

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

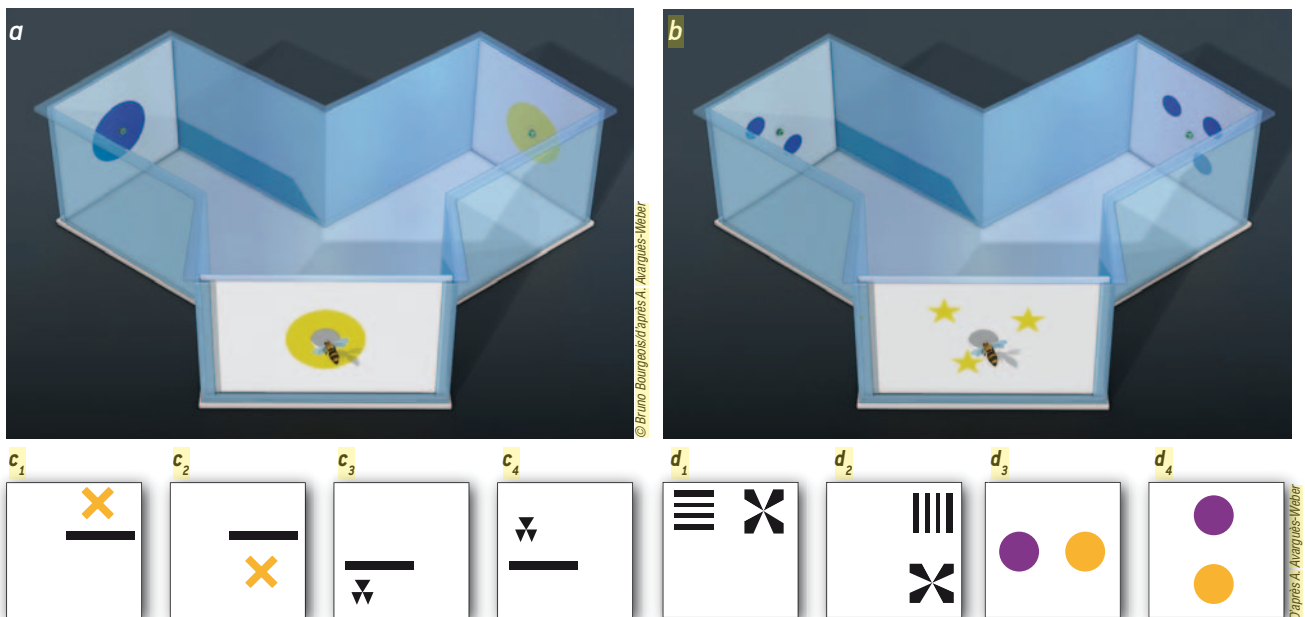
Le système visuel des abeilles

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.



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.

Chez l'homme, l'abstraction – et donc l'acquisition des concepts relationnels – est facilitée par le langage. Quand ils l'enseignent aux enfants, les adultes favorisent les comparaisons entre des entités différentes, liées par une relation identique, en leur appliquant le même mot. C'est le cas, par exemple, lorsqu'ils disent : « Tu as deux bras, deux jambes, deux oreilles. » En revanche, les très jeunes enfants, les primates et les dauphins ont besoin d'un long entraînement pour maîtriser des concepts relationnels. On ne s'attendait donc pas à ce que les abeilles, avec leur cerveau miniature et l'absence d'un langage élaboré, réalisent de telles prouesses cognitives.

Pourtant, depuis le début des années 2000, on a montré qu'elles sont capables de maîtriser plusieurs concepts relationnels (voir la figure 2). Devant l'étonnement des scientifiques, un grand nombre d'expériences et de vérifications ont été effectuées, bien plus que lors d'études similaires sur les primates.

Les abeilles savent compter jusqu'à 4

En 2001, M. Giurfa et ses collègues ont ainsi appris à des abeilles à reconnaître le concept relationnel d'identité. Pour ce faire, ils les ont introduites dans un labyrinthe en Y où une même couleur était indiquée à l'entrée et dans une des branches (contenant une récompense sucrée). Après une phase d'entraînement, non seulement les abeilles se dirigeaient vers la branche repérée par la couleur présente à l'entrée, mais elles étaient capables de transférer cette règle d'identité à des formes et, de façon surprenante, à des odeurs ! En effet, quand une forme géométrique ou une odeur était présentée à

Des abeilles physionomistes

Les abeilles peuvent apprendre à reconnaître des visages figurés par un assemblage de points et de traits. Elles se fondent sur l'aspect visuel global, mais peut-être aussi sur les relations spatiales entre les éléments (qui, séparément, ne seraient pas reconnus comme des yeux, un nez et une bouche). Ce type d'analyse rend la reconnaissance des formes plus fiable lors d'occultations partielles ou de changements d'angle de vue.



© Aurore Avarguas-Weber

la fois à l'entrée du labyrinthe et dans une des branches, les abeilles se dirigeaient vers cette branche. Aucun entraînement supplémentaire n'était nécessaire.

Grâce à un dispositif expérimental similaire, les abeilles peuvent apprendre à choisir l'image comportant le même nombre d'éléments que celle présentée à l'entrée du labyrinthe, et ce, même quand ces éléments ne se ressemblent pas et sont disposés différemment. C'est ce qu'ont montré en 2009 Hans Gross, de l'Université de Würzburg, en Allemagne, et ses collègues. Les abeilles sont donc capables de compter ! Mais seulement jusqu'à quatre : à partir de cinq objets, elles ne réussissent plus l'expérience.

Une étude menée en 1996 par Lars Chittka, de l'Université Queen Mary, à Londres, et Karl Geiger, de l'Université de Berlin, suggérait déjà une telle capacité : les deux chercheurs avaient appris aux abeilles à retrouver une source de nourriture située après un nombre donné de repères visuels (de petites pyramides bleues). Cependant, elles auraient pu se fonder sur une perception globale et non sur un comptage des pyramides une par une. En outre, les repères visuels étaient toujours identiques, tandis que dans l'étude de H. Gross, les abeilles choisissaient en fonction du nombre d'objets, même si elles n'avaient jamais vu ces objets. Cet aspect est essentiel pour parler d'abstraction et de concept relationnel.

Dans l'équipe de M. Giurfa, au sein de laquelle j'ai travaillé de 2007 à 2010, nous avons testé un autre concept relationnel chez l'abeille : la configuration spatiale relative de différents éléments. Les insectes ont ainsi été confrontés à des images où un objet (variable) était situé tantôt au-dessus et tantôt au-dessous d'une barre horizontale, et entraînés à choisir celles où il était au-dessus (voir la figure 2). On utilise une procédure identique pour tester ce concept chez les primates ou les enfants. On a ensuite compliqué la tâche, en supprimant la barre de référence ; dans ce dernier cas, deux objets quelconques étaient placés tantôt l'un au-dessus de l'autre, tantôt côte à côte. Divers tests ont permis de vérifier que les abeilles fondaient bien leur choix sur la position relative récompensée (ici « l'un au-dessus de l'autre ») et non sur d'autres éléments (similarités visuelles, orientation globale, position absolue des éléments dans l'image...).

Le plus étonnant est que les abeilles apprennent ces concepts relationnels bien plus vite que les primates : elles n'ont

Apprendre à parler une danse étrangère

Dans les années 1940, l'éthologue autrichien Karl von Frisch, pionnier des recherches sur les abeilles, a découvert l'existence d'un « langage » chez cet insecte. Il est constitué d'une danse, grâce à laquelle les butineuses indiquent la direction et l'éloignement des sources de nourriture à leurs congénères. Pour une source éloignée, la danse forme un huit, dont l'inclinaison par rapport à la verticale traduit la direction par rapport au So-

leil. En parallèle, la danseuse fait vibrer son abdomen à une fréquence qui renseigne sur l'éloignement de la source de nourriture : plus elle est élevée, plus la source est lointaine.

La capacité à communiquer est intéressante d'un point de vue évolutif, mais ne trahit pas nécessairement une intelligence très développée. En effet, elle peut être stéréotypée et innée. Cependant, en 2008, Su Songkun, de l'Université de Zhejiang, en Chine, et

ses collègues, ont montré que les abeilles manifestent d'impressionnantes capacités d'apprentissage et d'adaptation, qui supposent une grande plasticité cérébrale. Pour ce faire, ils ont placé des abeilles européennes parmi des consœurs asiatiques, dont la danse est calibrée différemment (la correspondance entre l'éloignement et la fréquence de vibration de l'abdomen n'est pas identique). En peu de temps, les nouvelles venues ont appris à « parler » la danse locale !