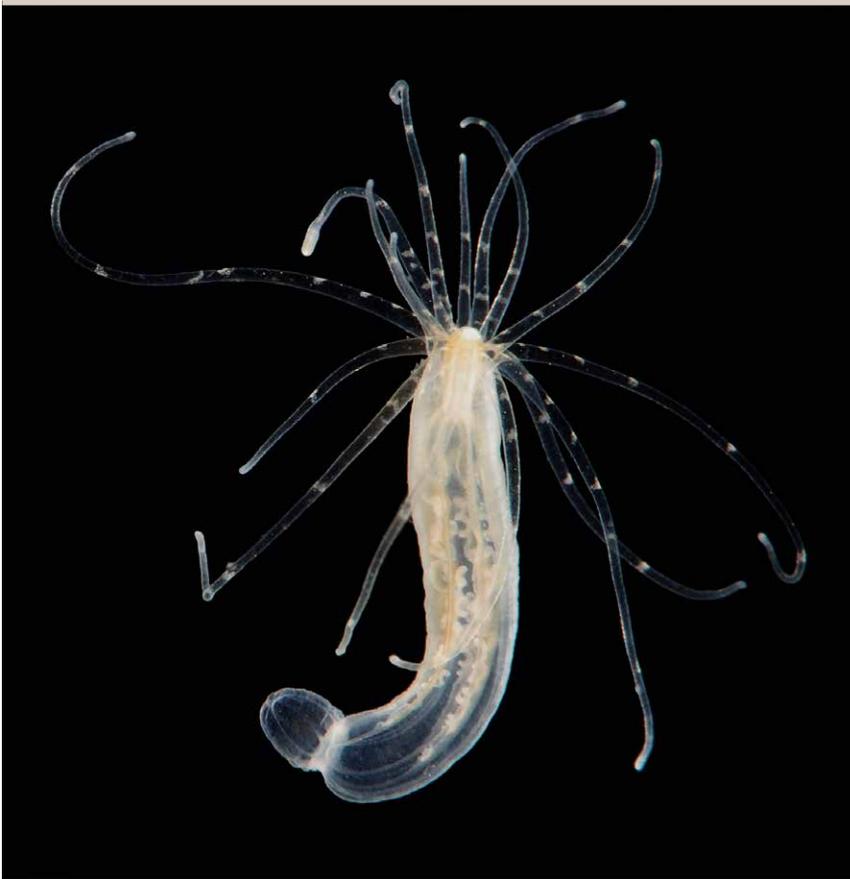


Mémoire d'anémone



CURIOSITÉS MARINES

Denis Allemand,
directeur scientifique
du Centre scientifique de Monaco

L'étoile de mer *Nematostella vectensis*,
star des labos (cliché R. Aguilar/Smithsonian
Environmental Research Center/CC).

Faudra-t-il bientôt abandonner l'expression "mémoire d'éléphant" au profit de "mémoire d'anémone"? Deux études publiées ces derniers mois montrent que les capacités d'apprentissage ne sont pas réservées aux animaux ayant un cerveau. Ces travaux ont en effet porté

sur deux cnidaires, un anthozoaire fixé, l'anémone *Nematostella vectensis*, et la cuboméduse, *Tripedalia cystophora*, qui vit dans les mangroves des Caraïbes (voir encadré p. 90). Ces travaux jettent un pavé dans la mare de ceux qui pensaient que le processus par lequel un organisme acquiert la perception des événements et des objets de son environnement était lié à l'existence d'un système nerveux complexe et centralisé. Mais avant de s'attarder sur ces travaux, il est nécessaire de rappeler que c'est l'étude de la biodiversité marine qui a permis de mieux comprendre les processus de mémorisation.

Un Nobel pour la mémoire

La biodiversité marine rend énormément de services à l'humanité: elle est source de médicaments, source d'outils pour les médecins qui utilisent, entre autres, des colles biologiques à base de byssus de moule, et elle est aussi source de "modèles biologiques". Claude Bernard (1813-1878), le "père" de la médecine expérimentale moderne écrivait, en 1865, dans son *Introduction à l'étude de la Médecine expérimentale*: « il y a des expériences qui seraient impossibles chez certaines espèces animales, et le choix intelligent d'un animal présentant une disposition anatomique heureuse est souvent la condition essentielle du succès d'une expérience et de la solution d'un problème physiologique très important ». François Jacob (1920-2013), prix Nobel de médecine écrivait à



Eric Kandel, prix Nobel de médecine ou physiologie en 2000 pour son étude des mécanismes moléculaires de la mémoire chez l'aplysie (cliché Danielggpeters/CC).

peu de chose près la même chose, 131 ans plus tard, dans *La Souris, la Mouche et l'Homme*, paru en 1996: « pour s'attaquer à un problème important, pour avoir une chance raisonnable de lui trouver une solution, le biologiste doit s'adresser un matériel convenable ». Ainsi, le modèle biologique est un organisme dont l'anatomie ou la physiologie particulière permettra de répondre à une question biologique. Du fait de sa grande diversité biologique, l'océan a fourni de très nombreux modèles à la science. Parmi ceux-ci, les mollusques ont été à l'origine de deux prix Nobel de physiologie ou médecine: d'abord celui d'Alan Hodgkin et d'Andrew Huxley, en 1963, dont les travaux se sont basés sur l'étude des fibres nerveuses (axone géant) du calmar et ont permis de comprendre la conduction nerveuse; ensuite, celui d'Eric Kandel, en 2000, sur l'étude de l'aplysie*.

Attardons-nous sur ce dernier: médecin psychiatre et neurobiologiste, Eric Kandel (né en 1929) s'est intéressé à l'aplysie, encore appelée limace de mer ou lièvre de mer, après avoir écouté la conférence du Dr Angélique Arvanitaki, neurobiologiste française ayant travaillé au Centre scientifique de Monaco. Il

comprend alors les services que peut lui rendre ce petit mollusque gastéropode dont le cerveau ne possède "que" 20000 cellules nerveuses (le cerveau humain en compte quelque 100 milliards). Grâce au lièvre de mer, Eric Kandel va comprendre comment se forment les souvenirs à court et à long termes au niveau moléculaire, et en particulier le rôle de la protéine CREB1, dans la formation de la mémoire à long terme. Il a ainsi établi les bases des mécanismes moléculaires et cellulaires de l'apprentissage et de la mémorisation, ce qui lui a valu le prix Nobel.

Deux cnidaires très différents

Curieusement, alors que les études de neurobiologie ont négligé jusqu'à présent les cnidaires, les deux études indépendantes publiées en 2023 l'ont été dans deux prestigieuses revues: les *Proceedings* de l'Académie des

sciences américaine, en mars 2023, par un groupe hispano-suisse piloté par Simon Sprecher, de l'université de Fribourg, en Suisse; et la revue *Current Biology*, en octobre 2023, par Jan Bielecki, de l'université de Kiel, en Allemagne, et des chercheurs danois de l'université de Copenhague. La première étude utilise l'anémone *Nematostella vectensis*, une petite anémone originaire de la côte est des USA qui est devenue ces dernières années un véritable modèle de laboratoire dans les domaines de la biologie du développement, de la reproduction, des mécanismes de régénération, de longévité, etc. La seconde étude concerne un animal très peu étudié mais connu pour son venin mortel, une méduse-boîte, ou cuboméduse (classe des Cubozoa). Ces méduses présentent une complexité comportementale extraordinaire – même dans leur comportement sexuel qui, chose rare chez les cnidaires, se fait par accouplement



L'aplysie de Californie, *Aplysia californica*, autre star des labos (cliché C. King/NOAA).

* Aplysie (ou lièvre de mer): gastéropode marin sans coquille, du genre *Aplysia* (voir ci-contre).

à fécondation interne. Cette complexité est due en particulier au fait qu'elles possèdent des yeux à cristallin et rétine formateurs d'images rassemblés en quatre unités sensorielles appelées rhopalies. Elles peuvent naviguer à vue et ainsi éviter les obstacles. Cette capacité visuelle offre ainsi un modèle unique pour comprendre comment fonctionne l'apprentissage associatif*.

Une anémone de mer dressée "à la Pavlov"

Les deux études utilisent des protocoles de "conditionnement classique", mais différents l'un de l'autre. La première, portant sur l'anémone, utilise un protocole similaire à celui développé avec des chiens par le

médecin et physiologiste russe, Ivan Pavlov (1849-1936). Dans le cas de l'anémone de mer, les chercheurs ont associé un stimulus conditionnel*, la lumière, à un stimulus inconditionnel*, un choc électrique, celui-ci provoquant la contraction de l'anémone (réponse inconditionnelle). Malgré l'absence d'yeux, *Nematostella* est en effet capable de détecter la lumière (comme de nombreux coraux constructeurs de récifs, *Nematostella* utilise en effet la lumière pour contrôler son comportement de reproduction). L'hypothèse de travail des chercheurs était que si les animaux apprenaient l'association entre les deux stimulus, ils présenteraient une réponse conditionnée (contraction du corps) lorsqu'ils seraient stimulés par la lumière seule après

conditionnement. Plusieurs expériences de conditionnement ont ainsi été mises en place: lumière seule, choc électrique seul, lumière et choc électrique simultanés ou lumière puis choc électrique après une minute. Dix minutes après cette première phase de conditionnement, des tests de contraction de l'anémone en réponse à la lumière étaient effectués. Les résultats furent très nets: les stimulus appliqués seuls ne provoquaient aucune réponse conditionnée significative (max. 10 % de contractions) alors que chez les animaux ayant subi les deux stimulus simultanément la lumière seule provoquait la contraction à 72 %. Résultat intéressant: lorsque le conditionnement était réalisé avec les stimulus séparés par une minute, un conditionnement était visible puisque 30 % des animaux se contractaient à la seule lumière. Ces résultats suggèrent que les anémones de mer peuvent associer deux événements simultanés ou proches dans le temps (mémoires associatives) dans un système de conditionnement classique. En effet, les animaux qui ont reçu simultanément ou à peu de distance de la lumière et un choc électrique lors de l'entraînement, ont adapté leur comportement et ont réagi au stimulus conditionnel (la lumière) seul après conditionnement.

Une méduse qui apprend à éviter les obstacles

Dans le cas de la cuboméduse *Tripedalia cystophora*, les auteurs ont exploité la capacité visuelle de

Un système nerveux, mais pas de cerveau

Les Cnidaria constituent un vaste embranchement rassemblant environ 10 000 espèces, parmi lesquelles on retrouve les anémones de mer, les méduses, les coraux et les gorgones. On distingue généralement au sein des Cnidaria deux grandes classes principales: les Anthozoa (anciennement Coralliaires ou Actinozoaires), fixés à l'état adulte (coraux, gorgones, anémones de mer) et les Medusozoa, qui regroupent la plupart des méduses. Phylogénétiquement, les Cnidaria forment le groupe frère des animaux à symétrie bilatérale (Bilateria). Cette position phylogénétique fait aujourd'hui de ces organismes des sujets passionnants d'étude dans le domaine de l'évolution. Premiers "véritables animaux" (ou Eumetazoa, clade qui comprend tous les principaux groupes d'animaux, à l'exception des Éponges et des Cténophores), les cnidaires possèdent un système nerveux important constitué d'un réseau (plexus) où des neurones se concentrent sans jamais former de ganglions, et donc pas de cerveau.

* **Apprentissage associatif:** modification du comportement d'un animal qui apprend à associer deux stimulus entre eux, de manière à réagir aux deux de la même manière.

* **Stimulus conditionnel / inconditionnel:** un stimulus conditionnel ne provoque une réponse que lorsque l'animal a appris à y réagir. Un stimulus est inconditionnel quand il provoque une réponse innée (ou déjà apprise).

l'animal pour provoquer le conditionnement. Ils ont pour cela placé les méduses dans des bassins expérimentaux cylindriques, présentant sur leur paroi interne soit une alternance de rayures verticales sombres et blanches de 2 cm de large, soit une couleur uniformément grise. Les rayures sombres miment les racines des palétuviers entre lesquelles vivent normalement ces méduses. Les chercheurs ont mesuré la fréquence d'évitement des obstacles, c'est-à-dire du mur de l'aquarium, suite à la vision des bandes sombres. Ce protocole est adapté des méthodes de conditionnement basées sur l'apprentissage des effets de ses propres actions pour éviter un évènement désagréable (dans le cas présent le choc contre le mur) selon un protocole inspiré des travaux de Burrhus Frederic Skinner (1904-1990). Les auteurs ont observé que les méduses ont appris à associer les bandes noires à la présence du mur. Après quelques "chocs", elles ont appris à ajuster leur comportement, et donc leur trajectoire. Quand le mur était gris uniforme, il n'y avait pas d'évitement du mur. Ces résultats montrent donc que *T. cystophora* a appris à associer le stimulus aversif de la "collision" avec l'"obstacle". Ces deux expériences attestent clairement que les deux cnidaires utilisés dans ces expériences ont été capables d'associer deux évènements (choc électrique et lumière dans le cas de l'anémone de mer; choc mécanique et signal visuel dans le cas de la méduse) pour mettre en place un comportement adapté, signe



La cuboméduse *Tripedalia cystophora*
(cliché J. Bielecki *et al.*, 2014 – *PLoS ONE/CC*).

d'un apprentissage. Les résultats montrent que des processus neuro-naux complexes, tel que l'apprentissage par association, ne nécessitent pas la présence de ganglions ou d'un cerveau mais pourraient être une propriété fondamentale de tous les circuits neuronaux. Un résultat qui bouleverse quelque peu notre vision du fonctionnement du système nerveux et la "suprémie" des animaux à cerveau. Il nous permet de mieux comprendre l'origine et l'évolution de la cognition, les Cnidaria étant le groupe frère des Bilateria, dont nous faisons partie. On ne regardera plus les anémones de mer et les méduses de la même façon... ■

Retrouvez d'autres chroniques et de nombreuses informations sur www.centrescientifique.mc

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Amiel A. R. *et al.*, 2021** – "L'anémone de mer *Nematostella vectensis*. Un modèle émergent pour la recherche biomédicale: mécano-sensibilité, régénération et longévité", *Médecine/Sciences*, 37, p. 167-177 [Doi: 10.1051/medsci/2020282].
- **Bielecki J. *et al.*, 2023** – "Associative learning in the box jellyfish *Tripedalia cystophora*", *Current Biology*, 33(19), p. 4150-4159 [Doi: 10.1016/j.cub.2023.08.056].
- **Botton-Amiot G. *et al.*, 2023** – "Associate learning in the cnidarian *Nematostella vectensis*", *PNAS*, 120(13), e2220685120 [Doi: 10.1073/pnas.2220685120].
- **Cheng K., 2021** – "Learning in Cnidaria: A systematic review", *Learning & Behavior*, 49(2), p. 175-189 [Doi: 10.3758/s13420-020-00452-3].
- **Technau U. et Steele R. E., 2011** – "Evolutionary crossroads in developmental biology: Cnidaria", *Development*, 138(8), p. 1447-1458 [Doi: 10.1242/dev.048959].