



Beekeeping & Development

Une soixantaine de participants étaient présents à la journée organisée par Miel Maya. Chez nous, on néglige souvent l'importance de l'abeille comme outil de développement, et pourtant son rôle dans ce domaine est essentiel. Heureusement, la FAO l'a bien compris et plusieurs personnes de cette organisation sont venues pour illustrer les possibilités d'actions dans ce sens. Un nouveau réseau a été mis en place pour venir en aide aux projets sur le terrain.

Pour la première fois, nous avons présenté aux participants une palette de miels africains qui a vraiment suscité beaucoup d'intérêt.

Pesticides : des risques croissants pour les abeilles ?

Suite à plusieurs démarches, Inter-Environnement Wallonie, fédération wallonne des associations d'environnement, a obtenu du SPF Santé publique les quantités de pesticides utilisées dans notre pays. Ces chiffres, détenus par les administrations compétentes des Etats, n'avaient jamais été divulgués à ce jour, les compagnies phytopharmaceutiques considérant qu'ils sont couverts par le secret commercial.

Que montrent ces chiffres ? Un constat s'impose en tout cas d'évidence : il se vend encore dans nos pays des quantités non négligeables de produits dangereux pour la santé humaine, tels les herbicides Bromoxynil, un reprotoxique (6000 tonnes vendues en 2008) et 2,4-D (substance devant être considérée comme mutagène pour l'homme), ou encore les insecticides en traitement de semences, toujours soupçonnés de causer la perte des abeilles, tel l'imidaclopride (30 tonnes). Plusieurs éléments restent à éclaircir à ce niveau. On peut se demander comment ces chiffres intègrent les semences traitées vu qu'elles ne sont pas actuellement considérées comme des produits phytosanitaires.

Il reste donc du chemin si l'on veut arriver à un usage véritablement raisonné des pesticides agricoles.

C'est pourtant bien un objectif que s'est donné l'autorité européenne : elle a demandé à ses Etats membres de mettre en œuvre des plans de réduction de l'usage des pesticides. Un tel plan existe en Belgique, c'est le PRPB, plan de réduction des pesticides et biocides, en fait plutôt un « plan de réduction des risques liés à l'usage des pesticides et biocides ». Ces risques sont estimés sur base d'un indicateur global, le PRIBEL, fondé sur 7 indicateurs de base dont l'abeille. Introduit par un arrêté de 2005, ce plan vient d'être actualisé (Moniteur belge du 9 février 2010). Il ressort de cette actualisation que les risques liés à l'usage professionnel des produits phytopharmaceutiques sont globalement en réduction, sauf en ce qui concerne les abeilles où une augmentation est observée. Ce risque est évalué notamment sur base d'indicateurs de pression qui réfèrent aux quantités de pesticides auxquelles l'abeille est exposée, et donc aux quantités utilisées.

AG CARI

Le 14 avril, à l'occasion de notre assemblée générale, Hedwig Riebe du DBIB (syndicat des apiculteurs professionnels allemands) est venue nous présenter ses observations sur le phénomène d'exsudation et l'impact qu'il peut avoir sur les récolteuses d'eau. Ce phénomène peut se produire sur de très nombreux végétaux (colza, céréales, betteraves...) et à diverses périodes de l'année (printemps, automne...). La concentration de produit insecticide que l'on observe sur des végétaux dont les semences ont été traitées peut être nettement supérieure aux doses mortelles pour les abeilles.

Ensuite, notre assemblée générale a permis de faire le point sur les différentes actions entreprises durant cette année et de dresser les objectifs pour l'année qui vient. André Fontignie a été élu comme nouvel administrateur en remplacement de Robert Lequeux que nous avons remercié pour les très nombreux services qu'il a rendus au CARI depuis plus de 20 ans.

Suite à la réunion du conseil d'administration, le nouveau bureau a été désigné : Charles-Louis Maudoux, président; Jean-Paul Demonceau et Albert Maréchal, vice-présidents; André Fontignie, secrétaire; Jean-Claude Seylle, trésorier.



Hedwig Riebe

et la boussole⁽¹⁾



Butiner est un véritable exploit. Cela suppose que l'abeille sache reconnaître les sources de nectar et se focaliser sur les plus intéressantes d'entre elles en qualité et en quantité, les délaissant lorsqu'elles faiblissent, s'y attachant lorsqu'elles croissent. Nous avons vu qu'elle dispose de capacités mémorielles et cognitives adaptées à cette fin¹. Mais il faut aussi qu'elle puisse s'orienter dans un paysage parfois complexe, qui lui impose de garder son cap sur de longues distances, même si elle doit contourner des obstacles. Comme pour toute course d'orientation, il lui faut donc une carte et une boussole. Elle les a et, vous allez le voir, elle sait s'en servir !

Difficile, à l'entame de cet article, de ne pas dédier d'abord une pensée à Karl von Frisch. Ce biologiste autrichien, professeur de zoologie à l'université de Munich, a mené ses travaux avec des moyens simples mais aussi avec une rigueur et une patience qui lui ont permis d'en tirer d'immenses résultats. On le connaît surtout comme le découvreur de la danse des abeilles. Les mécanismes fondamentaux de la danse sont rappelés dans l'encadré ci-contre. Ceux de nos lecteurs qui n'en seraient pas familiers les trouveront aisément dans tous les ouvrages de base traitant de biologie de l'abeille, dans le livre où von Frisch lui-même aborde largement cette question [1] ou encore sur Internet².

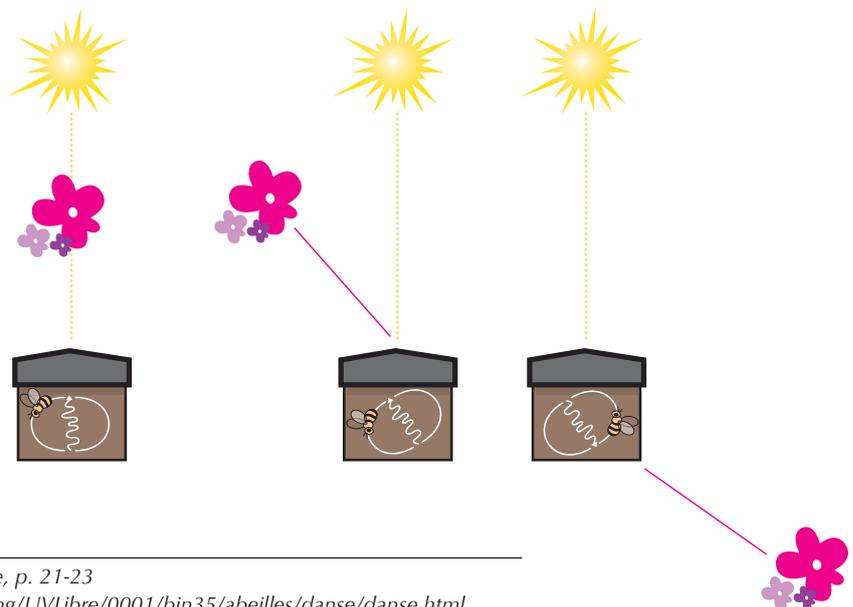
De nombreuses recherches ont été faites depuis, sur les moyens par lesquels l'abeille s'oriente et traduit par la danse distances et directions; on en trouvera l'évocation dans le livre que J. Tautz a consacré à notre « étonnante abeille » [2]. Elles sont fondées sur des expériences multiples, qui font parfois appel à d'ingénieux montages, et sur l'observation minutieuse des abeilles mises artificiellement dans différentes conditions. Elles confirment, ce que l'on sait depuis von Frisch, que le système

par lequel les abeilles s'orientent dans l'espace intègre les éléments du paysage mais aussi une composante purement directionnelle fondée sur la position du soleil dans le ciel.

Bref rappel de la manière dont l'abeille traduit par la danse la direction de vol vers une source de nourriture.

Lorsque la source de nourriture est à courte distance de la ruche, l'abeille danse « en rond » : aucune direction n'est spécifiée.

Plus la distance à la source de nourriture est grande, plus les deux cercles accomplis par l'abeille danseuse se dissocient, pour aboutir à une danse en huit. Le segment commun aux deux cercles est parcouru en frétilillant, le frétillement se traduisant par des impulsions données au rayon, qui traduisent la distance à la source de nourriture. L'orientation de ce segment « frétille » indique la direction de la source : l'angle que fait ce segment par rapport à la verticale du cadre est identique à celui que fait la direction de vol par rapport à celle du soleil.



1. voir Abeilles & Cie n° 133, Une petite tête bien faite, p. 21-23

2. voir par exemple <http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/UVLibre/0001/bin35/abeilles/danse/danse.html>



Le soleil, boussole des abeilles

L'abeille a une vision extrêmement précise de la position du soleil dans le ciel grâce à ses ommatidies - les milliers de petits yeux qui forment les yeux composés - sensibles à la polarisation de la lumière (encadré ci-contre). Même si elle ne voit qu'un morceau de ciel bleu, par exemple lorsqu'elle circule entre des arbres, l'abeille qui vole vers une source de nourriture sait exactement quel est l'angle que fait son vol avec la direction du soleil.

La danse frétillante qu'elle exécute au retour sur les cadres de la ruche va lui permettre de recruter d'autres abeilles pour butiner cette source si elle présente de l'intérêt.

En exécutant cette danse, la recruteuse, on le sait, indique avec précision la direction du vecteur allant de la ruche à la source : le segment frétillant de la danse fait, avec la verticale, un angle équivalent à celui que fait le vecteur ruche-source avec la direction du soleil.

Ce faisant, l'abeille relève un double défi. Première difficulté, la position du soleil dans le ciel n'a rien de constant. L'abeille qui a mémorisé la direction d'une source doit pouvoir la retrouver à tout moment de la journée, elle doit donc effectuer en permanence une correction adéquate de l'angle que fait sa course avec le soleil, par rapport à la direction apprise à une heure donnée. Ceci suppose que l'abeille ait une connaissance précise de la course du soleil dans le ciel.

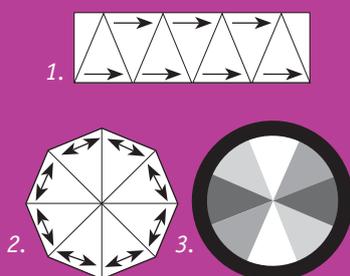
Cette connaissance est le fruit d'un apprentissage. Des abeilles qui n'ont jamais volé et fréquentent pour la première fois un nourrisseur en fin d'après-midi ne retrouvent pas d'emblée la direction du nourrisseur le lendemain matin [1] : il faut qu'elles volent plusieurs jours de suite pendant un temps suffisamment long pour « apprendre » comment le soleil se déplace et effectuer les corrections ad hoc à tout moment du jour.

Cet apprentissage dure plusieurs jours mais n'a pas besoin d'être complet : les abeilles ne doivent pas avoir expérimenté toute la course du soleil pour la connaître et l'utiliser, comme le montre l'expérience suivante. Plusieurs jours de suite, des abeilles qui n'ont jamais volé auparavant sont conservées en cave pendant les matinées et ne volent que pendant les après-midi. On les entraîne à fréquenter un nourrisseur pendant la dernière après-midi de l'entraî-

la lumière polarisée, boussole de l'abeille

Il n'est pas aisé du tout, pour les humains que nous sommes, de réaliser ce qu'est la lumière polarisée : nous ne sommes pas sensibles à la polarisation des rayons lumineux.

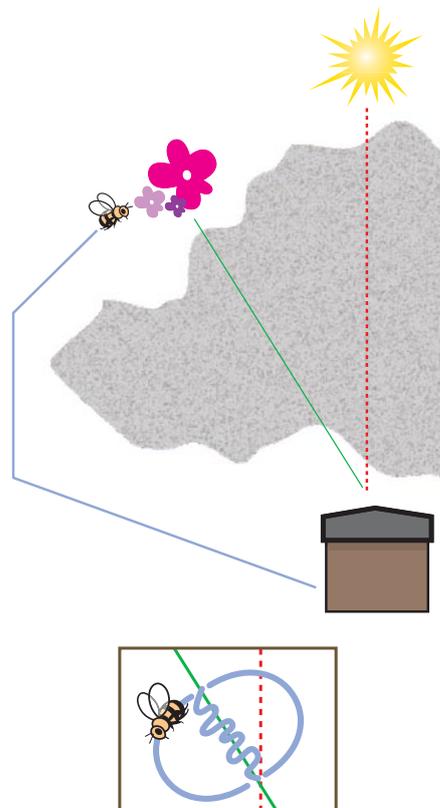
De quoi s'agit-il ? La lumière est une onde, une vibration qui se fait dans toutes les directions de l'espace à la fois. Dans la lumière qui émane d'un ciel bleu, celle que réfléchit une surface d'eau par exemple, certains rayons lumineux, principalement les UV, vibrent tous dans un même plan. Ce plan de polarisation dépend de la position du soleil dans le ciel. Nous pouvons détecter ce plan au travers d'un filtre Polaroid, qui polarise lui-même selon un plan déterminé : en faisant tourner celui-ci de 360°, la lumière nous parvient plus forte ou plus faible de 90 en 90°, suivant que le plan du filtre est parallèle ou perpendiculaire à celui des rayons polarisés. Chaque ommatidie de l'abeille est composée de 8 cellules assemblées en cercle, qui sont comme 8 triangles qu'on aurait découpés dans un filtre Polaroid et qu'on aurait assemblés en un octogone. Les différences de luminosité dans chacun des triangles (schéma ci-dessous) renseignent avec précision l'abeille sur la position du soleil dans le ciel.



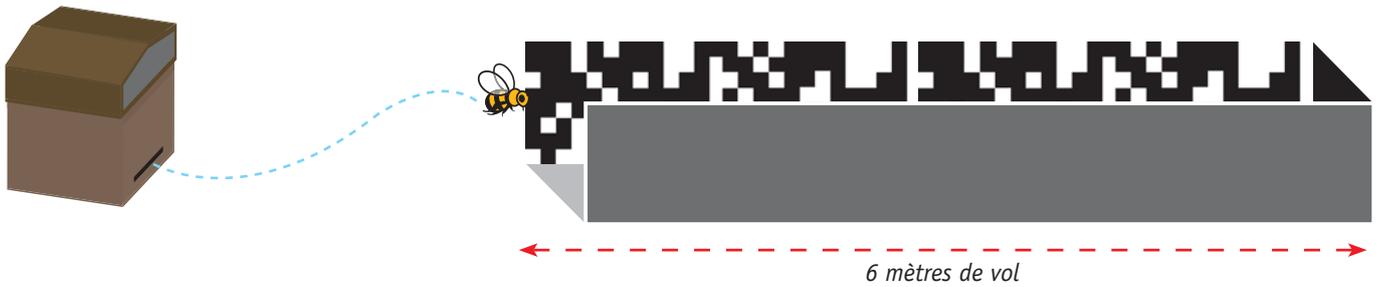
1. Filtre Polaroid. La flèche indique le du plan de polarisation
2. Les triangles sont assemblés en octogone, les flèches indiquent toujours le plan de polarisation de la lumière
3. Lumière polarisée vue à travers le filtre (2) C'est vraisemblablement de cette façon que l'abeille perçoit la lumière polarisée des UV solaires par chacune de ses ommatidies

nement, puis on les lâche le lendemain matin. Elles retrouvent le nourrisseur sans problème : elles ont extrapolé à la matinée ce qu'elles ont appris de la course du soleil pendant l'après-midi. Il leur suffit donc de comprendre quelle est la course du soleil pendant une partie de la journée pour en déduire ce qu'elle est dans sa totalité [1]. En fait, les abeilles disposeraient d'une sorte de schéma inné sur base duquel elles « savent », en l'absence de tout apprentissage, que le soleil effectue bien une course et occupe des positions diamétralement opposées entre le matin et le soir. Ce schéma serait ensuite calibré par l'expérience que l'abeille acquiert de la course réelle du soleil au cours de ses vols d'orientation [3].

Second défi, l'abeille n'a que rarement l'occasion de voler en ligne droite : les arbres, les maisons, les rochers... sont autant d'obstacles qu'il lui faut contourner. Or, quels que soient les détours opérés, la danse n'en indiquera pas moins la direction d'une ligne droite reliant la ruche et la source [1] [4]. C'est que l'abeille est capable d'intégrer les éléments du chemin parcouru (path integration). En d'autres termes, comme d'autres espèces d'insectes



Malgré le fait que l'abeille fait un détour, elle indique par la danse la direction « à vol d'oiseau »



et notamment les fourmis, elle effectue tout au long de son trajet la computation des directions et longueurs des différents segments qu'elle parcourt pour se situer dans l'espace [5]. C'est de la somme de ces segments de vol qu'elle déduit une direction à vol d'oiseau, et c'est celle-ci qui est restituée par la danse frétilante. L'abeille nous ferait-elle donc du calcul vectoriel ? Presque, mais pas tout à fait : elle calcule la direction du vecteur final, c'est-à-dire du trajet à vol d'oiseau, mais n'en connaît pas la longueur. Elle connaît, par contre, la longueur de chacun des segments effectivement parcourus. Aussi, la danseuse de retour à la ruche va-t-elle indiquer la direction du vecteur final (ruche-source); mais la distance qui est traduite par la durée du frétillement est bien celle du trajet effectivement parcouru.

Un tunnel pour comprendre

Comment l'abeille peut-elle mesurer la distance qu'elle parcourt en volant ? Cette question a fait l'objet de nombreuses hypothèses, l'une d'elles étant que l'abeille rapporte cette distance à la quantité d'énergie qu'elle dépense - mais si tel était le cas, l'estimation ne serait-elle pas faussée lorsque l'abeille vole par vent contraire ? Selon une autre hypothèse, c'est la manière dont le paysage défile devant ses grands yeux composés qui lui permettrait de jauger la longueur de ses vols; en d'autres termes, l'abeille en vol capterait le flux optique produit par le défilement des objets qu'elle survole, tout comme un lecteur optique capte celui émis par les codes-barres aux caisses de nos grandes surfaces; et la distance serait estimée en simple proportion de la quantité totale de flux reçue sur l'ensemble du trajet parcouru. Cette hypothèse a été démontrée

par une série d'expérimentations brillantes [5] [6] [7] [8] [9] [10], qui ont permis de comprendre plusieurs aspects du repérage spatial de l'abeille. Toutes sont fondées sur un dispositif ingénieux, le tunnel de vol. Le principe en est le suivant. Si vraiment l'abeille mesure les distances par le flux optique, en faussant ce flux, elle doit traduire par sa danse, en temps de frétillement, le flux faussé et non la distance véritable. Pour fausser le flux, on va la faire voler dans un tunnel de section circulaire ou carrée, étroit (souvent environ 20 x 20 cm), aménagé de manière à ce qu'elle voie le ciel (le dessus est en plexi ou en moustiquaire) et garni sur les faces latérales et sur le fond d'un dessin aléatoire contrasté. Grâce à la nature du dessin³ et à l'étroitesse du tunnel, l'abeille reçoit un flux optique démesuré par rapport à la distance qu'elle parcourt réellement. Ce tunnel est positionné non loin d'une ruche, et les abeilles sont entraînées à fréquenter un nourrisseur situé en bout de tunnel (en fait, on positionne le nourrisseur en début de tunnel et on le recule peu à peu). La danse des abeilles au retour est filmée sous lumière infrarouge à travers une paroi vitrée, et les temps de frétillement sont comptés en millisecondes.

Que voit-on ? Le tunnel fausse vraiment la perception qu'ont les abeilles de la distance parcourue. Par exemple, celles qui ont réalisé 6 mètres de vol normal suivis de 6 mètres de vol en tunnel « indiquent » en dansant une distance totale de 184 mètres; 35 mètres de vol normal suivis de 6 mètres de tunnel sont « dansés » comme le seraient 230 mètres de vol ordinaire... en moyenne les 6 mètres de tunnel sont perçus comme une distance de 186 mètres [8]. Ce constat expérimental est transposable dans la nature : en examinant les durées de frétillement des danses dans des paysages contrastés, on s'aperçoit que

le « compteur de distance » des abeilles, que les scientifiques appellent *odomètre*⁴, tourne plus vite lorsque le paysage est riche en repères visuels que lorsqu'il est monotone [7]. La perception qu'elles ont de la longueur du vol, qu'elles transmettent par la danse frétilante, dépend donc du paysage qu'elles survolent : la durée de frétillement intègre la distance parcourue et la quantité de repères visuels qui a défilé sous les yeux de la danseuse lors de son vol vers la source de nourriture [11].

Etonnant ? Certainement de notre point de vue d'êtres humains; mais cela n'a rien d'extraordinaire dans le monde des insectes. Il faut se représenter comment ceux-ci voient les choses. Nous disposons, nous, d'une vision binoculaire. C'est la superposition de la vision de chacun des yeux, exerce que notre cerveau effectue sans intervention de notre part, qui nous permet d'apprécier la dimension d'un objet ou la distance qui nous en sépare. L'insecte ne dispose guère de ce moyen; ses yeux sont fixes, proches l'un de l'autre et placés de telle sorte que la vision d'un œil ne recoupe que peu, voire pas du tout, celle de l'autre œil. Il évalue donc d'une autre façon les distances et les dimensions des objets. Une sauterelle par exemple balance la tête de gauche à droite avant de sauter sur le brin d'herbe qu'elle vise [12] (voir illustration ci-contre). C'est la manière dont l'image du brin d'herbe défile devant ses yeux qui lui dit quelle sera la longueur du saut à faire, car en effectuant un tel mouvement - faites l'expérience - les objets proches défilent bien plus vite que les objets lointains. C'est aussi la vitesse à laquelle l'image de l'objet grandit dans leur champ visuel qui dit aux insectes quelle distance les en sépare et déclenche le réflexe d'atterrissage (l'extension des pattes) lorsqu'ils en sont proches. C'est ce

3. Il s'agit d'un graphisme aléatoire de Julesz. Béla Julesz est l'inventeur des stéréogrammes, ces dessins dans lesquels on peut apercevoir un relief lorsqu'on fixe un point situé en avant ou en arrière du plan du dessin (voir http://en.wikipedia.org/wiki/Béla_Julesz)

4. Le web nous donne, de l'odométrie, la définition suivante : l'odométrie est l'usage de données de mouvement de la part d'acteurs pour estimer le changement de leur position au cours du temps. L'odométrie est utilisée par certains robots (...) pour estimer (et non déterminer) leur position par rapport à une localisation de départ.

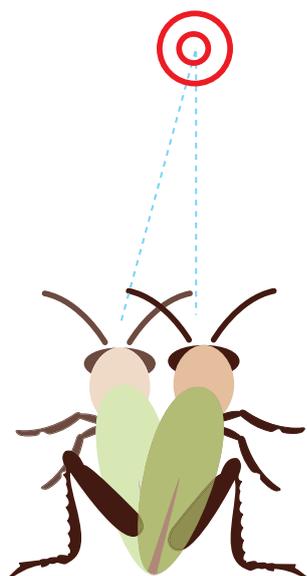


mécanisme encore qui leur permet d'éviter les obstacles ou de négocier leur vol dans des passages étroits [12]. Leurs yeux composés les aident dans cette tâche : l'image défilant d'une ommatidie à l'autre, la vision de son mouvement leur est parfaitement perceptible et mesurable. Ces yeux sont particulièrement imposants chez les insectes dont le vol est le mode usuel de déplacement : bel exemple d'adaptation aux spécificités de leur déplacement !

Revenons à notre tunnel de vol; il permet une infinité de variations, et toutes vont nous en apprendre sur les facultés utilisées par l'abeille à l'aller et au retour de la ruche.

En utilisant des dessins de différentes couleurs, on peut montrer que le flux optique est mesuré dans la longueur d'onde de la couleur verte; l'abeille voit donc en couleurs, mais ne mesure son vol que sur base du défilement d'objets émettant ou reflétant dans le vert - logique : n'est-ce pas avec des végétaux verts, les plantes à fleurs, qu'elle vit en parfaite symbiose ?

Ce n'est pas tout. Le tunnel peut être disposé verticalement, obligeant les abeilles à faire une partie du vol de bas en haut. Il peut être disposé horizontalement, à angle droit par rapport à la ligne de vol ruche-entrée du tunnel. Il apparaît ainsi que les abeilles enregistrent toute la distance parcourue, aussi bien à l'horizontale qu'à la verticale, au contraire de la fourmi du désert qui, elle, n'enregistre la distance que dans le plan horizontal. C'est indispensable pour l'abeille, qui butine dans les trois dimensions contrairement à la fourmi



Srinivasan et al. [12]

qui est rivée au sol [7]. La danse en huit, en fournissant à la fois une mesure de la longueur de vol et la direction de celui-ci, permet à la danseuse de guider les recrutes dans cette troisième dimension : si la source de nourriture se trouve au sommet d'un rocher, l'abeille recrutée vient buter sur le rocher avant d'avoir accompli toute la longueur de vol qui lui a été transmise par la recruteuse lors de la danse; elle sait alors qu'il lui faut poursuivre le vol et adopte la seule solution qui s'offre à elle, voler à la verticale jusqu'au sommet du rocher. Et elle y trouve la source !

Autre variante expérimentale, le tunnel peut être doté de parois différentes, l'une garnie d'un dessin provoquant un flux optique important dans un des yeux, l'autre munie de bandes axiales, ce qui limite au maximum le flux optique reçu par l'autre œil. On voit ainsi que les abeilles sont capables d'enregistrer le flux optique d'un seul œil, puis de retrouver l'endroit exact du nourrisseur alors que, les parois du tunnel ayant été inversées, le flux est perçu par l'autre œil lors du vol suivant [10].

Enfin, des tests ont été menés, au cours desquels les abeilles sont amenées à faire un vol différent à l'aller et au retour; par exemple, elles sont amenées à voler dans un tunnel « menteur » à l'aller, puis à quitter le tunnel par un chasse-abeilles avant d'effectuer le retour. Il apparaît de cette expérience, et d'autres encore [10], que c'est au cours de son vol « aller » (ruche-nourriture) que l'abeille enregistre directions et distances; il n'en va pas de même au retour, nous le verrons dans un prochain article.

Voici déjà notre abeille munie de deux outils : une « boussole » solaire qui lui permet de connaître exactement la direction à vol d'oiseau et un « odomètre », fonctionnant dans la longueur d'onde du vert, qui lui permet d'évaluer les distances parcourues en se fondant sur le flux optique créé par le paysage qu'elle survole.

Mais ce n'est pas tout : lorsqu'on voyage en se fiant à la seule direction, la moindre erreur angulaire peut s'avérer catastrophique lorsqu'il faut parcourir de longues distances. L'abeille doit donc disposer d'un mécanisme de « rattrapage ». C'est ici qu'intervient la carte... Mais ceci est une autre histoire que nous vous invitons à découvrir dans le prochain numéro.

Mots clés : biologie

Résumé : la navigation de l'abeille a fait l'objet de nombreuses recherches qui éclairent la manière dont elle se repère dans l'espace. Cet article porte sur la manière dont les distances et directions de vol sont perçues et traduites par la danse

Sources

[1] von Frisch K, *La vie des abeilles (Aus dem Leben der Bienen)*, traduction française, Albin Michel, édition 1969

[2] Tautz J, 2009 : *L'étonnante abeille*, De Boeck éd.

Articles

[3] Dyer FC 1996 : *Spatial Memory and navigation by honeybees on the scale of the foraging range*, *The Journal of Experimental Biology* 199, 147-154

[4] De Marco R and Menzel R, 2005 : *Encoding spatial information in the waggle dance*, *The Journal of Experimental Biology* 208, 3885-3894

[5] Menzel R et al, 2005 : *Honey bees navigate according to a map-like spatial memory*, *PNAS ed.* 102, 3040-3045

[6] Chittka L and Tautz J, 2003 : *The spectral input to honeybee visual odometry*, *The Journal of Experimental Biology* 206, 2393-2397

[7] Dacke M and Srinivasan MV, 2007 : *Honeybee navigation : distance estimation in the third dimension*, *The Journal of Experimental Biology* 210, 845-853

[8] Srinivasan MV, Zhang S, Altwein M and Tautz J, 2000 : *Honeybee Navigation : Nature and Calibration of the « Odometer »*, *Science* 287, 850-853

[9] Srinivasan MV, Zhang SW and Bidwell NJ, 1997 : *Visually Mediated Odometry In Honeybees*, *The Journal of Experimental Biology* 200, 2513-2522

[10] Srinivasan MV, Zhang SW and Lehrer M, 1998 : *Honeybee navigation : odometry with monocular input*, *Animal Behaviour* 56, 1245-1259

[11] Tautz J et al., 2004 : *Honeybee Odometry : Performance in Varying Natural Terrain*, *PLoS Biology* 2, issue 7, 0915-0923

[12] Srinivasan MV, Poteser M and Kral K, 1999 : *Motion detection in insect orientation and navigation*, *Vision Research* 39, 2749-2766