

Intelligence de l'abeille

Dans un texte ancien (1905), le botaniste Gaston Bonnier abordait déjà la question de l'intelligence des abeilles : « Les caractères saisissables qui peuvent déceler l'intelligence sont principalement les changements qui se produisent dans les actes des animaux lorsqu'il se présente une circonstance tout à fait imprévue, ou encore le dressage à telle ou telle fonction sous une influence éducative. » Depuis lors, la science n'a pas cessé de s'interroger sur les mystères de l'intelligence des abeilles et de l'organisation sociale qui est liée à cette intelligence. Les définitions se sont affinées à mesure que la connaissance a progressé. On sait aujourd'hui qu'une abeille a un cerveau de 1 mm³ contenant seulement 1 million de neurones contre 85 milliards dans le cerveau humain (Giurfa, 2013). On a admis la notion d'intelligence collective et on aboutit à des applications pour les sociétés humaines.

Intelligence artificielle

Le cerveau des abeilles intéresse de nombreux chercheurs à travers le monde et pas seulement dans le champ de l'éthologie. Ainsi, une équipe de la Faculté d'ingénierie de l'Université de Sheffield (Grande-Bretagne) a entamé en 2012 un travail de modélisation de la vision et du sens de l'odorat dans le cerveau d'une abeille domestique. Il s'agit du projet « Green Brain » (cerveau vert en français) : <http://www.sheffield.ac.uk/news/nr/green-brain-honey-bee-model-sheffield-university-1.212235>.

L'objectif de cette équipe de chercheurs est de créer un robot volant capable de se

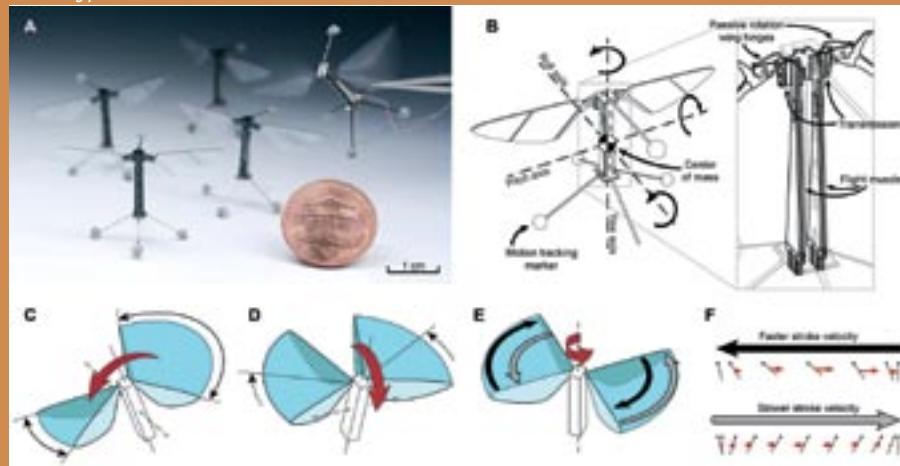
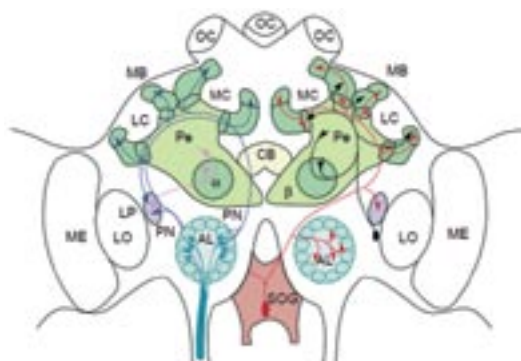
mouvoir de manière autonome comme une abeille sans pré-programmation d'instructions. Créer un cerveau robot est naturellement un défi dans le monde de l'intelligence artificielle. Quand il sera au point, il permettra de comprendre la manière dont les abeilles détectent la source des odeurs et identifient les fleurs. Ce cerveau artificiel pourrait avoir des applications dans le sauvetage ou la pollinisation mécanique des cultures. Ce dernier projet n'est malheureusement pas des plus rassurants. Un projet analogue existe aux Etats-Unis à l'Université de Harvard. Il s'agit du projet Robobees dont la presse s'est largement fait l'écho : <http://robobees.seas.harvard.edu/>. A la différence du projet de

Sheffield, l'équipe de Harvard vise un robot miniaturisé à la taille de l'insecte pour des applications plus ou moins équivalentes liées en particulier à la pollinisation des cultures et à la surveillance environnementale et militaire. Le projet Robobees a en outre la particularité de chercher à imiter le comportement complexe d'une colonie d'insectes à l'aide d'algorithmes de coordination et de méthodes de communication entre machines et avec la ruche. Les interactions entre les abeilles d'une colonie et leurs différentes fonctions sont également simulées.

<http://phys.org/news/2013-05-robobees-robotic-insects-flight-video.html>

Prototype Robobee

Schéma des zones du cerveau d'une abeille domestique utilisé dans le projet Green Brain





Intelligence individuelle

Prendre en considération les relations entre les abeilles d'une colonie, c'est tenir compte de la double dimension de l'intelligence des abeilles mellifères, l'intelligence individuelle et l'intelligence collective.

Malgré la grande taille de la colonie d'abeilles, les ouvrières ont des capacités cognitives étonnamment complexes (Giurfa, 2003) et des capacités d'apprentissage qui rivalisent avec celles des vertébrés (Bitterman, 1996). Les abeilles comprennent les concepts de « similitude » et de « différence » (Giurfa et al., 2001). Elles peuvent compter de un à quatre (Dacke et Srinivasan, 2008) et sont en mesure de trier des *stimuli* visuels en catégories (Benard et al., 2006). Leurs capacités de communication sont également remarquablement sophistiquées et flexibles. Les ouvrières effectuent régulièrement des danses pour informer leurs congénères sur la distance et la direction des ressources importantes tout en incluant des paramètres d'information sur la qualité de ces ressources. En plus de l'étalonnage de la direction et de la durée des frétilllements de leur danse qui indiquent l'emplacement de la source de nourriture, les abeilles modifient leurs danses en fonction de la qualité et de la quantité de nourriture disponible, la distance par rapport à la ruche, l'abondance d'autres sources alimentaires, le flux entrant de nectar dans la colonie, la météo et l'heure de la journée (Seeley, 1995) ainsi que la présence éventuelle de dangers liés à la source de nourriture indiquée (Abbott et Dukas, 2009). En outre, la danse frétilante fait partie d'un ensemble de signaux que les abeilles utilisent pour communiquer : tremblements, secousses, bourdonnements variés, etc. Ces différents signaux sont utilisés dans une variété de contextes pour influencer le comportement de leurs congénères (Seeley, 1998). Le système de communication des abeilles mellifères a une grande force : il est flexible et polyvalent.

Le Professeur Thomas D. Seeley (<http://www.nbb.cornell.edu/seeley.shtml>) a affirmé que « (...) les impressionnantes capacités cognitives des abeilles ouvrières dans la production de leurs signaux de communication sont des preuves solides que ces créatures possèdent un degré de conscience perceptive. [Elles] ne répondent pas seulement à des objets et des événements dans l'environnement mais

en sont conscientes dans le sens où elles éprouvent des perceptions et des souvenirs de ces choses (Seeley, 2003). »

Intelligence collective

L'intelligence collective peut être considérée comme une intelligence augmentée. Le terme est utilisé en sociologie pour qualifier les sociétés humaines et certains de leurs comportements collaboratifs mais il est aussi adapté aux insectes eusociaux parmi lesquels l'abeille mellifère. L'intelligence collective permet à chaque individu de tirer un bénéfice de sa vie au sein du groupe. L'individu n'a qu'une perception partielle de son environnement. Une compréhension plus globale et l'adaptation à l'environnement relèvent de l'intelligence du groupe. Comment ces deux types d'intelligence sont-ils liés ? Est-ce que l'intelligence de groupe a tendance à se faire au détriment de l'intelligence individuelle ? Au contraire, l'intelligence collective est-elle enrichie par la qualité de l'intelligence de chaque membre du groupe ? Ces questions restent à l'heure actuelle sans réponse précise en ce qui concerne les insectes eusociaux.

Auto-organisation et stigmergie

Contrairement à ce qui a été longtemps répandu par la croyance populaire, dans une colonie d'insectes sociaux, la reine n'est pas un individu omniscient et omnipotent mais simplement une abeille surdimensionnée qui assure la fonction de reproduction (Seeley, 2002). La plupart des colonies d'insectes sociaux opèrent à travers un processus d'auto-organisation grâce auquel chaque individu de la colonie est régi par un ensemble de règles et de comportements relativement simples (Moussaid et al., 2009). L'auto-organisation est la propriété des organismes vivants ou des systèmes sociaux à s'orga-



niser d'eux-mêmes de manière spontanée et autonome. Les individus organisent et coordonnent leurs actions à travers le phénomène de stigmergie, du grec stigma « marque, signe » et ergon « travail, action ». Le terme a été utilisé pour la première fois par le biologiste français Pierre-Paul Grassé en 1959 dans le cadre de ses recherches sur les termites. Il s'agit, en



résumé, d'un système de communication chimique. Les individus des organismes auto-organisés communiquent à distance en déposant des phéromones pour informer leurs congénères. Cette méthode répand l'information dans un environnement qui s'en trouve modifié. La ruche est ainsi un énorme système d'information qui assure la cohésion des individus de la colonie et influe sur leur comportement et leurs actions. Chez les abeilles, la communication vibratoire (danse) et sonore s'ajoute aux informations chimiques. Une étude scientifique publiée en 2013 dans *Current Biology* (Luca P. Casacci et al., 2013) a révélé que les fourmis adultes ne sont pas les seules à produire des sons. Les pupes en émettent aussi pour assurer leur futur statut dans la hiérarchie de la colonie. Pour les abeilles mellifères, rien n'a encore été étudié à ce sujet.



Une des raisons de la prévalence de l'auto-organisation dans les groupes d'insectes sociaux pourrait être qu'ils ne sont pas en mesure de mettre en œuvre un système de contrôle centralisé. Les insectes sociaux, à la différence des neurones dans un cerveau de mammifère par exemple, sont des individus mobiles sans connexions physiques permanentes qui les relient les uns

aux autres. Ce manque de stabilité pourrait rendre impossible l'évolution vers le contrôle centralisé (Seeley, 2002).



Prise de décision collective et résolution de problèmes

Pour de nombreux insectes sociaux, le processus de sélection d'un nouveau site de nidification est un défi cognitif extrêmement difficile. Par exemple, une colonie d'abeilles mellifères à la recherche d'un nouveau nid peut évaluer une bonne douzaine de sites potentiels de nidification (Lindauer, 1961; Seeley et Buhrman, 1999) à l'aide d'une dizaine d'indicateurs différents de la qualité des sites (Visscher, 2007). La colonie est en mesure de choisir le meilleur nid disponible parmi une gamme d'options à des niveaux de précision allant de 80 à 100 % (Seeley et Buhrman, 2001; Franks et al., 2006). La sélection du site de nidification chez les abeilles s'opère à travers le processus d'auto-organisation que nous venons

d'évoquer. Fait intéressant, seulement une petite fraction d'environ 5 % des individus d'un essaim d'abeilles participe au processus de prise de décision, et chacune de ces éclaireuses ne se rend généralement que sur un site de nidification, de sorte que chaque abeille dispose d'une quantité très limitée d'informations sur les options disponibles pour la colonie dans son ensemble (Visscher et Camazine, 1999). Aucune abeille ne coordonne la décision du groupe. Au contraire, les abeilles utilisent un mécanisme de détection de quorum pour déterminer quand une décision a été prise. Chaque fois qu'une éclaireuse visite un site de nidification potentiel, elle évalue le nombre de ses congénères déjà présents. S'il y a un nombre suffisant d'autres indivi-

us, le quorum a été atteint. Elle retourne alors à l'essaim et produit des signaux pour indiquer l'achèvement du processus de décision et aider à préparer l'essaim à voler vers le nouveau site de nidification (Seeley et Visscher, 2004). L'utilisation du quorum, plutôt que la recherche de l'unanimité sur un site, permet aux abeilles de prendre une décision assez rapidement tout en les empêchant de faire des erreurs (Passino et Seeley, 2006). En fait, une grande variété de groupes d'animaux, des poissons aux bactéries, utilise la même méthode pour prendre des décisions de groupe.



Intelligence de l'essaim

Tous les insectes sociaux présentent d'impressionnantes capacités de résolution de problèmes collectifs. Ce potentiel est lié en particulier à l'auto-organisation et à la flexibilité de leurs comportements. Les efforts que les scientifiques déploient pour comprendre l'intelligence des insectes sociaux parmi lesquels l'abeille domestique aboutit à des applications directes dans les sociétés humaines, en particulier en intelligence artificielle. Le concept d'intelligence en essaim fait partie de ces pistes de réflexion inspirées par le modèle de la nature. L'intelligence en essaim désigne la capacité d'individus à fournir collectivement une réponse complexe à un problème. Chaque individu n'a qu'une vision limitée de l'ensemble et décide de manière autonome de ses actions. Le fonctionnement est décentralisé et aucun agent ne décide pour les autres individus ou ne coordonne les actions. Ce modèle est

émergent et se concrétise dans de nombreux domaines comme l'économie ou les pratiques de communication et la mutualisation des connaissances sur Internet.

Observer les insectes sociaux et cerner leur modèle contribuera sans nul doute, à plus ou moins long terme, à rendre l'humanité plus intelligente.



Références

Abbott, K.R., Dukas, R. (2009) Honeybees consider flower danger in their waggle dance. *Animal Behaviour* 78: 633-635.

Benard, J., Stach, S., Giurfa, M. (2006) Categorization of visual stimuli in the honeybee *Apis mellifera*. *Animal Cognition* 9: 257-270.

Bitterman, M.E. (1996) Comparative analysis of learning in honeybees. *Animal Learning & Behavior* 24: 123-141.

Bonnier Gaston. Les abeilles n'exécutent-elles que des mouvements réflexes?. In: *L'année psychologique*. 1905 vol. 12. pp. 25-33). http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy_0003-5033_1905_num_12_1_3707

Conradt, L., Roper, T.J. (2005) Consensus decision making in animals. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 449-456.

Franks, N.R., Dornhaus, A., Best, C.S., Jones, E.L. (2006) Decision making by small and large house-hunting ant colonies: one size fits all. *Animal Behaviour* 72: 611-616.

Giurfa, M., Zhang, S., Jenett, A., Menzel, R., Srinivasan, M.V. (2001) The concepts of 'sameness' and 'difference' in an insect. *Nature* 410: 930-933.

Giurfa, M. (2003) The amazing mini-brain: lessons from a honey bee. *Bee world* 84: 5-18.

Giurfa, M. (2013) Cognition with few neurons: higher-order learning in insects. *Trends Neurosci.* 36(5):285-94.

Lindauer, M. (1961) *Communication among social bees*. Harvard University Press.

Luca P. Casacci, Jeremy A. Thomas, Marco Sala, David Treanor, Simona Bonelli, Emilio Balletto, Karsten Schönrogge (2013) Ant Pupae Employ Acoustics to Communicate Social Status in Their Colony's Hierarchy. *Volume 23, Issue 4 :323-327* [http://www.cell.com/current-biology/abstract/S0960-9822\(13\)00013-4](http://www.cell.com/current-biology/abstract/S0960-9822(13)00013-4) https://www.youtube.com/watch?v=Kylbek_LUfg

Moussaid, M., Garnier, S., Theraulaz, G., Helbing, D. (2009) Collective Information Processing and Pattern Formation in Swarms, Flocks, and Crowds. *Topics in Cognitive Science* 1: 469-497.

Passino, K. M., Seeley, T.D. (2006) Modeling and analysis of nest-site selection by honeybee swarms: the speed and accuracy trade-off. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 59: 427-442.

Seeley, T.D. (1995) *The wisdom of the hive: the social physiology of honey bee colonies*. Harvard University press, Cambridge, MA.

Seeley, T.D. (2002) When is self-organization used in biological systems? *The Biological Bulletin* 202: 314-318.

Seeley, T. D., Buhrman, S.C. (2001) Nest-site selection in honey bees: how well do swarms implement the «best-of-N» decision rule? *Behavioral Ecology and Sociobiology* 49: 416-427.

Seeley, T.D., Buhrman, S.C. (1999) Group decision making in swarms of honey bees. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 45: 19-31.

Seeley, T.D. (2003) Consensus building during nest-site selection in honey bee swarms: the expiration of dissent. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 53: 417-424.

Seeley, T.D. (2003) What studies of communication have revealed about the minds of worker honey bees. In: *Genes, Behavior, and Evolution in Social Insects*, edited by T. Kikuchi, N. Azuma, and S. Higashi, Hokkaido University Press, Sapporo, pp. 21-33.

Seeley, T. D., Visscher, P.K. (2004) Quorum sensing during nest-site selection by honeybee swarms. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 56: 594-601

Visscher, P.K. and Camazine, S. (1999) Collective decisions and cognition in bees. *Nature* 397: 400.

Visscher, P.K. (2007) Group Decision Making in Nest-Site Selection Among Social Insects. *Annual Review of Entomology* 52: 255-275.

MOTS CLÉS :

biologie, comportement, intelligence

RÉSUMÉ :

petite synthèse sur l'état des connaissances en matière d'intelligence des abeilles