

analogues sur la carte d'un autre environnement, comme si les lignes de latitude et de longitude de la première carte étaient transposées sur le nouveau décor. Il en est de même pour les cellules de bordures et celle de direction de la tête. Par exemple, la séquence de cellules qui se sont activées quand l'animal s'est dirigé vers le nord-est dans l'une des pièces de la cage se répète lorsque le rat avance dans cette même direction dans l'autre pièce. Le profil d'activité des cellules du cortex entorhinal est l'élément que le cerveau utilise pour naviguer dans les différents environnements.

Ces codes sont ensuite transmis du cortex entorhinal à l'hippocampe, où ils sont utilisés pour établir des cartes spécifiques d'un endroit donné. Du point de vue de l'évolution, l'élaboration de deux ensembles de cartes qui intègrent leurs informations pour guider les animaux semble constituer une solution économique pour un système d'orientation spatiale. Les réseaux que construit le cortex entorhinal médian pour mesurer la distance et la direction ne changent pas d'une pièce à l'autre. En revanche, les cellules de lieu de l'hippocampe créent des cartes particulières à chacune des pièces.

## Plusieurs cartes locales

La compréhension du système neural de navigation reste un chantier ouvert. Presque toutes nos connaissances sur les cellules de lieu et de grille ont été acquises au moyen d'expériences où l'on enregistre l'activité électrique des neurones quand l'animal se déplace au hasard dans des environnements très artificiels, tels que des boîtes à fond plat et dépourvues de structures internes pouvant servir de points de repère.

Un tel environnement de laboratoire diffère considérablement des environnements naturels, qui changent en permanence et contiennent de nombreux objets tridimensionnels. Les cellules de lieu et les cellules de grille déchargent-elles de la même façon quand les animaux se trouvent dans le milieu naturel ?

# Le système de navigation

est couplé à la mémoire et associe des souvenirs aux lieux visités par l'animal

Des expériences réalisées avec des labyrinthes complexes qui tentent d'imiter l'habitat naturel des animaux fournissent quelques indices. En 2009, nous avons enregistré le comportement de cellules de grille pendant que des animaux se déplaçaient dans un tel labyrinthe, où ils rencontraient un virage en épingle à cheveux à la fin de chaque allée, qui marquait le début du couloir suivant. L'étude a montré, comme prévu, que les endroits du labyrinthe où s'activaient les cellules de grille formaient des réseaux d'hexagones permettant de baliser le parcours dans une allée du labyrinthe. Mais chaque fois qu'un animal tournait pour emprunter l'allée suivante, une transition brutale avait lieu. Un motif de grille distinct se surimposait alors sur la nouvelle allée, presque comme si le rat entrait dans une pièce totalement différente.

Des travaux ultérieurs menés dans notre laboratoire ont montré que les cartes de grille se subdivisent également en cartes plus petites dans des environnements ouverts, si ces espaces sont suffisamment grands. Nous cherchons maintenant à comprendre comment ces cartes plus petites fusionnent pour former une carte intégrée d'une zone donnée.

Même ces expériences sont trop simplifiées, car les enceintes sont plates et horizontales. Des expériences réalisées dans

d'autres laboratoires, consistant à observer des chauves-souris en vol et des rats qui grimpent en divers endroits de leur cage, commencent à fournir quelques indices : les cellules de lieu et les cellules de direction de la tête semblent décharger en des endroits particuliers dans tout espace tridimensionnel, et il est très probable que les cellules de grille en fassent autant.

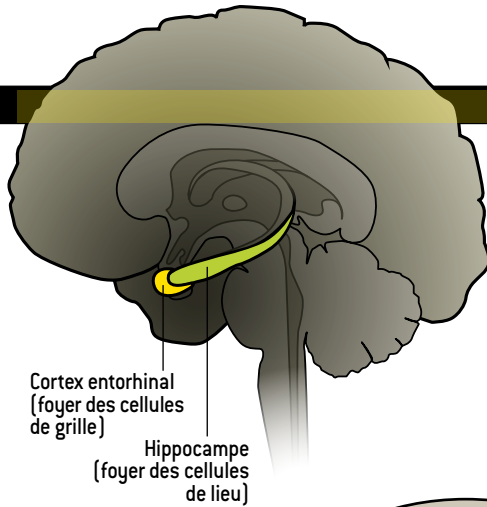
Le système de navigation de l'hippocampe apporte aux animaux bien plus qu'une simple aide pour aller d'un point A à un point B. Outre la réception de données sur la position, la distance et la direction envoyées par le cortex entorhinal médian, l'hippocampe enregistre ce qu'il y a en un endroit donné ainsi que les événements qui y surviennent. La carte spatiale créée par les cellules de lieu ne contient donc pas seulement des informations de positions, mais aussi des détails sur le vécu de l'animal à ces endroits, comme dans la conception de Tolman d'une carte cognitive.

Certaines de ces informations supplémentaires semblent provenir de neurones situés dans la partie latérale du cortex entorhinal. Des informations sur les objets fusionnent avec les positions de l'animal et sont mémorisées. Ce couplage entre lieu et mémoire rappelle une stratégie de mémorisation inventée par les Grecs et les Romains de l'Antiquité. La « méthode des *loci* » permet à une personne de mémoriser une liste d'objets en s'imaginant déposer chaque objet en un endroit précis le long d'un trajet bien connu dans un certain lieu, par exemple un paysage ou un bâtiment, ce qu'on appelle souvent un « palais de la mémoire ». Les participants à des concours de mémoire utilisent encore cette technique pour se souvenir de longues listes de nombres, lettres ou cartes à jouer.

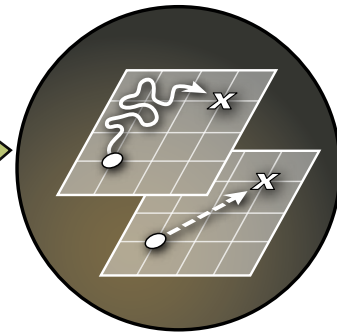
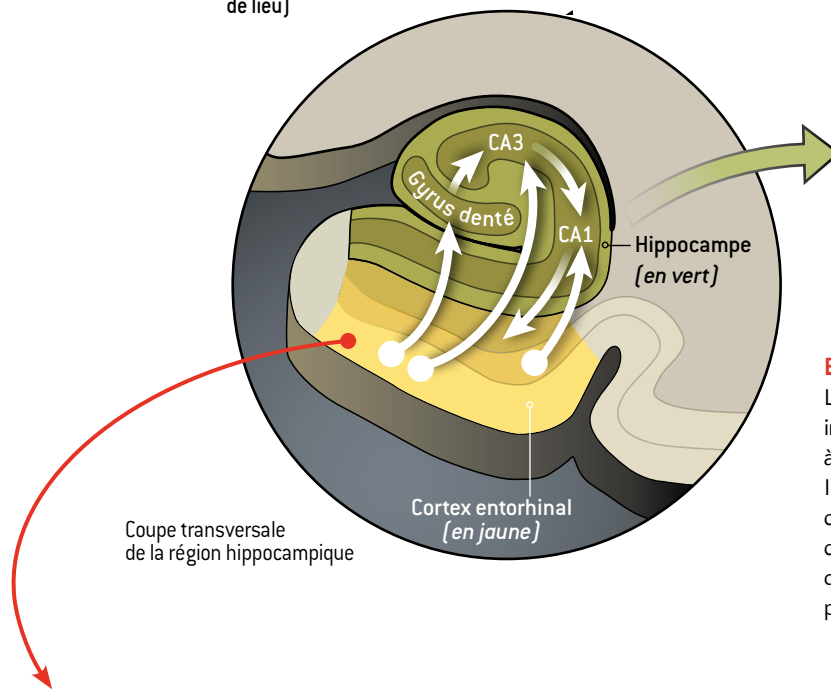
## Quand le cortex entorhinal décline

Le cortex entorhinal figure malheureusement parmi les premières régions à décliner chez les personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer. La maladie y provoque la mort de cellules cérébrales et une réduction de sa taille est considérée comme un critère fiable d'identification des sujets à risque. La tendance à errer et à se perdre

## 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.

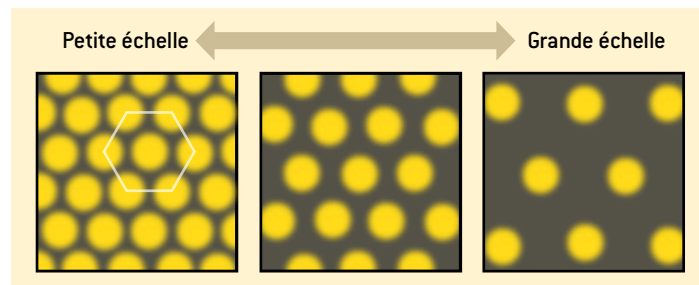


### Envoi de messages à l'hippocampe

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.

