



LE MINUSCULE CERVEAU DES GUÊPES PEUT-IL APPRENDRE ET MÉMORISER DES INFORMATIONS ?

Rafael Carvalho da Silva^{1*}, João Marcelo Robazzi Bignelli Valente Aguiar², Cintia Akemi Oi³, Jaqueline Eterna Batista², Fabio Santos do Nascimento² et Martin Giurfa¹

¹Neuroscience, Institut de Biologie Paris-Seine, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), Université de la Sorbonne, Paris, France

²Faculté de philosophie, des sciences et des lettres de Ribeirão Preto, Département de biologie, Université de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brésil

³Département de génétique, évolution et environnement, University College London, Londres, Royaume-Uni

Si tu as un jardin, tu as probablement vu de nombreux insectes voler à la recherche de nourriture. Malgré leur cerveau miniature, ces petites créatures peuvent apprendre et mémoriser les caractéristiques des fleurs, principalement couleurs et odeurs, qu'elles associent au nectar et au pollen, leur nourriture. Les abeilles domestiques ne sont pas les seuls pollinisateurs dans la nature ; les guêpes pollinisent également les fleurs, mais on sait peu de choses à leur sujet. Nous avons étudié la capacité qu'ont les guêpes à apprendre et à mémoriser des informations en recherchant si elles pouvaient apprendre à associer une odeur de fleur à de l'eau sucrée. Nous avons constaté que les guêpes femelles et mâles ont de puissantes capacités d'apprentissage et de mémorisation, deux choses importantes pour leur vie sociale quotidienne.

LE CERVEAU DES INSECTES A DES CAPACITÉS SOPHISTIQUÉES

Si tu regardes dehors, tu trouveras des insectes partout : une mouche qui vole autour d'un panier de fruits, une abeille qui se pose

sur des fleurs, un coléoptère qui marche sur le sol, ou même une guêpe qui plane au-dessus de ton barbecue. As-tu déjà réfléchi à la manière dont ces insectes parviennent à trouver de la nourriture dans la nature ? Ce que tu ne sais peut-être pas, c'est que malgré leur tout petit cerveau, ces minuscules créatures sont capables d'apprendre et de mémoriser des informations [1]. Leurs antennes et leurs yeux composés (Figure 1A) fonctionnent un peu comme notre nez et nos yeux. Ces organes sont chargés de détecter les odeurs et les informations visuelles, et ils les transmettent au cerveau.

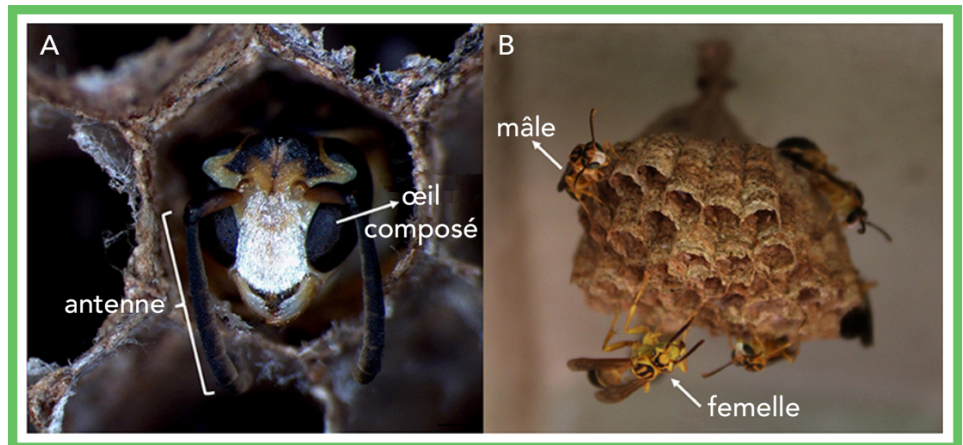


Figure 1. (A) Tête d'une guêpe mâle (face blanche) de l'espèce *Mischo cytтарus cerberus*. Un œil composé et une antenne sont indiqués. Ces structures fonctionnent de la même manière que nos yeux et notre nez. (B) Un nid de *M. cerberus*, avec une femelle (face jaune) et un mâle (face blanche).

Les capacités d'apprentissage et de mémorisation des insectes peuvent être étudiées en laboratoire ou dans leur environnement naturel. Un moyen simple d'étudier la manière dont les animaux apprennent, y compris les insectes, consiste à leur présenter les informations que nous voulons qu'ils apprennent en les associant à quelque chose qu'ils aiment, c'est-à-dire à une récompense. Les animaux, comme les humains, sont capables de créer des liens mentaux entre deux choses. Par exemple, ils peuvent associer une nouvelle odeur à un aliment qu'ils aiment manger. L'approche que nous utilisons pour enseigner aux insectes est inspirée du scientifique Ivan Pavlov, qui a reçu le prix Nobel en 1904. Pavlov a compris que les chiens étaient capables de créer un lien mental entre une information neutre (non responsable du déclenchement d'un comportement naturel), comme le son d'une cloche, et un aliment qu'ils aiment manger, comme un morceau de viande. Pavlov a réalisé que donner une récompense pouvait activer un comportement naturel chez les animaux. Par exemple, lorsque les chiens voient un morceau de viande (récompense), ils commencent à saliver (comportement naturel). Par elle-même, l'information neutre n'a pas le même effet que la récompense : une cloche ne fait normalement pas saliver les chiens.

STIMULUS. Signal qui pousse un organisme à faire quelque chose.

Cependant, nous pouvons faire en sorte que la cloche et la viande aient des effets similaires en utilisant quelques astuces. Lorsqu'on présente à un animal une information neutre et une récompense en *même temps* plusieurs fois, les deux **stimuli** peuvent, au bout d'un certain temps, induire le comportement naturel (Figure 2) [2].

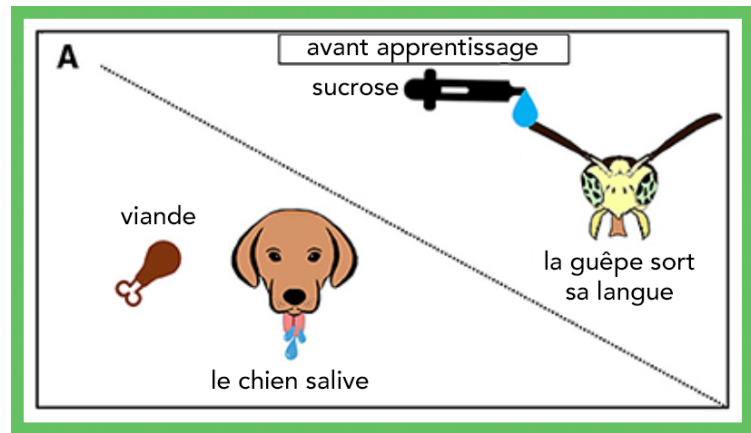


Figure 2A. Avant l'apprentissage : un chien salive lorsqu'il voit de la viande et une guêpe expose sa langue lorsque ses antennes entrent en contact avec de l'eau sucrée.

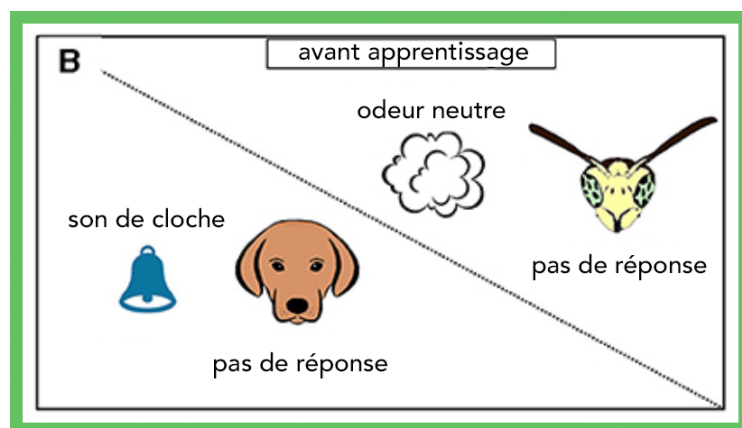


Figure 2B. Avant l'apprentissage, le chien ne salive pas en réponse à une cloche et la guêpe ne réagit pas à une odeur.

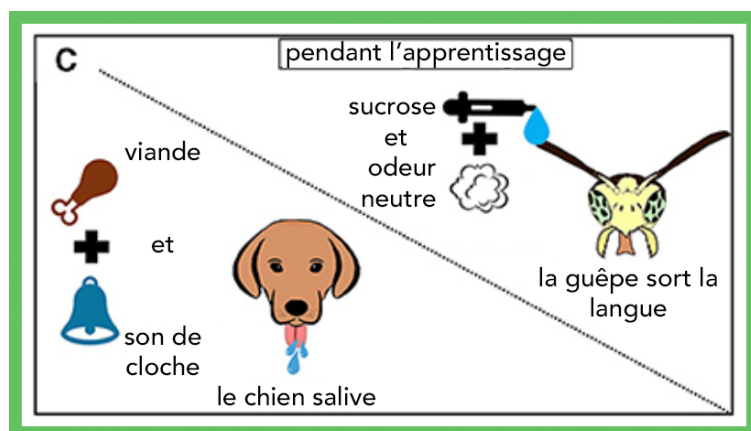


Figure 2C. Pendant la phase d'apprentissage, le chien entend la cloche et voit de la viande immédiatement après ; la guêpe sent une odeur, et reçoit une goutte d'eau sucrée sur une antenne immédiatement après. Cela permet aux animaux d'apprendre la relation entre les deux stimuli.

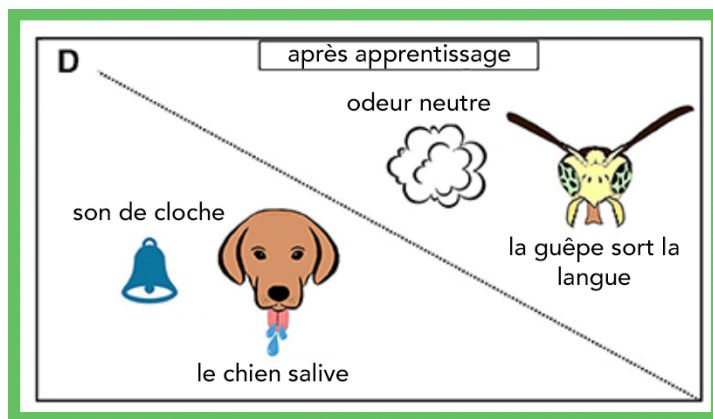


Figure 2D. Après l'apprentissage, le chien salive dès qu'il entend la cloche et la guêpe expose sa langue en réponse à l'odeur.

Mais l'histoire ne s'arrête pas là ! Après avoir appris de nouvelles informations à un animal, les scientifiques peuvent tester si l'animal a mémorisé ces nouvelles informations. Cela ressemble à la stratégie utilisée par tes professeurs qui, après t'avoir montré un nouveau concept à l'école, te font passer un examen pour vérifier que tu l'as mémorisé. Nous avons décidé de réaliser une telle expérience avec la guêpe *Mischocyttarus cerberus* (*M. cerberus* en abrégé) (Figure 1B) [3].

COMPRENDRE LES GUÊPES SOCIALES

Les guêpes sont importantes dans la nature : elles s'attaquent à certains insectes ravageurs de cultures et pollinisent également les fleurs [4]. L'espèce que nous avons étudiée, *M. cerberus*, est une espèce sociale, ce qui signifie que ces guêpes vivent ensemble dans un nid commun et coopèrent dans leurs activités quotidiennes. Dans cette société, les individus communiquent entre eux par des messages chimiques.

Les guêpes se touchent fréquemment avec leurs antennes, ce qui leur permet de se sentir et de se reconnaître. Le corps des guêpes sociales est recouvert d'un mélange de composés chimiques qui portent des informations sur leur âge, leur sexe, leur état de santé, le nid auquel elles appartiennent et leur espèce. La plupart de ces composés chimiques sont des hydrocarbures cuticulaires. Lorsque les guêpes se touchent, elles détectent le type d'informations fournies par ces hydrocarbures cuticulaires.

Nous pensons que la perception et l'apprentissage des odeurs sont fondamentaux pour les guêpes, non seulement lorsqu'elles sont dans leur nid, mais aussi lorsqu'elles sont à l'extérieur, à la recherche de nourriture. Nous avons utilisé l'approche développée par Pavlov pour déterminer si ces minuscules créatures peuvent apprendre les odeurs de la même manière que les chiens de Pavlov apprenaient l'association entre la cloche et la nourriture.

INSECTE RAVAGEUR DE CULTURES. Insecte causant des dégâts aux plantes cultivées et à la végétation en général. Les adultes ou les larves de ces insectes peuvent en être responsables.

HYDROCARBURES CUTICULAIRES. Substances présentes sur le corps des insectes qui les protègent de la perte d'eau et les aident à se reconnaître les uns les autres.

LINALOL. Un des parfums floraux les plus courants.

BUTINEUSES. Femelles d'insectes sociaux chargées de quitter leur colonie pour chercher de la nourriture dans la nature.

REINES. Femelles d'insectes sociaux chargées de pondre les œufs qui deviendront les nouveaux individus de la colonie

UTILISER LA MÉTHODE DE PAVLOV POUR LES GUÊPES

Nous avons développé une approche dans laquelle une guêpe reçoit une stimulation olfactive (une information neutre) suivie par le dépôt d'eau sucrée (la récompense) sur ses antennes. La guêpe sort alors sa langue pour boire l'eau sucrée (**Figure 2C**). Pour apprendre aux guêpes qu'une odeur est associée à de la nourriture, nous avons utilisé une odeur appelée **linalol** comme information neutre. Après avoir présenté plusieurs fois l'odeur et la nourriture en même temps, la question est de savoir si la guêpe ouvre la bouche et tire la langue en réponse à l'odeur seule (**Figure 2D**).

Pour cette étude, nous avons utilisé des **butineuses**, les guêpes chargées de collecter la nourriture pour le nid, et nous les avons divisées en deux lots, A et B. Les butineuses du lot A ont reçu l'odeur et la récompense *en même temps* (avec l'odeur quelques secondes avant l'eau sucrée). Les butineuses de l'autre lot (lot B) ont reçu l'information neutre et la récompense séparées par plus de temps, de sorte qu'il n'y avait pas d'association entre ces deux éléments.

Nous avons constaté que seules les guêpes du lot A pouvaient faire le lien entre l'odeur et la nourriture. Comment le savons-nous ? Si les guêpes font le lien, elles sortent leur langue en réponse à l'odeur seule, ce qui est exactement ce que nous avons observé (**Figure 3A**). Les guêpes qui ont reçu l'information neutre et la récompense en même temps sont devenues de plus en plus nombreuses à tirer la langue en présence de l'odeur seule au cours de la phase d'apprentissage qui consistait, pour chaque guêpe, à six essais. Les guêpes du lot B n'ont pas tiré la langue en réponse à l'odeur seule. Les guêpes du lot A sont donc les seules à avoir mémorisé les informations que nous leur avons enseignées.

TOUTES LES GUÊPES D'UN MÊME NID ONT-ELLES LE MÊME COMPORTEMENT ?

Les nids de guêpes sont composés de différents groupes d'individus adultes (les **reines**, les ouvrières dont font partie les butineuses, et les mâles). Les reines sont les femelles responsables de la reproduction dans la colonie, les ouvrières s'occupent de toutes les activités de la colonie et les mâles ne contribuent pas à l'environnement social (ils restent dans les parages du nid pendant un certain temps, puis le quittent pour chercher des reines). Nous nous sommes demandé si les différents types de guêpes d'un nid pouvaient apprendre de la même manière que les butineuses. Nous avons donc complété notre étude avec une expérience qui incluait des reines et des mâles.

Comme l'expérience avec les butineuses avait montré que l'odeur et

la solution d'eau sucrée devaient être présentées en même temps pour que les guêpes apprennent et mémorisent l'association, nous n'avons utilisé dans cette nouvelle expérience que la condition dans laquelle l'odeur et la nourriture sont données en même temps. Nous avons constaté que les reines et les mâles ont également appris l'association entre odeur et nourriture (**Figure 3B**), et ont gardé cette information en mémoire pendant au moins 1 heure après la période d'apprentissage.

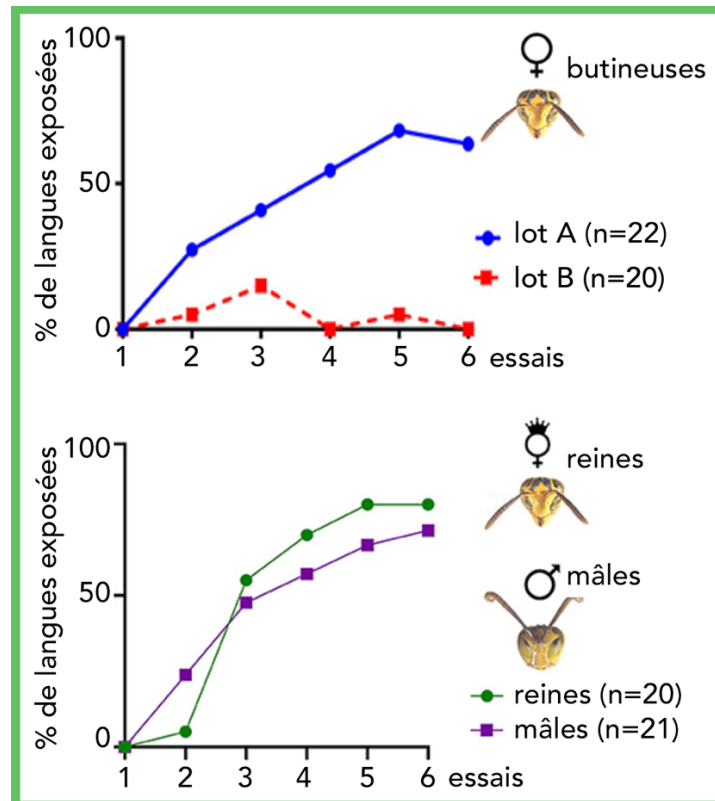


Figure 3. (A) Nous avons présenté à chaque guêpe butineuse l'odeur puis de l'eau sucrée au cours de six essais (sur l'axe des x), pour voir si elles pouvaient apprendre à tirer la langue en réponse à l'odeur florale uniquement. L'odeur et l'eau sucrée étaient présentés ensemble (lot A) ou à plusieurs secondes d'intervalle (lot B). Lors du premier essai, aucune guêpe n'a tiré la langue à l'odeur seule car c'était la première fois qu'elles la sentaient. À partir du deuxième essai, les guêpes recevant l'odeur et l'eau sucrée en même temps ont commencé à se souvenir de l'association et elles se sont améliorées au cours de l'apprentissage ! (B) Les reines et les mâles peuvent également apprendre de cette manière. (n correspond au nombre de guêpes testées).

Le fait que les différents types de guêpes d'un nid puissent apprendre et mémoriser des associations indique que l'apprentissage et la mémoire sont présents chez cette espèce et ne diffèrent pas en fonction du rôle social des différents individus.

APPRENTISSAGE ET MÉMOIRE DANS UN CONTEXTE NATUREL

La capacité d'apprendre et de mémoriser les odeurs est importante lorsque les guêpes cherchent de la nourriture. Une guêpe qui se pose sur une fleur peut apprendre le lien entre son parfum et la récompense en **nectar**.

NECTAR. Liquide sucré produit par les fleurs qui attire les insectes et contribue à promouvoir la pollinisation.

Lorsque les guêpes font l'expérience du parfum et du nectar en même temps, elles apprennent à revenir sur la même fleur lors d'un second voyage. De plus, comme les guêpes peuvent se reconnaître entre elles grâce à des messages chimiques, leur capacité d'apprentissage et de mémorisation les aide à identifier qui appartient ou non à son nid, et à s'opposer à l'occupation de leur nid par des guêpes étrangères (pour plus d'informations, [voir](#) « Comment les guêpes reconnaissent-elles leurs œufs ? »).

CONCLUSION : DES CERVEAUX MINUSCULES, DES FONCTIONS IMPORTANTES

Bien que les guêpes aient un cerveau minuscule, elles ont des capacités d'apprentissage et de mémorisation fascinantes. Dans cet article, nous avons montré que les différentes guêpes d'un nid (ouvrières, reines, mâles) sont capables d'apprentissage *via* l'association d'une information neutre (une odeur) avec quelque chose qu'elles aiment manger (une récompense sucrée). Elles y parviennent de la même manière que celle décrite par Ivan Pavlov lorsqu'il a étudié ses célèbres chiens, qui ont appris à saliver au son d'une cloche prédisant de la nourriture. Dans notre expérience, les guêpes ont appris à sortir leur langue en réponse à une odeur prédisant de l'eau sucrée. Les capacités d'apprentissage et de mémorisation sont présentes chez les guêpes femelles et mâles et peuvent les aider dans de nombreux aspects de leur vie, de la recherche de nourriture aux interactions sociales. Nos résultats attirent l'attention sur le fait que des capacités cérébrales complexes, comme l'apprentissage et la mémoire, ne sont pas réservées aux gros cerveaux, mais peuvent également être présentes dans les petits cerveaux. Même si les humains et les insectes sont différents, ils ont un ancêtre commun. En étudiant la manière dont les insectes apprennent, nous pouvons mieux comprendre notre propre cerveau et les activités complexes qu'il nous permet d'accomplir chaque jour.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Code de financement 001 et par la subvention 2018/22461-3 São Paulo Research Foundation (FAPESP) à RS. Le financement a été assuré par une subvention bilatérale FWO-FAPESP à CO et FN (numéros de processus : 2018/10996-0 et 2021/05598-8 FAPESP et FWO : GOF8319N, FWO : GOF6622N), la Fondation de la recherche des Flandres à CO (bourse postdoctorale FWO-12V6318N et bourse de recherche FWO-1513219N), et le Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico à FN (307702/2018-9). MG a bénéficié du soutien de l'Institut universitaire de France et de

l'Université de la Sorbonne. Nous tenons à remercier les agences qui nous ont donné les ressources nécessaires pour permettre la réalisation de l'étude. RS est actuellement titulaire d'une bourse postdoctorale Fyssen (Fondation Fyssen, France).

RÉFÉRENCES

- [1] Giurfa, M. 2015. Learning and cognition in insects. *Wiley Interdiscip. Rev. Cogn. Sci.* 6:383–95. doi: 10.1002/wcs.1348
- [2] Pavlov, I. P. 1927. *Conditioned Reflexes*. London: Oxford University Press, 448.
- [3] da Silva, R. C., Aguiar, J. M. R. B. V., Oi, C. A., Batista, J. E., Giurfa, M., and do Nascimento, F. S. 2023. Sex and lifestyle dictate learning performance in a neotropical wasp. *Iscience* 26:106469. doi: 10.1016/j.isci.2023.106469
- [4] Brock, R. E., Cini, A., and Sumner, S. 2021. Ecosystem services provided by aculeate wasps. *Biol. Rev.* 96:1645–75. doi: 10.1111/brv.12719

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi: 10.3389/frym.2024.1343838 ; da Silva RC, Aguiar JMRBV, Oi CA, Batista JE, do Nascimento FS and Giurfa M (2024) The Tiny Brains of Wasps Can Learn and Remember Information. *Front. Young Minds*. 12:1343838).

TRADUCTION : Nicole Pasteur, Association Jeunes Francophones et la Science

ÉDITION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

MENTOR SCIENTIFIQUE : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

REMERCIEMENTS : Merci à Josselin Gély et Romain Blanc pour leur accueil et leur implication dans l'édition de cet article par leurs élèves.

JEUNES ÉDITRICES :

AMY, 13 ANS

Je m'appelle Amy, j'ai 13 ans et je suis collégienne. J'aime nager, lire, écrire et écouter de la musique. Mes livres préférés sont Frostheart, Enola Holmes et les fantômes d'Aveline Jones. Plus tard, je voudrais devenir autrice et faire du doublage.

JULIE, 13 ANS

Je m'appelle Julie, je suis au collège, j'aime bien la géographie et

l'histoire, les langues, et un peu les SVT. Pendant de longues années, j'ai fait de la danse classique et 3 ans de hockey en Russie, puis en France. Quand j'étais très jeune, je voyageais énormément : je suis allée à la Martinique, en Écosse, en Pologne, en Angleterre. Dans le futur, je voudrais peut-être être dermatologue.

ANGELA, 13 ANS

Je m'appelle Angela, je suis au collège et j'aime voyager dans le monde entier. Mes matières préférées sont l'histoire et les mathématiques. J'aime mes amis, mon chat et mes parents et j'ai une belle famille. Dans l'avenir, je veux être dentiste. Je suis reconnaissante à tous mes professeurs, mon amie Julie pour son aide et à mes parents.

DINO, 13 ANS

Dino est élève au collège Eridan à Montpellier. Son travail d'édition et ce qu'il a appris sur les guêpes l'ont beaucoup intéressé.

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 24 novembre 2023 ; **ACCEPTÉ** le 2 juillet 2024.

PUBLIÉ en ligne le 17 juillet 2024.

ÉDITION : Mubarak Syed

MENTORS SCIENTIFIQUES : Jill Dolata et Hengameh (Heny) Taraz

CITATION : da Silva RC, Aguiar JMRBV, Oi CA, Batista JE, do Nascimento FS and Giurfa M (2024) The Tiny Brains of Wasps Can Learn and Remember Information. *Front. Young Minds.* 12:1343838. doi: 10.3389/frym.2024.1343838

ARTICLE ORIGINAL : da Silva, R. C., Aguiar, J. M. R. B. V., Oi, C. A., Batista, J. E., Giurfa, M., and do Nascimento, F. S. 2023. Sex and lifestyle dictate learning performance in a neotropical wasp. *Iscience* 26:106469. doi: 10.1016/j.isci.2023.106469

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT.

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright © 2024 da Silva, Aguiar, Oi, Batista, do Nascimento and Giurfa

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute

utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES EXAMINATEURS

ANIA, 15 ANS

Je m'appelle Ania. Je suis une collégienne qui aime apprendre et qui s'intéresse à un large éventail de sujets, notamment la nature, la physique, les langues et le théâtre. J'aime lire et écrire, et j'ai pour objectif de travailler dans l'édition ou la publication à l'âge adulte. Pendant mon temps libre, je nage, je fais du vélo et je passe du temps avec mes chats.

ON A BEAM OF LIGHT, 15–16 ANS

On a Beam of Light est un groupe de jeunes critiques curieux, gentils et passionnés de sciences qui se réunissent pour discuter des nouvelles découvertes scientifiques et des sujets liés aux STIM. Nous sommes des écrivains, des musiciens, des artistes et des créateurs qui aiment découvrir les mystères du monde.

AUTEURS

RAFAEL CARVALHO DA SILVA

Rafael travaille sur les guêpes et les abeilles et effectue un post-doc à l'Université de la Sorbonne à Paris, en France. Il est né au Brésil et, pendant son doctorat, il a effectué des stages de recherche en Belgique et aux États-Unis. En Belgique, il a étudié plusieurs espèces de guêpes, dont les guêpes jaunes et les frelons. Aux États-Unis, il a travaillé sur les guêpes zombies. Il aime les insectes, les glaces, le karaoké, aller au cinéma, voyager et passer du temps avec ses amis.
*rcsilva2812@usp.br ; rcswasp@gmail.com

JOÃO MARCELO ROBAZZI BIGNELLI VALENTE AGUIAR

João a obtenu son doctorat en écologie à l'Université de Campinas, au Brésil, et son doctorat en neurosciences à l'Université Paul Sabatier-Toulouse III, en France, tous deux en 2019. Il est actuellement chercheur à l'Université de São Paulo, au Brésil, où il travaille sur des abeilles afin d'étudier la manière dont elles choisissent et mémorisent les fleurs lors de la pollinisation. En dehors de la recherche, João aime cuisiner et courir sur de longues distances !

CINTIA AKEMI OI

Cintia travaille sur les guêpes en tant que postdoctorante à l'University College London. Elle est née et a grandi au Brésil et a fait son doctorat à la KU Leuven (Belgique). Elle y a étudié l'évolution des phéromones de reine et la communication chimique chez plusieurs espèces de guêpes. Elle adore son travail et aime allier plaisir et travail. Elle collecte des guêpes dans des endroits étonnants, notamment au Brésil (Amazonie), en Nouvelle-Zélande

(guêpes envahissantes) et dans les landes du Royaume-Uni. Cintia aime les insectes, câliner les chats et les chiens, voyager, faire du vélo et passer du temps avec ses amis.

JAQUELINE ETERNA BATISTA

Jaqueline étudie le comportement reproductif et le cerveau de deux espèces d'abeilles sociales et a un pied dans le monde des guêpes, grâce à ses amis vespologues. Dans le cadre de son doctorat au Brésil, elle étudie l'abeille sans dard connue sous le nom de Mandaguari. Lors de son stage en Belgique, elle a travaillé sur le bourdon piqueur Mamangava. Jaqueline est engagée dans la conception d'activités éducatives utilisant les abeilles comme thème central. En tant que jeune scientifique noire, elle continuera à faire de la science et à inspirer d'autres personnes sur le monde des abeilles.

FABIO SANTOS DO NASCIMENTO

Fabio est professeur à l'Université de São Paulo, à Ribeirão Preto, au Brésil. Il enseigne le comportement animal et travaille sur les fourmis, les abeilles et les guêpes. Pendant sa maîtrise, il a étudié les guêpes nocturnes et pendant son doctorat, il a vécu pendant un certain temps à Rio Branco (État d'Acre - Brésil) pour travailler sur les guêpes d'Amazonie.

MARTIN GIURFA

Martin est franco-argentin et professeur de neurosciences à l'Université de la Sorbonne à Paris. Il a obtenu son doctorat en Argentine, puis s'est installé à Berlin, en Allemagne, où il a passé 11 ans avant de s'installer à Toulouse, en France, où il a fondé un institut de recherche consacré à l'étude de la cognition animale. En 2023, il s'installe à Paris pour devenir directeur de l'Institut de biologie de l'Université de la Sorbonne. Martin aime les insectes, les neurones et les cerveaux, et se spécialise dans l'apprentissage et la mémoire. En dehors du laboratoire, il joue de la guitare dans un groupe de rock et adore participer à des concerts.