

La carte et la boussole⁽²⁾

Janine KIEVITS

En ces temps de récoltes, combien d'abeilles sont emportées prisonnières des hausses, et ne retrouveront la liberté que par le chasse-abeilles de la miellerie ? Transportées dans l'obscurité, les voici relâchées en un lieu auquel elles ne s'attendent pas, à bonne distance de leur ruche.

Que vont-elles devenir ?

Elles vont rentrer à la ruche, pardi ! - sauf si le trajet est vraiment long, c'est-à-dire plus de 3 km. Car l'abeille, quand il s'agit de s'orienter, est vraiment capable de performances fabuleuses. Nous avons déjà vu¹ qu'elle est dotée d'une boussole et d'un compteur kilométrique, l'odomètre, remarquablement efficaces. Ces outils ne suffisent toutefois pas à notre abeille surgissant de la miellerie : il faut qu'elle puisse se repérer dans le paysage.

C'est ici qu'intervient la carte...



Photo : Pierre Gailly

Nous l'avons vu, l'abeille tire sa boussole du rayonnement solaire : c'est la lumière polarisée émise par le ciel bleu qui lui sert de repère directionnel. Ce mécanisme fonctionne essentiellement par temps clair : le rayonnement le mieux polarisé est l'ultraviolet, celui-là même qui nous offre bronzage et coups de soleil lorsque le temps est beau et l'air limpide [1]. Or, le soleil ne brille pas toujours ! Par temps couvert, l'abeille doit donc se repérer par un autre moyen. Mieux, il lui faut utiliser les indications qu'elle a recueillies « à la boussole » les jours précédents pour retrouver son chemin sans plus avoir l'usage de celle-ci puisque le repère essentiel - le rayonnement polarisé - lui fait désormais défaut.

L'abeille a donc besoin d'une représentation mentale de son environnement, qui lui permette de relier les repères visuels des paysages qu'elle est amenée à parcourir aux directions de la course du soleil aux différentes heures. Dispose-t-elle d'une telle carte mentale ? La question a fait l'objet de bien des controverses que de récentes recherches ont contribué à éclaircir.

La première d'entre elles nous renvoie à nos avettes transportées avec la hausse : comment se comportent-elles, une fois remises en liberté dans un endroit distant de celui où elles ont été capturées ? Dans une première série d'expérimentations [3], des abeilles sont amenées à circuler entre leur ruche et un nourrisseur. Elles sont munies d'un radar harmonique qui permet de retracer sur carte leur itinéraire de vol. Le paysage, monotone a priori, est garni de repères par les chercheurs eux-mêmes, qui y ont placé des tonnelles de jardin de différentes couleurs, bien visibles des insectes en vol. Des abeilles sont capturées au nourrisseur puis relâchées ailleurs dans le paysage; d'autres, des recrutes qui partaient butiner, sont capturées à la sortie de la ruche et également relâchées à bonne distance. Ces abeilles ont eu l'occasion de faire des vols d'orientation : elles ont donc pu repérer préalablement les lieux. Que constate-t-on au vu des tracés de vol reconstitués grâce au radar ?

Relâchées en un lieu auquel elles ne s'attendent pas, les abeilles ont tendance à prendre d'emblée la direction vers laquelle elles étaient en partance : les recrutes s'envolent rapidement en suivant la direc-

tion « ruche vers nourrisseur » qu'elles ont apprise par les danseuses, tandis que celles capturées au nourrisseur repartent en suivant le vecteur inverse - celui qui relie le nourrisseur à la ruche. Mais après 100 ou 200 mètres de vol, nos amies s'aperçoivent qu'elles ne sont pas du tout là où elles pensaient être ! Elles entament alors une série de vols courbes, en fait des vols de repérage qu'elles effectuent au ralenti, puis s'envolent tout droit vers la ruche. La direction issue de la boussole n'est donc pas appliquée de façon mécanique : elle est combinée avec l'observation des lieux, que l'abeille effectue constamment et par laquelle elle corrige au besoin sa direction de vol.

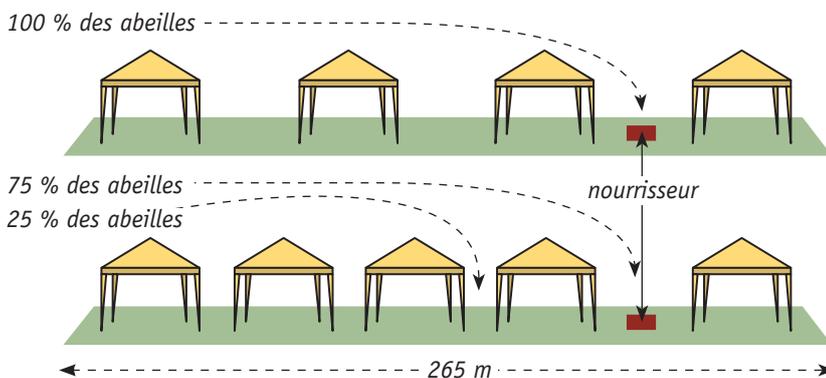
Mais surtout, cette expérience montre que l'abeille enregistre bien le rapport entre repères paysagers et direction dans le paysage : une fois située sa propre position par rapport aux éléments visuels qu'elle a enregistrés lors de ses vols d'orientation, elle retrouve sans problème la direction de sa ruche. Enfin, les manipulations réalisées montrent que l'abeille peut reconnaître un

1. La carte et la boussole (1), Abeilles & Cie n° 135, p. 11-14



même repère visuel sous différents angles, condition d'une représentation spatiale suffisante pour que l'abeille s'oriente à partir de points non connus d'avance [3].

Détail amusant, les abeilles sont capables, jusqu'à un certain point, de compter les éléments visuels qu'elles utilisent pour s'orienter. Une expérience [4] a été réalisée en habituant les abeilles à fréquenter un nourrisseur dans un paysage quasi vide, marqué seulement par quatre tonnelles jaunes. Le nourrisseur est placé entre la troisième et la quatrième tonnelle à partir de la ruche, soit à 265 mètres de celle-ci. La disposition des tonnelles est ensuite modifiée : la distance qui les sépare est réduite et une cinquième tonnelle est ajoutée. Le nourrisseur, qui est toujours à 265 mètres de la ruche, se trouve cette fois entre la quatrième et la cinquième tonnelle. Et que constate-t-on ? Si les trois-quarts des abeilles atterrissent bien à 265 mètres de la ruche, 25 % d'entre elles se posent après la troisième tonnelle... Ces dernières se sont fiées non à la distance, mais au nombre de tonnelles pour situer le nourrisseur. Plus on augmente le nombre de tonnelles, plus le nombre d'abeilles qui ne se fient plus seulement à la distance pour atterrir mais font un compromis entre celle-ci et le nombre de tonnelles s'accroît.



Cette expérience montre deux choses. La première est que les abeilles s'orientent suivant différents critères (distances, repères visuels) et que le critère retenu dépend de l'individu, tout comme chez nous les humains - qui ne connaît ces échanges entre personnes qui cherchent leur route : « Ce doit être par là, tu vois le clocher de l'église ? » « Non je t'assure, on n'a pas encore fait les 2 km indiqués sur la carte... ». Deuxièmement et surtout, il apparaît que les abeilles ont une représentation mentale du nombre d'obstacles qu'elles franchissent en vol.

Sauraient-elles donc compter ? Les auteurs parlent plutôt de « protocoptage » car le comptage proprement dit suppose l'abstraction. Celle-ci n'est pas démontrée dans le cadre de notre expérience. N'empêche : les abeilles apprécient bel et bien le nombre d'objets marquants survolés et se servent de cette connaissance pour situer dans l'espace leurs sources de nourriture. Mieux, les repères visuels les aident à corriger au besoin le calcul des longueurs et directions de vol acquis par la « boussole solaire » et par l'odomètre : lorsqu'au cours d'un long vol elles sont amenées à franchir un repère visuel important, elles recalent leur position en fonction de ce repère, empêchant ainsi l'addition d'erreurs dans l'estimation des longueurs et directions de leurs segments de vol successifs. Sur de longues distances en effet, une telle accumulation d'erreurs pourrait les amener hors de portée visuelle de leur cible [5].

Voilà donc quelques éléments de base pour l'établissement d'une « carte mentale » utilisable par l'abeille. Mais jusqu'où est-elle capable de s'en servir ? Peut-elle par exemple, à partir de trajectoires connues, faire un raccourci, utilisant ainsi un chemin qu'elle n'a jamais parcouru ? Nouvelle série d'expériences [5]. Des abeilles sont entraînées à fréquenter deux nourrisseurs différents, l'un le matin et

seurs retrouvent sans problème le chemin de la ruche, les autres partent dans la dernière direction qu'elles avaient en mémoire (comme si elles repartaient du nourrisseur vers la ruche). La même expérience faite avec des abeilles qui sortent de la ruche pour aller au nourrisseur ne donne pas les mêmes résultats : non seulement elles ne trouvent pas de raccourci pour aller au nourrisseur mais elles errent même avant de revenir à la ruche. En conclusion, les abeilles sont capables de faire un raccourci à condition que celui-ci se situe entre des routes connues, et uniquement lors du vol de retour à la ruche : elles ne font jamais un tel raccourci pour aller au nourrisseur, même lorsqu'elles étaient en partance vers celui-ci [6].

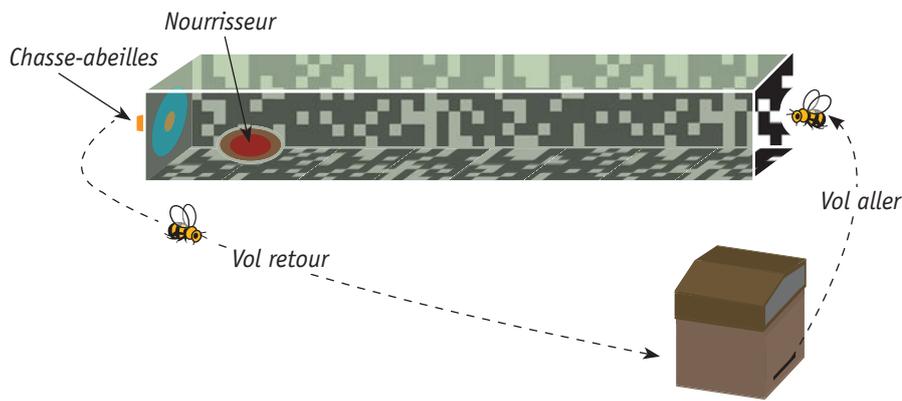
En d'autres termes, l'abeille ne se situe pas de la même façon dans l'espace selon qu'elle va de la ruche à la nourriture ou l'inverse; et la localisation de la ruche est bien plus forte dans son esprit que celle d'un nourrisseur, même si elle en a parfaitement mémorisé le chemin. D'autres expériences confortent ce constat : des abeilles en partance vers un nourrisseur, capturées puis relâchées entre celui-ci et la ruche, volent vers le nourrisseur si elles voient des repères qu'elles connaissent parce qu'ils appartiennent à leurs itinéraires habituels, mais volent vers la ruche dans les autres cas, c'est-à-dire en dernier ressort [7].

Tout se passe donc chez l'abeille comme si la localisation de sa ruche était implantée à un niveau de mémoire plus profond que la localisation des sources de nourriture.

Cette dissymétrie est encore plus évidente lorsqu'on considère les outils d'orientation que l'abeille met en œuvre à l'aller (trajet ruche-nourriture) et au retour (trajet nourriture-ruche) : l'expérience montre que ces outils sont différents. Revenons à notre tunnel « menteur » dont les parois décorées envoient à l'abeille un flux optique démesurément grand, la trompant ainsi sur la distance de vol qu'elle parcourt². Dans toute la gamme d'expérimentations réalisées avec ce type d'appareillage, l'une des plus instructives est celle qui utilise un tunnel muni à son extrémité d'une sortie de type chasse-abeilles [8]. Ceci oblige l'abeille à rentrer à la ruche par l'extérieur, empruntant donc un chemin qui lui

2. Voir l'article précédent, cf. note 1

3. En moyenne, 6 m parcourus dans le tunnel garni du graphisme de Julesz sont perçus par l'abeille comme 186 m de vol normal à l'air libre



apparaît très différent de celui qu'elle a parcouru à l'aller dans le tunnel, d'autant plus différent qu'elle surestime très largement la distance qu'elle a parcourue dans le tunnel³. En outre, le tunnel est cette fois orienté à 90° par rapport au vol que fait l'abeille entre la ruche et l'entrée, par exemple vers la gauche. A l'aller, l'abeille est trompée par le tunnel, comme on l'a vu, et surestime largement la distance qu'elle y a parcourue : elle se croit donc bien plus à gauche, par rapport à l'axe tunnel-ruche, qu'elle ne l'est en réalité ! Au bout du tunnel, elle sort par le chasse-abeilles. Comme elle a repéré préalablement les lieux - ces expériences sont faites avec des abeilles qui ont pu faire leurs vols d'orientation - elle se retrouve à un endroit inattendu ; il y a conflit entre ce que lui disent sa boussole et son « odomètre » d'une part et sa carte mentale d'autre part. Que va nous « dire » par sa danse l'abeille ainsi manipulée ? Pour ce qui est de la longueur de vol, l'abeille indique bien toute la distance perçue à l'aller (c'est-à-dire la somme [distance ruche-tunnel] + [distance artificiellement élevée perçue dans le tunnel]); la computation des distances se fait donc bien exclusivement lors du vol aller. Il semblerait donc logique que le calcul par l'abeille de la direction ruche-nourrisseur soit faussé en proportion, cette direction étant fournie par intégration des distances et directions des différents segments de vol. Or, la direction indiquée par les danseuses ne diverge pas de la direction réelle autant qu'on pourrait s'y attendre : en fait, les abeilles ont rectifié la direction calculée lors du vol aller sur base des repères visuels qu'elles ont découverts en émergeant du tunnel [8].

Il apparaît donc bien une fois de plus que l'abeille ne se comporte pas de façon mécanique : elle effectue un processus d'intégration, c'est-à-dire qu'elle compare les éléments qu'elle perçoit à ceux qu'elle a en mémoire et en tire des conclusions

quant à la façon la plus opportune de s'orienter. Et les conclusions ne sont pas identiques pour tous les individus : à côté de ceux qui optent majoritairement pour un choix (par exemple : se référer aux repères visuels), d'autres peuvent prendre une décision différente (par exemple : s'orienter en fonction du soleil), alors que toutes se trouvent dans les mêmes conditions et ont fait le même apprentissage. Ce constat avait déjà été fait par K. von Frisch qui avait habitué les abeilles à fréquenter un nourrisseur en longeant vers le sud la lisière d'un bois, puis avait déplacé la ruche le long d'une autre lisière orientée perpendiculairement : une majorité des abeilles numérotées alla chercher le sirop en longeant la lisière du bois, mais il s'en trouva quelques-unes pour filer droit vers le sud. La même expérience refaite à distance de la lisière donna des résultats inverses : la forêt occupant moins d'espace dans leur champ visuel, les abeilles se fièrent davantage à la direction du soleil pour s'orienter [2]. De manière générale d'ailleurs, elles sont plus attentives aux repères s'ils sont marquants ; et leur orientation en vol est moins précise lorsque le paysage est pauvre en repères visuels [6].

Notre petite abeille a donc une solide jugeote ! Et elle est munie d'un système de navigation complexe et performant qui fait appel à de nombreux outils qu'elle complète par apprentissage. Tout d'abord, il lui faut faire, par temps clair, les vols d'orientation qui lui permettront d'intégrer la course du soleil relativement aux repères marquants du paysage qui l'entoure. Elle est alors prête à partir pour ses vols de butinage. Chacun de ceux-ci est une prouesse. Quittant la ruche, elle situe à tout moment son orientation en se fondant sur la direction du soleil perçue grâce à la polarisation des UV solaires ; elle enregistre le flux optique reçu lors du vol dans la longueur d'ondes du vert (tout en voyant en couleurs) et additionne les flux et directions de ses dif-

férents segments de vol afin d'en déduire la direction du vecteur séparant la ruche de la source de nourriture et la longueur totale de l'itinéraire effectivement effectué. Elle recalcule éventuellement son vol au moyen des repères visuels marquants. Au retour, elle corrige d'éventuelles erreurs grâce aux repères paysagers, qui lui permettent aussi d'atterrir avec précision.

Respect, les abeilles ! Nous vous regarderons désormais d'un autre œil lorsque, petites flèches dorées fusant de la ruche dans un rayon de soleil, nous vous verrons partir à la conquête des fleurs en de si longs voyages, sans autres cartes ni boussoles que celles que vous portez en vous...

Sources

- [1] Tautz J., 2009 : *L'étonnante abeille*, De Boeck éd., 278 p.
- [2] von Frisch K, 1969 : *La vie des abeilles* (Aus dem Leben der Bienen), traduction française, Albin Michel, édition 1969

Articles

- [3] Menzel R et alii, 2005 : *Honey bees navigate according to a map-like spatial memory*, PNAS ed. 102, 3040-3045
- [4] Chittka L and Geiger K, 1995 : *Can honey bees count landmarks*, Anim. Behav. 49, 159-164.
- [5] Dacke M and Srinivasan MV, 2007 : *Honeybee navigation : distance estimation in the third dimension*, The Journal of Experimental Biology 210, 845-853.
- [6] Menzel R, Geiger K, Joerges J, Müller U and Chittka L, 1998 : *Bees travel novel homeward routes by integrating separately acquired vector memories*, Anim. Behav. 55, 139-152.
- [7] Dyer FC 1996 : *Spatial Memory and navigation by honeybees on the scale of the foraging range*, The Journal of Experimental Biology 199, 147-154
- [8] De Marco R and Menzel R, 2005 : *Encoding spatial information in the waggle dance*, The Journal of Experimental Biology 208, 3885-3894

Mots clés : **biologie, butinage**

Résumé : la navigation de l'abeille a fait l'objet de nombreuses recherches qui éclairent la manière dont elle s'oriente dans l'espace. Cet article porte sur la manière dont l'abeille se situe par rapport aux repères paysagers.