

## COMMENT LE POULPE CONTRÔLE-T-IL EFFICACEMENT SON CORPS À PLUSIEURS BRAS FLEXIBLES ?

Nir Neshet \* et Tal Shomrat<sup>2</sup>

Faculté des Sciences de la Mer, Centre Universitaire Ruppin, Mikhmoret, Israël

### CAPACITÉS MOTRICES.

Actions qui impliquent le mouvement des muscles du corps. Un mouvement habile peut être défini comme un mouvement qui combine quatre éléments différents : la force, la vitesse, la précision et l'intention.

**REPTATION.** Action de ramper.

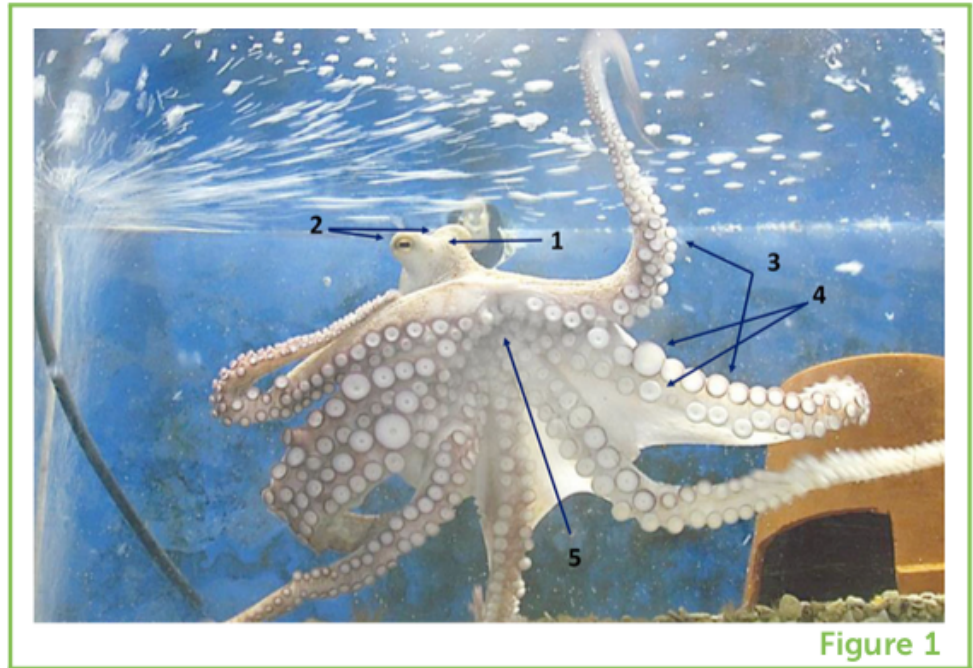
**SIPHON.** Structure en forme de tuyau ou d'entonnoir utilisée par certains animaux marins pour respirer. Le poulpe utilise un siphon pour faire gicler de l'eau, nettoyer son environnement et se déplacer.

Les huit bras flexibles du corps d'un poulpe lui permettent d'effectuer un large éventail d'actions. Le poulpe utilise ses bras pour marcher, ramper et nager. Il utilise différents objets, tels que des coques vides de noix de coco et des coquillages, pour se faire des abris. Il a aussi la capacité étonnante de changer la couleur de sa peau et la texture de son corps, ce qui lui permet de se camoufler dans l'environnement. Avec son corps souple et flexible, il peut prendre un nombre presque infini de postures. Comment le poulpe contrôle-t-il et gère-t-il ses mouvements. Dans cet article, nous verrons comment le système nerveux du poulpe lui permet de maîtriser son corps si particulier.

### LE POULPE, DES POSSIBILITÉS QUASI INFINIES DE MOUVEMENT

Le poulpe est un animal prédateur qui vit dans des cavités et des interstices entre les rochers. Il a des comportements complexes ; il est extrêmement intelligent et a de grandes **capacités motrices**. Le poulpe réalise des mouvements complexes, tels que la marche, la **reptation** ou l'escalade. Il nage à l'aide de ses bras. Pour s'éloigner des zones dangereuses, il projette un puissant jet d'eau, parfois mélangé à de l'encre, avec son **siphon**. L'encre peut troubler la vision de ses prédateurs et les effrayer. Le poulpe utilise des objets tels que des coques vides de noix de coco et des coquillages pour construire des abris. Il a aussi la merveilleuse capacité de changer la couleur de sa

peau et la texture de son corps, ce qui lui permet de se camoufler dans son environnement.



**Figure 1.** Le poulpe *Octopus vulgaris*. (1) Emplacement du cerveau, (2) des yeux, (3) des bras, (4) des ventouses et (5) de la bouche, située à l'endroit où les bras convergent vers le corps. Remarque la grande flexibilité et les différentes positions des bras.

Le corps du poulpe est essentiellement constitué de tissus souples et élastiques. Ses huit bras sont flexibles et chacun possède environ 300 **ventouses** ainsi que des millions de récepteurs sensoriels, principalement sur les bords des ventouses, qui lui permettent de détecter la texture et le goût de ce qui l'entoure (**Figure 1**). Ses bras flexibles munis de ventouses lui permettent d'attraper et d'examiner efficacement n'importe quel objet dans son environnement. Le poulpe utilise ses bras pour attraper la nourriture et la porter à sa bouche, pour ouvrir des coquillages comme des palourdes, pour attraper des animaux qui se cachent parmi les pierres ou sous les coraux.

**Vidéo 1:** *Octopus vulgaris* résout un problème inédit. Il dévisse le couvercle d'un bocal qui contient un crabe.

En laboratoire, le poulpe parvient à l'aide de ses bras à soulever le lourd couvercle de son aquarium et à s'échapper, à ouvrir le couvercle d'un bocal pour en extraire un crabe (**vidéo 1**) ou à s'introduire dans des labyrinthes courbes pour y prendre un morceau de nourriture. La variété d'actions complexes que le poulpe effectue à l'aide de ses bras nécessite un système nerveux de contrôle moteur bien développé. Le rôle du **système de contrôle moteur** est d'initier, de diriger et de doser les mouvements volontaires. Afin d'effectuer efficacement les mouvements appropriés aux objectifs à atteindre (capture d'une proie, introduction de nourriture dans la bouche, mouvements, etc.), le

**VENTOUSE.** Structure d'attache sur les bras du poulpe, qui aide l'animal à saisir des objets et à effectuer d'autres actions. Un poulpe peut posséder plus de 2 000 ventouses.

**SYSTÈME DE CONTRÔLE MOTEUR.** Partie du système nerveux qui contrôle les fonctions motrices (c'est-à-dire le mouvement).

système de contrôle moteur d'un poulpe doit traiter une énorme quantité d'informations sensorielles provenant de centaines de millions de récepteurs sensoriels sur son corps — et il doit apprendre à partir de toutes ces informations et se souvenir de ses expériences.

## COMMENT LES MOUVEMENTS DU CORPS SONT-ILS CONTRÔLÉS CHEZ LES HUMAINS ?

Contrôler un corps doté de huit bras flexibles est un grand défi pour un système de contrôle moteur. Les squelettes rigides et osseux des humains et de nombreux autres animaux limitent le nombre de mouvements possibles et le nombre de positions que peut prendre leur corps, ce qui facilite grandement le contrôle de la motricité. Prenons l'exemple du membre supérieur humain. Nous avons un bras et un avant-bras, qui contiennent tous deux des os et ne peuvent donc pas vraiment changer de forme. Entre les os du bras et de l'avant-bras, il y a une articulation : le coude. L'articulation du coude permet à l'avant-bras de bouger en un seul point par rapport au bras. Ce mouvement est assez limité : si l'épaule ne bouge pas, l'avant-bras ne peut bouger que vers le haut ou vers le bas. Même si l'on considère les articulations plus complexes des doigts de la main, le nombre de postures différentes que nous pouvons créer avec nos mains est très faible par rapport au nombre de postures différentes qu'un poulpe peut créer avec ses bras totalement flexibles — et il en a huit !

La flexibilité du poulpe s'explique par l'absence de squelette rigide dans ses bras, ce qui signifie que chaque segment de l'ensemble d'un bras peut se plier, se tordre et même changer de longueur et d'épaisseur. Par conséquent, le nombre de postures des bras et de positions du corps que le système de contrôle moteur doit suivre est presque infini. Le nombre limité de postures du corps humain permet au cerveau de contrôler et de surveiller directement la position de chaque partie du corps à chaque instant. C'est pourquoi nous pouvons effectuer de nombreuses actions sans voir notre corps, comme frapper des mains dans notre dos : le cerveau sait simplement où se trouvent les membres sans les voir, ce que l'on appelle la **sensation proprioceptive**. Contrôler en permanence la position de toutes les parties de son corps n'est pas possible pour un poulpe.

## COMMENT LE POULPE CONTRÔLE-T-IL SON CORPS ?

Le poulpe possède un système nerveux relativement important, contenant environ un demi-milliard de cellules nerveuses (comme le système nerveux d'un lapin). Ce système comporte trois centres principaux : un cerveau central, deux **lobes optiques** qui traitent les informations provenant des yeux, et le **système nerveux périphérique** des bras ; ce dernier contient les deux tiers de toutes les cellules nerveuses du corps d'un poulpe. Un nombre relativement faible de cellules nerveuses relie ces trois centres. Cette structure du système

### SENSATION

**PROPRIOCEPTIVE.** Capacité du cerveau à percevoir la position des différentes parties du corps, même lorsque l'animal ne les voit pas.

**LOBES OPTIQUES.** Structure contenant un système de codage de l'information visuelle, de stockage de son enregistrement et de son décodage pour produire des réponses motrices particulières [1].

### SYSTÈME NERVEUX PÉRIPHÉRIQUE.

Partie du système nerveux située en dehors du système nerveux central (chez l'humain, en dehors du cerveau et de la moelle épinière).

### PROGRAMME MOTEUR.

Série de commandes nerveuses aboutissant à une action spécifique, comme le raidissement progressif des muscles du bras dans le "mouvement d'extension" (étirement du bras vers un objet spécifique, généralement pour l'attraper).

### MOUVEMENT STÉRÉOTYPÉ

Mouvement réalisé à chaque fois de la même manière.

nerveux nous indique que la plupart des mouvements des bras sont contrôlés au niveau des bras. Nous pensons que le cerveau sert surtout à activer les **programmes moteurs** déjà présents dans les bras [2].

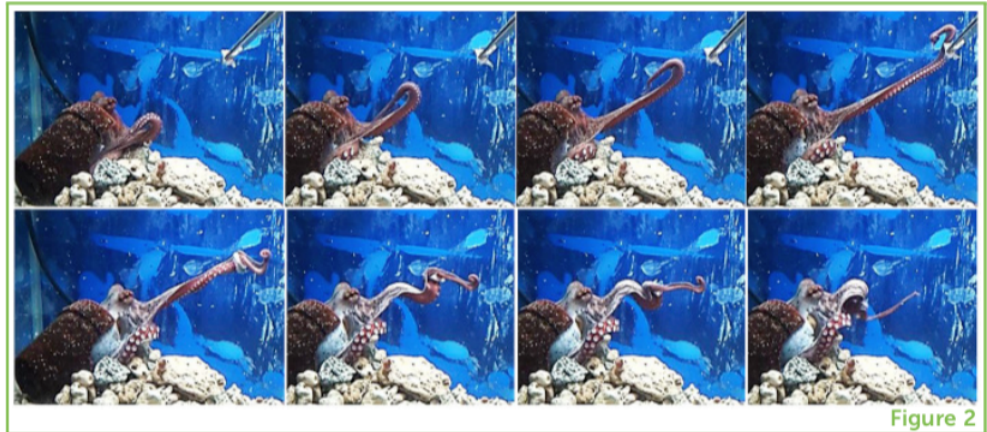


Figure 2

**Figure 2.** Mouvements typiques des bras d'*Octopus vulgaris*. Dans le panneau supérieur, de gauche à droite, tu peux voir plusieurs étapes de l'extension du bras, lorsque le poulpe le tend pour attraper un objet [3]. Dans le panneau du bas, tu peux voir les étapes d'un mouvement typique que fait le poulpe pour ramener un objet vers son corps [4].

**Vidéo 2:** *Octopus vulgaris* fait un mouvement d'extension en projetant son bras courbé vers un morceau de poisson. Ensuite, il apporte ce morceau de poisson à sa bouche en "repliant" son bras (un peu comme le ferait un bras humain) par des mouvements précis.

Si le bras d'un poulpe est amputé, ce bras séparé du poulpe continue à vivre pendant quelques heures : il se retire en cas de stimulus douloureux (comme un pincement) et effectue des **mouvements stéréotypés** comme l'extension (Figure 2 et vidéo 2). À l'aide des ventouses, le bras amputé peut transporter de la nourriture ou un objet vers sa base comme s'il l'amenait vers la bouche, ou loin de sa base comme s'il l'éloignait de la bouche. Le bras amputé peut même faire varier la force avec laquelle il doit s'accrocher à différents objets. Par exemple, il attrapera un poisson frais avec plus de force qu'un crabe cuit [5]. Cela signifie que de nombreuses actions de routine, comme l'extension et la contraction du bras, sont contrôlées au niveau du bras lui-même, ce qui réduit considérablement le travail du cerveau. Ce mécanisme est un avantage évident pour un animal comme le poulpe, car sa structure corporelle flexible et les huit bras représenteraient une charge de travail très lourde pour son cerveau.

### LES PROGRAMMES MOTEURS PRÉSENTS DANS LES BRAS DU POULPE FONT L'ESSENTIEL DU TRAVAIL

Une seule commande venant du cerveau déclenche les processus de contraction musculaire qui progressent le long du bras et le font se raidir et s'étirer de la base vers l'extrémité (pour attraper de la nourriture, par exemple, voir la Figure 2). La recherche a montré que le cerveau n'a besoin de contrôler que la vitesse d'extension et l'angle

de la base du bras par rapport au corps, cet angle déterminant la direction du mouvement [3]. Les autres commandes sont prises en charge par le programme moteur intégré dans le bras, ce qui réduit la charge de calcul du cerveau.

Un mouvement d'extension réussi (c'est-à-dire qui a permis la capture d'une proie) est suivi d'un mouvement stéréotypé pour amener la proie à la bouche. Il est important de noter que chaque point le long du bras peut être le point où la proie a été prise. Une recherche menée par Sumbre et al [4] a montré (Figure 2 et vidéo 2) que le poulpe utilise généralement un mouvement stéréotypé qui divise en trois segments la section du bras entre la base et la proie : le segment proximal (proche de la base du bras), le segment médian (au milieu) et segment distal (éloigné de la base). Le segment distal attrape l'objet et sert de "main" tandis que, dans les segments proximal et médian, les muscles sont contractés pour créer deux segments rigides de longueur similaire entre lesquels une zone flexible simule une articulation. Cette organisation est similaire à celle d'un bras humain, divisé par des articulations (coude et poignet). Pour porter la nourriture à sa bouche, le poulpe plie la zone flexible médiane (comme le fait notre coude). Ce mouvement stéréotypé ne combine que trois paramètres contrôlables.

Il est important de noter que, contrairement au bras humain, le bras du poulpe peut modifier l'endroit de la division et l'emplacement des "articulations" à chaque nouveau mouvement. C'est ainsi que le poulpe "fait d'une pierre deux coups" : il diminue quelques facteurs de calcul, mais conserve la flexibilité et l'efficacité qui lui permettent d'attraper un objet en chaque point du bras, et pas seulement avec la main comme chez l'humain.

### POURQUOI LE POULPE NE S'ATTRAPE-T-IL PAS LUI-MÊME ?

Comme nous l'avons mentionné, chaque bras d'un poulpe est équipé de 300 ventouses sur toute sa longueur. Les ventouses ont tendance à s'accrocher à presque tout ce qu'elles touchent. Pourquoi ces bras flexibles ne touchent-ils pas d'autres parties du corps du poulpe et ne les attrapent-ils pas ? Ce problème est d'autant plus surprenant que les poulpes semblent ne pas avoir de sensation proprioceptive, ce qui signifie qu'ils ne sont pas conscients de la position de leurs bras lorsqu'ils ne les voient pas.

En laboratoire, nous avons constaté que les ventouses d'un bras amputé de poulpe n'attrapent jamais un objet recouvert de peau de poulpe. Nous avons même trouvé dans la peau du poulpe une substance qui inhibe l'action d'attachement des ventouses. Cette inhibition semble être contrôlée au niveau de chaque ventouse, puisque des ventouses adjacentes se comportent différemment si une seule d'entre elles touche la peau d'un poulpe. Le cerveau peut annuler ce mécanisme dans des cas spéciaux : lors d'un combat avec

un autre poulpe ou pendant l'accouplement. Le contrôle de ce mécanisme au niveau des ventouses est une autre stratégie efficace pour réduire le travail du cerveau et permettre au poulpe de contrôler ses bras flexibles et "collants", même lorsqu'il ne les voit pas.

## EN RÉSUMÉ

La structure corporelle flexible et à bras multiples du poulpe lui permet d'avoir des comportements variés et complexes, mais représente un défi de contrôle moteur pour son système nerveux. Ce défi est relevé par un système de contrôle moteur unique. Le contrôle moteur ne s'effectue pas seulement au niveau du cerveau, mais aussi au niveau de chaque bras et même au niveau de chaque ventouse. Cela simplifie considérablement le travail du cerveau et permet aux poulpes d'être extrêmement flexibles et de bouger d'une manière qui les aide à résoudre des problèmes complexes. En tant que chercheurs sur les poulpes, nous pensons que d'autres mécanismes uniques et fascinants attendent encore d'être découverts !

## RÉFÉRENCES

- [1] Young, J. Z. 1962. The optic lobes of *Octopus vulgaris*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 245:19–58. doi: 10.1098/rstb.1962.0005
- [2] Levy, G., and Hochner, B. 2017. Embodied organization of *Octopus vulgaris* morphology, vision, and locomotion. *Front. Physiol.* 8:164. doi: 10.3389/fphys.2017.00164
- [3] Gutfreund, Y., Flash, T., Yarom, Y., Fiorito, G., Segev, I., and Hochner, B. 1996. Organization of *Octopus* arm movements: a model system for studying the control of flexible arms. *J. Neurosci.* 16:7297–307. doi: 10.1523/JNEUROSCI.16-22-07297.1996
- [4] Sumbre, G., Fiorito, G., Flash, T., and Hochner, B. 2006. Octopuses use a human-like strategy to control precise point-to-point arm movements. *Curr. Biol.* 16:767–72. doi: 10.1016/j.cub.2006.02.069
- [5] Neshet, N., Levy, G., Grasso, F. W., and Hochner, B. 2014. Self-recognition mechanism between skin and suckers prevents *Octopus* arms from interfering with each other. *Curr. Biol.* 24:1271–5. doi: 10.1016/j.cub.2014.04.024

## 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.2021.752728 ; Neshet N and Shomrat T (2021) How Does the *Octopus* efficiently control its flexible, multi-armed body?. *Front. Young Minds.* 9:752728).

**TRADUCTION** : Nicole Pasteur, Association Jeunes Francophones et la Science

**ÉDITION :** Sylvie Hurtrez-Boussès & Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

**MENTORS SCIENTIFIQUES :** Charlotte André et Ula Hibner

### **JEUNE EXAMINATEUR :**

#### **ZAKARY, 14 ANS**

Je m'appelle Zakary et j'ai 14 ans. J'aime faire du sport, les jeux vidéo et traîner avec mes amis. Je suis venu dans un laboratoire de recherche pour faire mon stage de 3<sup>ème</sup>.

### **ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)**

**SOUMIS** le 3 août 2021 ; **ACCEPTÉ** le 8 octobre 2021.

**PUBLIÉ EN LIGNE** le 3 novembre 2021.

**ÉDITEUR :** Idan Segev

**MENTOR SCIENTIFIQUE :** Idan Segev

**CITATION :** Neshet N and Shomrat T (2021) How Does the Octopus efficiently control its flexible, multi-armed body?. *Front. Young Minds*. 9:752728. doi: 10.3389/frym.2021.752728

### **DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT**

Les auteurs déclarent que la recherche a été menée en l'absence de toute relation commerciale ou financière qui pourrait être interprétée comme un conflit d'intérêts potentiel.

### **DROITS D'AUTEURS**

Copyright © 2021 Neshet and Shomrat

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**

#### **PROGRAMME D'EXCELLENCE, BRENNER HIGH SCHOOL, 13-14 ANS**

Les élèves du programme d'excellence (7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> années) du lycée Brenner, Givat Brenner, des écoles "Bet Or" et "Bereshit".

### **AUTEURS**

#### **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 de 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 marines du Rupin Academic Center. Dans notre laboratoire, le Dr Shomrat et moi-même étudions le poulpe, 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 aux bras multiples flexibles.  
\*nir.nesher@mail.huji.ac.il

### **TAL SHOMRAT**

Je suis chercheur à la Faculté des sciences marines du Rupin Academic Center. 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, 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 docteur et que j'étudierais ces merveilleuses créatures.