



HAL
open science

Action et perception: effet de l'apprentissage sur le traitement et sur la représentation de l'information sensorielle Comparaison entre un invertébré, l'abeille *Apis mellifera*, et l'homme

Martin Giurfa

► **To cite this version:**

Martin Giurfa. Action et perception: effet de l'apprentissage sur le traitement et sur la représentation de l'information sensorielle Comparaison entre un invertébré, l'abeille *Apis mellifera*, et l'homme. 2005. hal-00003789

HAL Id: hal-00003789

<https://hal.science/hal-00003789>

Preprint submitted on 20 Jan 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Action et perception : effet de l'apprentissage sur le traitement et sur la représentation de l'information sensorielle

Comparaison entre un invertébré, l'abeille *Apis mellifera*, et l'homme

Responsable scientifique : Martin GIURFA

Martin GIURFA

Laboratoire d'Éthologie et Cognition Animale - FRE 2382

UFR « Sciences de la Vie et de la Terre »

Université Paul-Sabatier (Toulouse III)

118, route de Narbonne

31062 Toulouse Cedex 04

Téléphone : 05 61 55 67 33 / Télécopie : 05 61 55 61 54

E-mail : giurfa@cict.fr

Équipes partenaires

- Département de Psychologie, Philipps-Universität Marburg – D-35032 Marburg - République Fédérale d'Allemagne
- Laboratoire de Neurobiologie de l'Insecte - EA 3037, UFR « Sciences de la Vie et de la Terre » – Université Paul-Sabatier (Toulouse III) – 118, route de Narbonne – 31062 Toulouse Cedex 04

Rappel des enjeux et objectifs

Notre projet vise à comprendre l'effet de l'acte d'apprendre sur le traitement et sur la représentation du flux d'informations sensorielles. Le projet présente une thématique innovante qui est celle de *l'analyse comparée de paradigmes de traitement et d'apprentissage de stimuli complexes par les animaux et l'être humain*. Il s'agit de comprendre *comment des organismes différents comme l'abeille et l'homme, possédant tous les deux des capacités d'apprentissage et de mémorisation, traitent et apprennent des informations sensorielles complexes (perception) et comment cette action modifie la représentation de ces informations*.

Le projet présente une thématique innovante, basée sur une coopération interdisciplinaire entre les sciences humaines, représentées par le Prof. Harald Lachnit, du Département de Psychologie de l'Université de Marburg, Allemagne, et les neurosciences cognitives, représentées par mon équipe et l'équipe associée du Prof. Monique Gauthier de l'Université Paul-Sabatier de Toulouse.

Il vise aussi à soutenir une opération scientifique en émergence au sein du laboratoire d'Éthologie et Cognition Animale de l'Université Paul-Sabatier, opération qui résulte de mon arrivée et installation récentes à Toulouse en tant que professeur titulaire. Il constitue donc la base scientifique du travail de recherche d'un jeune chercheur (Giurfa) et d'une jeune équipe du même site (Gauthier).

Rappel du calendrier des travaux

Sept expériences différentes seront menées, comportant quatre expériences sur l'abeille et trois expériences sur l'homme également réparties entre le *conditionnement de la réponse électrodermale* et le *conditionnement palpébral*. Les expériences sur l'homme seront réalisées à Marburg, Allemagne (équipe Lachnit) et les expériences sur les abeilles à Toulouse (équipes Giurfa & Gauthier).

Pendant la *première année* les équipes mettront au point les protocoles comportementaux et se réuniront régulièrement pour coordonner leurs activités de recherche. Le conditionnement olfactif chez l'abeille nécessitera l'installation et la mise au point des dispositifs de conditionnement étant donné que cette recherche correspond à une nouvelle thématique au sein du laboratoire d'Éthologie et Cognition Animale. Parallèlement, le laboratoire de Neurobiologie de l'Insecte mettra au point les enregistrements électrophysiologiques qui permettront d'étudier le codage nerveux de l'information olfactive. À la fin de la première année, six des dix expériences devront être conclues.

Pendant la *deuxième année* les études comportementales chez l'abeille et l'homme seront poursuivies et nous combinerons les approches électrophysiologique et comportement.

Avancement à mi-parcours (septembre 2002)

Expériences sur les abeilles

Quatre expériences étaient prévues sur les abeilles dans le cadre du conditionnement olfactif du réflexe d'extension du proboscis :

1. Une première expérience destinée à déterminer si les abeilles peuvent résoudre des discriminations du type patterning négatif (A +, B +, AB-) et positif (A-, B-, AB +).
2. Une deuxième expérience destinée à déterminer les conditions nécessaires à l'emploi d'une stratégie de traitement non-élémentaire de l'information olfactive. Dans ce but, des abeilles sont conditionnées suivant un schéma de patterning positif et négatif avec deux odeurs élémentaires A et B et un mélange qui varie selon les groupes : AB (ambiguïté maximale), AC (ambiguïté intermédiaire basée sur la présence de A) et CD (aucune ambiguïté). Nous mettons à l'épreuve l'hypothèse qui postule qu'une augmentation de l'ambiguïté dans le problème de discrimination favorise l'adoption de stratégies configurales.
3. Une troisième expérience destinée à déterminer si la solution de problèmes de patterning par les abeilles repose sur un apprentissage de règles transférables à des stimuli nouveaux qui n'auraient pas été employés lors du conditionnement mais qui auraient en commun la distinction « éléments vs. mélange ». Dans ce but, des abeilles sont conditionnées suivant un schéma de patterning positif et négatif avec deux odeurs élémentaires A et B et un mélange AB. Une fois la performance de discrimination établie, les animaux sont confrontés aux stimuli C et D selon le même protocole où C et D représentent de nouvelles odeurs inconnues des abeilles.
4. Une quatrième expérience destinée à déterminer si les abeilles peuvent résoudre des discriminations du type feature neutral (AC +, B +, AB-, C-).

De ces 4 expériences, les deux premières ont été terminées et font l'objet de deux publications dans la revue *Learning & Memory* (Impact Factor 4.01).

Dans la première expérience nous montrons que les abeilles sont capables de résoudre des discriminations du type patterning négatif (A +, B +, AB-) et positif (A-, B-, AB +) et qu'elles emploient un traitement non-élémentaire dans ce but (Deisig et al. 2001). Les stratégies adoptées relèvent probablement du domaine du traitement configural ou de l'« *unique cue* » sans que l'on puisse décider dans un premier temps entre ces deux alternatives. Ces conclusions ont été vérifiées par une expérience supplémentaire faite avec des abeilles en libre vol entraînées avec des stimuli visuels dans des problèmes de discrimination du type patterning positif et négatif (Schubert et al. 2002). Les abeilles sont capables de résoudre ces discriminations visuelles et emploient des stratégies non-élémentaires dans ce but.

Dans la deuxième expérience, les abeilles doivent différencier les éléments A et B d'un stimulus composé AB (ambiguïté maximale), AC (ambiguïté intermédiaire) ou CD (aucune ambiguïté). Nous avons démontré que l'ambiguïté croissante ou décroissante d'une discrimination olfactive affecte le niveau de

différenciation atteint lors du conditionnement. Moins le problème est ambigu, mieux les abeilles discriminent-elles (Deisig et al. 2002). Dans les trois cas, les abeilles emploient des stratégies non-élémentaires pour la résolution des problèmes. Le traitement de type « *unique cue* » paraît être favorisé dans tous les cas.

Bases neurobiologiques de l'apprentissage olfactif chez l'abeille

L'objectif de cette partie est d'enregistrer des oscillations électriques, dans les lobes antennaires et les corps pédonculés du cerveau de l'abeille, déclenchées par des stimulations olfactives, et leurs possibles modifications par des phénomènes d'apprentissage élémentaire et configural. Nous cherchons à appliquer ces techniques d'enregistrements afin d'étudier comment le renforcement sucré utilisé dans le conditionnement modifie la perception de l'odeur et sa représentation cérébrale.

La première partie du travail qui vient de se terminer a consisté à retrouver, chez l'abeille, les caractéristiques du codage olfactif définies chez le criquet. Nous avons pu montrer que l'odeur induit l'apparition d'oscillations de 20 à 30 Hz du signal électrique, enregistré de façon extracellulaire, à la bordure des lobes alpha des corps pédonculés. Ces oscillations sont spécifiques de l'odeur utilisée comme stimulus, du site d'enregistrement et ne sont pas induites par la stimulation mécanosensorielle provoquée par le flux d'air sur l'antenne. Nous avons également montré que l'injection de picrotoxine dans les lobes antennaires, qui supprime l'activité des neurones locaux gabaergiques à l'origine de la synchronisation neuronale, supprime les oscillations dans les corps pédonculés. Cette expérience de contrôle exclue l'éventualité que les oscillations soient provoquées par des contractions des muscles des antennes ou des pièces buccales en réponse à l'odeur. Enfin, des enregistrements intracellulaires ont été effectués dans des neurones de projection reliant les lobes antennaires aux corps pédonculés. Des profils de réponses de type « inhibition » ou « activation » ont été obtenus dans des neurones différents en réponse à la même odeur.

Expériences sur les humains

Trois expériences étaient prévues sur les humains dans le cadre du conditionnement palpébral et du conditionnement de la réponse électrodermale.

1. Une première expérience destinée à déterminer si les sujets humains sont capables de résoudre des discriminations du type patterning négatif et positif. En particulier, nous nous sommes intéressés à l'effet du nombre de stimulations renforcées (SC +) et non renforcées (SC-) (rapport SC +/SC-) sur la capacité des sujets à établir des stratégies de discrimination du type configural ou élémentaire.
2. Une deuxième expérience destinée à déterminer les conditions nécessaires à l'emploi d'une stratégie de traitement non-élémentaire de l'information visuelle. Nous étudions si l'emploi de stratégies configurales est automatique dans le cas de la présentation conjointe d'éléments visuels ou si en réalité les sujets humains adoptent seulement l'option configurale quand l'ambiguïté du problème de discrimination

est accrue. Trois groupes de personnes sont conditionnés avec deux lumières différentes A et B et un stimulus complexe qui variera selon les groupes : AB (ambiguïté maximale), AC (ambiguïté intermédiaire basée sur la présence de A) et CD (aucune ambiguïté). Nous mettons à l'épreuve l'hypothèse qui postule qu'une augmentation de l'ambiguïté dans le problème de discrimination favorise l'adoption de stratégies configurales.

3. Une troisième expérience destinée à déterminer si la solution de problèmes de patterning se fait à partir de règles transférables à des stimuli nouveaux qui n'auraient pas été employés lors du conditionnement mais qui auraient en commun la distinction « éléments vs. mélange ». Ainsi, des sujets humains sont conditionnés dans des expériences suivant un schéma de patterning positif et négatif avec deux lumières différentes A et B et une présentation conjointe AB. Une fois la performance de discrimination établie, les sujets sont confrontés aux stimuli C et D selon le même protocole, où C et D représentent de nouveaux stimuli visuels inconnus. Nous étudions la capacité des sujets à transposer la discrimination « A, B vs. AB » à « C, D vs. CD ».

De ces 3 expériences, la première a été terminée et la deuxième est en cours.

Dans la *première expérience*, le rapport SC +/SC- s'est avéré fondamental pour la différenciation entre éléments et stimulus composé (A, B vs. AB) dans le cas du *patterning négatif*. À partir du *conditionnement de la réponse électrodermale* (RED1), nous avons démontré que la différenciation devient plus facile au fur et à mesure que le rapport SC +/SC- diminue. Ceci est dû à une augmentation des réponses vers A + et B +. Les réponses au stimulus composé non-renforcé (AB-) par contre ne montrent pas de variation. Ce résultat est tout à fait coïncident avec ceux obtenus dans le cadre du conditionnement olfactif de l'extension du proboscis chez les abeilles. Dans le cas du *patterning positif*, nous avons trouvé un effet similaire (mais moins marqué) du rapport SC +/SC- sur la différenciation entre éléments et stimulus composé. Dans le cas des abeilles, aucun effet n'a été trouvé dans la situation équivalente. Les résultats de cette première expérience employant le conditionnement de la réponse électrodermale chez les humains font l'objet d'une publication sous presse dans la revue *Psychophysiology* (Impact Factor 3.11).

Toujours dans la *première expérience*, le *conditionnement palpébral* (CP 1) a permis d'obtenir des résultats tout à fait équiva-

lents à ceux obtenus avec le conditionnement de la réponse électrodermale (RED 1). Dans le cas du *patterning négatif*, on obtient une amélioration de la différenciation entre éléments et stimulus composé avec une diminution du rapport SC +/SC-. Cet effet est dû aux réponses vers A + et B + et non pas vers AB-. Dans le cas du *patterning positif*, aucun effet du rapport SC +/SC- sur la différenciation entre éléments et stimulus composé n'a été trouvé. Ceci est encore coïncident avec les résultats obtenus lors du conditionnement olfactif de l'extension du proboscis chez les abeilles. Les résultats de cette première expérience employant le conditionnement palpébral chez les humains font l'objet d'un manuscrit en préparation.

La *deuxième expérience* est en cours. Dans cette expérience les individus doivent différencier les éléments A et B d'un stimulus composé AB (ambiguïté maximale), AC (ambiguïté intermédiaire) ou CD (aucune ambiguïté). La partie concernant le *conditionnement de la réponse électrodermale* (RED 2) a été terminée récemment. Les résultats préliminaires montrent que dans le cadre d'un *patterning négatif*, les humains discriminent le stimulus composé AB- des éléments A + et B + grâce à l'emploi d'une stratégie configurale ou d'une règle abstraite (« élément vs. stimulus composé »). Dans le cas d'une discrimination sans ambiguïté (A +, B + vs. CD-), les humains font appel à une stratégie purement élémentaire. Dans le cas des abeilles confrontées à des problèmes similaires, des stratégies de discrimination non-élémentaires ont été trouvées pour les trois types de discrimination ainsi qu'une augmentation de la discrimination avec une réduction de l'ambiguïté du problème. Curieusement, dans le cas des humains, une réduction de l'ambiguïté (A +, B + vs. CD-) détermine des performances appauvries de discrimination. Ceci est donc contraire aux résultats obtenus chez les abeilles. La différenciation dans le groupe « A +, B + vs. AC- » fut inférieure à celle du groupe « A +, B + vs. AB- ».

Jusqu'à présent nos résultats montrent donc qu'humains et abeilles sont capables de résoudre des problèmes séparés de discrimination non-linéaire. Une réduction de la densité de renforcements (rapport SC +/SC-) détermine chez les deux espèces une amélioration de la capacité de discrimination, au moins dans le cas du *patterning négatif*. Cette amélioration s'explique par une augmentation des réponses aux éléments renforcés lors de la réduction du nombre de renforcements. Les réponses au stimulus composé non renforcé restent invariables.

Programme de travail prévu pour l'année 2003

Expériences sur les abeilles

Les travaux sur les stratégies d'apprentissage de l'abeille sont bien avancés, fait qui s'est traduit par les trois publications parues dans les revues internationales *Learning & Memory* (Impact Factor: 4.01) et *Animal Behaviour* (Impact Factor 2.14). Pendant l'année 2003 nous comptons donc finir les expériences 3 et 4 sur les abeilles.

En ce qui concerne les études sur les bases neurobiologiques de l'apprentissage olfactif chez l'abeille, nous étudie-

rons l'hypothèse que le renforcement sucré accélère l'établissement du profil des oscillations cérébrales qui codent l'information olfactive. Cette hypothèse sera testée en enregistrant simultanément chez l'abeille l'activité électrique intracellulaire des neurones des lobes antennaires et les potentiels de champ globaux dans les corps pédonculés. Ces enregistrements seront effectués lors de la présentation de l'odeur seule et lorsque l'odeur est associée au renforcement alimentaire. Par ailleurs, plusieurs types de récepteurs cholinergiques

sont présents dans le cerveau d'abeille et vraisemblablement associés à des fonctions différentes. Les travaux de l'équipe de M. Gauthier montrent que l'injection d'antagonistes cholinergiques dans les corps pédonculés perturbe l'acquisition et le rappel du conditionnement olfactif sans modifier la perception olfactive. Dans ce contexte, nous rechercherons l'effet de l'injection de ces antagonistes sur les oscillations enregistrées dans les corps pédonculés.

Expériences sur les humains

Les expériences sur l'homme sont aussi avancées, fait qui s'est traduit par la publication en presse dans la revue internationale

Publications issues du projet

Deisig N, Lachnit H, Giurfa M, Hellstern F (2001) Configural olfactory learning in honeybees: negative and positive patterning discrimination. *Learning and Memory* 8: 70-78.

Deisig N, Lachnit H, Giurfa M. (2002) The effect of similarity between elemental stimuli and compounds in olfactory patterning discriminations by honeybees. *Learning and Memory* 9: 112-121.

Komischke B, Giurfa M, Lachnit H, Malun D (2002) Successive olfactory reversal in honeybees. *Learning and Memory* 9: 122-129.

Psychophysiology (Impact Factor 3.11). Un deuxième manuscrit concernant les résultats de la première expérience avec le conditionnement palpébral sera soumis à une revue internationale dans le mois à venir. Pendant l'année 2003 nous comptons finir la partie manquante de la *deuxième expérience* (conditionnement palpébral) et la *troisième expérience*.

Meeting

Une première réunion conjointe des trois équipes partenaires est prévue à Toulouse pendant le mois de novembre.

Lachnit H, Lober K, Reinhard G, Giurfa M. (2002) Patterning discriminations and reinforcement density in aversive conditioning of the skin conductance response in humans. *Psychophysiology* (sous presse).

Schubert M, Lachnit H, Francucci S, Giurfa M. (2002) Non-elemental visual learning in honeybees. *Animal Behaviour* (sous presse).