

Plusieurs projets internationaux visent à modéliser le fonctionnement et les interactions des cellules nerveuses du cortex

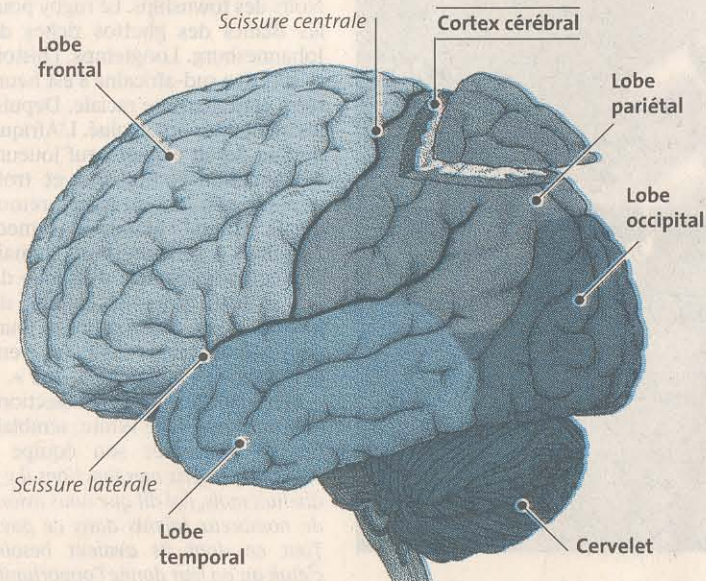
Percer les mystères du cerveau humain en simulant les réseaux de neurones

MALGRÉ les connaissances accumulées à partir d'expériences biologiques, par imagerie cérébrale ou à l'aide de modèles mathématiques, le cerveau humain demeure encore un continent inconnu. « *C'est l'organe le plus complexe du corps humain, fruit de plusieurs millions d'années d'évolution* », explique Jean-René Duhamel, neurophysiologiste et directeur de recherches à l'Institut des sciences cognitives (CNRS, université Claude-Bernard) de Lyon.

« *Le cerveau a évolué en même temps que se développaient la locomotion, les stratégies d'attaque des proies et celles destinées à la défense des groupes humains contre les prédateurs*, précise le scientifique. *C'est pourquoi il est formé de multiples couches, la plus évoluée étant le cortex, véritable réseau associatif qui permet de s'adapter à l'environnement de manière très souple.* »

Physiologiquement, le cortex – qu'on appelle aussi néocortex – se présente comme une « écorce » très mince, formée de six couches distinctes de plusieurs milliards de neurones, enveloppant les deux hémisphères du cerveau. Afin de percer les mystères de leurs interactions, les chercheurs créent des réseaux neuronaux artificiels en utilisant les moyens considérables de l'informatique. Le projet Bio-i3 (Bio-inspired intelligent information systems) de l'Union européenne a ainsi pour objectif de réaliser des modèles simplifiés de l'activité neu-

LES DIFFÉRENTES AIRES FONCTIONNELLES DU CORTEX



La cortex cérébral est constitué d'un million de colonnes de neurones. Chacune d'entre elles contient environ 10 000 neurones (photo ci-contre).

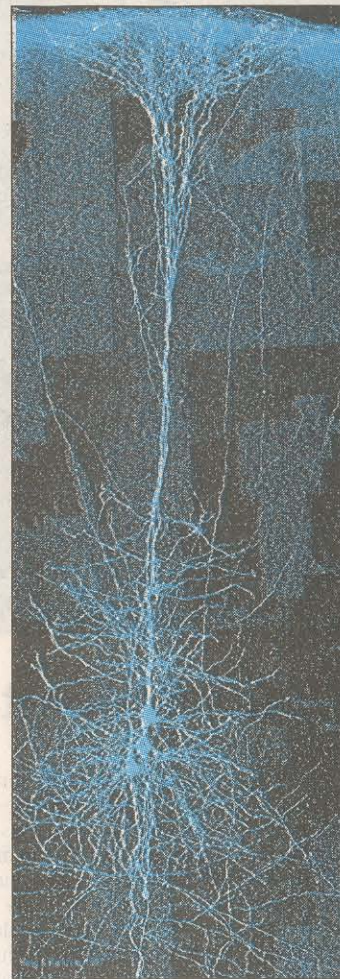
plus ambitieux encore. Il envisage de modéliser l'ensemble du cerveau pour tenter de reproduire la pensée humaine.

Dirigé par Henry Markram, spécialiste de la physiologie corticale et codirecteur du Brain Mind Institute de l'EPFL, ce projet consiste, dans

cellules nerveuses. Cet ensemble sera reproduit virtuellement, et tous ses éléments seront interconnectés.

L'ÉMERGENCE DE L'INTELLIGENCE

Une fois réalisée la réplique numérique d'une première colonne



seront effectuées en utilisant les grandes quantités de données biologiques expérimentales disponibles qui sont stockées dans une base de données. Ces dernières seront mises en ordre au moyen d'un logiciel spécialisé qui combinera deux programmes américains, le Neocortical Simulator et le programme Neuron.

SIMULER « EN DUR »

Certains chercheurs se demandent si Henry Markram a pris le sujet par le bon bout. Reproduire à l'infini une colonne corticale considérée comme un motif élémentaire constitue peut-être une simplification réductrice de phénomènes extrêmement complexes. « *Dans le domaine cortical, nous avons identifié un ensemble de lettres (neurones, synapses) et de mots (microcircuits) dont nous ignorons encore la syntaxe. Nous en sommes au stade de l'inventaire, sans savoir comment assembler les différents éléments de façon à produire l'émergence d'un langage neuronal au sein du réseau cortical* », commente Yves Frégnac, directeur de l'unité de neurosciences intégratives et computationnelles (UNIC) du CNRS à Gif-sur-Yvette (Essonne).

Aussi des pistes différentes sont-elles explorées par d'autres équipes. C'est le cas du programme européen Facets, qui, au sein de Bio-i3, regroupe un consortium de seize laboratoires, dont quatre français : l'UNIC, l'Institut des neurosciences cogniti-

si pour objectif de réaliser des modèles simplifiés de l'activité neuronale et d'étudier, à l'aide de circuits intégrés, l'émergence de propriétés collectives de réseaux neuronaux. Lancé en juin, ce projet, qui fait partie du programme européen des technologies émergentes futures, est doté d'un budget d'une vingtaine de millions d'euros.

Le programme Blue Brain Project, annoncé à la même époque par IBM et l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), est

directeur du Brain Mind Institute de l'EPFL, ce projet consiste, dans un premier temps, à simuler sur ordinateur une « colonne corticale », c'est-à-dire une unité de base du cortex. Chez l'homme, ces structures se sont multipliées au cours de l'évolution pour atteindre le chiffre d'environ un million. Chacune de ces colonnes, d'un diamètre de 0,5 mm, est composée de 10 000 neurones et d'un plus grand nombre encore de synapses qui assurent les communications entre ces

Une fois réalisée, la réplique numérique d'une première colonne corticale, l'étude sera progressivement étendue à plusieurs colonnes, puis à l'ensemble du cortex. « *Simuler le fonctionnement du cerveau au niveau cellulaire est une gigantesque entreprise, en raison des centaines de milliers de paramètres qui doivent être pris en compte*, explique Henry Markram. *Notre but est de tenter de comprendre l'émergence de l'intelligence chez les mammifères, puis chez l'homme. Et d'en*

savoir plus sur certains désordres neurologiques et psychiatriques. » Les scientifiques de l'EPFL vont utiliser pour la première fois dans l'histoire des neurosciences les capacités d'un super-calculateur, le Blue Gene d'IBM, déjà employé pour simuler la structure tridimensionnelle et le fonctionnement des protéines. Cet ordinateur géant pourra traiter 22 800 milliards d'opérations par seconde. Les simulations

IBM/ L'Institut des neurosciences cognitives de la Méditerranée à Marseille, le laboratoire d'étude de l'intégration des composants et des systèmes électroniques de Bordeaux et l'Institut national de recherche en automatique et en informatique (Inria).

« *Notre objectif est moins ambitieux que celui du Blue Brain Project* », explique Alain Destexhe, directeur de recherches au CNRS et spécialiste en neurosciences computationnelles à l'UNIC. « *Nous voulons élaborer un modèle simple de l'activité neuronale, en conservant certaines caractéristiques des neurones et en en laissant d'autres de côté. Ce qui ne nous empêche pas*, précise le chercheur, *d'intégrer la grande diversité des formes et des réponses neuronales dans notre simulation. Les neurones ont en effet chacun leur personnalité et réagissent de manière différente.* »

Outre la modélisation sur ordinateur de l'architecture corticale, les scientifiques impliqués dans Facets envisagent de réaliser des circuits intégrés pour simuler « en dur », et non plus de façon virtuelle, le fonctionnement d'un grand nombre de neurones. Ces circuits électroniques reproduiront différents types de neurones simplifiés ainsi que leurs synapses. « *Nous tentons de les relier à un ordinateur pour les faire ensuite travailler ensemble dans un réseau* », ajoute Alain Destexhe.

Toutes ces approches devraient permettre de pénétrer un peu plus avant dans l'intimité de l'esprit de l'homme.

C. Ga.

Christiane Galus

Le cortex, un supercalculateur qui gère nos informations sensorielles

LES NEURONES corticaux sont capables d'incroyables performances. Des chercheurs de l'Institut des sciences cognitives de Lyon (CNRS-université Claude-Bernard), en collaboration avec des équipes de l'Université catholique de Louvain et de l'université de Rochester, viennent d'en administrer la preuve dans la revue *Nature Neuroscience* du mois de juillet.

Ils montrent comment certains neurones du cortex pariétal parviennent à intégrer différentes informations spatiales provenant de signaux visuels ou sonores et de stimulations mécaniques à la surface du corps, pour procéder ensuite à une pondération entre ces différentes informations.

« *Tout se passe comme si le cerveau humain fonctionnait à l'image d'un ordinateur qui combine de multiples données pour trouver l'information optimale* », explique Jean-René Duhamel, neurophysiologiste à l'Institut des sciences cognitives. C'est ce que fait notre cerveau lorsque nous nous trouvons dans un environnement bruyant et que nous réussissons néanmoins à comprendre ce que nous dit notre interlocuteur. C'est aussi de cette façon

qu'un boxeur anticipe l'impact sur son corps d'un coup porté par son adversaire.

Dans le cerveau, le cortex comporte des aires qui répondent de manière spécifique à différentes composantes élémentaires des stimuli visuels (couleur, direction du mouvement, reconnaissance des formes). D'autres aires corticales participent aussi à l'élaboration de la perception visuelle, comme le cortex temporal ou le cortex pariétal. Ce dernier évalue certaines données, telles la position du corps et celle d'un objet dans l'espace, grâce aux informations sensorielles qu'il reçoit.

ÉTUDIER LA RÉACTION DES SINGES

Comment toutes ces données se combinent-elles ? Pour le savoir, les chercheurs ont étudié les réactions de singes macaques soumis à des stimulations sollicitant plusieurs sens. Parallèlement, ils ont fait appel à des simulations fournies par des réseaux de neurones artificiels.

Cela leur a permis de vérifier deux hypothèses. D'une part, avant d'être combinées, les informations sensorielles et posturales convergent vers des ensembles de cellules situées dans des aires intermédiaires. Ces cellules ser-

vent à nouer un « dialogue » entre les cartes visuelles et les cartes somatosensorielles du cortex. D'autre part, les chercheurs ont constaté que les voies de communication nerveuses sont à double sens, permettant ainsi à l'information de circuler de manière itérative d'une région à l'autre.

Les scientifiques estiment qu'ils peuvent extrapoler à l'homme les données obtenues sur le petit macaque, car « *leur système visuel et la structure interne de leur cerveau sont très semblables* », précise Jean-René Duhamel.

Ces travaux concernent une région du cortex impliquée dans « *des fonctions cognitives de très haut niveau, comprenant notamment la capacité à manipuler les nombres* », ajoute le scientifique. Une aptitude qui a été mise en évidence par les techniques d'imagerie fonctionnelle.

Ainsi les travaux menés récemment par Stanislas Dehaene, spécialiste des neurosciences à l'Inserm, ont montré une très forte relation entre nos capacités mathématiques et notre faculté à manipuler les informations spatiales.