

L'intelligence des abeilles

Aurore Avarguès-Weber

Les abeilles ont des facultés cognitives étonnantes pour des animaux dotés d'un si petit cerveau. L'étude des mécanismes neuronaux sous-jacents pourrait inspirer certains dispositifs d'intelligence artificielle.

À l'évocation de l'abeille, on pense souvent à une organisation sociale élaborée. Une ruche comporte des dizaines de milliers d'ouvrières, toutes filles d'une seule reine, et qui assurent ensemble la survie de la colonie. Cependant, cet insecte se distingue aussi par des comportements individuels divers et complexes.

Une ouvrière vit de quatre à six semaines, sauf quand elle naît à la fin de l'été, car elle passe alors l'hiver en hibernation. Lors de sa courte vie, elle effectue des dizaines de tâches différentes, telles que le nettoyage de la ruche, le soin aux larves ou la collecte de nourriture. Au sein de la ruche, la plupart des tâches sont stéréotypées et déclenchées automatiquement par les stimulus (visuels, olfactifs...). En revanche, quand elle va butiner, l'abeille doit choisir des fleurs et naviguer dans un environnement complexe et changeant, conditions qui excluent les comportements stéréotypés.

Elle peut alors se repérer dans un rayon de plus de dix kilomètres de la ruche et mémoriser les caractéristiques des sources

de nourriture visitées : emplacement, disponibilité temporelle (certaines fleurs produisent plus ou moins de nectar selon l'heure), qualité (concentration en sucre)... Les recherches récentes ont révélé les capacités cognitives mises en jeu lors de la collecte de nourriture. Elles sont d'autant plus étonnantes que l'abeille a un cerveau minuscule : 960 000 neurones qui tiennent dans moins d'un millimètre cube, contre 100 milliards pour l'être humain.

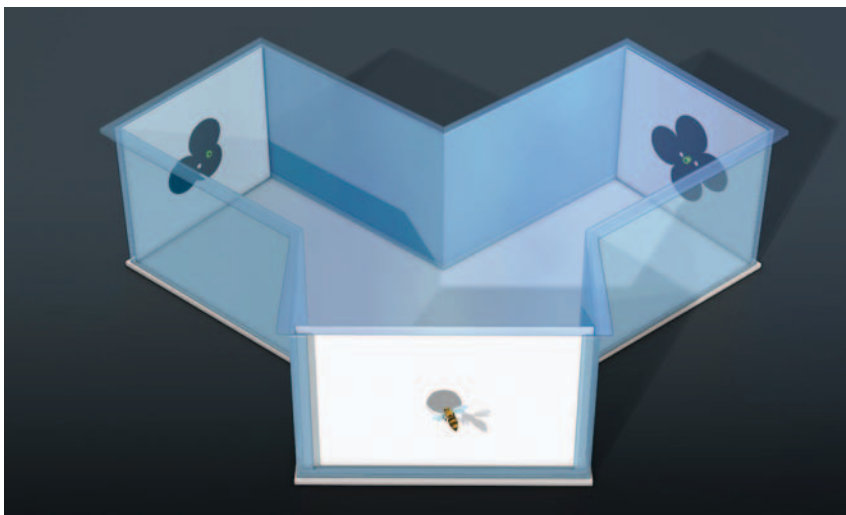
Depuis un siècle, l'abeille a été utilisée dans des centaines d'études sur la perception, l'apprentissage et la mémoire. L'éthologue autrichien Karl von Frisch (1886-1982) en a été le pionnier. Ses recherches, débutées en 1910, ont été couronnées par le prix Nobel de physiologie en 1973. Il a notamment défini une méthodologie, toujours utilisée aujourd'hui, pour étudier la perception et la mémoire des abeilles. Celles-ci ont un comportement dit de constance florale : lorsqu'elles rencontrent des fleurs contenant du nectar, elles en mémorisent les caractéristiques et ne visitent par la suite que les

L'ESSENTIEL

- Le traitement cognitif de l'environnement visuel des abeilles est élaboré.
- Ces insectes classent les objets par catégories et utilisent des concepts relationnels, c'est-à-dire des relations abstraites liant les objets : nombre, configuration spatiale...
- Le substrat cérébral des concepts pourrait se trouver dans une zone nommée corps pédonculés. On cherche à le confirmer par des études d'imagerie ou en mesurant l'activité des neurones avec des électrodes.

© Peter Waters/shutterstock.com





© Bruno Bourgeois d'après A. Avarguès-Weber

1. POUR TESTER LES CAPACITÉS COGNITIVES DES ABEILLES, on les fait pénétrer dans un labyrinthe en Y. Dans l'une des branches se trouve un répulsif et, dans l'autre, une récompense (une solution sucrée) associée à ce qu'on cherche à apprendre à l'insecte (ici à reconnaître une image symétrique). Après la phase d'apprentissage, l'abeille doit choisir entre de nouvelles images ayant ou non la propriété testée. Ici, elle choisira celles dotées d'une symétrie (à droite), ce qui montre qu'elle a identifié et mémorisé cette propriété.

fleurs de la même espèce. Elles abandonnent l'espèce seulement quand elles visitent plusieurs fleurs « vides ». Ce comportement permet d'entraîner les abeilles à récolter une solution sucrée associée à une image, qu'elles mémorisent et vers laquelle elles reviennent lors de leurs voyages successifs – et ce des heures durant, afin de ramener le maximum d'eau sucrée à la ruche. En proposant ensuite aux abeilles un choix entre plusieurs images, on détermine les éléments spécifiques perçus et mémorisés.

Par exemple, on teste si l'abeille distingue les couleurs en associant un rond jaune à la solution sucrée pendant l'entraînement, et en lui présentant ensuite des ronds de couleurs variées : si elle se dirige plus souvent vers les ronds jaunes, c'est qu'elle est capable de distinguer les couleurs. De même, on teste si elle apprend préférentiellement les formes ou les couleurs en l'entraînant avec un carré bleu associé à la récompense et en lui faisant ensuite choisir entre un carré gris et un triangle bleu : si elle choisit le carré, c'est qu'elle a mémorisé la forme ; si elle choisit le triangle, c'est qu'elle se souvient de la couleur.

Grâce à cette méthodologie, von Frisch a montré en 1914 que l'abeille perçoit le monde en couleurs, mais que son spectre visuel est décalé vers l'ultraviolet par rapport au nôtre. À l'époque, ces résultats ont suscité la polémique. On sait aujourd'hui qu'ils s'expliquent par une coévolution des fleurs et de leurs pollinisateurs. De nom-

■ L'AUTEUR



Aurore AVARGUÈS-WEBER a travaillé au Centre de recherches sur la cognition animale, à l'Université de Toulouse, puis à l'Université Queen Mary, à Londres.

■ BIBLIOGRAPHIE

A. Avarguès-Weber et al., **Simultaneous mastering of two abstract concepts with a miniature brain**, *PNAS*, vol. 109, pp. 7481-7486, 2012.

A. Avarguès-Weber et al., **Visual cognition in social insects**, *Annual Reviews of Entomology*, vol. 56, pp. 423-443, 2011.

L. Chittka et K. Jensen, **Animal cognition : concepts from apes to bees**, *Current Biology*, vol. 21, pp. 116-119.

M. Srinivasan, **Honey bees as a model for vision, perception, and cognition**, *Annual Reviews of Entomology*, vol. 55, pp. 267-284, 2010.

breuses fleurs présentent ainsi des sortes de pistes d'atterrissage dans l'ultraviolet, c'est-à-dire des motifs visibles uniquement à ces longueurs d'onde et qui guident les pollinisateurs vers le nectar.

Les abeilles distinguent aussi les formes. Elles reconnaissent des images complexes, malgré une faible acuité visuelle (elles perçoivent des images très pixellisées, avec une résolution 100 fois inférieure à la nôtre) : elles savent, par exemple, distinguer un paysage forestier d'un champ. Stockent-elles les images et les comparent-elles aux nouvelles pixel par pixel ? Une telle technique, dite de matching (littéralement, de correspondance), serait simple, mais coûteuse en termes de mémoire. Les recherches récentes indiquent plutôt que l'abeille réalise un traitement cognitif élaboré de son environnement visuel.

En quoi consiste un tel traitement ? L'homme, par exemple, effectue une catégorisation, c'est-à-dire qu'il classe instantanément les objets de son environnement en catégories : ainsi, il regroupe dans la catégorie « voiture » tous les objets présentant quatre roues, un moteur et une carrosserie. Pour définir une catégorie, le cerveau doit identifier des similarités, tout en faisant abstraction des autres propriétés. Cette classification diminue la quantité d'informations à mémoriser, puisque seuls les critères pertinents sont enregistrés. En outre, elle renseigne sur le comportement à adopter envers une entité (objet, animal...) avec laquelle on n'a jamais interagi, grâce aux interactions mémorisées avec d'autres entités de la même catégorie.

Classer les objets par catégories

En raison de la complexité du traitement des images, on a longtemps considéré la capacité de catégorisation comme l'apanage des vertébrés. Elle a notamment été mise en évidence chez les primates, les dauphins et les pigeons.

Cependant, on s'est aperçu dans les années 1990 que les abeilles sont aussi capables de catégorisation. L'une des catégories qu'elles distinguent est celle des objets présentant une symétrie interne, comme l'ont montré en 1996 Martin Giurfa, de l'Université de Toulouse, et ses collègues. Ainsi, quand on associe une récompense sucrée à différents dessins présentant un axe de symétrie, les abeilles apprennent que le critère récompensé est la symétrie. Par la

suite, elles choisissent préférentiellement les dessins dotés de cette propriété, même quand elles ne les ont jamais vus (*voir la figure 1*). Une telle capacité pourrait leur être très utile dans la nature, car les fleurs, notamment, présentent une symétrie interne.

Leur faculté de classer leur environnement en catégories a été confirmée par de nombreuses études. Les catégories identifiées sont variées : paysages, plantes, fleurs, images orientées d'une même façon (composées, par exemple, de rayures)...

Les catégories du type paysage ou plante, dites perceptives, sont fondées sur des similarités visuelles. Elles ne nécessitent pas un traitement cognitif très élaboré. De même, la détection de la symétrie et de l'orientation est assez simple : elle se fonde probablement sur l'activation de quelques neurones spécialisés, comme c'est le cas chez les vertébrés. Pour l'orientation, des neurones analogues à ceux assurant cette tâche chez les vertébrés ont d'ailleurs été identifiés.

Il existe deux autres types de catégories, qui nécessitent des capacités cognitives supérieures, en raison d'un degré supplémentaire d'abstraction : les catégories fonctionnelles et les catégories conceptuelles. Les premières dépendent de la

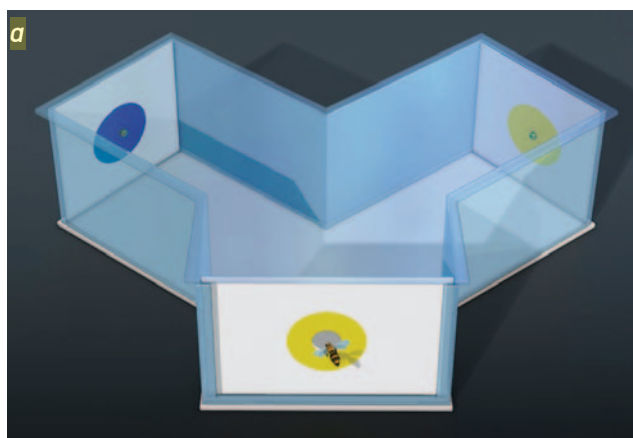
Le système visuel des abeilles

Les abeilles ont des yeux à facettes (5 500 par œil), chacune représentant un pixel.

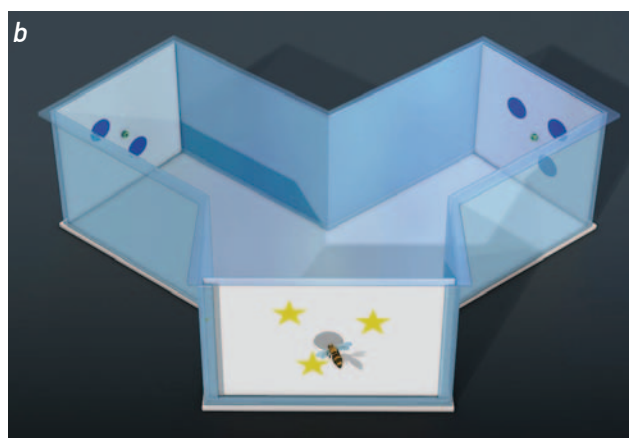
Elles perçoivent alors des images très pixellisées, avec une résolution 100 fois inférieure à la nôtre. En revanche, elles sont plus sensibles aux mouvements, grâce à l'activation successive des différentes facettes par un objet en déplacement. En outre, elles ont un champ visuel de 320 degrés, bien plus large que le nôtre.

fonction de l'objet (nourriture, meuble...), indépendamment de son apparence ; on ignore si les abeilles sont capables d'une telle catégorisation. Les secondes regroupent des objets ou des événements liés par une relation particulière, telle que « avant », « au-dessus », « plus grand que », « identique », « en même nombre que », etc. (en sciences cognitives, un concept est défini par une telle relation). Une catégorie conceptuelle est, par exemple, l'ensemble des groupes de deux objets.

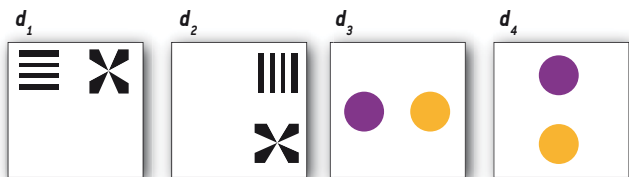
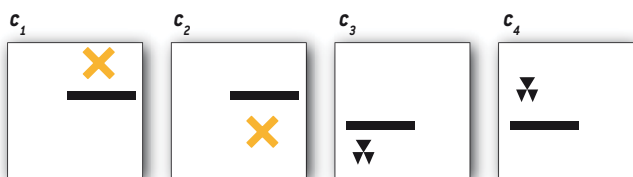
Les concepts relationnels servent à nous représenter des scènes ou des événements, mais sont difficiles à appréhender. Une girafe et la Tour Eiffel seront ainsi regroupées dans la même catégorie, celle des entités « grandes » (par comparaison implicite aux autres animaux et aux autres monuments), alors qu'elles n'ont en commun aucune caractéristique physique ou fonctionnelle, pas même leur taille absolue. Les concepts relationnels ne peuvent se former qu'à partir de multiples exemples concrets, avec des objets donnés. Leur comparaison permet au cerveau de dégager une relation commune, au-delà des différences entre les images. Cette relation devient alors abstraite, c'est-à-dire indépendante des objets qu'elle lie.



© Bruno Bourgeois d'après A. Avargues-Weber



D'après A. Avargues-Weber



2. LES CONCEPTS RELATIONNELS sont des relations liant les objets, telles que « identique à », « en même nombre que » et « au-dessus de ». Les abeilles sont capables de maîtriser ces trois derniers concepts. Dans un labyrinthe en Y, elles peuvent apprendre à choisir la branche terminée par une image de couleur identique à celle présentée à l'entrée (a) ou comportant le même nombre d'éléments (b). Elles transfèrent même la règle d'identité à des formes et à des odeurs : après l'avoir apprise avec des couleurs, elles choisissent spontanément la branche contenant une odeur ou une forme identique à celle présentée à l'entrée. De

même, elles peuvent apprendre à choisir la branche contenant une certaine configuration spatiale : celle où un objet est au-dessus d'une barre de référence (c_1 et c_4) contre celle où il est au-dessous (c_2 et c_3), ou celle où deux objets sont l'un au-dessus de l'autre (d_2 et d_4) contre celle où ils sont côte à côte (d_1 et d_3). Dans tous les cas, les images récompensées ne se ressemblent pas (les trois étoiles sont, par exemple, très différentes des trois ronds bleus) : elles n'ont en commun que la relation à apprendre, tel le nombre d'éléments. Pour les abeilles, cette relation devient donc abstraite, c'est-à-dire indépendante des objets.