



LE POULPE : UN ANIMAL UNIQUE POUR L'ÉTUDE DU CERVEAU

Tal Shomrat * et Nir Neshet

Faculté des sciences de la mer, Centre universitaire Ruppin, Michmoret, Israël

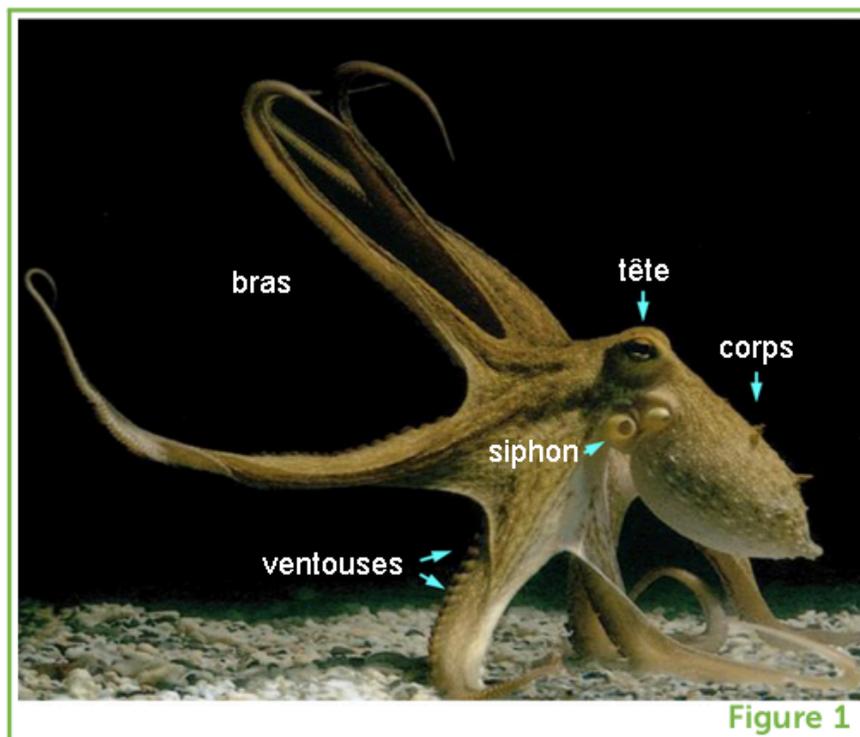
Quelles sont les structures et les fonctions du cerveau qui sont importantes dans un apprentissage complexe, comme apprendre à trouver rapidement comment activer une nouvelle application sur ton smartphone ? Quels sont les mécanismes cérébraux qui permettent aux souvenirs, comme le nom de ton professeur de CP, d'être conservés et rapidement rappelés plusieurs années plus tard ? Quelle partie du cerveau est-elle responsable de la créativité et de la flexibilité de pensée nécessaires à l'apprentissage d'une nouvelle interface de smartphone, par exemple ? Ces questions sont parmi les plus étudiées en neurosciences, la science qui étudie le cerveau et le système nerveux. Dans cet article, nous t'expliquons comment la recherche sur le cerveau du poulpe pourrait nous aider à répondre à ces questions. En comparant la structure et le fonctionnement du cerveau du poulpe à ceux d'autres animaux, nous pourrions même obtenir des renseignements sur le fonctionnement du cerveau humain.

POURQUOI LE POULPE EST-IL SPÉCIAL ?

Les poulpes, les seiches, les calmars, les escargots et les palourdes appartiennent tous à une classe d'animaux appelée mollusques. Les poulpes, les seiches et les calmars font partie d'un groupe de mollusques appelé céphalopodes. Céphalopode signifie "tête-pied" en grec, car la tête de ces animaux est directement reliée à leurs "pattes" (Figure 1). Contrairement aux escargots et aux palourdes, les céphalopodes ont un cerveau central exceptionnellement développé qui leur permet d'adopter des comportements complexes équivalents à ceux des mammifères et des oiseaux [1]. Les mollusques comme l'escargot n'ont que des comportements très simples. Par exemple, un escargot de mer affamé se dirigera vers l'odeur de son algue préférée.

Il est possible qu'un escargot apprenne qu'une certaine odeur provient d'un aliment particulièrement délicieux et qu'il choisisse cette odeur plutôt que d'autres à l'avenir. Mais en général, les escargots répètent toujours les mêmes comportements simples pour trouver de la nourriture.

Figure 1. Structure du corps du poulpe. Le poulpe possède 8 bras, chacun doté de centaines de ventouses qui peuvent s'accrocher aux proies ou aux rochers. Les ventouses sont semblables à notre langue et permettent au poulpe de détecter le goût et la texture. Les bras sont directement reliés à la tête du poulpe. La tête est également reliée au corps qui contient tous les organes internes tels que les branchies, l'appareil digestif et l'appareil reproducteur. Le siphon est un organe utilisé pour "expulser" l'eau des branchies, pour évacuer les excréments et pour pulvériser de l'encre et de l'eau afin de se protéger des prédateurs et de chasser (Crédit photo : Benny Hochner, HUJI)



Contrairement à l'escargot, le poulpe a un comportement beaucoup plus complexe. Le poulpe mange des palourdes, des crabes et des poissons. Chacune de ces proies nécessite un comportement de chasse différent : par exemple, les palourdes doivent être retirées de leur coquille, ce qui n'est pas une tâche facile ! Le poulpe perce un trou dans la coquille et injecte du venin qui paralyse et décontracte les muscles de la palourde, qui peut ainsi être ouverte. Pour chasser les crabes, le poulpe s'approche prudemment d'un crabe pour qu'il ne s'enfuit pas, puis il l'attaque rapidement et avec beaucoup d'habileté pour ne pas se faire pincer. Le poulpe apprend par expérience et se souvient de la manière de chasser ces différents types de proies, et il se souvient probablement aussi de détails sur le moment et l'endroit où il est préférable de chasser chaque type de proie.

Un autre exemple de comportement complexe des poulpes est qu'ils peuvent apprendre en observant d'autres poulpes. Par exemple, en regardant un autre poulpe ouvrir un bocal de nourriture en dévissant le

couvercle, le poulpe observateur apprend également à le faire ([vidéo 1](#)) : il ouvre le bocal beaucoup plus rapidement qu'un poulpe qui n'a pas déjà observé comment ouvrir le bocal. Les poulpes sont également extrêmement curieux et même joueurs ([vidéo 2](#) *Octopus vulgaris* joue avec un bouchon de bouteille.). Deux exemples de comportement dont les escargots ne sont pas capables !

ANIMAL MODÈLE. Animal de laboratoire, par opposition aux animaux sauvages (recherche sur le terrain) ou aux animaux d'élevage. Il présente certaines caractéristiques permettant de mener des recherches dont les résultats améliorent la compréhension générale de la biologie des animaux.

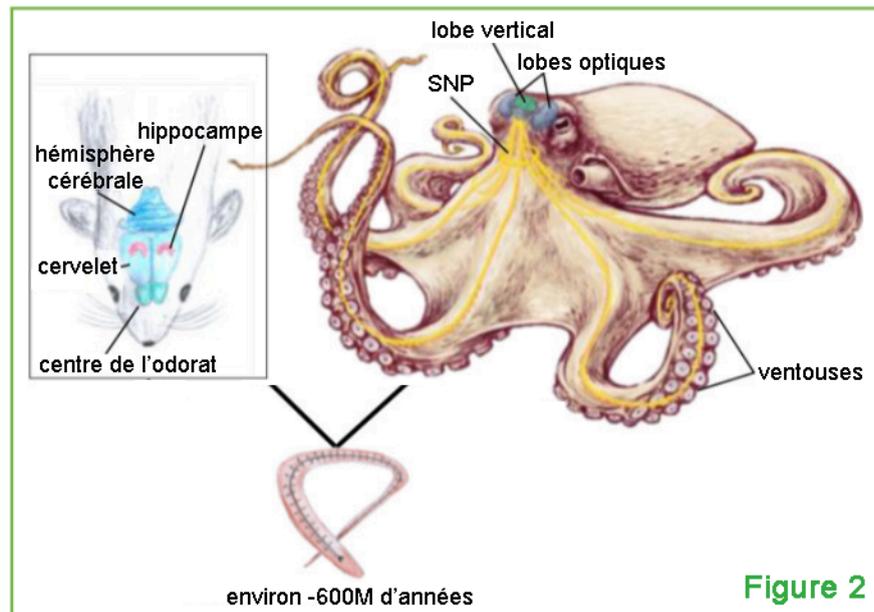
Figure 2. Les poulpes et les mammifères ont tous deux évolué à partir d'un ver doté d'un système nerveux sans cerveau qui vivait il y a plus d'un demi-milliard d'années. Les cerveaux des mammifères (exemple du rat ; encadré à gauche) et des poulpes (à droite) se sont développés de manières totalement indépendantes. Le cerveau du poulpe ressemble à celui d'un insecte, tandis que celui du rat ressemble au cerveau humain. L'hippocampe du poulpe, situé dans la partie supérieure du cerveau, sert à l'apprentissage par la vue et est appelé lobe vertical (vert). Le système nerveux périphérique du poulpe (jaune) (SNP ; partie du système nerveux en dehors du cerveau) est très développé. [Crédit photo : Michael Appleboim (poulpe), Anat Shomrat (ver et rat)]

SYSTÈME D'EXPLOITATION. Ensemble des programmes qui permettent l'utilisation d'un ordinateur ou d'un Smartphone. Il en existe deux actuellement pour les

POURQUOI LE POULPE EST-IL UN ANIMAL MODÈLE DANS LE DOMAINE DES NEUROSCIENCES ?

Les principaux animaux modèles permettant aux scientifiques d'étudier le cerveau sont les rats et les souris. Comparés aux poulpes, les rats et les souris sont beaucoup plus faciles à élever en laboratoire ! En plus, pour répondre aux questions de recherche, les scientifiques peuvent modifier les gènes des souris et des rats. De telles manipulations génétiques ne sont pas encore possibles chez les poulpes. Les rats et les souris sont des mammifères, comme les humains, et la structure et le fonctionnement de leur cerveau sont plus semblables au nôtre que ceux des poulpes. Alors, pourquoi étudier les poulpes pour comprendre le cerveau ?

Ce qui fait du poulpe un bon modèle animal, ce n'est pas seulement la ressemblance, c'est aussi la différence ! Les mammifères tels que les rats et les humains ont partagé un ancêtre avec les poulpes il y a plus d'un demi-milliard d'années (Figure 2). Cet ancêtre lointain était un ver sans cerveau qui a évolué pendant plusieurs centaines de millions d'années selon deux voies distinctes : l'une a conduit au développement des mammifères et l'autre à celui des poulpes. Le système nerveux du poulpe et celui des mammifères se sont donc mis en place de manières différentes et totalement indépendantes. En comparant la structure et le fonctionnement de ces deux systèmes, nous pouvons apprendre des choses importantes sur le cerveau [1].



Imagine que tu es un visiteur qui arrive du passé, que tu n'as jamais vu de smartphone et que tu veux comprendre comment il fonctionne. Une façon de le faire serait de comparer deux types de smartphones, par exemple l'iPhone d'Apple et le Galaxy de Samsung. En examinant les deux appareils, tu constaterais, par exemple, qu'ils ont tous les deux un écran tactile, un écran avec des icônes graphiques pour les différentes applications et une connexion permanente à l'internet. Comme ces caractéristiques sont communes aux deux appareils, tu pourrais conclure qu'il s'agit d'éléments indispensables. Par contre, tu pourrais remarquer que les systèmes d'exploitation, les câbles de recharge et les icônes des applications sont différents. Tu pourrais en déduire qu'il

Smartphones : Android et iOS.

BIOLOGIE COMPARATIVE. Étude des différences entre les organismes, pour comprendre leur diversité ainsi que certains mécanismes expliquant les différences observées.

HIPPOCAMPE. Zone du cerveau située de part et d'autre du cerveau humain. L'hippocampe joue un rôle majeur dans la mémoire.

CELLULE NERVEUSE (NEURONE). Unité fondamentale du système nerveux transmettant des informations à d'autres cellules via des signaux électriques et chimiques. Les neurones peuvent être connectés en réseau recevant des informations d'autres réseaux, modifiant l'information et la transmettant à d'autres réseaux.

ne s'agit pas de caractéristiques essentielles et que les mêmes fonctions peuvent être réalisées de différentes manières. Nous pouvons analyser les mécanismes qui existent dans le cerveau du poulpe mais sont absents chez les escargots, et supposer que ces "nouveaux" mécanismes sont ceux qui ont donné au poulpe des capacités plus développées. Nous pouvons aussi comparer la structure et le fonctionnement du cerveau du poulpe à ceux du rat, et ainsi découvrir des mécanismes biologiques communs et identifier les structures cérébrales nécessaires à leur comportement complexe et à un apprentissage de haut niveau. Ce type de recherche sur les animaux s'appelle la **biologie comparative** [1].

LES RÉSULTATS SURPRENANTS DE LA RECHERCHE SUR LES POULPES

Chez les mollusques simples, comme les escargots qui n'ont pas de cerveau central, l'apprentissage et la mémoire se produisent dans des centres nerveux disséminés dans tout le corps. Par exemple, lorsqu'un escargot mange un aliment pimenté qui lui brûle la bouche, la mémoire est créée et sauvegardée par le centre nerveux contrôlant la bouche, et l'escargot se détournera de cet aliment la prochaine fois qu'il le goûtera. Au contraire, chez les mammifères comme nous, l'apprentissage et la mémoire se mettent en place dans le cerveau et non en périphérie, dans les centres nerveux des différents organes. Par exemple, le souvenir du goût de la vanille lorsqu'on voit une boule de glace blanche est stocké dans le cerveau, et non dans le système nerveux de la langue ou des yeux. Le cerveau des mammifères possède également une zone appelée **hippocampe**, qui rassemble les détails des choses que nous voyons, entendons, sentons et ressentons, pour former le souvenir d'un certain événement. Dans le cerveau du poulpe, il existe une zone similaire à l'hippocampe appelée lobe vertical (**Figure 2**).

L'organisation des **cellules nerveuses** dans l'hippocampe des mammifères et des poulpes s'est développée sous la forme d'un réseau entrecroisé, ce qui est probablement crucial pour établir les nombreuses connexions nerveuses nécessaires à la formation d'un souvenir. Étant donné que les mammifères et les poulpes ont développé une zone cérébrale *spécifique* pour la création des souvenirs, nous pouvons conclure qu'une telle structure cérébrale, avec son réseau de cellules nerveuses entrecroisées, est nécessaire pour un apprentissage complexe, tout comme différents smartphones ont des composants similaires, comme l'écran tactile. Les cellules nerveuses de l'hippocampe peuvent modifier leurs connexions rapidement et efficacement pour créer de nouveaux souvenirs, par exemple en connectant les cellules nerveuses liées à une certaine chanson avec un autre groupe de cellules nerveuses représentant le visage du chanteur. Les cellules nerveuses du lobe vertical du poulpe peuvent modifier la force de leur connexion rapidement et efficacement, mais le mécanisme par lequel ces changements se produisent est différent de celui qu'on trouve chez les mammifères. Nous en concluons que la capacité à modifier les connexions dans l'hippocampe est cruciale pour l'apprentissage, mais que les connexions peuvent changer de différentes manières chez différents animaux [2, 3].

SYSTÈME NERVEUX PÉRIPHÉRIQUE. Partie du système nerveux en dehors du cerveau qui constitue le système nerveux central. Chez les Mammifères, le système nerveux central comprend le cerveau et la moelle épinière.

Une autre particularité du poulpe est l'existence dans le lobe vertical de deux zones semblables à l'hippocampe, l'une créant des souvenirs basés sur la vue et l'autre créant des souvenirs liés au goût et au toucher. Une étude faite dans notre laboratoire a révélé qu'une substance chimique du cerveau, appelée sérotonine et fabriquée aussi par les humains, renforce les connexions dans la zone du lobe vertical du poulpe responsable de la création de souvenirs basés sur ce que le poulpe voit. Mais la sérotonine affaiblit les connexions dans la zone du lobe vertical des souvenirs basés sur le toucher et le goût. Nous aimerions maintenant comprendre si les effets différents de la sérotonine dans ces deux zones sont liés à leurs fonctions différentes.

Une autre différence importante entre les poulpes et les mammifères est la présence d'un **système nerveux périphérique** extrêmement bien développé chez le poulpe (Figure 2). Contrairement à nos mains, les bras du poulpe peuvent effectuer toute une série d'actions de manière indépendante sans l'intervention du cerveau. Par exemple, si nous détachons le bras d'un poulpe de son corps et que nous en pinçons le bord, le bras s'éloigne rapidement. En revanche, une main humaine détachée du corps (dans un accident par exemple) resterait immobile si elle touchait un objet brûlant. La complexité du système nerveux corporel du poulpe suggère que, comme chez les mollusques aux comportements plus simples tels que les escargots, la mémoire d'un apprentissage simple pourrait se former et être stockée à l'intérieur de la "main" elle-même, de sorte que cette "main" se comporterait différemment après l'apprentissage, même si elle est déconnectée du cerveau !

EN RÉSUMÉ

Les rats sont actuellement le principal animal utilisé pour étudier le cerveau, car ils sont faciles à élever en laboratoire et les scientifiques peuvent manipuler leurs gènes. Cependant, le poulpe a des capacités comportementales similaires à celles des mammifères comme les rats, mais il a un cerveau très différent, qui s'est développé de manière totalement indépendante de celui des mammifères au cours de l'évolution. Cette caractéristique fait du poulpe un bon animal modèle pour la recherche en biologie comparative. La comparaison des cerveaux des poulpes et des mammifères peut nous aider à comprendre l'importance et la fonction de diverses structures et mécanismes cérébraux, tout en nous apprenant des choses intéressantes sur le cerveau unique et fascinant du poulpe [1].

RÉFÉRENCES

- [1] Schnell, A. K., Amodio, P., Boeckle, M. and Clayton, N. S. 2021. How intelligent is a cephalopod ? Lessons from comparative cognition. *Biol Rev.* 96:162–78. doi: 10.1111/brv.12651
- [2] Shomrat, T., Turchetti-Maia, A. L., Stern-Mentch, N., Basil, J. A., and Hochner, B. 2015. The vertical lobe of cephalopods: an attractive brain structure for understanding the evolution of advanced learning and memory systems. *J. Comp. Physiol. A Neuroethol. Sens. Neural Behav. Physiol.* 201:947–56. doi: 10.1007/s00359-015-1023-6

[3] Shomrat, T., Graindorge, N., Bellanger, C., Fiorito, G., Loewenstein, Y., and Hochner, B. 2011. Alternative sites of synaptic plasticity in two homologous “fan-out fan-in” learning and memory networks. *Curr. Biol.* 21:1773–82. doi: 10.1016/j.cub.2011.09.011

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.2021.752743 ; Shomrat T and Neshar N (2021) The Octopus: a unique animal for studying the brain. *Front. Young Minds.* 9:752743).

TRADUCTION : Nicole Pasteur, Association Jeunes Francophones et la Science

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

MENTOR SCIENTIFIQUE : Charlotte André, Catherine Braun-Breton & Mathieu Sicard, Association Jeunes Francophones et la Science

JEUNES EXAMINATEURS :

Ces jeunes examinateurs et examinatrice sont tous élèves au Collège International Eridan à Montpellier. C'est dans ce cadre qu'ils ont endossé leur rôle de jeunes éditeurs.

NINA, 12 ANS

Je m'appelle Nina et suis en classe de 5^{ème}. J'aime faire beaucoup de choses : lire, dessiner, voyager et faire du sport. J'adore la musique ! Je viens de faire ma première critique d'article et j'ai bien aimé.

AYOUB, 12 ANS

Je suis passionné par le domaine aéronautique. Mon rêve est de devenir pilote d'avion. J'aime beaucoup le sport et plus précisément le foot. Je vis dans le sud de la France avec mes parents. J'aime jouer aux jeux vidéo. J'adore le domaine de la technologie.

CHARLES, 12 ANS

Je suis passionné par les jeux vidéo. J'adore travailler dans l'informatique. J'aime voyager et découvrir de nouvelles cultures et lire des livres sur la technologie.

KELVIN, 12 ANS

Je suis étudiant en classe de 6^{ème}. J'aime les chats, les voitures, les échecs, les jeux vidéo, les casses têtes, et le basket. Je joue du piano et j'aime beaucoup voyager. La lecture de cet article a été très enrichissante et j'ai appris plusieurs choses importantes.

TRISTAN, 12 ANS

Je suis passionné par les jeux vidéo et j'adore voyager dans le monde. Je passe des heures à expérimenter dans l'art et j'aime le cinéma. Mon sport préféré est le foot, je fais beaucoup de sport.

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 6 août 2021 ; ACCEPTÉ le 28 octobre 2021.

PUBLIÉ EN LIGNE le 23 novembre 2021.



ÉDITEUR : Idan Segev

MENTOR SCIENTIFIQUE : Idan Segev

CITATION : Shomrat T and Neshar N (2021) The Octopus: a unique animal for studying the brain. *Front. Young Minds*. 9:752743. doi: 10.3389/frym.2021.752743

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 © 2021 Shomrat and Neshar

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

AVIV, 15 ANS

Je m'appelle Aviv, j'aime faire beaucoup de choses : jouer du piano (j'ai participé à des concours internationaux) et participer à des débats (je parle devant un public de divers sujets). J'aime aussi jouer au basket-ball, voyager et jouer au ping-pong.

ISRAEL ARTS AND SCIENCE ACADEMY, 14–15 ANS

L'Académie des Arts et des Sciences d'Israël est un lieu pour les élèves curieux qui aiment apprendre. En 9^e année, dans le cadre des cours facultatifs, nous lisons des articles scientifiques que nous avons choisis. Le cours était dirigé par Anat Maoz, la directrice de notre école secondaire, qui est titulaire d'une maîtrise en biologie marine.

AUTEURS

TAL SHOMRAT

Je suis chercheur à la Faculté des sciences de la mer du Centre universitaire Ruppin. Dans un laboratoire situé sur la côte de la mer Méditerranée, j'éleve des poulpes, des seiches et des vers plats appelés planaires. En utilisant des tests comportementaux et en observant l'activité cérébrale de ces trois animaux, j'essaie de comprendre les bases du comportement complexe, de l'apprentissage et de la mémoire. Je plonge depuis mon plus jeune âge et j'ai fait connaissance avec les poulpes dans mon enfance, bien avant de savoir qu'un jour je serais scientifique et que j'étudierais ces merveilleuses créatures. [*tal.shomrat@mail.huji.ac.il](mailto:tal.shomrat@mail.huji.ac.il)

NIR NESHER

J'ai grandi dans le kibboutz Beit Zera. Quand j'étais plus jeune, je passais la plupart de mon temps dans la nature et à faire des travaux agricoles. Après l'armée, j'ai voyagé dans le monde entier pendant près de dix ans, ce qui a éveillé mon vif intérêt pour les sujets liés aux



sciences marines et à la Terre. À mon retour, j'ai étudié les sciences de la mer. Aujourd'hui, je suis titulaire d'un doctorat dans ce domaine et je suis maître de conférences à la Faculté des sciences de la mer du Centre universitaire Ruppin. Dans notre laboratoire, le Dr Shomrat et moi-même étudions le poulpe, l'un des animaux les plus intéressants de la nature. Nous nous concentrons sur le comportement, la mémoire, l'apprentissage et le système de contrôle moteur unique qui s'est développé chez cette créature flexible aux bras multiples.