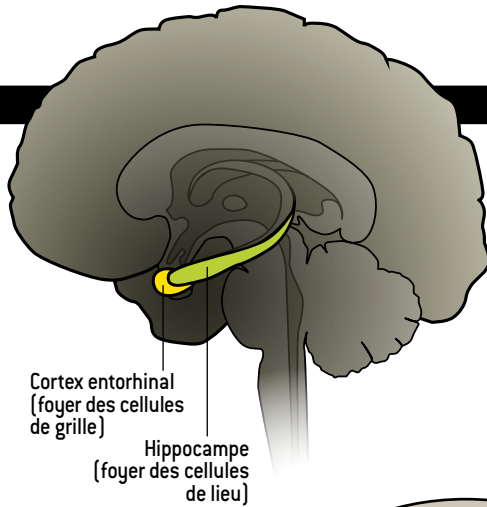
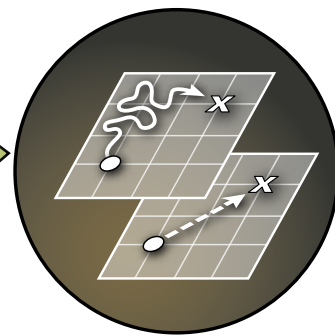
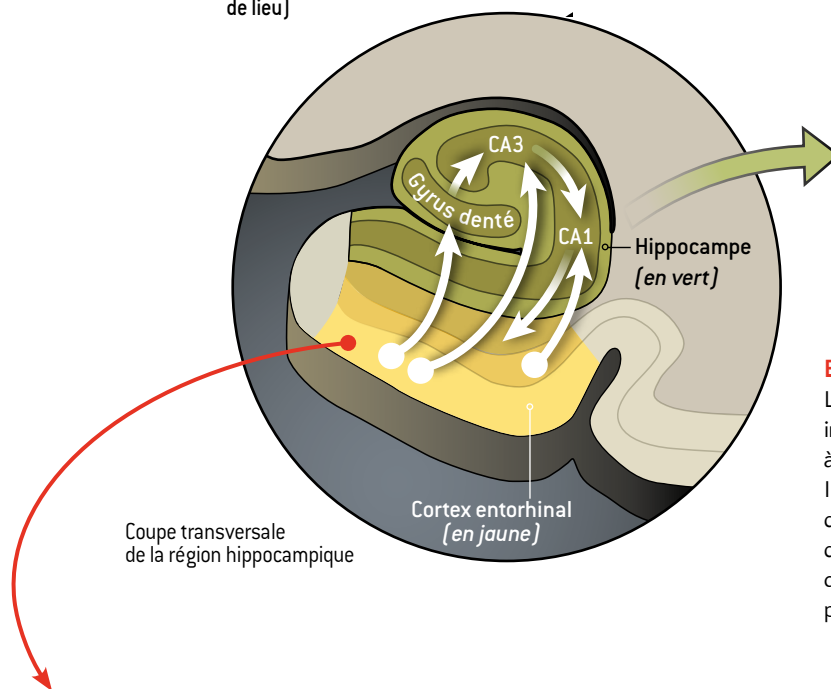


PLONGÉE À L'INTÉRIEUR DU GPS CÉRÉBRAL



Le système neural de navigation spatiale du cerveau humain est localisé dans les profondeurs d'une région nommée lobe temporal médian. Deux sous-régions, le cortex entorhinal et l'hippocampe, constituent des composantes clés du GPS cérébral. Dans le cortex entorhinal, des réseaux de plusieurs types de cellules spécialisées contribuent à la complexité du système de localisation des mammifères.

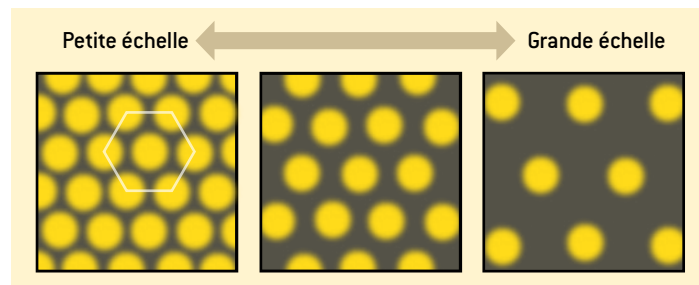


Envoi de messages à l'hippocampe

Le cortex entorhinal transmet des informations des cellules de grille relatives à la direction et à la distance parcourue. Il le fait en envoyant des signaux le long de plusieurs voies vers des sous-régions de l'hippocampe (le gyrus denté, CA3 et CA1), qui créent une carte mentale optimisée pour prévoir de futurs trajets.

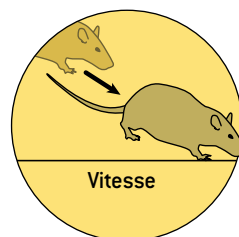
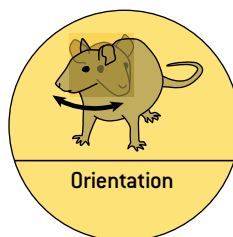
Chaque cellule de grille s'active quand...

... la position de l'animal correspond à l'un des nœuds d'un réseau dessiné par des hexagones. Le pas du réseau change entre le haut et le bas du cortex entorhinal. Un pas plus grand correspond à une distance plus longue que doit parcourir le rat entre deux activations de la cellule de grille. Dans le haut du cortex entorhinal, une cellule de grille s'active à nouveau lorsque le rat a parcouru 30 à 35 centimètres pour atteindre un nœud voisin. Dans le bas du cortex entorhinal, deux activations successives correspondent à un pas de plusieurs mètres.



D'autres cellules spécialisées récemment découvertes...

... dans le cortex entorhinal de rongeurs véhiculent des informations vers l'hippocampe, sur l'orientation de la tête de l'animal, sa vitesse de déplacement et la distance jusqu'aux murs et d'autres obstacles rencontrés. L'hippocampe intègre alors toutes ces données pour créer une carte composite de l'environnement de l'animal.



Cellules de grille : l'espace... et le temps aussi

Les cellules de grille s'activent lorsque la position de l'animal coïncide avec l'un des nœuds d'un réseau périodique constitué d'hexagones. De ce fait, elles jouent un rôle clé dans l'orientation spatiale de l'animal. Une étude publiée en novembre 2015 par Benjamin Kraus et ses collègues, à l'université de Boston, montre que les cellules de grille sont aussi fortement impliquées dans l'intégration des informations temporelles.

Ces chercheurs ont enregistré sur des rats l'activité de cellules de grille pendant que les rongeurs parcouraient un petit labyrinthe simple en forme de 8, où l'un des tronçons était un tapis roulant sur lequel les animaux couraient en faisant du sur

place. Le tapis roulant, de vitesse réglable, fonctionnait pendant une durée fixe (16 secondes) ou roulait pendant une durée telle que la distance parcourue soit fixe (70 mètres). Les enregistrements au cours de différentes sessions expérimentales ont montré

que, lorsque les rats se trouvaient sur le tapis roulant, la quasi-totalité des cellules de grille présentaient un rythme élevé de décharge soit à des instants particuliers, soit pour certaines valeurs de la distance parcourue sur le tapis roulant. Le parcours des rats sur le tapis roulant se déroulant dans un cadre visuel constant, Benjamin Kraus et ses collègues concluent que les cellules de grille fournissent une représentation du temps écoulé et de la distance parcourue qui est indépendante des repères externes dont l'animal peut disposer.

figure aussi parmi les premiers indicateurs de la maladie.

Aux stades plus avancés de la maladie d'Alzheimer, des cellules de l'hippocampe meurent, ce qui conduit à une incapacité à se souvenir d'expériences vécues ou de concepts tels que les noms des couleurs. En fait, une étude récente a apporté des preuves que même des personnes jeunes portant un gène qui leur fait courir un risque élevé de développer la maladie d'Alzheimer présentent parfois des défauts de fonctionnement de leurs réseaux de cellules de grille, une découverte susceptible d'inspirer de nouvelles méthodes pour diagnostiquer la maladie.

Aujourd'hui, plus de quatre-vingts ans après que Tolman a proposé pour la première fois l'existence d'une carte mentale de notre environnement, il est clair que les cellules de lieu ne sont que l'une des composantes d'une représentation complexe que le cerveau se fait de son environnement spatial pour calculer la position, la distance, la vitesse et la direction. Les nombreux types cellulaires découverts dans le système d'orientation et de navigation du cerveau de rongeurs sont également présents chez les chauves-souris, les singes et les êtres humains. Leur existence dans plusieurs ordres taxinomiques de mammifères suggère que les cellules de grille et d'autres intervenant

dans la navigation sont apparues tôt au cours de l'évolution des mammifères et que des processus neuraux similaires servent à l'orientation chez de nombreuses espèces.

Bon nombre des éléments constituant la carte conjecturée par Tolman ont été découverts et nous commençons à comprendre comment le cerveau les crée et les déploie. La représentation spatiale est devenue l'un des circuits les mieux connus du cortex des mammifères et les algorithmes sous-jacents sont en cours d'identification, ce qui aidera à déchiffrer les codes neuraux que le cerveau utilise pour l'orientation et la navigation.

Des cartes géantes pour les migrants ?

Comme dans beaucoup d'autres domaines de la science, de nouveaux résultats soulèvent de nouvelles questions. Nous savons désormais que le cerveau dispose d'une carte interne, mais il nous reste à mieux comprendre comment les éléments de la carte fonctionnent de concert pour produire une représentation cohérente de la localisation et comment les informations sont lues par d'autres systèmes du cerveau pour prendre des décisions quant au lieu de destination et à la manière de s'y rendre.

De nombreuses autres questions se posent. Le réseau spatial associé à l'hippocampe et au cortex entorhinal est-il limité à la navigation dans l'espace local ? Avec les rongeurs, nous examinons des zones qui ne font que quelques mètres de rayon. Les cellules de lieu et de grille servent-elles également aux déplacements sur de longues distances, comme lorsque les chauves-souris migrent sur des centaines ou milliers de kilomètres ?

Enfin, nous nous demandons comment les cellules de grille se forment, s'il existe une période critique de formation pour les cellules de grille au cours du développement d'un animal et s'il existe des cellules de lieu et de grille chez d'autres animaux vertébrés ou invertébrés. Si les invertébrés sont aussi équipés de ces cellules, cela impliquerait que l'évolution a créé ce système de cartographie spatiale il y a des centaines de millions d'années. Le système de localisation et d'orientation dont est doté le cerveau continuera à produire une mine précieuse de sujets pour de nouvelles recherches, qui occuperont des générations de scientifiques dans les décennies à venir. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

B. J. Kraus *et al.*, *During running in place, grid cells integrate elapsed time and distance run*, *Neuron*, vol. 88, pp. 578-589, 2015.

E. I. Moser *et al.*, *Grid cells and cortical representation*, *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 15 (7), pp. 466-481, 2014.

E. I. Moser, *Grid cells and the entorhinal map of space*, conférence de réception du prix Nobel, 7 décembre 2014 (<http://bit.ly/1WPRGPa>).

M.-B. Moser, *Grid cells, place cells and memory*, conférence de réception du prix Nobel, 7 décembre 2014 (<http://bit.ly/1wBRVt>).