

La colonie d'Abeille: un super-organisme

Gérard ARNOLD
CNRS

Laboratoire Evolution, Génomes, Spéciation (LEGS)
Gif-sur-Yvette
(Responsable de l'équipe EVOLBEE)

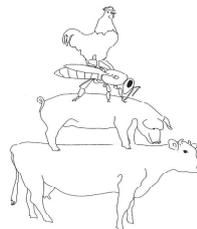
Institut des Sciences de la Communication du CNRS (ISCC)
Paris
(Directeur adjoint scientifique)

(arnold@legs.cnrs-gif.fr)

Académie vétérinaire de France, 1^{er} mars 2012

Abeille, abeilles

- Abeille: l'abeille domestique *Apis mellifera* (colonies sauvages et colonies élevées par les apiculteurs).
- abeilles: des centaines d'espèces sauvages, généralement solitaires



En raison de son activité pollinisatrice, l'abeille est au 3^{ème} rang des animaux domestiques (in Tautz, 2009, *Phänomen Honigbiene*)

Generalités (1)

L'abeille n'est pas un animal comme les autres en raison de son organisation sociale hautement développée.

Les ouvrières sont capables de réaliser des comportements très complexes.

La structure et le fonctionnement de leur petit cerveau sont à la base de grandes capacités cognitives.

Généralité (2)

La colonie d'abeille doit être considérée comme un individu (un super-organisme), où:

- les abeilles individuelles en sont les éléments de base, comme les cellules dans un organisme,
- les groupes d'abeilles qui réalisent la même activité constituent des systèmes fonctionnels : nutrition, respiration, circulation, excrétion,.... La reine et les mâles exerçant la fonction de reproduction.

En conséquence, la colonie doit toujours être analysée à deux niveaux:

- les insectes individuels (ouvrière, reine, mâle)
- la colonie comme un tout.

Analogies avec les mammifères

Il est possible de comparer la colonie à un vertébré, et en particulier à un mammifère, avec lesquels elle présente de nombreuses analogies ou « convergences évolutives ».

Par exemple (parmi d'autres):

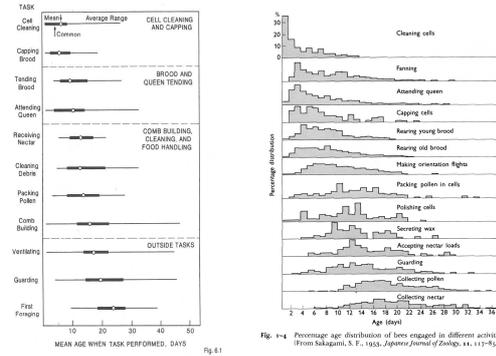
- Homéothermie: mammifère (37°C); colonie (34°C, pour le couvain), mais chaque abeille individuelle est un poïkilotherme.
- Grandes capacités cognitive et d'apprentissage.

Les critères utilisés par les apiculteurs pour définir leurs colonies sont les mêmes que ceux utilisés par les éleveurs de bétail:

- la force,
- le caractère (douce, agressive),
- la capacité de production,
- la résistance (aux pathogènes, aux prédateurs,...).

La division temporelle du travail

La division du travail dans la colonie est, globalement, fonction de l'âge des ouvrières, mais il existe une variabilité considérable.



Exemples de comportements complexes

Parmi d'autres, ces comportements sont cruciaux pour le développement et la survie des colonies.

Nutrition des larves

Les nourrices sont capables de reconnaître le sexe et l'âge des larves (ouvrière, reine, mâle) afin d'adapter le type et la quantité de nourriture qu'elles leur fournissent.



Thermorégulation

Production du chaleur: (activité musculaire)

- couvain: La température du couvain doit être maintenue à 34°C.
- colonie en hiver: La température du nid doit être maintenue à 15-20°C au centre et à 5-8°C à la périphérie.

Réfrigération: (récolte d'eau, évaporation et ventilation)

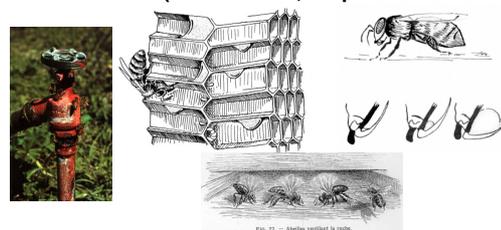
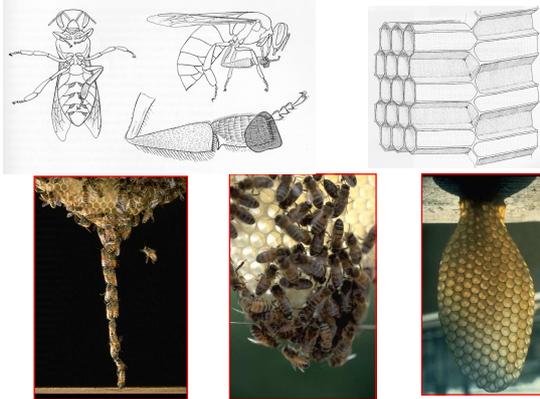


FIG. 27 — Abeilles ventilant la ruche.

Construction des rayons: comportements



Construction des rayons: bases neurosensorielles

- Les récepteurs à la gravité permettent à l'ouvrière de déterminer la ligne de gravité afin de construire des rayons verticaux et parallèles.
- Les récepteurs sensoriels de l'extrémité de l'antenne permettent à l'abeille de contrôler l'épaisseur et la régularité des parois des cellules des rayons.
- Les pattes antérieures sont utilisées pour évaluer la largeur des cellules.
- Le champ magnétique terrestre est utilisé pour l'orientation des rayons dans les nids naturels.

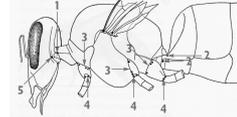
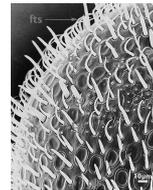


FIG. 4.8 The hair plates (black dots) of the proprioceptive gravity receptor system of the bee include those on the uppermost coxae in the neck region (arrow 1), the petiole plates at the junction of the thorax and abdomen (arrow 2), and the plates at the coxal joints of the legs where they articulate with the thorax (arrow 3). The plates on the trochantal segments of the leg are also shown (arrow 4) although they are not so important as gravity receptors. There is a pair of plates on the back of the head (arrow 5) whose function is not clearly understood. After Huml.



Extrémité de l'antenne

Comportement de défense

- **nombreux stimuli déclencheurs**: vibrations, contacts, CO₂, mouvements, couleurs contrastées, odeurs,...
- **réponses adaptées et progressives**: inspection, posture agressive, sons, morsures, combats, piqure unique, émission de phéromone d'alarme, piqures multiples.

- comportements spécialisés:

Exemple: la réponse de la race d'abeille de Chypre contre le frelon *Vespa orientalis*. Deux stratégies différentes chez les colonies:

- ou toutes les abeilles rentrent dans leur ruche, derrière un « mur » de propolis (a)
- ou de nombreuses abeilles attaquent le frelon et forment une boule autour de lui afin de l'asphyxier (b).



Comportement de butinage (1)

Une partie du succès écologique de l'abeille est due à la capacité de la colonie à recruter un **grand nombre de butineuses** pour exploiter une grande variété de fleurs.

L'efficacité du butinage est basée sur 4 points principaux:

i) La **division du travail** entre:

- les **exploratrices** qui **découvrent** les sources de nourriture (nectar et pollen) ET **communiquent** leurs positions par des **danses**
- à des **butineuses** (recrues) qui suivent leurs indications et apportent le nectar
- à des **receveuses** qui le stockent dans les rayons, ce qui permet aux butineuses de retourner immédiatement en recherche.

Comportement de butinage (2)

ii) Leurs capacités

- **d'apprentissage** : pour associer l'odeur de la fleur à la récompense (concentration du nectar en sucres),
- **de mémorisation**: pour se souvenir de la position des sources de nourriture,
- **d'orientation** : qui leur permet de retourner à leur ruche, quelque part dans une région qui peut atteindre jusqu'à 300 km² (en utilisant la position du soleil, la lumière polarisée, les repères dans le paysage, le champ magnétique)
- **de vol**: pour réaliser des vols (aller et retour) sur une distance pouvant aller jusqu'à 10 km (voire 13).

Comportement de butinage (3)

iii) Leurs nombreuses **capacités de régulation** conduisant à une **optimisation** permanente du butinage:

Les butineuses et les receveuses évaluent en permanence le **rapport coût / bénéfice**, c'est-à-dire les dépenses énergétiques pour le vol / concentration en sucres du nectar ou du miellat.

iv) Leurs capacités de **communication**, en particulier au moyen de plusieurs sortes de danses: frétilantes, en rond, tremblantes, dorso-ventrale,...

Comportement de butinage (4)

L'exploratrice réalise une **danse frétilante** pour communiquer la **position** de la source de nourriture (ou d'eau) aux futures recrues.

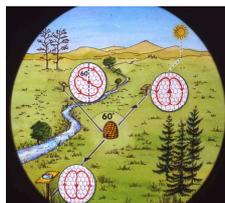


direction de la source : angle

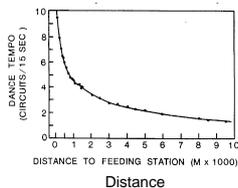
distance de la source : rythme

type de nourriture : odeur, trophallaxie

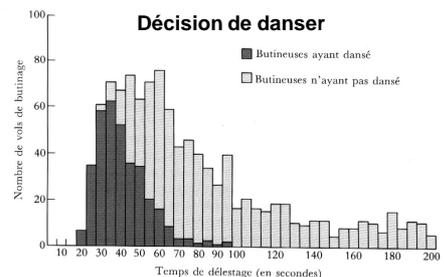
qualité de la nourriture : vivacité et durée des sons



Direction



Recherche de l'efficacité maximum de butinage (1)

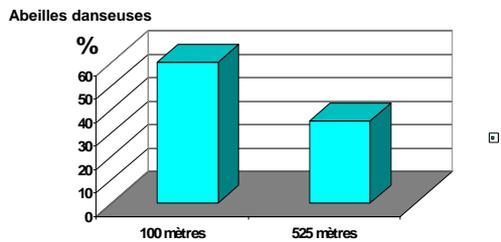


La probabilité pour qu'une butineuse danse est liée au temps pendant lequel elle attend d'être délestée de sa récolte

Un temps de décharge :

- de 60 s stimule la récolte
- supérieur à 60 s freine la récolte
- de 180 s l'arrête.

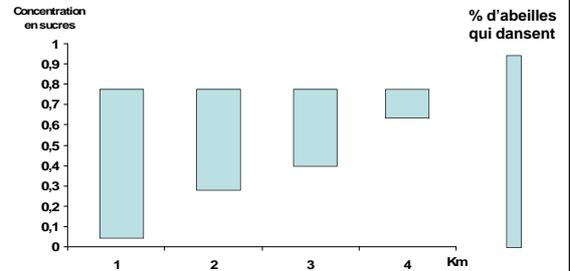
Recherche de l'efficacité maximum de butinage (2)



Pour une même concentration du nectar, les abeilles dansent davantage quand la source est proche

Gould, 1993

Recherche de l'efficacité maximum de butinage (3)



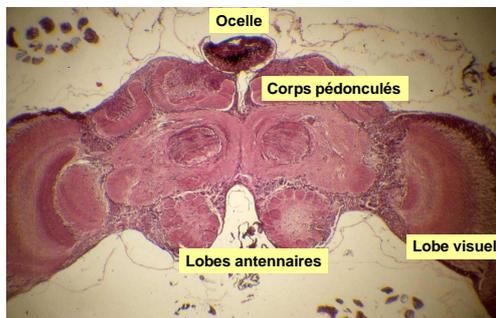
Influence de la distance et de la concentration du nectar sur la décision de danser

Plus la source est éloignée, plus le nectar doit être concentré pour déclencher des danses

Gould, 1993

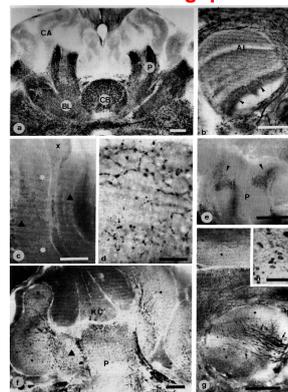
Bases neurobiologiques des comportements complexes (1)

Le cerveau (950 000 neurones) de l'abeille est à la base de ses importantes capacités d'apprentissage, de mémorisation, d'orientation et de communication.



Coupe frontale d'un cerveau d'abeille

Bases neurobiologiques des comportements complexes (2)



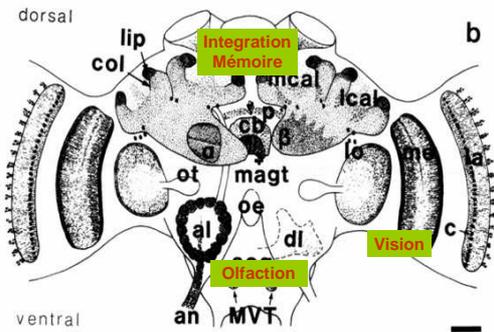
Les neuromédiateurs du cerveau appartiennent aux mêmes familles que ceux des vertébrés. La figure représente les corps pédonculés, siège de l'intégration des messages et de la mémorisation.

a, b : serotonine
c, d, e : dopamine
f, g, h : GABA

(Schürmann et Elekes, 1987)

Bases neurobiologiques des comportements complexes (3)

Le neuromédiateur le plus abondant est l'acétylcholine



Cartographie des récepteurs ACh (en noir)

(Bicker, 1999, *Microscopy Research and Technique*, 45:174-183)

Considérant :

- les comportements très complexes réalisés par les ouvrières d'abeilles,
- les nombreuses régulations qu'elles effectuent pour optimiser l'ensemble de leurs tâches,
- l'organisation fonctionnelle de leur cerveau, et le très grand nombre de synapses, en particulier cholinergiques,
- la très forte toxicité des insecticides neurotoxiques utilisés actuellement, en particulier les néonicotinoïdes agissant sur les récepteurs à l'acétylcholine.

Il en résulte que ces insecticides pourront provoquer des effets sublétaux à basses concentrations.

Les principales conséquences de ces effets sublétaux pourront être:

- de provoquer des perturbations comportementales chez les ouvrières individuelles et au niveau de la colonie, en tant que super-organisme, et ainsi
 - de réduire l'efficacité du butinage, du comportement de défense, etc.
- Tous les comportements pourront être potentiellement affectés