

Traduction de Jane Bulleyment
Préface de Cédric Alaux

LARS CHITTKA

Voyage dans la tête
d'une
abeille

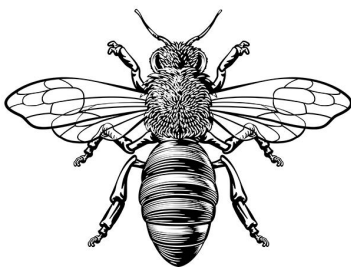
éditions
Quæ

LARS CHITTKA

Traduction de Jane Bulleyment

Préface de Cédric Alaux

Voyage
dans la
tête d'une
abeille



Éditions Quæ

Publication autorisée par Princeton University Press,
Princeton New Jersey, États-Unis, par l'intermédiaire de son agent
dûment mandaté Marotte et Compagnie, agence littéraire.
Tous droits réservés.

Ce livre ne peut être, partiellement ou totalement, reproduit ou transmis,
sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, qu'il soit électronique
ou autre, y compris la photocopie, l'enregistrement ou tout système de stockage
et de récupération de données, sans l'autorisation écrite des éditeurs.

Titre de l'édition anglaise : *The mind of a bee*
Copyright © 2022 Princeton University Press

Titre de l'édition française : *Voyage dans la tête d'une abeille*
Traduit de l'anglais par Jane Bulleyment
Copyright © 2025 Éditions Quæ

Éditions Quæ
RD 10 78026 Versailles Cedex

quae.com / quae-open.com

ISBN (papier) : 978-2-7592-4089-0
ISBN (PDF) : 978-2-7592-4090-6
ISBN (ePub) : 978-2-7592-4091-3

Pour citer cet ouvrage :

Chiitka L., 2025. *Voyage dans la tête d'une abeille*, Versailles, éditions Quæ, 240 p.

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.



SOMMAIRE

Remerciements.....	7
Plongée au cœur de l'intelligence des abeilles.....	9
Chapitre 1 – Introduction.....	11
Qu'est-ce que ça fait d'être une abeille ?	12
Les défis d'une butineuse dans la nature	14
Ce qui se passe dans la tête d'un client fréquentant le (super)marché aux fleurs ?	16
Construire le nid : communiquer et prendre des décisions complexes	18
Imaginer d'autres formes d'esprit aide à les comprendre	19
Quelles abeilles ?	20
Feuille de route pour lire l'ouvrage	21
Le cadre historique	22
Chapitre 2 – Voir d'étranges couleurs... ..	25
Le débat entre von Hess et von Frisch sur la vision des couleurs par les abeilles	26
Karl von Frisch et les nazis	29
Un monde avec d'autres couleurs	30
La vision des abeilles a-t-elle évolué en fonction des couleurs des fleurs ?	34
Chapitre 3 – L'étrange univers sensoriel des abeilles	37
La boussole solaire à temps compensé des abeilles	39
La vision polarisée des abeilles	42
La sensibilité au champ magnétique terrestre.....	45
Les antennes : les plus étranges des organes sensoriels	47
Goûter, toucher et entendre avec les antennes	49
La sensibilité des abeilles aux champs électriques	51
Chapitre 4 – Juste une question d'instinct, non ?	55
Jean-Henri Fabre et sa vision des insectes comme des machines mues par des réflexes	57
Comment l'abeille allie instinct et intelligence pour construire les rayons de sa ruche.....	61
Le retour au domicile : des explications simples mais erronées	65
Est-ce « l'instinct » qui attire les abeilles vers les fleurs ?	66
L'apprentissage et l'instinct évoluent de pair.....	68

Chapitre 5 – Les origines de l'intelligence et de la communication chez les abeilles	71
Les ancêtres des abeilles au Trias : les plus cruels des carnivores	71
Karl von Frisch et la découverte du langage dansé des abeilles	75
L'évolution du langage dansé	77
Une version ancienne de la danse chez les bourdons	79
Pourquoi les abeilles mellifères dansent-elles ?	79
Chapitre 6 – S'orienter dans l'espace	83
Les abeilles utilisent des points de repère pour naviguer	84
L'apprentissage contextuel	84
Des cartes cognitives chez les abeilles	86
La construction de paysages pour tester la navigation	88
L'intégration de la trajectoire	92
La surveillance radar	95
La carte cognitive d'abeilles en décalage horaire	98
L'odorat fait revivre de lointains souvenirs	100
L'abeille et le défi du voyageur de commerce	100
Chapitre 7 – Apprendre à connaître les fleurs	103
Apprendre à manipuler les fleurs électroniques	103
L'art et la manière de regarder les fleurs	107
Une boîte de vitesses dans le cerveau	108
Combien d'informations une abeille peut-elle traiter en un coup d'œil ?	109
Choisir les fleurs : un compromis entre vitesse et précision	110
Une étrange fleur en forme de visage humain	112
Apprendre la texture des fleurs	112
Un insecte à sang chaud apprécie la chaleur florale	113
Les fleurs irisées éblouissent les abeilles	114
L'apprentissage des règles	115
Apprendre à quel moment les fleurs sont gratifiantes	118
L'apprentissage des concepts spatiaux	118
Restons simple : comment les abeilles peuvent « pirater » une tâche d'apprentissage	120
Chapitre 8 – De l'intelligence sociale à « l'intelligence de l'essaim »	123
Apprendre de ses congénères quelles fleurs visiter	123
Apprendre en observant les autres abeilles à distance	124
Apprendre en observant d'autres espèces d'abeilles	126
Apprendre les astuces du larcin par l'observation	127
Entre culture et tradition	128
Apprendre à utiliser des outils en regardant les autres	131
L'essaimage vers un nouveau domicile	133
Choisir une nouvelle maison en dansant	136
La prise de décision démocratique chez les abeilles mellifères	137
Des individus sans cervelle dans un essaim intelligent ?	139
Chapitre 9 – Ce qui se trame dans le cerveau de l'abeille	143
Le schéma directeur du cerveau de l'abeille	144

La découverte de neurones dans le cerveau de l'abeille.....	147
Le rôle des neurones dans le traitement de l'information visuelle	149
Que peut-on accomplir avec des neurones détecteurs de caractéristiques simples?.....	151
Le neurone unique qui gère l'apprentissage.....	152
Les corps pédonculés : le disque dur de l'abeille	154
Un apprentissage complexe avec des circuits cérébraux simples.....	155
Le complexe central de l'insecte : un dispositif de navigation sophistiqué.....	156
Le complexe central : siège de la conscience?.....	158
Les ondes cérébrales chez les abeilles correspondent-elles aux (bonnes) idées?	159
Des modes de vie différents, des cerveaux similaires.....	160
Chapitre 10 – Les différences de personnalité entre les abeilles	163
Des micropuces pour explorer la « personnalité » des abeilles.....	164
Mêmes gènes... résultats différents : la spécialisation au sein des colonies	165
La division du travail : le résultat des différences sensorielles	168
Différences individuelles au niveau corpulence, système sensoriel et spécialisation du travail.....	170
La spécialisation des tâches comme retour d'expérience.....	172
La variabilité des itinéraires individuels de butinage	173
L'individualité s'exprime dans les compromis entre vitesse et précision.....	173
Des intelligences différentes selon les individus	175
Oskar Vogt, du cerveau des bourdons à celui de Lénine	177
Les différences individuelles dans la structure du cerveau et de l'intelligence	178
Comment les abeilles tirent un avantage adaptatif de l'intelligence	179
Pourquoi les apprenants lents existent-ils encore?	182
Chapitre 11 – Les abeilles ont-elles une conscience?.....	185
Ressentent-elles la douleur?	186
La dimension subjective de la douleur.....	188
L'après rencontre avec un prédateur : des changements psychologiques durables	190
Les abeilles font preuve d'émotions.....	192
Distinguer les stimuli internes des stimuli externes, serait-ce l'origine de l'évolution de la conscience?	194
L'image de soi chez les bourdons.....	195
Se distinguer des autres êtres vivants.....	197
Une forme de pensée hors des sentiers battus	198
Imaginer des formes.....	198
Les abeilles savent-elles ce qu'elles savent?.....	201
Chapitre 12 – L'influence de nos connaissances sur la sauvegarde des abeilles.....	205
Notes et bibliographie	209
Crédits des illustrations.....	237

Pour Marlene Sámano Chong

REMERCIEMENTS

La rédaction de cet ouvrage a été rendue possible par une généreuse bourse du Wissenschaftskolleg / Institut d'études supérieures de Berlin, pour l'année universitaire 2017/2018. Je suis extrêmement reconnaissant à mon editrice, Alison Kalett, de Princeton University Press, pour ses conseils et sa sagesse, ainsi qu'à trois relecteurs anonymes pour leurs commentaires détaillés et pertinents sur le manuscrit du livre. Je suis également redevable à Raghavendra Gadagkar et à Janna Klein d'avoir lu chacun un chapitre et de m'avoir fait part de leurs commentaires. Plusieurs autres personnes m'ont grandement aidé à transformer le manuscrit en un texte abouti, notamment Annie Gootlieb, Amelia Kowalewska, Chris Lapinski, Hallie Schaeffer, Julie Shawvan et Jenny Wolkowicki.

Je remercie mes mentors Randolph Menzel et James Thomson de m'avoir fait découvrir respectivement les mondes magiques des abeilles et des bourdons. Je suis reconnaissant aux nombreux scientifiques du monde entier qui ont rejoint mon équipe, laissant de côté ces sujets scientifiques à la mode permettant de faire facilement carrière dans le monde universitaire, en étant au contraire uniquement motivés par la curiosité de savoir ce qui se passe dans la tête d'un insecte. Les personnes qui ont contribué de manière significative aux résultats présentés dans ce livre sont les suivantes : Sylvain Alem, Sarah Arnold, Aurore Avarguès-Weber, Joanna Brebner, Erika Dawson, Anna Dornhaus, Adrian Dyer, Vince Gallo, Marie Guiraud, Thomas Ings, Ellouise Leadbetter, Li Li, Mathieu Lihoreau, Olli Loukola, HaDi MaBouDi, James Makinson, Helene Muller, Vivek Nityananda, Fei Peng, Nigel Raine, Mark Roper, Nehal Saleh, Cwyn Solvi, Johannes Spaethe, Ralph Stelzer, Vera Vasas, Mu-Yun Wang, Joseph Woodgate et Xing-Fu Zhu. Les échanges intellectuels avec des scientifiques d'autres équipes ont également été précieux pour les idées présentées dans ce livre — les plus importants étant Adriana Briscoe, Thomas Collett, Karl Geiger, Martin Giurfa, Beverley Glover, Andreas Gumbert, Jan Kunze, Miriam Lehrer, Martin Lindauer, Jeremy Niven, Avi Schmida, Peter Skorupski, Nick Waser, Heather Whitney et Neil Williams.

Je remercie également les personnes suivantes pour la création et/ou l'autorisation d'utiliser ou de modifier leurs images : Sylvain Alem, Johanna Brebner, Brigitte Bujok, Jeremy Early, Vince Gallo, Andy Giger, Beverley Glover, Helga Heilmann, Scott Hodges, Thomas Ings, Steve Johnson, Marco Kleinhenz, Li Li, Beau Lotto, Lida Loukola, Klaus Lunau, HaDi MaBouDi, Rob Raguso, Stuart Roberts (IBRA) au nom de Leslie Goodman, Rotraut Sachs, Florian Schiestl, Klaus Schmitt, Cwyn Solvi, Johannes Spaethe, Jürgen Tautz, Rüdiger Wehner, Joseph Wilson et Joseph Woodgate.

La traductrice adresse tous ses remerciements à Janine Kievits, Jean-François Odoux et Cédric Alaux pour leur soutien enthousiaste et leur relecture savante.

PLONGÉE AU CŒUR DE L'INTELLIGENCE DES ABEILLES

Depuis des millénaires, les abeilles ont été des compagnes silencieuses et indispensables à l'humanité, en particulier à travers leur rôle fondamental dans le maintien de la biodiversité et la production de nombreuses cultures agricoles. Leurs comportements sophistiqués et leur capacité à résoudre des problèmes complexes ont également captivé notre imagination. En effet, au-delà de leur apparente simplicité, les abeilles sont capables d'explorer leur environnement de manière méthodique, mais aussi d'apprendre par imitation. Certaines études ont même démontré que malgré un cerveau de taille réduite (moins d'un million de neurones en comparaison des 86 milliards de l'homme), elles peuvent résoudre des tâches logiques et abstraites, comme compter.

Voyage dans la tête d'une abeille nous invite ainsi à un voyage dans le cerveau et les capacités cognitives des abeilles, bien plus complexes que nous ne l'imaginons. Loin de se limiter à une simple description de leurs comportements, il explore leur capacité à résoudre des problèmes, à réaliser des apprentissages sociaux et même à exprimer une forme de conscience. L'auteur, à travers une narration très accessible, parvient à nous convaincre de l'intelligence des abeilles et de sa richesse insoupçonnée. Ce livre nous offre également un aperçu de comment les abeilles perçoivent le monde qui nous entoure.

En explorant les subtilités de leur intelligence, il nous invite à dépasser nos préjugés sur une intelligence réservée à quelques espèces. En effet, cette dernière est souvent perçue comme l'apanage des espèces les plus grandes ou les plus proches de l'homme. Pourtant, l'observation minutieuse des abeilles remet en question cette perspective limitée.

L'auteur nous pousse à regarder les abeilles sous un nouveau jour, non seulement en tant qu'actrices clés de nos écosystèmes, mais aussi comme des êtres intelligents, dotés de comportements fascinants qui méritent notre admiration. La découverte chez les abeilles d'une forme de sentience, capacité à ressentir des expériences vécues comme positives ou négatives, nous invite à repenser notre relation avec elles et à prendre conscience de l'importance de leur protection, non seulement pour la préservation de notre environnement, mais aussi pour le respect d'une forme d'intelligence naturelle qui mérite d'être étudiée et préservée. Cet ouvrage n'est pas simplement une exploration scientifique, c'est un appel à la contemplation et à la protection de ces créatures extraordinaires.

Cédric Alaux

Directeur de l'unité de recherche Abeilles et environnement à INRAE

Note au lecteur

NDLT : tout au long du texte, le lecteur s'étonnera peut-être de rencontrer, dans une même phrase, le terme « bourdon » (masculin) qui côtoie les termes « ouvrière », « butineuse » ou « éclairieuse », pour le même sujet, selon le rôle désigné. Souvenons-nous que tous les sujets sont des abeilles et que ce sont exclusivement des femelles.

1



INTRODUCTION

« Croyez-vous qu'un habitant de Mars ou Vénus, qui, du haut d'une montagne, verrait aller et venir par les rues et les places publiques de nos villes les petits points noirs que nous sommes dans l'espace, se formerait [...] une idée exacte de notre intelligence [...] ? Il se bornerait à constater quelques faits assez surprenants, comme nous le faisons dans la ruche, et en tirerait probablement des conclusions aussi incertaines, aussi erronées que les nôtres. [...]

Où vont-ils ? se demanderait-il, après nous avoir observés durant des années ou des siècles ; que font-ils ? Quel est le lieu central et le but de leur vie ? [...] Je ne vois rien qui gouverne leurs pas. Un jour ils semblent édifier et amasser de petites choses, et le lendemain les détruisent et les éparpillent. Ils s'en vont et reviennent, ils s'assemblent et se dispersent, mais on ne sait ce qu'ils désirent. »

Maurice Maeterlinck¹, La Vie des abeilles, 1901

Comprendre l'esprit des formes de vie extraterrestres n'est pas facile, mais à supposer que le défi vous tente, vous n'aurez pas besoin de voyager dans l'espace pour le relever. Les esprits extraterrestres sont ici, tout autour de vous. Vous ne les trouverez pas nécessairement chez les mammifères à gros cerveau — dont la psychologie est parfois étudiée dans le seul but de découvrir une forme d'humanité quelque peu modifiée. Chez les insectes comme les abeilles, il n'y a pas cette tentation : ni les sociétés d'abeilles ni leur psychologie individuelle ne ressemblent de près ou de loin à celles des humains (figure 1.1). En effet, leur monde perceptif est si loin du nôtre, régi par des organes sensoriels tout autres, et leur vie est gouvernée par des priorités si différentes qu'il est possible de les regarder comme des extraterrestres venus bien de chez nous.

Les sociétés d'insectes peuvent nous apparaître comme des machines bien huilées dans lesquelles l'individu joue le rôle d'un rouage sans cervelle, mais un observateur étranger, avec un regard superficiel, pourrait bien arriver à la même conclusion à propos d'une société humaine. Au cours de ce livre, mon objectif sera de vous convaincre que chaque abeille^a possède une forme d'esprit — qu'elle a, à la fois une perception du

a. NDLT : toutes les expériences décrites dans l'ouvrage concernent les abeilles sociales ; celles qui forment des colonies et sont attachées à un lieu central (nid ou ruche) pour élever les futures générations, stocker des réserves, protéger la reine et passer l'hiver. Pour cela, il faut de la jugeotte et une communication fiable, d'où la possibilité d'étudier différentes formes d'intelligence et de communication, ici en particulier chez l'abeille mellifère (*Apis mellifera*) et le bourdon (*Bombus terrestris*). Les bourdons, qui n'essaient pas, puisque ne passant pas l'hiver en société, sont bien plus grands et faciles à observer que les abeilles domestiques. Ils sont utilisés (depuis une vingtaine d'années) comme des « modèles clés » pour explorer expérimentalement les étonnantes capacités cognitives des insectes. Les abeilles mellifères sont plus étudiées pour leurs comportements de groupe dans l'orientation, de butinage et d'essaimage, où l'entité colonie compte plus que l'individu.



Figure 1.1. Le monde étrange de l'abeille. De nombreux aspects de la vie d'une abeille, ou de ses communautés, n'ont pas d'équivalent dans le monde humain. Des formes uniques de perception sensorielle, de comportement instinctif, de cognition et d'interaction sociale peuvent donner naissance à des structures telles que le nid d'abeilles mathématiquement optimal, sans équivalent dans le règne animal sur le plan de la régularité et de la fonctionnalité.

monde qui l'entoure ainsi que de ses propres connaissances, y compris de souvenirs autobiographiques, qu'elle peut apprécier le résultat de ses propres actions et qu'elle est capable d'un comportement intelligent et même d'émotions simples — les ingrédients clés d'un esprit individuel. Cet esprit est soutenu par un cerveau fantastiquement élaboré. Nous verrons que le cerveau des insectes est tout sauf simple. Comparé au cerveau humain et à ses 86 milliards de neurones, le cerveau d'une abeille n'en compte qu'un million². Pour autant, chacune de ces cellules possède une structure finement ramifiée dont la complexité rappelle l'arborescence d'un chêne adulte. Chaque neurone peut établir des connexions avec 10 000 autres — le cerveau d'une abeille pourrait donc compter un milliard de points de connexion de ce type — et chacune de ces connexions est potentiellement plastique, c'est-à-dire modifiable en fonction de l'expérience individuelle. Ces cerveaux élégamment miniaturisés sont bien plus que des dispositifs d'entrée-sortie ; ce sont des machines biologiques de prédiction, équipées pour explorer une gamme de possibilités. Et ils sont spontanément actifs, même pendant la nuit.

Qu'est-ce que ça fait d'être une abeille ?³

Afin d'explorer ce qui pourrait se trouver dans son esprit, je vous invite à imaginer la vie d'une abeille à la première personne et examiner quels seraient les aspects les plus importants de son monde, et de quelle manière. D'abord, imaginez que vous avez un



exosquelette — comme l'armure d'un chevalier. Néanmoins, vous n'avez pas de peau en dessous : vos muscles s'attachent directement à l'armure. Vous n'êtes qu'une coque dure à noyau mou. Vous disposez également d'une arme chimique intégrée, sous la forme d'un dard chargé d'un poison capable de tuer n'importe quel animal de votre taille et d'infliger une grande douleur à des animaux mille fois plus gros, mais cela pourrait être votre dernier acte, car vous risqueriez d'en mourir. Imaginez maintenant à quoi ressemble le monde vu de l'intérieur du poste de pilotage d'une abeille.⁴

Votre champ visuel⁵ s'ouvre sur 300° et vos yeux traitent les informations plus rapidement que ceux de n'importe quel humain. Toute votre alimentation provient des fleurs, dont chacune ne fournit qu'un minuscule repas. Vous devez donc souvent parcourir de nombreux kilomètres pour vous rendre d'une fleur à l'autre⁶ et pour rivaliser avec des milliers de concurrents afin de récolter ces friandises. La gamme de couleurs que vous voyez est plus large que celle d'un être humain et comprend la lumière ultraviolette, ainsi qu'une sensibilité à l'angle d'oscillation des ondes lumineuses. Vous êtes doté de superpouvoirs sensoriels, dont une boussole magnétique. Vous portez des excroissances sur la tête — aussi longues qu'une de vos pattes — capables de goûter, sentir, entendre et même de percevoir les champs électriques (figure 1.2). Et, de surcroît, vous savez voler. Compte tenu de tout cela, qu'avez-vous dans la tête ?

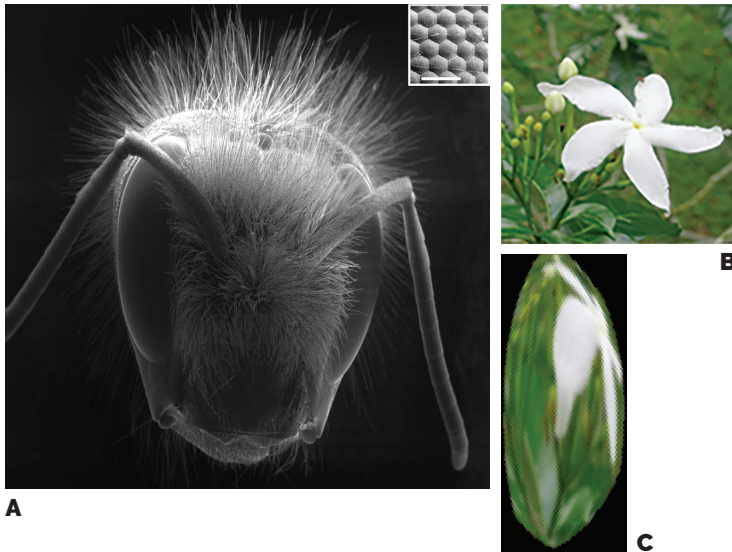


Figure 1.2. Le portrait d'une abeille et la manière dont elle voit une fleur. **A.** Micrographie électronique, ici, de la tête d'un bourdon. Ses antennes peuvent détecter les textures de surface, les courants d'air, les goûts, les odeurs, la température et les champs électriques. Les grands yeux incurvés situés de part et d'autre de la tête peuvent regarder simultanément dans toutes les directions (sauf vers l'arrière) et sont sensibles aux rayons ultraviolets et à la lumière polarisée. Ces yeux composés sont constitués de milliers d'yeux minuscules (les ommatidies), chacun possédant sa propre lentille hexagonale (voir le cartouche, barre d'échelle 50 μm) et contribuant à apporter un pixel à l'image globale. **B** et **C.** Rendu de la manière dont une fleur typique en forme d'étoile est représentée dans les yeux incurvés de l'abeille lorsqu'elle est observée à une distance de 4 cm. Notez la faible résolution visuelle et l'image fortement déformée.



Les défis d'une butineuse dans la nature

Ce qui se passe dans la tête d'un animal (y compris celle d'un être humain) est un mélange d'informations issues de son histoire évolutive⁷, d'informations passant par les filtres sensoriels qu'il a acquis au cours de l'évolution, d'informations qu'il a mémorisées à partir de son expérience ainsi que d'événements anticipés ou même imaginés. Afin d'explorer ce qui pourrait se passer dans sa tête, il est utile de réfléchir à ce qui compte pour l'animal en question, c'est-à-dire ce qui est important dans sa vie au jour le jour. Par exemple, s'il y a assurément une chose qui n'occupe pas l'esprit des abeilles ouvrières, c'est le sexe, car elles sont généralement stériles et la reproduction est confiée à la reine. En revanche, les fleurs ont probablement une signification⁸ tout à fait différente dans l'esprit d'une abeille et dans le nôtre. Parce que les plantes peuvent transformer l'énergie solaire en une boisson énergétique — le nectar —, elles sont synonymes de survie pour l'abeille et sa famille. Le pollen — les spermatozoïdes de la plante — est une ressource tout aussi importante à récolter, car il contient de fortes concentrations de protéines nutritives.

Pour regarder de plus près quelles pourraient être les préoccupations d'une créature pour qui les fleurs sont porteuses de vie, imaginez le premier jour d'une jeune abeille qui quitte sa demeure. Le défi consisterait à en mémoriser l'emplacement ainsi que des points de repère dans son environnement, et à localiser de riches ressources florales. En outre, en l'espace de quelques excursions seulement, l'abeille doit ramener un surplus à la maison, faute de quoi ses jeunes consœurs mourront de faim. Il est clair que notre abeille exploratrice doit disposer d'un vaste corpus de prérequis de connaissances. Par exemple, elle n'a pas besoin d'apprendre à voler, et elle détient un savoir inné qui lui indique que les points colorés et parfumés dans son environnement pourraient être des fleurs.

Cependant, il existe de nombreuses informations pour lesquelles l'évolution n'aura pas fourni à l'abeille les indications nécessaires, car beaucoup de choses sont imprévisibles d'une génération à l'autre. L'abeille ne sait pas dès sa naissance où se trouvent les fleurs, à quoi elles ressemblent exactement, comment les manipuler, si elles contiennent du nectar ou du pollen, si elles sont une riche ou une maigre ressource. Même si elles correspondent à la bonne espèce, elles peuvent déjà avoir été épuisées par des concurrents. Chaque abeille doit explorer et apprendre. En d'autres termes, une abeille doit apprendre beaucoup de choses au cours des trois semaines de sa courte vie d'adulte, sans quoi elle ne retrouvera pas le chemin du nid et ne deviendra pas une butineuse florale efficace.

Le premier vol d'une abeille est le plus dangereux⁹. Chez les bourdons, jusqu'à 10 % des butineurs ne reviennent jamais à leur colonie d'origine après leur premier envol. Certaines abeilles ne parviennent pas à se souvenir avec précision de l'endroit où elles ont élu domicile ; d'autres sont victimes d'oiseaux insectivores ou de prédateurs immobiles qui les guettent, tels que les araignées-crabes. Pour comprendre la nature du défi, imaginons des enfants humains dans la même situation. Pour nous rendre



compte de la capacité d'apprentissage d'une abeille butineuse novice âgée de quelques jours, supposons que nos enfants expérimentaux aient déjà quelques années (disons 6 ans, et sont donc en âge d'aller à l'école). Vous les relâchez dans un milieu sauvage, c'est-à-dire sans repères mémorisés tels que des bâtiments (figure 1.3). Simplifions les choses pour les enfants et assurons-leur un environnement sans prédateur. Leur seule consigne est de rapporter de la nourriture qui, comme celle d'une abeille, se trouve jusqu'à cinq kilomètres de chez eux. Ils doivent pouvoir prévoir suffisamment de provisions pour survivre au voyage et, lorsqu'il n'y en a plus, faire preuve d'ingéniosité pour en retrouver. Pour se représenter la complexité de la structure florale, imaginons que le nectar est à extraire d'une variété de casse-tête dont la mécanique doit être comprise par les enfants eux-mêmes, sans aucune instruction de la part des adultes. Ensuite, sans l'aide d'éventuels passants bien intentionnés, ils doivent trouver le chemin du retour. Combien pensez-vous en trouver à la fin de la journée en possession d'un généreux supplément de nourriture ?

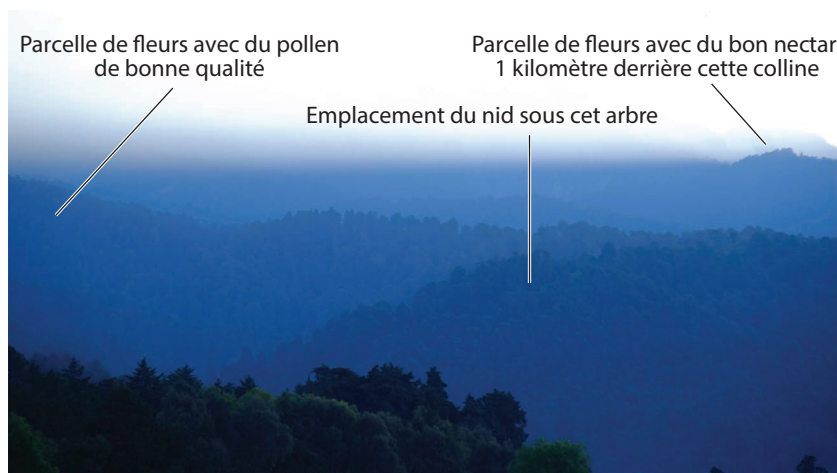


Figure 1.3. Les défis d'orientation posés par la nécessité de retourner à un lieu central (le nid) dans un habitat naturel. Contrairement aux environnements urbains (qui comprennent souvent des points de repère uniques conçus pour être reconnaissables), les habitats naturels tels que les forêts et les collines sont constitués de formes et de motifs répétitifs qui n'offrent pas de caractéristiques particulièrement mémorables. Pourtant, les abeilles naviguent avec succès sur des kilomètres dans de tels environnements, se souvenant non seulement de l'emplacement de leur nid, mais aussi de celui de multiples zones de butinage de fleurs potentiellement gratifiantes à différents moments de la journée. Dans de tels environnements, de nombreux humains, s'ils étaient contraints d'opérer sans technologie moderne, sans cartes ou sans l'aide de guides compétents, ne parviendraient pas à relever de tels défis spatiaux.

Il est clair que les quelques enfants susceptibles de réussir seraient ceux qui ont une mémoire spatiale hors du commun¹⁰, de bonnes capacités de recherche et de motricité, ainsi qu'un jugement affûté pour estimer la qualité des différentes ressources. Au cours des jours suivants, certains individus pourraient sérieusement s'améliorer; ayant mémorisé les distributeurs automatiques les plus fournis, ils s'y concentreraient et trouveraient également des chemins plus courts pour relier les



meilleurs emplacements (et en reconnaîtraient d'autres similaires). Mais rien ne resterait figé. Introduisons la concurrence d'un autre groupe d'enfants, ainsi que des changements imprévisibles, à la manière de ce qui se passe dans le monde des fleurs : un emplacement précédemment productif disparaît et de nouveaux emplacements apparaissent, nécessitant une exploration plus poussée. Il ne s'agit là que de quelques-uns des défis fondamentaux auxquels une abeille se trouve confrontée et qui peuvent donc occuper son esprit. Dans la section suivante, nous verrons que ces défis nécessitent de nombreuses formes de prises de décision complexes ainsi qu'une organisation efficace de la mémoire.

Ce qui se passe dans la tête d'un client fréquentant le (super)marché aux fleurs ?

Les fleurs sont avant tout les organes sexuels des plantes. Leurs couleurs, ainsi que leurs motifs et leurs parfums sont conçus pour attirer les animaux, dans une transaction sexuelle que de nombreuses plantes, du fait de leur manque de mobilité, ne peuvent accomplir sans aide : le transfert du pollen des parties mâles des fleurs vers les parties femelles. Les abeilles n'accomplissent pas ce service gratuitement ; elles ont besoin d'une récompense pour leurs efforts. De ce point de vue, les systèmes de pollinisation peuvent être considérés comme des marchés où les animaux choisissent des « marques » (les espèces de fleurs) en fonction de leur qualité (la teneur en sucre du nectar, par exemple), tandis que les plantes sont en compétition pour des « clients » (les pollinisateurs). Les abeilles apprennent à interpréter les publicités affichées par les fleurs en les associant à la qualité du produit que chaque fleur recèle. Les offres de ce marché sont en constante évolution ; une parcelle de fleurs qui subvenait à la demande le matin peut ne plus produire de nectar à l'heure du déjeuner ou avoir été épuisée par les concurrents. Elle peut de nouveau répondre à la demande à la même heure le lendemain matin mais, ensuite, se flétrir complètement trois jours plus tard. Les butineuses doivent mettre à jour leurs informations à la lumière de ces changements et jongler entre l'exploitation en cours et la prospection de sources alternatives.

Une grande partie du fonctionnement de l'esprit d'une abeille ne peut être comprise que si l'on considère les défis naturels de l'économie de marché en constante évolution dans laquelle elle doit opérer. Les pressions exercées dans ce contexte sont souvent exprimées en termes de performances physiques. Par exemple, une abeille peut transporter huit fois le poids de son propre corps en nectar et/ou en pollen ; elle peut avoir besoin de visiter 1 000 fleurs et de voler 10 kilomètres pour simplement remplir une seule fois son jabot (l'estomac d'une abeille) ; une centaine de voyages de ce type seront peut-être nécessaires pour produire une cuillère à café de miel. Les efforts mentaux requis en cours de route sont moins souvent considérés. En visitant 1 000 fleurs, l'abeille doit manipuler 1 000 casse-tête dont la mécanique serait aussi compliquée que celle d'une serrure (figure 1.4).

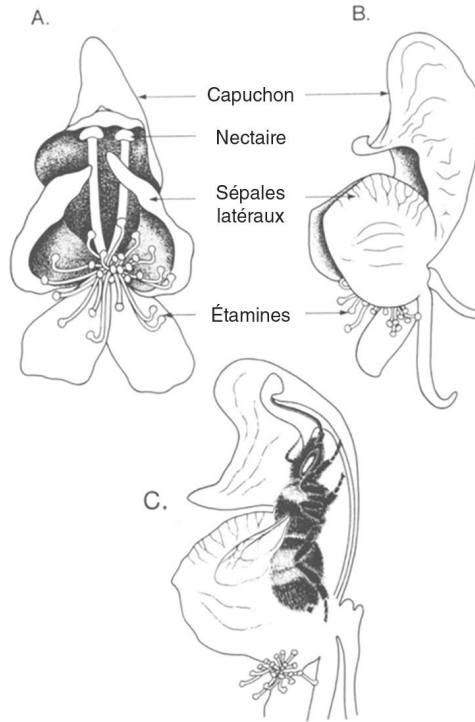


Figure 1.4. Une fleur en guise de casse-tête¹¹. A. Vue frontale et (B) vue latérale d'une fleur d'aconit (*Aconitum variegatum*). C. Un bourdon à l'intérieur de la fleur, insérant la langue dans son « capuchon » pour en extraire le nectar. Les individus inexpérimentés échouent souvent à localiser le nectar, et même ceux qui y parviennent ont besoin de dizaines de visites pour affiner leur technique.

D'ailleurs, aucune espèce de fleur ne ressemble à une autre en ce qui concerne la mécanique qu'il faut apprendre pour accéder à son contenu. En volant dans une prairie fleurie, une abeille est constamment bombardée de plusieurs stimuli *par seconde* (des motifs colorés, des mélanges de senteurs, des champs électriques) provenant de multiples fleurs de plusieurs espèces, ce qui l'oblige à ne prêter attention qu'aux stimuli les plus pertinents et à ignorer les autres. En visitant 1 000 fleurs, l'abeille peut être amenée à en rejeter 5 000 autres qui ne lui sont pas familières, qui se sont révélées peu gratifiantes ou qui ne le sont qu'à un moment différent de la journée (figure 1.5).

En butinant, l'abeille doit également surmonter la frustration et le risque de famine liés à la découverte de douzaines de fleurs vidées de leur nectar, dans une parcelle récemment butinée par la concurrence, et elle doit décider du moment de réduire ses pertes et de repartir à la recherche d'une autre source de nourriture. À force de visiter plusieurs milliers de fleurs par jour, des règles du jeu commencent à émerger : par exemple, les espèces de fleurs à symétrie bilatérale (telles que les muflers) sont-elles plus gratifiantes que les espèces à symétrie radiale (telles que



Figure 1.5. Les achats au (super)marché aux fleurs. Une abeille qui survole une prairie fleurie est confrontée à une mosaïque déconcertante de stimuli sensoriels, tels que les couleurs et les parfums de multiples espèces de fleurs. À l'instar d'un acheteur humain, elle doit identifier les espèces de fleurs (« produits ») qui offrent le meilleur rapport coût/bénéfice (c'est-à-dire les meilleures récompenses en nectar et en pollen après avoir pris en compte les efforts nécessaires pour les atteindre). Elle doit mémoriser les publicités de ces fleurs (couleur, forme et parfum) et concentrer son attention sur ces espèces précises, en évitant de se laisser distraire par d'autres signaux floraux.

les marguerites), indépendamment de l'espèce et de la couleur? L'apprentissage de règles n'est généralement pas considéré comme une tâche à la portée de l'esprit d'un insecte, mais comme nous le découvrirons bientôt, les pressions qui s'exercent dans le (super)marché aux fleurs ont donné lieu à de telles opérations intelligentes chez l'abeille, qui doit en outre, tout en tenant compte de toutes ces éventualités, penser à éviter les parcelles de fleurs où le risque de prédation est particulièrement élevé. Elle doit garder la trace de l'emplacement de sa maison, même si sa trajectoire de vol était faite de détours, et pouvoir naviguer malgré les rafales de vent qui risqueraient de la déporter loin de l'itinéraire établi.

Construire le nid : communiquer et prendre des décisions complexes

Enfin, à son retour à la maison, l'abeille peut découvrir un ours en train de déterrer son nid. Que doit-elle faire? Doit-elle d'abord décharger son butin ou attaquer l'ours en risquant d'être tuée? Doit-elle bourdonner autour de la tête de l'ours de façon menaçante en espérant que cela suffira comme moyen de dissuasion? Ou doit-elle



attendre en cachette dans un arbre que l'attaque soit terminée? On pourrait penser que ces choix sont dictés par des priorités innées, mais chaque abeille peut faire des choix différents en fonction de ses propres prédispositions.

Ensuite, après le départ de l'ours, il faut réparer le nid et remplacer le miel volé. La construction d'un nid demande la fabrication de cellules parfaitement hexagonales à partir de fines lamelles d'un matériau mou (NDLT : la cire) qui sortent de l'abdomen des abeilles. La taille des alvéoles correspond à peu près à celle du corps de l'abeille. Pour des raisons inconnues, cette tâche implique la formation de chaînes d'ouvrières en suspension (figure 1.1). Elles doivent « tenir la main » de leurs consœurs, suspendues dans les airs, pendant que les travaux de réparation se poursuivent 24 heures sur 24.

De jour comme de nuit, il fait toujours très sombre dans un nid typique d'abeilles occidentales (tant qu'il n'a pas été endommagé par un ours), et le monde à l'intérieur n'est pas moins fascinant et étrange que le monde extérieur. Imaginez un gratte-ciel de 100 étages, sans fenêtres, aussi bondé qu'un bus à l'heure de pointe. Toutes les surfaces principales sont verticales et les individus courent sans cesse le long des parois. Comment un individu peut-il savoir ce qu'il doit faire parmi les dizaines de tâches qui doivent être accomplies par l'ensemble de la colonie?

Une grande partie de la communication qui s'accomplit entre les abeilles est régie par des phéromones¹² (des cocktails de substances chimiques relâchées par des glandes distribuées sur tout le corps de l'abeille, qui en dispose d'une quinzaine), ainsi que par des signaux électrostatiques qu'elles génèrent et qu'elles sentent avec des poils mécanosensoriels. Les abeilles mellifères peuvent aussi communiquer sur l'emplacement des fleurs par des mouvements symboliques : une étrange démonstration motrice, appelée la danse frétillante¹³. Une butineuse exécute une danse en solo sur une paroi verticale. Imaginez qu'en tant qu'abeille vous et vos voisines essayiez de déchiffrer les mouvements de la danseuse pour apprendre l'endroit où elle a trouvé le trésor. Il fait sombre et, pour lire ses mouvements, il faut la toucher tout au long de la danse, en posant vos antennes sur son abdomen, et les y maintenir pendant qu'elle tourne et se trémousse. Pour ajouter une perspective évolutive, imaginez que votre *vie* dépende de votre capacité à sentir et à interpréter les mouvements de la danseuse. Certaines danseront mieux que d'autres sur une piste de danse obscure, et d'autres échoueront. D'autres encore auront un don pour la communication dansée dans le noir et seront rapidement efficaces, ou seront plus douées pour *comprendre* cette façon de communiquer. Avec le temps et sur de nombreuses générations, il y aura une sélection à la fois pour les manières particulièrement efficaces d'encoder les messages dans les danses ainsi que pour l'aptitude au déchiffrement tactile du code.

Imaginer d'autres formes d'esprit aide à les comprendre

Certains philosophes diront qu'il est inutile d'essayer d'imaginer des mondes alternatifs si étranges. Je ne suis pas d'accord. Je pense que c'est extrêmement utile. Je ne peux pas imaginer précisément ce que c'est que d'être vous (et encore moins un autre