

116 : La géographie et les abeilles

18 avril 2010

Une jeune physiologiste allemande, née le 9 mars 1973, rappelle à la communauté scientifique, avec la naïveté des chercheurs qui n'ont pas encore perdu leurs illusions à force de se frotter à la rugosité des ambitieux de leur discipline, que les animaux perçoivent le monde en fonction des appareils de détection dont ils disposent. Sage confirmation d'une découverte assez antique et parfois oubliée qui lie la capacité aux moyens. Elle concerne aussi les humains, mais ils sont ainsi faits que, étant insensibles à l'ultraviolet et à l'infra-rouge, aux ultrasons et à beaucoup d'autres moyens dont disposent les animaux, même les plus simples, ils refusent de considérer qu'ils sont limités par leurs appareillages naturels. Et ces infirmes sensoriels de croire qu'ils perçoivent, des paysages dans lesquels ils vivent, une vue « objective » !

Chacun sait que la nuit d'un chat n'a rien à « voir » avec la nôtre. Il en est de même pour le jour d'une abeille. Comment, dans un vent fripon du nord ou de l'ouest de force 4, qui défait sans pitié la choucroute d'une dame imprudente juste sortie de chez son coiffeur, comment l'abeille fait-elle donc pour continuer à butiner des fleurs de pissenlits agitées dans tous les sens ? La jeune physiologiste allemande s'est demandé quels phénomènes de détection des stimuli et quels traitements nerveux permettent à l'abeille d'élaborer une représentation mentale, une vision du monde, avec ses règles, ses similitudes, ses contrastes, qui l'autorisent à reproduire les mêmes itinéraires vers les mêmes sources de pollen alors que le vent est tombé et qu'elle navigue d'une tige érigée à l'autre, pendant un tendre après-midi de chaleur langoureuse dans l'immobilité du soleil. Elle a donc décidé d'étudier la perception des odeurs chez *apis mellifera*, l'abeille domestique, en se basant sur des techniques d'imagerie du cerveau, étudié *in vivo* et en plus soumis à des expériences de conditionnement appétitif. Vive le laboratoire et la finesse d'analyse des instruments que chimistes, physiciens et biologistes ont su créer pour suppléer leurs sens défaillants.

Manifeste pour la pratique géographique d'une analyse olfactive multivariée des paysages et l'établissement d'atlas olfactifs discriminants : pour une précision nouvelle apportée aux travaux dits « de terrain » en géographie urbaine comme en géographie rurale et ceci dans les trois dimensions.

Comment croire cette analyse possible, se dira le géographe rationaliste ? Si le sens olfactif joue chez l'abeille un rôle aussi primordial, comment peut-il exister une centrale des odeurs dans une aussi petite chose, dans un cerveau si minuscule ? Et comment peut-on parvenir à l'identifier ? Serait-ce que les choses sérieuses de la vie ne se passent pas au niveau de la peinture des chaussures du basketteur, mais dans ce que l'on appelait jadis l'infiniment petit ? Que d'étonnements lorsque l'on frotte son nez contre un microscope à balayage, qui grossit 200 000 fois le pollen invisible au microscope ordinaire, ou le grain de lœss ? Quel kaléidoscope de couleurs jaillit de part et d'autre d'un nez planté entre les œillets d'un microscope polarisant ordinaire, qui rend rutilants les moindres minéraux rares, fait scintiller des fragments de cailloux et éteint complètement les autres suivant l'angle auquel on présente la plaque mince au faisceau lumineux ! On sait depuis 1987 que les phéromones émises par la reine au sein de la ruche inhibent le développement ovarien des ouvrières, tant les abeilles sont semblables aux femmes côté ovaires, induisent un comportement de « courtisan » parmi elles, tant les abeilles ressemblent aux hommes côté cour, et en plus assurent la cohésion de la colonie, tant les abeilles ont leur côté mouton de Panurge.

Et pourtant le cerveau de l'abeille, si simple (10 puissance - 3 pour le volume et 10 puissance 6 pour les neurones) par rapport à celui d'un humain de qualité moyenne (1 400 centimètres cubes et 10 puissance 11 neurones) est capable de construire une « représentation olfactive » de la réalité, c'est-à-dire de l'espace dans laquelle vit la bête. Ce cerveau minuscule est capable d'inscrire en mémoire une carte piquetée d'odeurs localisées en trois dimensions ! 60 000 neurones olfactifs sensoriels sont portés par les antennes. Chacun d'eux porte un seul type de récepteur constitué d'une protéine à sept domaines transmembranaires. Il y en aurait 160 chez l'abeille, uniquement dédiés aux odeurs et chacun d'eux est capable de différencier dans chaque molécule d'odeur le nombre d'atomes de carbone et les groupes chimiques qu'elle comporte. On n'entrera pas dans le détail de la physiologie de l'espèce, les rapports entre les 160 glomérules et les synapses, la constitution de 800 neurones de projection transmetteurs de l'information olfactive vers les centres nerveux supérieurs comme les corps pédonculés et le lobe protocérébral latéral, non plus que dans la constitution de 4 000 inhibiteurs locaux dans les réseaux desquels s'élabore la représentation nerveuse des odeurs dans le cerveau de l'abeille. On retiendra seulement ici le fait que la jeune physiologiste allemande s'est demandé comment, dans ce cerveau, était codée l'information olfactive.

C'est par les techniques d'imagerie optique qu'a été mesurée en 1997 en simultanément le fonctionnement de grandes populations de neurones, en enregistrant dans ceux du lobe antennaire les variations de calcium, procédure devenue aujourd'hui routinière. La manipulation est intéressante : l'abeille est placée dans une chambre d'enregistrement, la tête solidement maintenue par de la cire (d'abeille !). La capsule céphalique est ouverte avec les instruments idoines, les enveloppes-membranes du cerveau délicatement enlevées ainsi que quelques glandes gênant l'observation. Une sonde calcique lipophile est alors déposée directement sur le cerveau à vif, on laisse mariner une heure le temps que la sonde ait pu pénétrer dans les cellules, puis l'abeille est placée sous le microscope. On excite alors le cerveau par une lumière à la longueur d'onde bien définie, dans le bleu. La sonde calcique renvoie dans le vert des intensités variables aussitôt mesurées, fournissant une image de la concentration en calcium des neurones. Une caméra CDD refroidie enregistre cette lumière (une centaine d'images toutes les 200 microsecondes). Au bout de trois secondes, une odeur précise est présentée à l'antenne de l'abeille (toujours vivante évidemment) et l'enregistrement des variations est fait au niveau des glomérules dont la taille oscille entre 30 et 50 microns (depuis mai 1968, le micron s'appelle micromètre mais mesure toujours un millième de millimètre).

Quelques idées transférables sur le terrain des géographes voulant faire de la science et non du discours sur des faits imprécis.

Au cours d'études précédentes, il a été observé que, chez de nombreuses abeilles différentes, l'activité nerveuse induite chez chacune d'elles par les odeurs produisait un arrangement très semblable des glomérules actifs. Il a donc paru légitime de présenter aux abeilles ainsi appareillées un grand nombre d'odeurs différentes, et de cartographier les réponses. Dès 1999 a été établi un *Atlas des réponses calciques*.

L'analyse des cartes obtenues révèle que, pour seize odeurs appartenant à quatre groupes fonctionnels différents (cétones, aldéhydes, alcools primaires, alcools secondaires) et portant des chaînes carbonées de quatre longueurs différentes, il ne semblait pas y avoir de glomérules spécifiques des cétones et des aldéhydes alors que, pour une longueur de chaîne carbonée donnée, les cartes d'activité des alcools primaires et secondaires montraient une grande similarité.

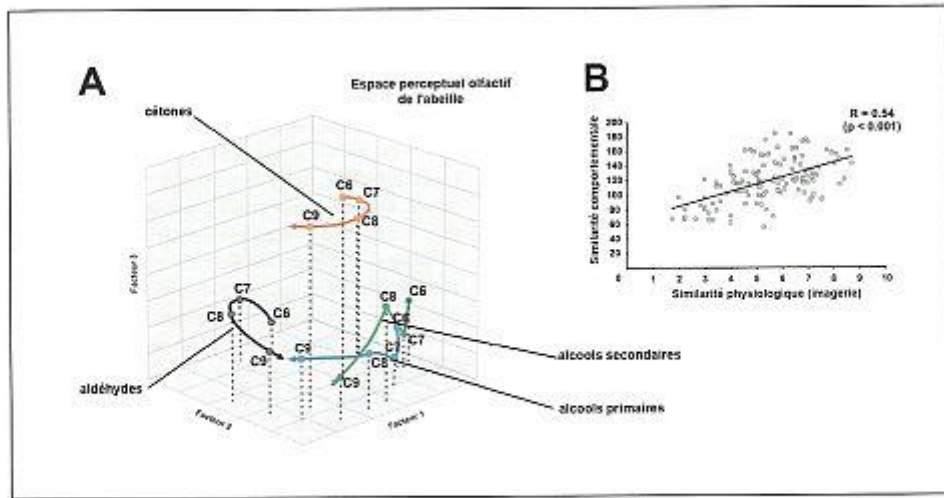


Fig. 4 : Reconstruction d'un espace perceptuel olfactif de l'abeille. A) Représentation des odeurs selon les trois dimensions principales extraites des données comportementales grâce à des méthodes d'analyse multidimensionnelles (ACP, 76 % de variance expliquée). La première dimension (facteur 1) représente principalement la longueur de chaîne carbonée (de C6 à C9 en allant de droite à gauche). Les deuxième et troisième dimensions séparent les groupes fonctionnels. Les alcools primaires et secondaires occupent la même région de cet espace. B) Comparaison des relations de similarité entre odeurs mesurées (i) dans les expériences comportementales (ordonnées) et (ii) dans les expériences d'imagerie cérébrale. On montre une corrélation significative entre les deux jeux de données (Guerrieri *et al.*, 2005).

Carte olfactive de l'abeille

Source : Nina Deisig

Jusqu'à ce point, l'enquête dont il est rendu compte plus haut peut paraître éloignée des procédures habituelles d'un géographe en campagne, d'un promeneur solitaire, voire d'un randonneur acharné. Mais voilà qui pourra les intéresser un peu plus. La jeune physiologiste allemande, après avoir établi que « l'imagerie calcique ouvre une nouvelle fenêtre dans la représentation nerveuse des odeurs à l'intérieur du cerveau d'une abeille », s'est évidemment souciée de savoir si les règles qu'elle énonçait correspondaient vraiment à la façon dont les abeilles perçoivent le monde des odeurs. Le plus simple lui a paru d'aller le leur demander.

Elle est donc passée à l'enquête directe par observation des stimuli, comme peut le faire un géographe ou un sociologue observant les réponses d'une population donnée à des événements. Sans même avoir eu besoin de retenir la calotte crânienne des abeilles maintenues en contention dans leur cire, elle s'est livrée à une étude comportementale concernant les relations de similarité entre les odeurs. Elle savait que l'extension de la trompe est un réflexe déclenché chez l'animal par une stimulation sucrée des récepteurs. Cette stimulation sucrée couplée une première fois avec l'odeur déclencha l'extension de la trompe. De manière remarquable, dès la fois suivante où l'odeur fut présentée seule, cela suffit à déclencher le réflexe conditionné ! Elle découvrit même que l'association récompense-sucrée/odeur enregistrée dès la première fois se révéla capable de durer toute la vie du diptère (on pense là au chien d'un certain Pavlov ou à la présentation d'un sein dévoilé à un mâle ordinaire chez les tartufes).

L'abeille, instruite une fois, se trouvait donc capable d'une « généralisation = processus de déclenchement d'une réaction systématique à une stimulation donnée ». 2 000 abeilles et seize odeurs ont suffi aux expérimentateurs humains pour obtenir les dimensions internes de l'espace perceptuel des abeilles à partir de leur comportement. Le reste était jeu d'enfant dans l'analyse des données : il suffit d'une ACP banale (analyse multidimensionnelle à trois facteurs principaux) pour déterminer ces espaces. La comparaison des deux méthodes, la comportementale et l'imagerie cérébrale fonctionnelle, s'imposait. Une corrélation positive

apparu entre les deux séries de données (voir la carte jointe de l'espace perceptuel olfactif de l'abeille). Dès lors on pouvait tenir pour démontrée la proposition que « les signaux combinatoires enregistrés dans les glomérules du lobe antennaire correspondent véritablement à une représentation nerveuse des odeurs ». Bravo !

Cerise sur le gâteau, recherche oblige, les corrélations n'étant pas parfaites, des odeurs importantes n'ayant pas été traitées, les instruments de mesure se perfectionnant et les procédures s'automatisant, qui facilitent la répétitivité et apportent une plus grande sûreté aux résultats, de nouvelles enquêtes sont déjà en cours. En effet, une fois le résultat acquis, deux voies doivent s'ouvrir. L'une concerne l'application à d'autres secteurs, en R&D, recherche et développement. L'autre est la poursuite de la recherche fondamentale au-delà du point acquis, vers de nouvelles élucidations. En particulier, la compréhension des mécanismes par lesquels les abeilles, animaux plastiques, sont capables d'apprentissage. Il paraît que pas un être vivant n'est assez borné pour en être incapable (...quoique...ndlr). Restera encore à comprendre le fonctionnement de la mémoire olfactive, en particulier les processus par lesquels des événements olfactifs uniques s'impriment pour toute une vie dans un ensemble de cellules. Il faudra sans doute aussi vérifier à quelles conditions ce savoir nouveau pourrait se révéler transmissible. Et ainsi de suite...

On peut penser qu'il est inutile d'indiquer à chacun la manière dont il peut utiliser à son profit l'agrément procuré par cette belle histoire.

Cassandre

Le récit très sérieux de cette expérience est publié dans les *Annales de la fondation Fyssen*, 2009, tome 24, p. 87-100. L'auteure est Nina Deisig, INRA Versailles, UMR 1272.