

Une petite tête bien faite

Janine KIEVITS

Point d'écoles dans nos ruches ! Nos avettes disposent de nombreux savoirs mais ceux-ci sont largement innés, on s'en doute. Avec son millimètre cube de cerveau, l'abeille est-elle d'ailleurs capable d'autre chose que d'exécuter des comportements simples pour lesquels elle est programmée ? L'ensemble de tâches qu'il lui faut accomplir suppose qu'elle prenne des décisions, et des décisions pertinentes : l'avenir de la colonie en dépend. Ces décisions sont-elles uniquement le fruit d'un agglomérat de petites réactions automatiques - et la ruche serait alors une « république de réflexes »¹, ou bien est-elle capable de confronter les informations qu'elle reçoit à d'autres informations engrangées dans sa mémoire, pour effectuer ensuite un choix « réfléchi » - et on parlera alors à son propos de cognition ? Telle est la question que nous vous proposons d'explorer aujourd'hui en un rapide survol de travaux scientifiques extrêmement complexes dont notre abeille est l'objet.

On connaît chez l'abeille l'existence de nombreux réflexes; l'un des plus étudiés est celui qui lui fait étendre ses pièces buccales lorsque ses antennes perçoivent l'odeur d'une solution sucrée. Ce réflexe est essentiel au comportement de butinage : si l'insecte devait réfléchir à chaque fois avant de plonger la trompe dans un calice, la récolte serait maigre... Un mécanisme supplémentaire vient aider à la rapidité de la récolte : si l'abeille perçoit une odeur florale avant de tâter le nectar, cette seule odeur suffit ensuite à déclencher l'extension de la trompe. Le réflexe peut donc être conditionné, tout comme était conditionné le chien de Pavlov qui salivait au seul son d'une sonnette, parce qu'on lui avait précédemment appris à associer ce son à une récompense en nourriture.

Ce réflexe conditionné de l'abeille est bien connu des scientifiques, qui l'ont mis en évidence dès 1957 [1] par des expériences de laboratoire où une abeille est mise dans un flux d'odeurs tout en recevant une goutte sucrée au bout d'un coton tige. Cette expérience se prête à de multiples variations et on a pu montrer ainsi que l'abeille est non seulement capable d'apprendre, et très vite (après un seul essai, une abeille sur deux reconnaît déjà l'odeur [2]), mais qu'elle peut aussi « désapprendre » l'association si l'odeur lui est ensuite fournie sans que le sucre suive.

Ce mécanisme d'association ne joue pas qu'avec les odeurs mais aussi avec les formes, les couleurs et les symétries, bref toutes les caractéristiques des fleurs que les abeilles sont appelées à rechercher dans la nature. Car pour butiner vite et bien, notre abeille ne peut se contenter de différencier les parfums floraux ou les concentrations des nectars : si tel type de fleur est particulièrement rentable, il lui faut en mémoriser les caractéristiques pour la rechercher ensuite activement, quitte à l'abandonner plus tard lorsqu'elle ne « mielle » plus suffisamment. Il lui faut

en outre éviter d'encombrer sa très petite cervelle d'informations devenues obsolètes : avoir une mémoire performante, c'est bien sûr retenir ce qui doit être retenu, mais c'est aussi oublier l'inutile afin d'optimiser le fonctionnement cérébral, car celui-ci requiert de la capacité en terme de connexions dans les microcircuits nerveux, exactement comme la mise en mémoire d'un document ou d'un programme requiert un certain nombre de méga ou de giga dans un ordinateur.

L'abeille possède un arsenal mémoriel parfaitement adapté à cette fin. Tout comme nous ne retenons certaines choses que de manière très transitoire (le numéro de téléphone que nous mémorisons le temps de l'inscrire dans un agenda), elle oubliera immédiatement l'association entre « récolte » et « fleur » (odeur et forme) si cette première expérience est suivie d'une expérience contraire, c'est-à-dire qu'elle ne trouve ensuite à butiner qu'une autre fleur, auquel cas celle-ci se substitue à la première dans la mémoire à court terme de l'abeille. Si aucune expérience contraire ne survient, la mémoire persistera pendant quelques minutes puis s'éteindra si l'abeille ne réexpérimente plus l'association entre cette fleur et le nectar, ou si elle visite ensuite cette même fleur sans succès.

Si au contraire l'abeille a l'occasion de renouveler l'association entre une fleur donnée et le nectar, la mémoire qu'elle a de cette fleur se consolide, évoluant vers le moyen terme (plusieurs heures) puis le long terme (plusieurs jours, voire toute la vie) : à ce moment, l'association est « emmagasinée » dans son cerveau et l'abeille ira l'y récupérer en partant butiner le lendemain [3].

Ce mécanisme est parfaitement adapté au butinage [3]. En effet, les fleurs se présentent usuellement non pas de manière isolée mais en « taches » (*patches*), des cardamines dans un pré par exemple. La mémoire immédiate fait que l'abeille qui

1. Le terme « république de réflexes » est repris à l'éthologue allemand Jakob von Uexküll qui l'appliquait aux oursins dont la coordination motrice est assurée par de simples connexions sans intervention d'un véritable centre nerveux.

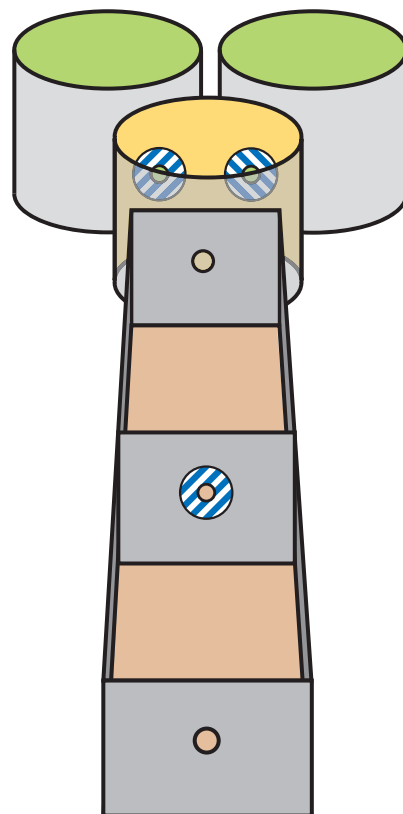


a butiné une première cardamine va sans hésitation se poser sur la fleur voisine de la même tache; mais si par hasard la première cardamine était isolée des autres, en l'absence d'expérience contraire, l'abeille cherchera encore des cardamines pendant quelques minutes, le temps peut-être d'en trouver toute une tache. Elle y consolidera alors suffisamment sa mémoire des cardamines pour en rechercher à nouveau après un retour à la ruche - ici intervient sa mémoire à moyen terme. Et lorsqu'une miellée donne à fond, le nombre d'expériences positives est tel que les abeilles retournent d'un jour à l'autre sur les mêmes fleurs - la mémoire à long terme est alors acquise, et on peut imaginer nos avettes rêvant la nuit de pissenlits ou d'aubépines...

Mieux, l'abeille mémorise non seulement la présence des sources de nectar mais aussi leurs variations [4]. Des essais ont été réalisés en attirant les abeilles sur des fleurs artificielles en plexiglas, faites de petits cercles de couleur imitant des pétales et de tubes distribuant du sirop de sucre en quantités tantôt stables, tantôt croissantes ou décroissantes au fil des passages successifs de l'abeille - l'ensemble imitait somme toute des carrés de fleurs dont la production de nectar va croissant, se stabilise ou se tarit. Les abeilles sont entraînées à s'alimenter à ces sources; après quoi on les maintient 24 ou 48 heures sans sorties, puis elles sont à nouveau relâchées, et le temps mis à la recherche de la source est mesuré. Ces expériences montrent que l'abeille entraînée à s'alimenter à une source croissante recherche des « fleurs » du même type plus longtemps que lorsque la source stagne ou décroît, et cela avec une énergie d'autant plus grande que l'augmentation du volume de sirop débité à chacun de ses passages a été rapide. Elle mémorise donc, et à long terme, non seulement la production de nectar d'un type de fleur mais aussi le gradient selon lequel cette production varie. En revanche, lorsque la source est stable, l'abeille la recherche avec la même intensité, quelle qu'en soit l'abondance. On voit ainsi avec quelle finesse l'abeille adapte son comportement aux variations des sources de nectar de

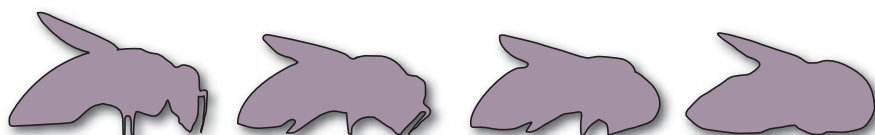
son environnement, butinant avec ardeur même lorsque la production globale de nectar est pauvre, mais glissant vers les sources plus rentables lorsque celles-ci se développent.

Odeurs, couleurs, notre abeille mémorise donc les choses bien concrètes qui font sa vie au quotidien. Mais ses performances mentales ne s'arrêtent pas là. Nouvelle série d'expériences [5], des abeilles sont entraînées dans un appareil constitué comme suit : un tunnel de 5 mètres de long, d'une section carrée d'une bonne vingtaine de centimètres, est séparé en deux par un panneau que l'abeille doit traverser par un orifice situé dans une cible - par exemple un grand cercle marqué de bandes bleues obliques. En sortant du tunnel, elle débouche dans une chambre de décision qui lui offre le choix entre deux sorties, une à droite et une à gauche. L'une, marquée d'un cercle à bandes bleues semblable à celui du tunnel, mène à une chambre où se trouve un nourrisseur de sirop, et l'autre, marquée d'un cercle où les bandes bleues sont disposées dans l'autre sens, mène à une chambre vide (figure ci-contre). L'entraînement comporte de multiples essais, au cours desquels on inverse la position des chambres et des signes, mais en mettant toujours le nourrisseur derrière le signe qui est celui que l'abeille a dû traverser dans le tunnel. Au bout de quelques essais, les abeilles entraînées ont « compris » : elles vont immédiatement chercher la sortie marquée des bandes bleues identiques à celles du tunnel, qu'elle soit disposée à gauche ou à droite. On peut alors modifier les signaux et marquer, par exemple, le tunnel et la « bonne sortie » par des bandes horizontales noires, la « mauvaise » sortie par des bandes verticales noires : une majorité d'abeilles entraînées choisira d'emblée la sortie marquée par le signal qui ressemble à celui du tunnel. L'abeille a transféré à la seconde expérience la notion acquise dans la première (le nourrisseur se trouve derrière le signe semblable à celui du tunnel), transfère qu'elle peut aussi exécuter si on remplace les signes par des odeurs, par exemple [5] [6]. En d'autres termes, l'abeille a dépassé la limite des percep-



tions concrètes : elle a assimilé le concept de similitude, ce qui constitue une forme d'abstraction.

L'abeille apprend donc, au cours de sa journée, un certain nombre d'événements qu'elle mémorise. Il paraît donc logique qu'elle dorme; en effet, si les fonctions exactes du sommeil ne sont pas encore intégralement connues, il est généralement admis qu'il joue un rôle important dans la consolidation de la mémoire. L'observation nocturne d'une ruche à la caméra thermovision montre que les parties extérieures des cadres, hors du nid à couvain, sont couvertes d'individus immobiles. Attente, simple repos ou vrai sommeil ? L'observation fine montre que l'abeille s'affaisse sur le cadre, la tête se laisse aller, les antennes sont pendantes; la température thoracique est plus basse que chez les individus actifs; le seuil de réaction s'élève - il faut les « secouer » davantage (par exemple en leur envoyant des impulsions lumineuses) pour qu'elles se mettent en mouvement [7]. Tous ces signes plaident pour la thèse qu'il s'agit bel et bien de sommeil, un sommeil dont les abeilles semblent d'ailleurs avoir besoin, même s'il est plus fractionné chez les nourrices, qui dorment un peu n'importe quand, que chez les butineuses dont le sommeil est surtout nocturne et plus continu [8]. Empêchées de dormir, elles récupèrent la nuit suivante [9].



Images séquentielles d'une abeille s'endormant. D'après Kaiser 1988 [7]

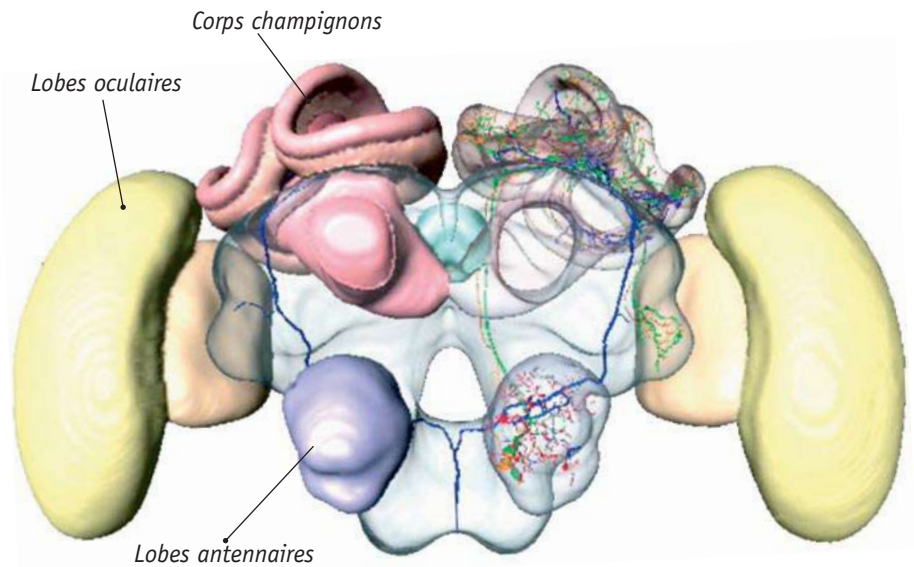


Il apparaît aussi, de recherches faites sur le réflexe conditionné d'extension de la trompe, que leur faculté de mémorisation se trouve affectée par le manque de sommeil - en fait, c'est l'extinction qui est touchée plus que l'acquisition [10]. En gros, chez l'abeille comme chez l'homme, le manque de sommeil n'empêcherait pas l'acquisition d'informations nouvelles mais compromettrait la faculté qu'a le cerveau de trier les informations en supprimant celles devenues inutiles, et donc celle qu'a l'individu d'utiliser efficacement ses facultés mentales.

Nous voici donc revenus à notre question de départ, et nous pouvons y donner réponse. Oui, l'abeille est capable de mémoriser des informations concrètes et même, dans une certaine mesure, abstraites; elle peut aller rechercher ces informations dans sa mémoire et les confronter aux informations nouvelles que lui procurent ses sens, et forger ainsi les décisions, en matière de butinage notamment, qui servent au mieux les intérêts de sa colonie. Elle n'est pas pilotée par ses seuls réflexes, même si ceux-ci jouent un rôle important dans son comportement; outre les voies nerveuses qui permettent ces réflexes et leur conditionnement, elle possède des centres nerveux voués à l'intégration, c'est-à-dire à la mise en connexion et au traitement des informations issues tant de la mémoire que des voies sensorielles (figure ci-contre). De telles capacités sont surprenantes si l'on considère que le cerveau de l'abeille ne compte que 960 000 neurones et pèse environ 1 mg - le nôtre en compte environ 100 milliards et pèse 1,5 kg ! Les moyens que l'abeille met en œuvre pour naviguer confirment ces impressions. Mais cela, ami lecteur, c'est pour la prochaine livraison de votre Abeilles & Cie !

Mots clés : **biologie, cerveau de l'abeille, comportement**

Résumé : de récentes recherches scientifiques ont mis en lumière la complexité du fonctionnement cérébral de l'abeille. Non seulement celle-ci possède des facultés mémorielles complexes, mais elle est capable de comparer des éléments mis en mémoire à ses perceptions nouvelles pour en déduire les prises de décision les plus opportunes pour sa survie propre et celle de sa colonie.



Le cerveau de l'abeille. On y voit certaines connexions nerveuses reliant les lobes antennaires aux corps champignons, ces derniers constituant la partie du cerveau de l'abeille où se déroulent les fonctions d'intégration (voir fin du texte).

Cette image est le fruit d'une modélisation extrêmement complexe¹¹, issue de plusieurs décennies de recherches combinant l'expérimentation sur le comportement des abeilles, l'anatomie, la biochimie et même les mathématiques. Plusieurs équipes scientifiques ont contribué à ces connaissances; s'y distingue particulièrement l'équipe conduite par Randolph Menzel à l'Institut de neurobiologie de l'université de Berlin. Ces travaux ne servent pas seulement à nous faire connaître l'univers mental de l'abeille : en modélisant un système cérébral moins complexe que le nôtre mais assurant néanmoins la réalisation de fonctions performantes, ils éclairent de façon plus générale les mécanismes de la cognition.

Source : Randolph Menzel, 2009, *The little brain of the bee is a master of navigation, communication and learning : how does it do it ?* Présentation au congrès Apimondia, septembre 2009, avec l'aimable autorisation de l'auteur

Bibliographie

[1] Kuwabara M., 1957 : *Bildung eines bedingten Reflexes von PAVLOVs Typus bei der Honigbiene, Apis mellifica*. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI Zool. 13 : 458 - 464.

[2] Menzel R., 2001 : *Searching for the Memory Trace in a Mini-Brain, the Honeybee*, Learn. Mem. 8 : 53 - 62

[3] Menzel R., 1999 : *Memory dynamics in the honeybee*, J Comp Physiol A 185 : 323 - 340

[4] Gil Mariana, 2009 : *Reward expectation in Honey bee*, thèse de doctorat, Freie Universität Berlin. Cette thèse est accessible sur le net : http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000005491/PhD_Thesis_M_Gil_2009_without_CV_.pdf?hosts=.

[5] Zhang S, Bock F, Si A, Tautz J and Srinivasan V., 2005 : *Visual working Memory in decision making by honey bees*, PNAS 102 no. 14 : 5250 - 5255

[6] Menzel, R and Giurfa, M, 2001 : *Cognitive architecture of a mini-brain : the honeybee*, Trends in cognitive sciences vol 5 : 62 - 71.

[7] Kaiser W, 1988 : *Busy bees need rest, too*, J Comp Physiol A 163 : 565 - 584

[8] Klein BA, Olzowy KM, Klein A, Saunders K and Seeley TD, 2008 : *Caste-dependent sleep of worker honey bee*, The journal of experimental biology 211 : 3028 - 3040

[9] Sauer S, Herrmann E, Kaiser W, 2004 : *Sleep deprivation in honey bees*, J Sleep Res. 13 : 145 - 152

[10] Hussaini SA, Bogusch L, Landgraf T and Menzel R, 2009 : *Sleep deprivation affects extinction but not acquisition memory in honeybees*, Learn. Mem. 16 : 698 - 705

[11] Brandt R, Rohlfing T, Rybak J, Krofczik S, Maye A, Westerjoff M, Hege HC, Menzel R, 2005 : *Three-dimensional average-shape atlas of the honeybee brain and its application*, the journal of comparative neurology, 492 : 1 - 19

Plusieurs éléments évoqués dans cet article figurent également dans le livre « L'étonnante abeille » de Jürgen Tautz (De Boeck éd.); voir notamment les chapitres 3 (page 63) et 4 (pages 83-85).