des stimuli, que ce soit au niveau du cortex visuel primaire ou de la rétine.

« Ce regard focalisé sur le neurone doit se compléter d'une analyse plus théorique du fonctionnement des réseaux de neurones, puisque l'émergence d'une fonction visuelle naît des interactions d'un grand nombre de neurones et de connexions », poursuit Lyle Graham. D'où la nécessité de la modélisation (appelée aussi évaluation numérique ou computationnelle), qui permet de représenter mathématiquement cette émergence et de la simuler par des outils informatiques. Elle seule permet de représenter des mécanismes qui ne sont pas linéaires, c'est-à-dire qui diffèrent d'une simple addition d'actions et dont les effets ne sont donc pas proportionnels à ces actions.

Cette symbiose entre expérimentation et modélisation est une originalité forte du groupe de Lyle Graham à l'Institut de la vision, permise par le parcours pluridisciplinaire de ses chercheurs (L. Graham est ainsi ingénieur en génie électrique et docteur en neurosciences). On peut parier qu'elle illustrera aussi l'intérêt qu'il y a, pour un centre de recherches sur la vision, à concilier les recherches thérapeutiques avec des approches purement cognitives.