

tion olfactive. Lors de plusieurs études menées au cours des années 2000, on a appris aux abeilles à associer une odeur à une récompense sucrée et on a observé le rôle des corps pédonculés dans la mémorisation : lorsque cette structure cérébrale était détruite ou inhibée par des substances chimiques, les abeilles ne parvenaient plus à mémoriser les odeurs.

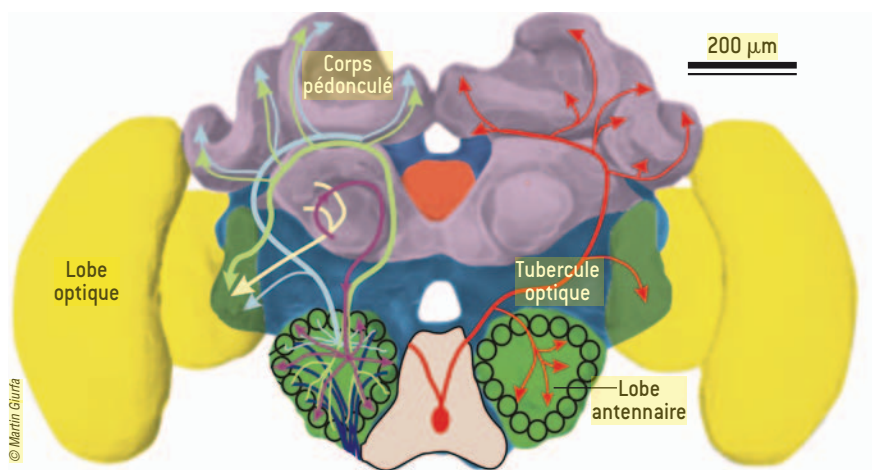
Pour trouver les bases neuronales des concepts, la première étape est donc de vérifier l'implication des corps pédonculés. Plusieurs laboratoires pensent lancer des projets en ce sens dans l'année à venir. Ils devraient obtenir des résultats au cours des deux ou trois prochaines années.

Comment observer le cerveau des abeilles en fonctionnement ? Les techniques d'imagerie par résonance magnétique (IRM) sont inapplicables, car leur résolution est de l'ordre du millimètre, et le cerveau de l'abeille mesure moins de un millimètre cube. En revanche, la robustesse de l'abeille autorise les méthodes invasives. On réalise donc de l'imagerie cérébrale en ouvrant la cuticule (la carapace) du crâne (une opération indolore, cette cuticule n'étant pas innervée), puis en injectant un colorant dans le cerveau : cette substance se colore en présence des ions calcium libérés par les neurones lorsqu'ils émettent des impulsions électriques. On observe alors le cerveau de l'abeille au microscope (voir la figure 3).

## Observer le cerveau des abeilles

On utilise également l'électrophysiologie : cette technique consiste à mesurer directement l'activité de neurones et d'ensembles de neurones en implantant des électrodes dans le cerveau des insectes. La pointe de l'électrode est placée soit à la surface du neurone, soit à l'intérieur.

La seule limitation, en passe d'être résolue, est la difficulté d'étudier des apprentissages complexes sur des abeilles immobilisées en laboratoire. Cette immobilisation est nécessaire pour l'imagerie cérébrale et l'enregistrement de l'activité du cerveau. Or une abeille immobilisée peine à apprendre de simples couleurs et est incapable de mémoriser des concepts relationnels. Une solution en cours de développement serait d'utiliser des simulateurs de vol ou de marche, qui donneraient l'impression d'un mouvement libre à l'abeille immobilisée.



**5. LES CORPS PÉDONCULÉS** (en violet) pourraient être l'aire cérébrale responsable des concepts relationnels chez l'abeille. En effet, ils sont très développés et reçoivent des informations de multiples zones du cerveau – à l'instar du cortex préfrontal des primates, qui sous-tend les fonctions cognitives supérieures chez ces animaux.

Des dispositifs de ce type ont déjà été développés par plusieurs équipes de l'Université de Queensland, en Australie. Dans l'un d'eux, l'abeille est collée à une tige qui la maintient sur une boule tournant quand elle marche. L'analyse des mouvements de la boule, maintenue en suspension par un flux d'air, renseigne sur la direction dans laquelle l'abeille veut se diriger et sur sa vitesse. Nous voudrions utiliser un simulateur de marche de ce type, avec un écran cylindrique où serait projetée une image qui bougerait en fonction des mouvements de l'abeille. Le simulateur de marche semble suffire à autoriser des apprentissages complexes et est plus simple et moins coûteux qu'un simulateur de vol.

En parallèle, des modélisations de ces apprentissages devront être réalisées pour comprendre leurs fondements neuronaux. Dans une telle modélisation, un neurone virtuel intègre des stimulations excitatrices ou inhibitrices en provenance d'autres neurones. Quand un certain seuil d'excitation est atteint, il envoie un message excitateur ou inhibiteur à d'autres neurones.

En 2011, l'équipe de Barbara Webb, de l'Université d'Édimbourg, en Écosse, a obtenu des premiers résultats pour des apprentissages simples (la mémorisation d'odeurs) chez la drosophile, dont le cerveau est bien moins complexe que celui de l'abeille. Dans sa simulation, la perception d'une molécule odorante entraînait l'activation d'un ensemble de neurones, chacun réagissant à une caractéristique chimique particulière. Lorsque cet ensemble était activé en même temps que les

neurones détectant la récompense sucrée (ce qui se produit quand les abeilles trouvent cette récompense en même temps qu'elles perçoivent l'odeur), les synapses connectant les neurones en jeu étaient potentialisées, c'est-à-dire qu'elles devenaient plus efficaces pour transmettre le signal. Après quelques essais virtuels, l'activation du circuit neuronal codant l'odeur suffisait à activer celui de la détection du sucre. C'est ainsi qu'un insecte réel serait attiré vers la source de l'odeur.

B. Webb a déduit de ses travaux qu'un grand nombre de neurones n'est pas nécessaire pour mémoriser une odeur : c'est le nombre de synapses qui importe. Des projets sont en cours d'élaboration pour simuler l'encodage d'apprentissages plus complexes, tels ceux de catégories perceptives, chez les abeilles.

Le cas des abeilles montre que la manipulation de concepts relationnels n'est pas l'apanage des vertébrés. L'étude de ces facultés chez l'insecte devrait nous renseigner sur la complexité cérébrale minimale permettant d'atteindre de tels niveaux cognitifs. Enfin, elle ouvre des perspectives dans le domaine de l'intelligence artificielle et de la reconnaissance visuelle par ordinateur. La rapidité avec laquelle l'abeille apprend les concepts relationnels montre qu'elle a développé des mécanismes cérébraux efficaces pour effectuer cette tâche. Quand nous les aurons mieux compris, nous pourrions nous en inspirer pour concevoir des logiciels de reconnaissance visuelle susceptibles d'être utilisés notamment dans des robots miniatures. ■