

HOMO SAPIENS INFORMATICUS chronique de Gilles Dowek

Écrire et se repentir

Parce qu'elle rend très faciles les modifications, l'écriture au moyen d'un traitement de texte exige des savoir-faire différents de l'écriture à la main.



Quand, à une époque reculée du XX^e siècle, j'ai commencé à utiliser un logiciel de traitement de texte, j'ai appris que, pour écrire un mot en italique, il fallait d'abord changer de mode, en cliquant sur le bouton « italique », puis taper le mot en question et revenir ensuite au mode initial, en cliquant sur ce bouton à nouveau.

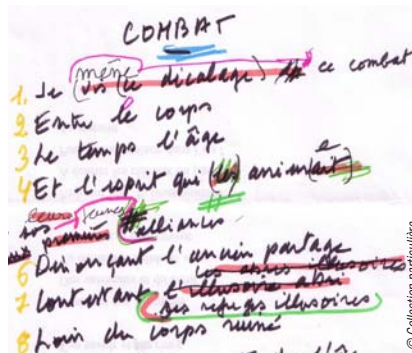
Je crois cependant que, par la suite, je n'ai jamais procédé ainsi : comme tout le monde, pour écrire un mot en italique, je l'écris d'abord en romain, je le sélectionne, puis je clique sur le bouton « italique » pour en changer la fonte. Cette possibilité de repentir, de modification *a posteriori*, distingue la peinture de la sculpture, la composition musicale de l'improvisation et l'écriture au traitement de texte de l'écriture à la main.

L'ancienne méthode – changer de mode –, qui existe encore dans la plupart des logiciels de traitement de texte, est un vestige de l'époque où le repentir était impossible, où pour écrire un mot en rouge plutôt qu'en noir, il fallait changer de stylo avant d'écrire ce mot, et non après.

L'écriture à la main était générative. Elle exigeait des savoir-faire permettant de produire un texte parfait dès le premier jet ou, au moins, de limiter le nombre de brouillons. Pour cela, le plus important était de savoir faire un plan, c'est-à-dire organiser assez précisément un texte qui n'avait encore aucune matérialité. Il fallait aussi faire coïncider la temporalité de l'écriture avec celle du texte ; par exemple, écrire d'abord

l'introduction parce qu'elle venait en premier. Enfin, il fallait une certaine habileté pour, par exemple, repérer les répétitions avant qu'elles ne se produisent et les éviter en choisissant un synonyme avant qu'il ne soit trop tard.

L'écriture au traitement de texte est générative et transformationnelle. Et elle demande des savoir-faire tout à fait différents.



LE MANUSCRIT du poème « Combat », d'Andrée Chedid. Sans ordinateur, modifier un texte est laborieux...

Plus que savoir construire un plan parfait d'emblée, il est utile de savoir restructurer un texte après que l'on a décidé d'en changer le plan. Si l'on décide par exemple de permuter deux parties, il faut souvent repenser les transitions et se mettre dans la peau d'un lecteur qui lit en premier ce que l'on a écrit en second. Si l'on décide de fusionner deux parties, finalement redondantes, il faut savoir retrouver les idées de chacune, leur donner une structure commune et réordonner le texte.

Le travail de la phrase est aussi modifié : il n'est plus nécessaire de savoir placer

d'emblée un adverbe, mais il faut percevoir quand il contrarie le rythme du texte et le déplacer. De même, il n'est plus nécessaire d'écrire directement dans le bon niveau de langue, mais il faut savoir modifier son langage *a posteriori* en remplaçant une locution familière par une autre plus soutenue, ou en transformant une proposition subordonnée en une phrase indépendante.

Plus intéressant, il faut savoir changer la perspective d'un texte. Alors que, afin de discuter une question spécifique, on était parti pour raconter une anecdote, on décide, le texte se développant, d'élargir son propos et de fondre cette anecdote dans une épopée. Il faut alors savoir reprendre son récit (ou son argumentation), pour le résumer et le mettre en relation avec le reste du propos.

En apprenant aux écoliers à rédiger, on devrait peut-être leur enseigner que, quand ils écrivent au traitement de texte, comme quand ils écrivent un programme, le plan du texte, son registre, sa perspective... n'ont pas besoin d'être décidés *a priori*, puis projetés sur la feuille comme sur le mur d'une caverne : ils émergent souvent d'un patient travail d'écriture et de repentir.

Cela rend l'écriture plus créative, car, comme disait Pablo Picasso, lui-même grand utilisateur du repentir : « Le tableau n'est pas pensé et fixé d'avance, pendant qu'on le fait il suit la mobilité de la pensée. » ■

Gilles DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES par Gérald Bronner



Les bonnes nouvelles sont ennuyeuses

Soumis à une rude concurrence, les médias traitent plutôt d'événements inhabituels, qui captent mieux notre attention.

O n peste souvent contre nos journaux : ils sont déprimants et n'annonceraient que de mauvaises nouvelles. Pourquoi ne parle-t-on que des trains qui arrivent en retard et jamais de ceux qui arrivent à l'heure ? Cette question classique qui se pose dans toute école de journalisme trouve facilement une réponse : un train à l'heure est un événement beaucoup plus banal qu'un train en retard.

Nous avons tous connu les deux situations et, avant d'accuser la presse de déverser sans cesse un tonneau de nouvelles angoissantes, nous devrions nous demander laquelle de ces situations nous avons évoquée le plus souvent avec nos amis. Il est évident que nous serons beaucoup plus enclins à parler de l'événement « Mon train est arrivé en retard » que de celui où il fut ponctuel, tout simplement parce que nous pouvons éventuellement capter l'attention de nos congénères avec le premier, mais certainement pas avec le second.

Nous le savons intuitivement, mais il se trouve que plusieurs expériences, par exemple celles menées en 2005 par Laurent Itti et Pierre Baldi, deux chercheurs californiens en neurosciences et en informatique, ont montré que les individus sont plus attentifs, capables de mieux mémoriser et ressentent plus d'émotion lorsqu'ils sont confrontés à des événements présentant un écart entre leurs anticipations et leurs perceptions.

En d'autres termes, plus un événement échappe à nos attentes, plus nous lui accordons de l'intérêt.

Cela n'est pas surprenant, mais rappelle que la condition de survie des médias, qui connaissent une concurrence de plus en plus forte, est de faire en sorte de capter du temps d'attention de notre cerveau. Ils peuvent donc y parvenir plus facilement avec des informations qui seront traitées en dehors des routines mentales de notre esprit. C'est pourquoi le conflit, la violence,

Le conflit, la violence, la surprise ou le danger représentent une plus-value cognitive sur un marché hautement compétitif.

la surprise ou le danger seront d'excellents produits médiatiques : ils représenteront une plus-value cognitive sur un marché hautement compétitif.

Cela peut d'ailleurs avoir des effets rétroactifs sur notre perception des choses. L'Américain Paul Slovic, un spécialiste de la perception des risques, a fait remarquer que l'on a tendance à croire que les morts par inondation sont dix fois plus nombreux qu'ils ne le sont en réalité. À l'inverse, nous pensons que ceux qui succombent à une maladie cardiovasculaire sont dix fois plus rares qu'on ne peut les dénombrer par les statistiques de santé publique.

Là encore, il est évident que les morts du premier genre donnent lieu à un traitement médiatique plus intense que ceux du second genre. Dans ce domaine, ce qui est rare est rendu socialement visible, alors que ce qui paraît plus banal est moins évoqué. La boussole de notre jugement peut ainsi aisément s'égarer.

Peut-être que tout cela ne vous paraît pas convaincant. Peut-être restez-vous persuadé qu'un média annonçant uniquement de bonnes nouvelles rencontrerait le succès foudroyant d'un produit qui ferait du bien aux gens. Je ne voudrais pas paraître catégorique, car s'il est bien quelque chose de surprenant et d'imprévisible, c'est le cerveau humain lorsqu'il est socialisé.

En fait, l'expérience a déjà été tentée. Le quotidien russe *City Reporter* a décidé de consacrer son édition en ligne, et ce pendant toute une journée, aux bonnes nouvelles, du genre « La construction du passage sous-terrain sera bien achevée pour la fête de la Victoire ». La journée parut longue aux lecteurs, semble-t-il, puisque près de 70 % d'entre eux désertèrent le site. L'expérience fit long feu. Dès le lendemain, le quotidien revint à une économie de l'attention plus prudente et à son cortège d'informations angoissantes. Il est d'ailleurs étonnant que cette information soit passée plutôt inaperçue... car c'est une assez mauvaise nouvelle. ■

Gérald BRONNER est professeur de sociologie à l'Université Paris-Diderot.



LA MARCHÉ DES SCIENCES

DÉCOUVERTES, INVENTIONS, AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE



AURÉLIE LUNEAU
CHAQUE JEUDI
14H - 15H

Écoute, réécoute, podcast
franceculture.fr



L'ère annoncée des méduses

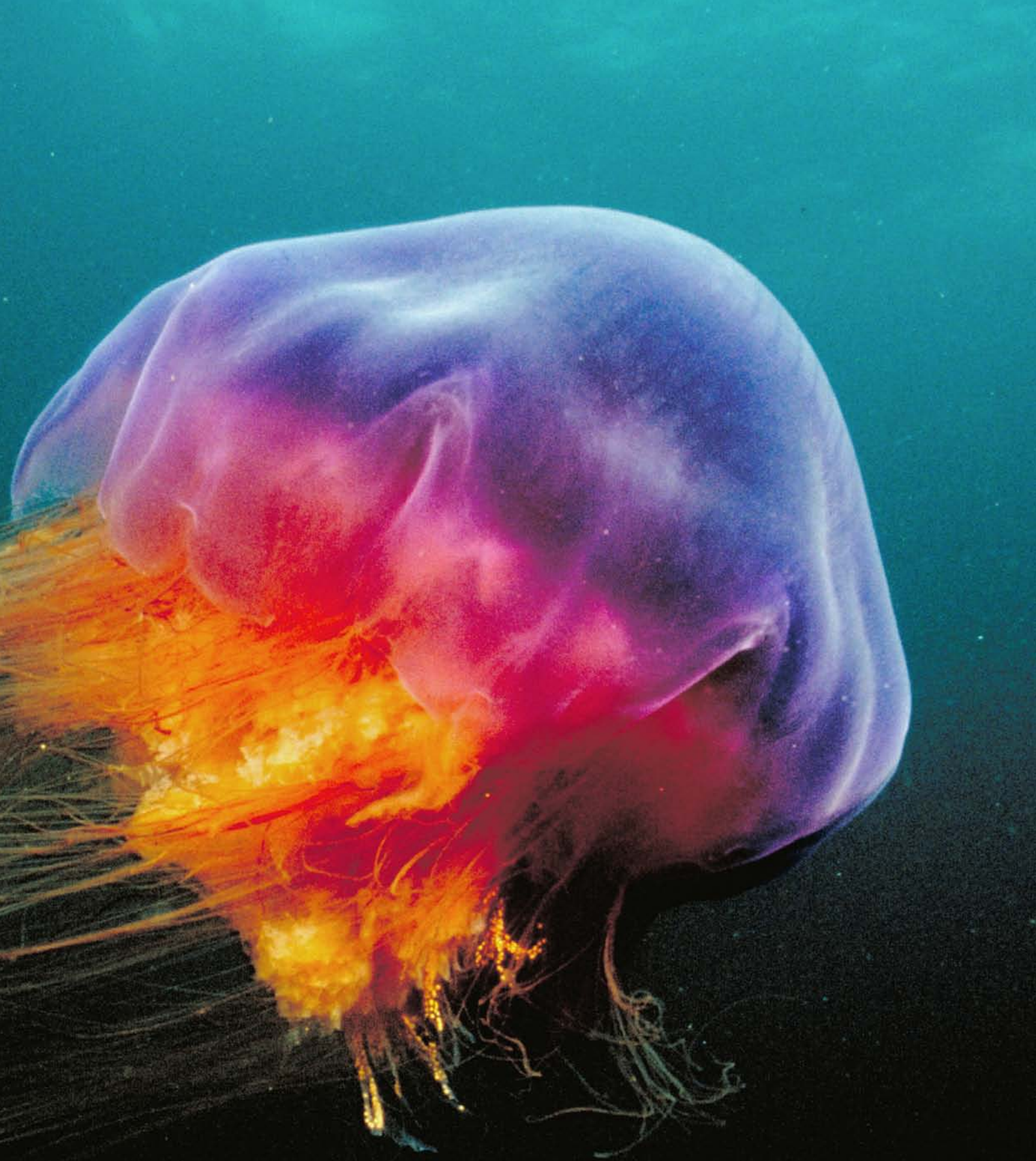
Corinne Bussi-Copin et Jacqueline Goy

Depuis quelques années, les méduses pullulent. Rien ne semble enrayer l'essor de ces animaux d'aspect pourtant si fragile et rudimentaire. Leur secret ? Une étonnante faculté d'adaptation... et le coup de pouce humain.

Personne ne l'a vu s'approcher. En quelques minutes, le banc de petits organismes gélatineux a colmaté les immenses filtres du circuit de refroidissement d'un réacteur de la centrale nucléaire de Gravelines, près de Dunkerque, provoquant son arrêt immédiat. Inutile de calculer le coût de revient d'une telle invasion, ni d'épiloguer sur le ridicule de la situation : la plus haute technologie humaine à la merci d'une boule de gélatine. C'était, il y a vingt ans, la première manifestation spectaculaire de la gélification des océans. Connue sous le doux nom de groseille des mers, le coupable, un animal marin carnivore et translucide de quelques centimètres, prolifère tant par endroits que la mer ressemble à... une gelée de groseilles décolorée. Mais les plus redoutés des contributeurs à la gélification des océans sont ses cousines, les méduses.

En quelques années, par leur pullulation, les méduses se sont imposées non pas comme sujet d'étude pour les chercheurs, mais comme une grave préoccupation des professionnels de la mer à cause des nuisances qu'elles provoquent. Ainsi, c'est un peu par la force des choses que les scientifiques se sont penchés sur le sujet, mais depuis, leur cri d'alarme est unanime : la conquête des océans par les méduses ne fait que commencer, et l'homme est leur plus précieux allié...

Les méduses sont des animaux très simples constitués de deux feuillets, l'ectoderme et l'endoderme, limitant une masse gélatineuse dans laquelle sont insérés leurs deux uniques organes : l'estomac et les gonades (voir l'encadré page 31). Cela résume assez bien la vie d'une méduse : manger pour se reproduire. Et jusqu'au début des années 2000, la prolifération des méduses *Pelagia noctiluca* sur les côtes méditerranéennes était tout aussi simple : cyclique et bien réglée. Depuis les premières pullulations décrites dans la région, en 1775, il y avait des années



CYANEA CAPILLATA doit son nom de genre à sa couleur bleue et son nom d'espèce à ses nombreux tentacules qui donnent l'image d'une belle chevelure. De plus d'un mètre de diamètre, c'est la « crinière du lion » du roman de Conan Doyle, si fréquente dans les mers arctiques.



PELAGIA NOCTILUCA est devenue le cauchemar des vacanciers en mer Méditerranée.

© Institut océanographique - Yves Bérand

à méduses et des années sans méduses, selon une périodicité de 12 ans. Et cette périodicité était corrélée aux fluctuations climatiques, en particulier au recul des glaciers alpins. On avait même déduit de l'analyse des conditions climatiques que les années à *Pelagia* étaient toujours précédées de trois années chaudes peu pluvieuses. Mais en 12 ans, les méduses *P. noctiluca* ont brouillé les pistes.

Désormais, elles sont là tous les ans, été comme hiver, et il faudra apprendre à nager en slalomant entre ces masses de gelée et en évitant soigneusement leurs tentacules pour ne pas être piqué (c'est l'espèce la plus urticante de la Méditerranée). Comment ces animaux que tous les naturalistes des XVII^e et XVIII^e siècles surnommaient gelée de mer ou eau coagulée, ces organismes composés à 98 % d'eau – presque des gouttes d'eau dispersées dans la mer – ont-ils pu en 12 ans contrarier tous les modèles de fluctuations hydroclimatiques établis jusqu'alors et qui avaient fonctionné pendant deux siècles ?

Puisque, comme tous les animaux, les méduses mangent pour se reproduire, il est vraisemblable que l'étude de leur physiologie apportera des réponses. Que

L'ESSENTIEL

- Depuis quelques années, les océans se gélifient : on y observe une augmentation spectaculaire des organismes gélatineux.
- Les méduses sont les principaux contributeurs de cette gélification.
- Surpêche, hausse de la température marine, pesticides, déchets... De multiples causes se dessinent.
- Par leurs étonnantes facultés d'adaptation, des méduses profitent de ces conditions.
- Et la vie de la plupart de ces organismes nous est encore inconnue...

Page précédente : © Scott Leslie/Minden Pictures/Corbis

mangent-elles et quand se reproduisent-elles ? C'est l'un des axes des programmes de l'Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer animés par Gabriel Gorsky ou encore Fabien Lombard.

Manger ? Vivant en pleine eau, les méduses mangent du plancton et leur régime alimentaire est varié. Elles attrapent aussi bien les œufs de tous les organismes marins que des larves et des adultes de crustacés ou de mollusques, voire des alevins de poissons. En étirant au maximum leurs tentacules très élastiques, elles augmentent considérablement le volume d'eau prospecté. Et comme elles n'ont pas de satiété, elles sont capables d'avaler leur propre poids en nourriture en une journée. Elles exercent ainsi une prédation énorme sur le petit zooplancton (des animaux de quelques millimètres), mais aussi sur l'échelon supérieur des poissons. Par leur pullulation, elles deviennent le point central de l'écosystème pélagique marin en modifiant la composition du zooplancton et en diminuant l'ensemble de la production marine. Dès lors, on les considère comme l'un des acteurs principaux des changements de la biodiversité marine.

Se reproduire ? Dès que la température des eaux se réchauffe, au début du printemps, les méduses *P. noctiluca* mâles émettent dans l'eau des spermatozoïdes, lesquels fertilisent les femelles qui les avalent. Entre midi et 14 heures, les femelles pondent les œufs fécondés (de taille 0,3 millimètre, parmi les plus gros des méduses) et les évacuent par la bouche. Ces œufs éclosent, libérant une larve ciliée, la planula, dont la croissance aboutit en quelques jours à une petite méduse ou éphyrule. Chez cette espèce, il n'y a pas de stade fixé comme chez les autres méduses (voir l'encadré page 32).

La surpêche : une aubaine pour les méduses

Ainsi, l'équation est simple : manger pour se reproduire – et plus la nourriture est abondante, plus vite la maturité sexuelle est atteinte (*Pelagia* atteint sa maturité sexuelle en cinq mois en moyenne). En Méditerranée, *Pelagia* constitue presque un cas d'école : côté nourriture, la mer en regorge depuis que la surpêche a pratiquement éliminé les poissons, abandonnant ce qu'ils mangeaient aux espèces les plus opportunistes – les méduses. Quant à la

température, elle poursuit inexorablement son ascension grâce à l'effet de serre, rendant les hivers moins rigoureux et prolongeant l'été. Dans ces conditions favorables, les méduses *P. noctiluca* se reproduisent en masse et s'installent durablement.

La conjonction de ces deux phénomènes est l'une des explications les plus vraisemblables de la disparition de leur périodicité. On utilise d'ailleurs cette espèce comme témoin, une sorte de marqueur des changements profonds qui touchent l'écosystème pélagique de la Méditerranée.

Déjà en 1983, au congrès d'Athènes organisé par le Programme des Nations unies pour l'environnement, David Cargo, spécialiste américain des méduses, avait manifesté son intérêt pour les études sur celles de la Méditerranée, afin d'en transposer ensuite les résultats à d'autres mers. Cela est d'autant plus plausible que tous les océanographes s'accordent pour considérer la Méditerranée comme un modèle réduit d'océan et donc comme un modèle de production biologique. D'où l'intérêt des programmes qui se poursuivent depuis plus de 30 ans dans tous les laboratoires riverains.

Triste constat au large de la Namibie

De fait, la Méditerranée est loin d'être la seule zone concernée. Différents observateurs – touristes, pêcheurs, industriels – ont rapporté des scènes identiques de pullulation dans toutes les mers de la planète. L'inventaire des zones infestées fait ressortir une vingtaine d'espèces de méduses dont la prolifération est due à une même cause désormais bien identifiée et produisant les mêmes déséquilibres : la surpêche. Des zones entières sont devenues de grands déserts marins où se côtoient des populations de méduses qui paraissent définitivement installées et une faune appauvrie survivant à leurs agressions.

Le cas le plus spectaculaire est celui des eaux territoriales de la Namibie, sur la côte sud-occidentale de l'Afrique, eaux réputées il y a 60 ans encore pour leur exceptionnelle richesse en poissons frétillant dans le courant du Benguela. Ce courant froid océanique qui longe la côte depuis l'Afrique du Sud jusqu'à la zone équatoriale produit une remontée des eaux profondes riches en nutriments, favorisant la productivité du plancton et de l'ensemble de l'écosystème. Au large de la Namibie, la mer regorgeait de petits

UN CHASSEUR REDOUTABLE

L'apparente fragilité des méduses cache une remarquable efficacité pour se nourrir. Le corps de ces animaux s'organise en parapluie à partir de l'ombrelle, constituée d'une masse gélatineuse, la mésogée, délimitée par deux feuillets, l'ectoderme et l'endoderme.

Au centre de l'ombrelle pend le manubrium, renfermant l'œsophage, qui relie la bouche à l'estomac et qui contient aussi les gonades chez certaines espèces. L'ombrelle est bordée de filaments – les tentacules –, parfois regroupés en faisceaux.

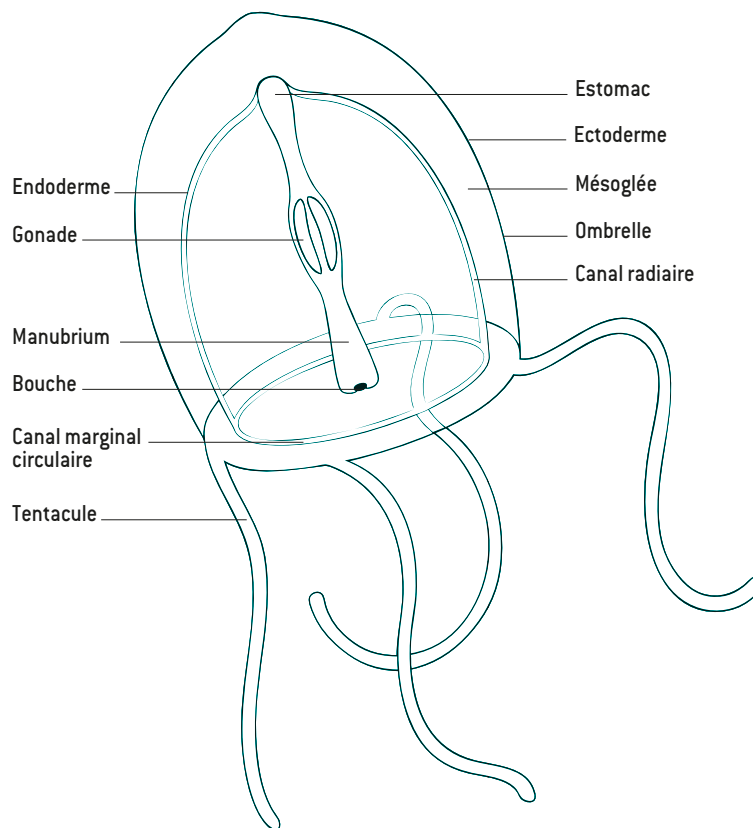
Pour se nourrir, les méduses utilisent une arme originale : les cnidocytes, des cellules urticantes contenant un micro-harpon venimeux, dont sont couverts leurs tentacules (chez certaines méduses, ces cellules tapissent tout le

corps). Lorsqu'un minuscule cil associé au harpon détecte le contact avec une proie, le harpon, jusqu'alors replié, se détend, pénètre dans la proie et injecte le venin. Le tentacule ramène alors la proie paralysée à la bouche, qui l'engloutit. Entourée de lèvres parfois si allongées qu'elles forment des bras, la bouche rejette aussi les déchets.

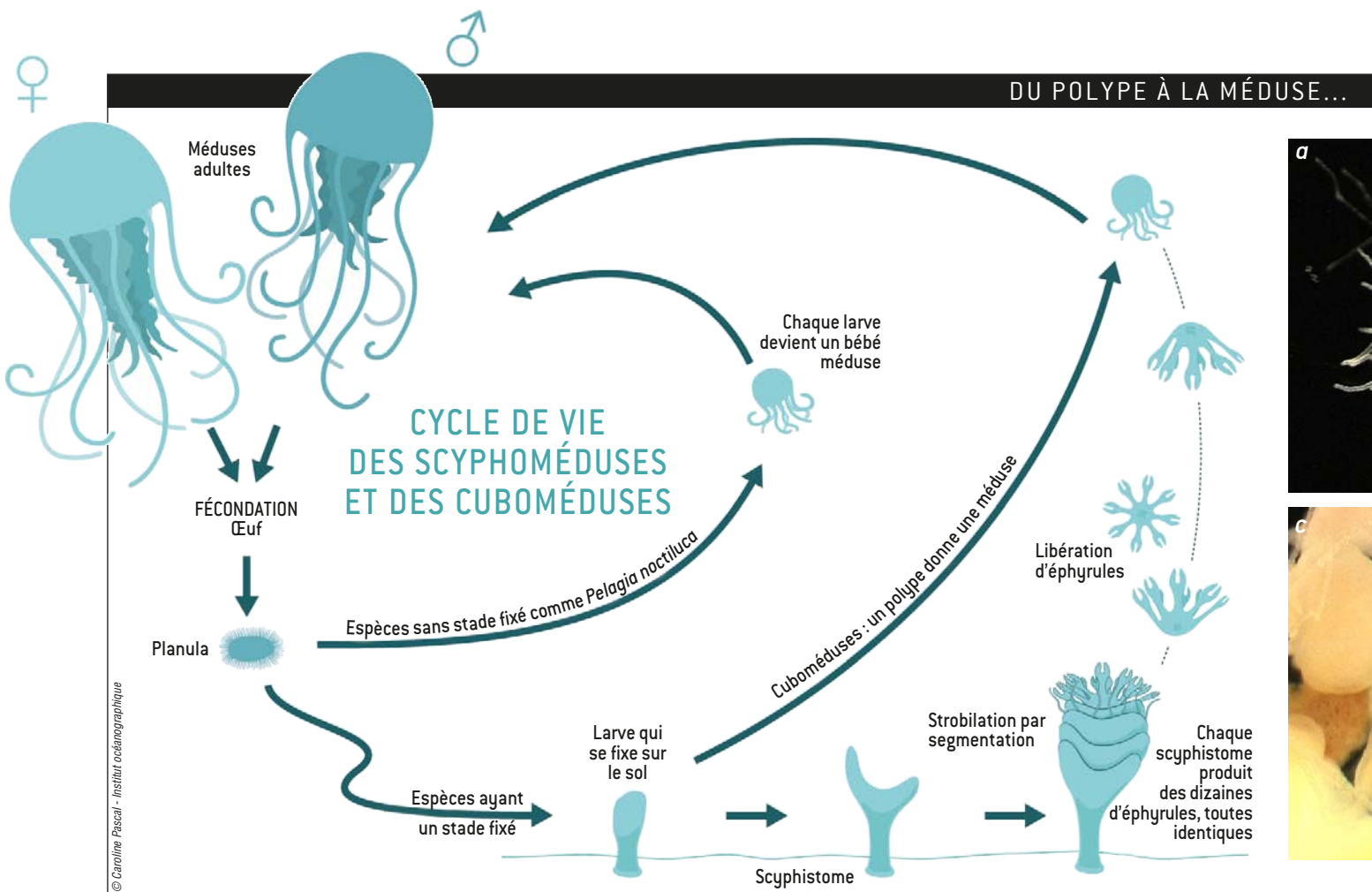
L'estomac est prolongé par des canaux radiaires qui rayonnent comme les baleines d'un parapluie et aboutissent à un canal marginal circulaire, lequel

nourrit tout l'organisme. Restés attachés à la proie, les cnidocytes sont immédiatement remplacés par d'autres cellules de même nature. Celles-ci se forment à la base des tentacules, zone d'activité intense de différenciation de cellules souches, puis migrent le long du tentacule jusqu'à la zone concernée.

Les méduses réservent bien d'autres surprises. Elles respirent par la peau. Elles disposent de minuscules organes de l'équilibre, les statocystes, répartis au bord de l'ombrelle, de même que des ébauches d'yeux reliées à des cellules nerveuses. Elles ont aussi la capacité d'émettre de la lumière : leur gène de bioluminescence est devenu un outil classique en biologie.



Pour la Science



poissons (sardines, anchois) qui attiraient les grands prédateurs – poissons (merlus, thons, mérus), oiseaux marins et otaries.

La pêche s'est intensifiée. Les grosses proies se raréfiant, les pêcheurs se sont rabattus sur les sardines et les anchois. À partir des années 1960, de multiples chalutiers ont déversé leur trésor de poissons dans des navires-usines, poissons aussitôt transformés en farine. Depuis 15 ans, l'effondrement des stocks de sardines et d'anchois a entraîné un changement total de la production biologique dans les eaux namibiennes. Les oiseaux de mer et les mammifères marins sont en régression, et le gobie, le seul prédateur encore en lice, est en voie de disparition. Les méduses, qui jusqu'alors luttaient pour une petite part du territoire, ont profité à la fois de la raréfaction de leurs prédateurs – notamment les thons et les tortues – et de celle de leurs compétiteurs directs pour le zooplancton : les anchois.

En particulier, deux méduses de grande taille quasiment absentes de cette région dans les années 1950, *Aequorea forskalea* et

■ LES AUTEURS



Corinne BUSSI-COPIN est océanographe, chargée de mission pour la politique des océans à l'Institut océanographique, Fondation Albert I^{er}, Prince de Monaco.

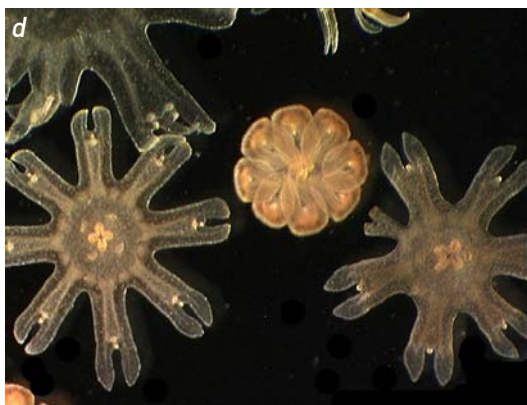


Jacqueline GOY est attachée scientifique de l'Institut océanographique. Elle a consacré sa carrière au sein du Muséum national d'histoire naturelle à l'étude des méduses.

Chrysaora hysoscella, se sont mises à pulluler et à supplanter les poissons, au grand dam des habitants, privés de leurs plats traditionnels à base de poissons. La biomasse des méduses dans les eaux namibiennes est aujourd'hui estimée à trois fois celle des poissons ! Par comparaison, et pour conforter ces observations, l'Afrique du Sud, voisine de la Namibie, qui a établi des conditions rigoureuses de pêche dans ses eaux, ne connaît pas d'anomalies aussi spectaculaires dans son environnement marin.

D'autres zones sont touchées. En mer de Chine, la baie de Liaodong, dont Jing Dong, de l'Institut de recherche des pêcheries marines de Liaodong, et ses collaborateurs étudient la rentabilité de la pêche commerciale depuis 1984, est devenue un immense plan d'eau réservé à l'élevage d'une méduse comestible, *Rhopilema esculenta*. Cette espèce est la seule qui résiste à la dégradation du milieu due à la pêche excessive et aux polluants chimiques.

La baie de Chesapeake, sur la côte orientale des États-Unis, a elle aussi subi une



© Institut océanographique / Microaquarium

L'originalité des méduses, et certainement leur plus grand atout, est d'avoir, pour la plupart, un cycle de vie comportant un stade plus discret – le polype. La différence entre les stades polype (fixé à un support) et méduse (libre) est telle qu'on les a longtemps pris pour deux espèces différentes.

Les méduses se reproduisent en pleine eau de façon sexuée : des mâles produisent des spermatozoïdes, et des femelles, des ovules. En général, les cellules reproductrices sont évacuées dans la mer, où a lieu la fécondation. L'œuf évolue en quelques heures en une larve ciliée, la planula, qui tombe sur le fond, s'y fixe et devient un polype. Chez les espèces de la classe des Scyphozoa telle *Aurelia aurita* (a-d) et chez les cuboméduses, notamment, le polype, nommé scyphistome, bourgeonne ou reste solitaire (a). Sous de bonnes conditions de température et de nourriture, des sillons se forment dans sa partie supérieure (b, c). Chaque segment ainsi produit se détache en éphyrule qui se développe en pleine eau (d) pour donner une méduse sexuée. Un polype en produit ainsi des dizaines. Certaines espèces de Scyphozoa n'ont cependant pas de stade fixé, comme *Pelagia noctiluca*.

agression, d'abord à cause de l'augmentation de la population humaine sur ses rives, puis de la pêche et enfin de la récolte des huîtres, laissant cette baie envahie par la pollution. Une autre méduse *Chrysaora*, l'espèce *C. quinquecirrha*, a exercé une prédation telle que l'écosystème est aujourd'hui fortement modifié : d'abondantes espèces gélatineuses, sans aucun intérêt commercial, se succèdent tout au long de l'année.

Et les exemples s'accumulent : *P. noctiluca* s'attaquant aux fermes de saumons dans le nord de l'Écosse, attirée par l'abondance de nourriture ; *Aurelia aurita* bouchant les filtres des tuyaux de refroidissement des centrales nucléaires installées dans les fjords de Suède ou immobilisant un porte-avion américain dans le port de Brisbane... Les mêmes causes – nourriture abondante du fait de la surpêche et température anormalement élevée – ont produit les mêmes effets : une déviation de la production des océans vers le maillon gélatineux.

Toutefois, les pêcheurs ne sont pas entièrement responsables de cette dégradation

du milieu marin. Ils sont allés pêcher dans les zones qu'on leur avait indiquées. Grâce à l'*Atlas des ressources biologiques des mers* publié en 1972 par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, ils avaient à leur disposition une cartographie précise de la répartition des espèces commerciales appartenant à tous les groupes depuis le phytoplancton, le zooplancton, les mollusques, les crustacés jusqu'aux principales espèces de poissons et de mammifères marins.

À qui profite le krill... et surtout son déclin ?

Cet atlas a été établi grâce aux relevés des instituts des pêches du monde entier et il a fait la fierté des statisticiens qui, hélas, n'avaient pas prévu la moindre mise en garde sur la fragilité de ces stocks. En 30 ans, cette manne a été dilapidée et la pêche minotière s'attaque désormais à d'autres groupes que les poissons, en particulier au krill. Or, ces petites crevettes des eaux froides – les

Euphausiacés (*Meganyctiphanes norvegica* dans les eaux boréales et *Euphausia superba* dans les eaux australes) – sont des espèces indispensables à la vie de nombreux animaux : mammifères marins (notamment la baleine, qui en mange plusieurs tonnes par jour), oiseaux de mer, poissons, calmars...

De plus, l'absence de krill, grand consommateur de phytoplancton, permet à d'autres animaux pélagiques phytophages et à fort taux de croissance et de multiplication de pulluler, en particulier les salpes, des animaux coloniaux gélatineux dont les chaînes dépassent parfois cinq à six mètres de longueur. Ces animaux contribuent à la gélification des océans au même titre que les méduses. Et comme ils renferment 90 % d'eau, ils n'offrent aucun avantage alimentaire aux prédateurs supérieurs. Ils ont un autre inconvénient, majeur pour les baleines : ils colmatent les fanons, empêchant alors la filtration du plancton nourricier.

Mais la pêche n'est pas la seule attaque que subit le krill. Les stocks de krill s'effondrent aussi par un autre mécanisme

QUI SONT LES MÉDUSES ?

Tout ce qui flotte en mer n'est pas méduse ! Le plancton gélatineux – l'ensemble des organismes gélatineux qui flottent en pleine eau, entraînés par les courants – compte ainsi nombre d'autres organismes si divers qu'il est impossible de représenter leur classification.

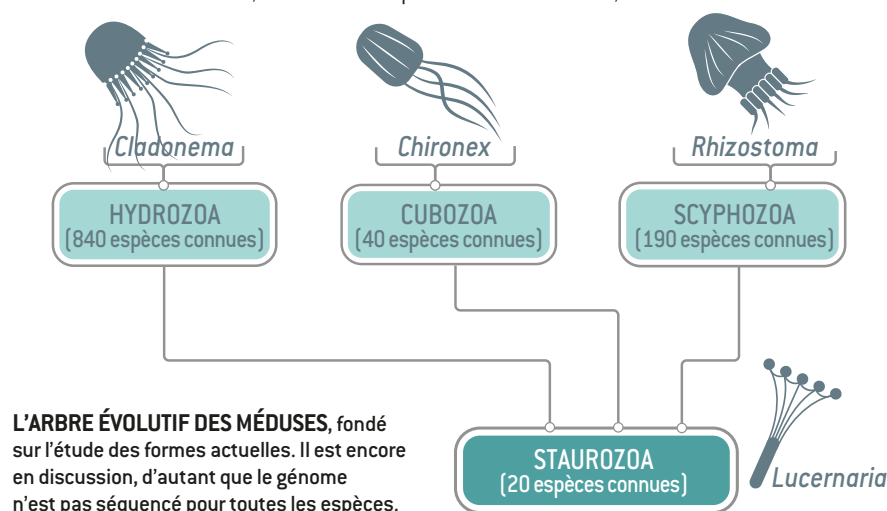
Il comporte les siphonophores – telle la physalie –, souvent pris pour des méduses parce qu'ils présentent aussi des cellules urticantes ; les cténaires, telle la groseille de mer, dont les deux tentacules portent des cellules adhésives et non urticantes ; les

thaliacés, telles les salpes, animaux coloniaux non urticants qui se nourrissent en filtrant le phytoplancton ; sans oublier les œufs des poissons.

À elles seules, les méduses ont des caractéristiques si variées que même à leur échelle,

la classification est un casse-tête. On en compte plus de 1000 espèces, peu connues pour la plupart. On distingue tout de même quatre grands groupes. Les Scyphozoa ou « méduses vraies », dont on connaît 190 espèces, sont très variées : de quelques millimètres à deux mètres de diamètre, rondes, carrées, plates ou en dôme, lisses ou lobées, avec ou presque sans tentacules, avec des bras oraux lisses ou en chou-fleur. Comme

les Scyphozoa, la plupart des Hydrozoa ont un stade fixé (polype) et un stade libre (méduse). On en dénombre 840 espèces, dont seulement 20 % ont un cycle de vie connu. Les Cubozoa, qui tirent leur nom de leur forme cubique, comptent 40 espèces. Enfin, les Staurozoa – 20 espèces – n'ont pas de stade libre. L'une d'elles, la très rare *Lipkea ruspoliana*, serait aux méduses ce que le coelacanth est aux vertébrés : un lointain ancêtre commun...



© Broadbelt, evantavels/shutterstock.com

plus complexe, faisant intervenir plusieurs niveaux du réseau trophique pélagique (l'ensemble des chaînes alimentaires de la mer). L'usage des pesticides dans l'agriculture intensive a un impact sur les organismes marins lorsque, par lessivage, ces produits toxiques se déversent en mer. Destinés à bloquer la mue des insectes, ils bloquent celle des crustacés, qui sont aussi des arthropodes, et ceux-ci n'atteignent plus le stade adulte. C'est ce qu'ont montré notamment Rabin Sen Gupta, de l'Institut océanographique indien, à Dona Paula, et ses collègues en 1996. Des pans entiers de la biologie marine sont touchés, notamment le krill, ce qui favorise encore la prolifération des salpes et d'autres organismes gélatineux phytophages.

Et comme si ce scénario catastrophe ne suffisait pas, il faut encore lui ajouter l'effet indirect des résidus médicamenteux sur la gélification des océans. Les hormones de substitution sont ingurgitées en concentration

■ BIBLIOGRAPHIE

- R. Calcagno et J. Goy, *Méduses. À la conquête des océans*, Éditions du Rocher, 2014.
- K. A. Pitt et C. H. Lucas (éd.), *Jellyfish Blooms*, Springer, 2014.
- Ph. Cury et D. Pauly, *Mange tes méduses !*, Odile Jacob, 2013.
- L.-A. Gershwin, *Stung !*, Univ. of Chicago Press, 2013.
- J.-Cl. Braconnot, *Les salpes, reines du plancton marin*, *Pour la Science*, n° 419, pp. 36-43, 2012.
- Ph. Cury et Y. Miserey, *Une mer sans poissons*, Calmann-Lévy, 2008.

telle que les excès sont rejetés dans les urines et ne sont pas retenus par les stations d'épuration, non équipées pour filtrer ces molécules. Arrivés en mer, ces hormones et d'autres perturbateurs endocriniens ont le même effet sur les organismes marins que sur le corps humain : blocage de la reproduction sexuée et féminisation. Toutefois, ces produits épargnent les espèces qui, comme les salpes et les méduses, ont une autre reproduction que la seule sexualité – une reproduction asexuée par bourgeonnement. Cette explication de la gélification des océans est très probable à cause du rendement de ce mécanisme de multiplication, mais doit encore être confirmée.

Le cycle de vie des méduses préoccupe d'ailleurs particulièrement les biologistes. Contrairement aux salpes, qui effectuent tout leur cycle de vie en pleine eau, la plupart des méduses ont un stade fixé à un support, le polype. Ce stade correspond à la forme de

résistance des méduses et il reste ainsi tant que la température de l'eau n'augmente pas. Il est difficile de localiser les polypes à cause de leur petite taille. Or ils sont à l'origine des pullulations de méduses : lorsque la température de l'eau est suffisamment élevée, ils bourgeonnent abondamment.

En général, l'œuf des méduses évolue en larve qui se fixe et se transforme en polype. Deux types de bourgeons se forment : les uns, identiques au polype, restent reliés à lui et forment une colonie nommée hydraire. D'autres s'évadent des polypes. Ce sont alors des méduses qui nagent, grandissent et se reproduisent. Mais les conditions du milieu modifient ce schéma. Certaines méduses émettent des œufs de résistance. C'est le cas de *Margelopsis haeckeli* qui conserve dans ses tissus un œuf plein de réserves pour survivre dans le froid et la nuit polaires. De plus, toutes les méduses ont la capacité de résorber leurs cellules sexuelles déjà formées en cas de disette et de les utiliser comme produits de réserve, puis de reprendre leur croissance quand les conditions s'améliorent. On voit là toutes les stratégies adaptatives sélectionnées au fil de l'évolution et permettant à ces animaux de survivre si les conditions du milieu sont perturbées.

Des envahisseurs immortels

En combinant ces réactions des méduses aux modifications de l'environnement, on comprend comment des organismes d'apparence aussi fragile transforment la mer en « gelée ». Cette résistance expliquerait comment ces animaux ont traversé toutes les vicissitudes des ères géologiques depuis plus de 600 millions d'années, âge du gisement d'Ediacara, en Australie, où ont été récoltés leurs premiers fossiles.

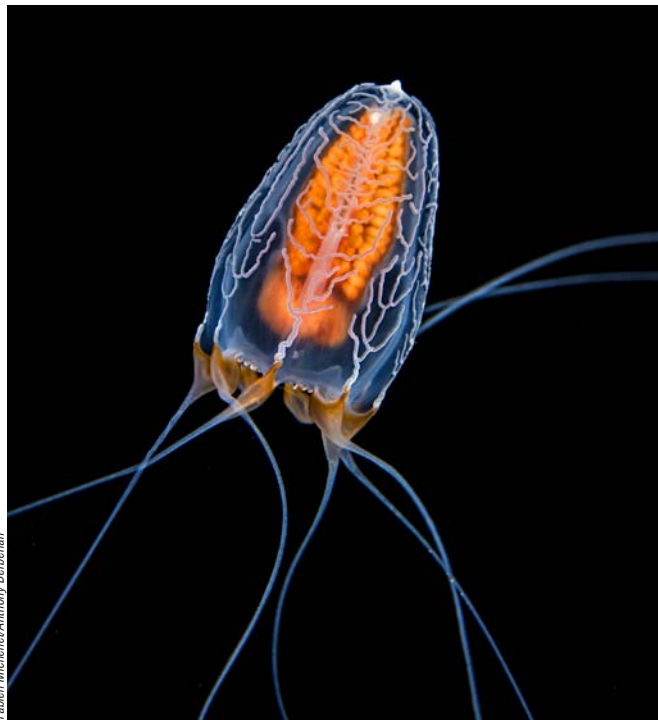
À cela s'ajoute l'étonnante immortalité des méduses, qui a fait la joie des médias du monde entier il y a deux ans avec l'exemple de la petite méduse *Turritopsis nutricula*, dont les élevages ont mis en évidence la capacité à revenir à un stade antérieur de développement. Ce phénomène, qu'un naturaliste suisse, Pierre Tardent, a qualifié de réversion en 1980, consiste en une inversion du cycle de vie et avait été décrit dès 1844 par le biologiste belge Edouard Van Beneden. De nombreux auteurs se sont étonnés de ces réversions et les ont attribuées aux mauvaises conditions d'élevage. Elles traduisent surtout l'exceptionnelle capacité des méduses à résister dès que le milieu se dégrade. Certaines peuvent même s'enkyster, telles ces méduses d'eau douce *Craspedacusta sowerbyi* qui ont survécu sous cette forme de kyste pendant plus de 40 ans.

Tous les polypes n'émettent pas leurs méduses au même rythme. Seules une vingtaine d'espèces bourgeonnent avec une intensité telle que le milieu est vite envahi. C'est le cas de la méduse-lune



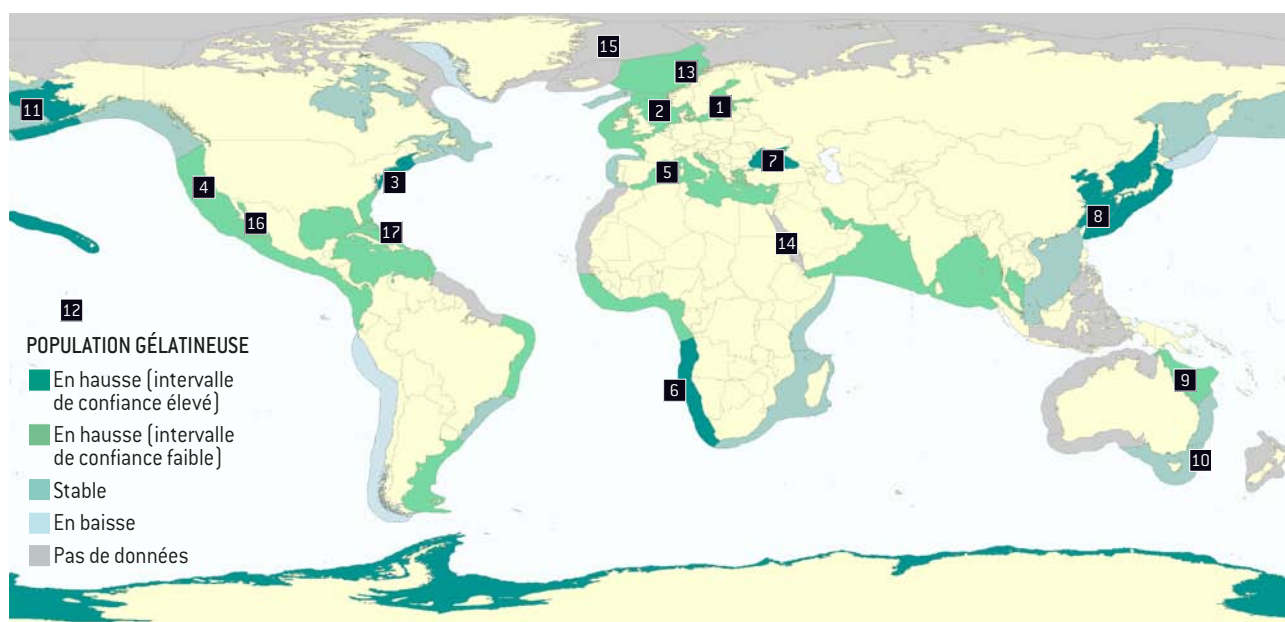
Fabien Michenet/Anthony Berberian

CETTE MÉDUSE *LINUCHE UNGUICULATA*, photographiée au large des côtes de Tahiti, pullule tous les ans autour de l'île, jusqu'à entraîner des interdictions de baignade et de navigation. Elle a la particularité de vivre en symbiose avec une algue (les petites taches brunes). Les croissants orange sont ses gonades.



Fabien Michenet/Anthony Berberian

CETTE MÉDUSE, photographiée elle aussi au large de Tahiti, lors de plongées nocturnes au-dessus de fonds marins de plusieurs milliers de mètres, est à l'inverse extrêmement rare : troisième spécimen observé de la famille des *Eutiara*, elle représente une nouvelle espèce, *Eutiara decorata*, qui doit rejoindre les collections déposées au Muséum national d'histoire naturelle.



- 1 - *Aurelia aurita*
- 2 - *Cyanea lamarcki*
- 3 - *Chrysaora quinquecirrha*
- 4 - *Chrysaora melanaster*
- 5 - *Pelagia noctiluca*
- 6 - *Aequorea forskalea* et *Chrysaora hysoscella*
- 7 - *Mnemiopsis* et *Aurelia aurita*
- 8 - *Rhopilema esculenta* et *Nemopilema nomurai*
- 9 - *Chironex*
- 10 - *Catostylus mosaicus*
- 11 - *Chrysaora melanaster*
- 12 - *Linuche unguiculata*
- 13 - *Periphylla periphylla*
- 14 - *Aequorea aequorea* et *Aurelia aurita*
- 15 - *Cyanea capillata*
- 16 - *Chrysaora achlyos*
- 17 - *Cassiopea andromeda*

LA GÉLIFICATION DES OCÉANS est un phénomène mondial, comme le montre cette carte, fruit d'une méta-analyse réalisée en 2012 sur les écosystèmes marins le long des côtes. Les méduses impliquées, dont certaines sont indiquées ici, diffèrent selon les mers. Sur le millier d'espèces connues, toutes ne pullulent pas. Moins d'une vingtaine sont problématiques.

Aurelia aurita, très répandue sur la côte atlantique, dont le polype se segmente à une cadence exceptionnelle d'environ une éphyrule par jour en été. À l'inverse, les méduses australiennes – les redoutables cuboméduses – ont un polype qui reste isolé et qui se métamorphose en une seule méduse, ce qui limite leur pouvoir de pullulation. Heureusement, car elles sont parmi les animaux les plus toxiques et certaines sont même mortelles.

Cependant, une autre préoccupation se dessine : contraintes pour l'instant à la zone tropicale indo-pacifique, les aires de répartition de ces cuboméduses pourraient s'étendre. Les océanographes redoutent que l'augmentation de la température des eaux de surface dilate la zone tropicale vers le nord et vers le sud. Sa limite dépasserait alors le cap de Bonne-Espérance, permettant à ces espèces très dangereuses de coloniser l'océan Atlantique. D'ailleurs, un autre moyen d'expansion existe déjà, plus pernicieux encore, car incontrôlable : le transport par les ballasts de bateaux. Ses effets peuvent être dévastateurs, comme ce fut le cas en mer Noire, dans les années 1990, avec l'introduction fortuite du cténaire *Mnemiopsis leidyi*. L'animal s'est développé à une telle vitesse qu'en quelques années, il est devenu le plancton majoritaire, détrônant *Aurelia aurita* et achevant l'effondrement des stocks de poissons qu'elle avait entamé dans les années 1980, à la faveur de la pollution liée au développement agricole.

La liste n'est pas close de tous les mécanismes qui favorisent les méduses, d'autant

que le cycle de vie n'est connu que pour 20% du millier d'espèces recensées. Rien ne semble arrêter leur résistance et leur prolifération.

Le radeau de la méduse est en plastique

Si la phase fixée sous forme de polypes préoccupe tant les biologistes, c'est surtout parce que les polypes se fixent en priorité sur les supports en plastique. Une expérience réalisée en 1965 dans la rade de Villefranche-sur-Mer a montré que des plaques de polystyrène sont immédiatement colonisées par des polypes de méduses, qui créent vite une sorte de chevelure dense empêchant tout autre fixation. Jennifer Purcell, de l'Université de Washington Ouest, est parvenue à la même conclusion en 2007 en étudiant les préférences de substrat du polype d'*Aurelia labiata* ; elle recommande l'abandon de ce matériau dans les constructions portuaires ou littorales. Quand on connaît l'étendue du 7^e continent – ces îlots de nos déchets plastiques qui dérivent dans les grands gyres océaniques –, on ne peut que s'inquiéter de ces supports mis à la disposition des polypes.

En fabriquant ce nouvel écosystème, cet inquiétant plastisphère, l'homme n'a-t-il pas joué à créer un nouveau *pelagos*, un monde destiné à dériver éternellement à la surface des flots ? Toutefois, à l'inverse des dieux grecs, il ne domine pas sa création, qui risque fort de perturber à jamais la quiétude des océans. ■

Versions numériques
OFFERTES*
sur www.pourlascience.fr

Offre PASSION

POUR LA
SCIENCE

Le magazine mensuel
Pour la Science (12 n^{os})
+
Le hors-série trimestriel
Dossier Pour la Science (4 n^{os})

79€ seulement
1 AN - 16n^{os}

* des numéros reçus pendant la durée de votre contrat en cours uniquement

**VOS AVANTAGES
ABONNÉ**

- ✓ 27 % d'économie et plus par rapport au prix en kiosque
- ✓ L'envoi des magazines en avant-première
- ✓ La garantie de ne **manquer aucun numéro**

BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner, accompagné de votre règlement,
dans une enveloppe non affranchie à : Groupe Pour la Science
Service abonnements - Libre réponse 90 382- 75 281 Paris cedex 06

POUR LA
SCIENCE

OUI, je m'abonne à *Pour la Science* (12 n^{os}/an) + *Dossier Pour la Science* (4 n^{os}/an) :

☐ 1 an • 16 numéros • **79€** au lieu de 108,50€ → **Offre disponible en ligne sur www.pourlascience.fr/pls/passionne**

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 16€ - autres pays 35€.

☐ 2 ans • 32 numéros • **148€** au lieu de 217€

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 34€ - autres pays 72€.



Le mensuel



Le trimestriel

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

CP : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. : _____

Pour le suivi client (facultatif)

Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

Numéro de carte _____

Date d'expiration _____

Clé _____
(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire

Mon e-mail pour recevoir la newsletter *Pour la Science* (à remplir en majuscule).

_____ @ _____

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case ☐.

Sous l'ombrelle des méduses

Si toutes les méduses arborent une ombrelle, celle-ci ne porte pas ombrage à leur diversité.

Voici un aperçu des étonnantes variations que l'évolution a produites chez ces animaux.

Jacqueline Goy

Tous les océans sont peuplés de méduses. Certaines espèces, telle *Aurelia aurita*, sont cosmopolites – répandues dans toutes les mers –, mais la plupart ont des aires de répartition bien délimitées par les gradients de température des eaux. Les grands fonds hébergent plusieurs espèces d'*Atolla* dont la couleur rouge sombre est typique des animaux de profondeur. La haute mer abrite une population de méduses originales qui ne se fixent jamais au cours de leur cycle. Dans ces eaux moins riches en nourriture que les eaux littorales, leur croissance est lente, avec une seule génération en hiver et deux ou trois dans les eaux chaudes estivales de notre zone tempérée.

La diversité des méduses est maximale dans les eaux superficielles des zones littorales. C'est là qu'ont été photographiés les spécimens présentés ici. Chacun révèle le grand pouvoir adaptatif de ces valseuses des mers... et leur beauté.

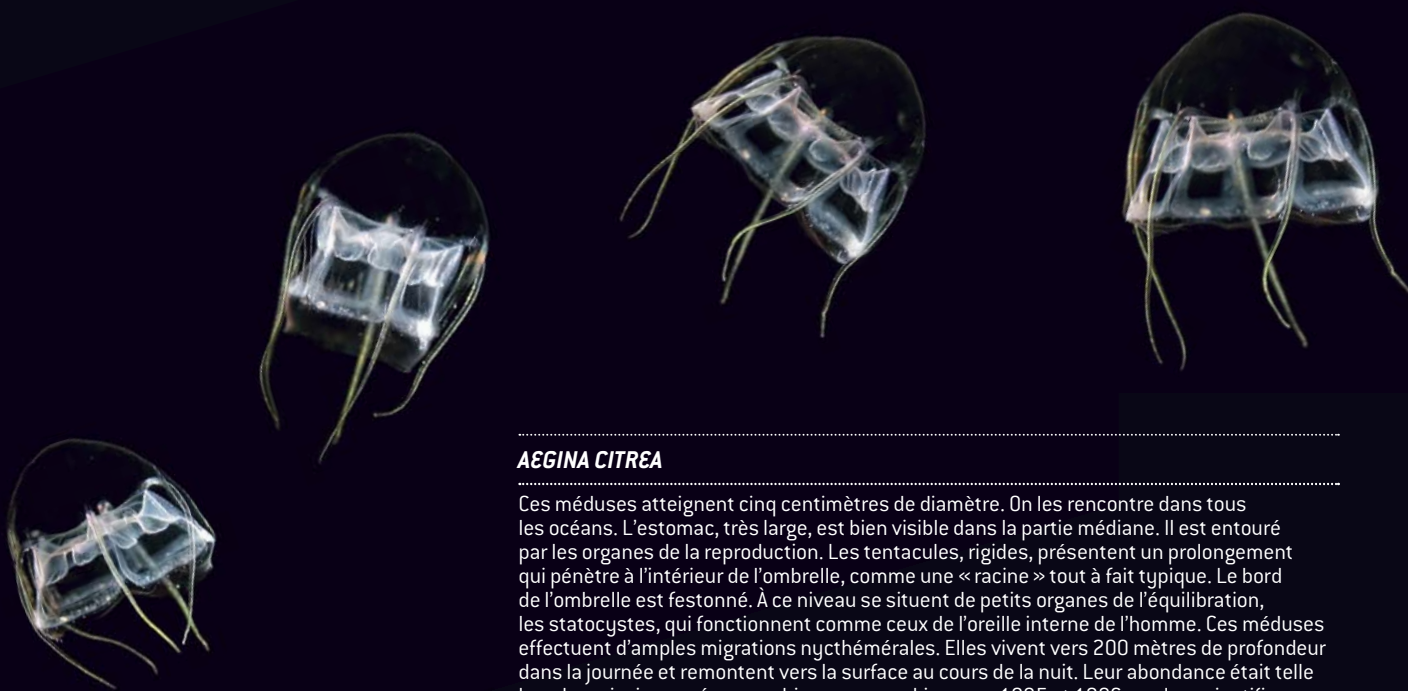
THYSANOSTOMA THYSANURA

Parmi les cinq méduses de la classe des *Scyphozoa* trouvées au large de la Réunion, ce rhizostome *Thysanostoma thysanura* est très commun. Son ombrelle, qui atteint dix centimètres à peine de diamètre, est dépourvue de tentacule. Les lèvres de sa bouche sont divisées en huit bras oraux portant chacun une épaulette réduite à leur base et un long fouet à leur extrémité. Entre les deux, des pores oraux – ou ostioles – sont dispersés sur la partie médiane : cette méduse est microphage. Toutefois, elle bénéficie aussi des échanges avec son algue symbiotique qui colore délicatement les bras oraux. Son aire de répartition se limite à l'océan Indo-Pacifique.



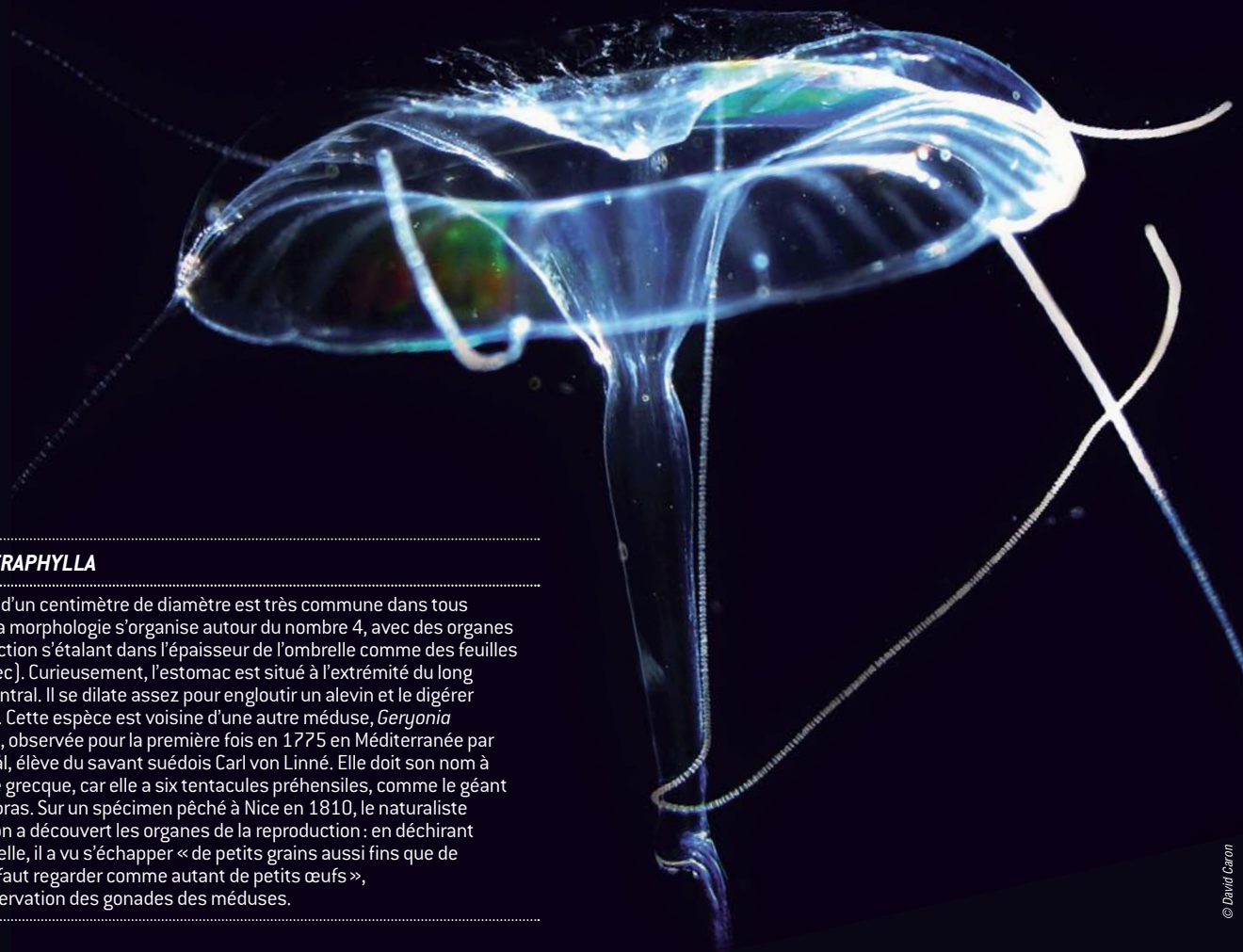
© David Caron





AEGINA CITREA

Ces méduses atteignent cinq centimètres de diamètre. On les rencontre dans tous les océans. L'estomac, très large, est bien visible dans la partie médiane. Il est entouré par les organes de la reproduction. Les tentacules, rigides, présentent un prolongement qui pénètre à l'intérieur de l'ombrelle, comme une « racine » tout à fait typique. Le bord de l'ombrelle est festonné. À ce niveau se situent de petits organes de l'équilibration, les statocystes, qui fonctionnent comme ceux de l'oreille interne de l'homme. Ces méduses effectuent d'amples migrations nyctémérales. Elles vivent vers 200 mètres de profondeur dans la journée et remontent vers la surface au cours de la nuit. Leur abondance était telle lors des missions océanographiques en mer Ligure en 1985 et 1986 que les scientifiques les ont prises comme mascotte.



LIRIOPE TETRAPHYLLA

Cette espèce d'un centimètre de diamètre est très commune dans tous les océans. Sa morphologie s'organise autour du nombre 4, avec des organes de la reproduction s'étalant dans l'épaisseur de l'ombrelle comme des feuilles (*phylla* en grec). Curieusement, l'estomac est situé à l'extrémité du long pédoncule central. Il se dilate assez pour engloutir un alevin et le digérer en une heure. Cette espèce est voisine d'une autre méduse, *Geryonia proboscidalis*, observée pour la première fois en 1775 en Méditerranée par Peter Forsskål, élève du savant suédois Carl von Linné. Elle doit son nom à la mythologie grecque, car elle a six tentacules préhensiles, comme le géant Géryon à six bras. Sur un spécimen pêché à Nice en 1810, le naturaliste François Péron a découvert les organes de la reproduction : en déchirant la sous-ombrelle, il a vu s'échapper « de petits grains aussi fins que de la farine qu'il faut regarder comme autant de petits œufs », première observation des gonades des méduses.

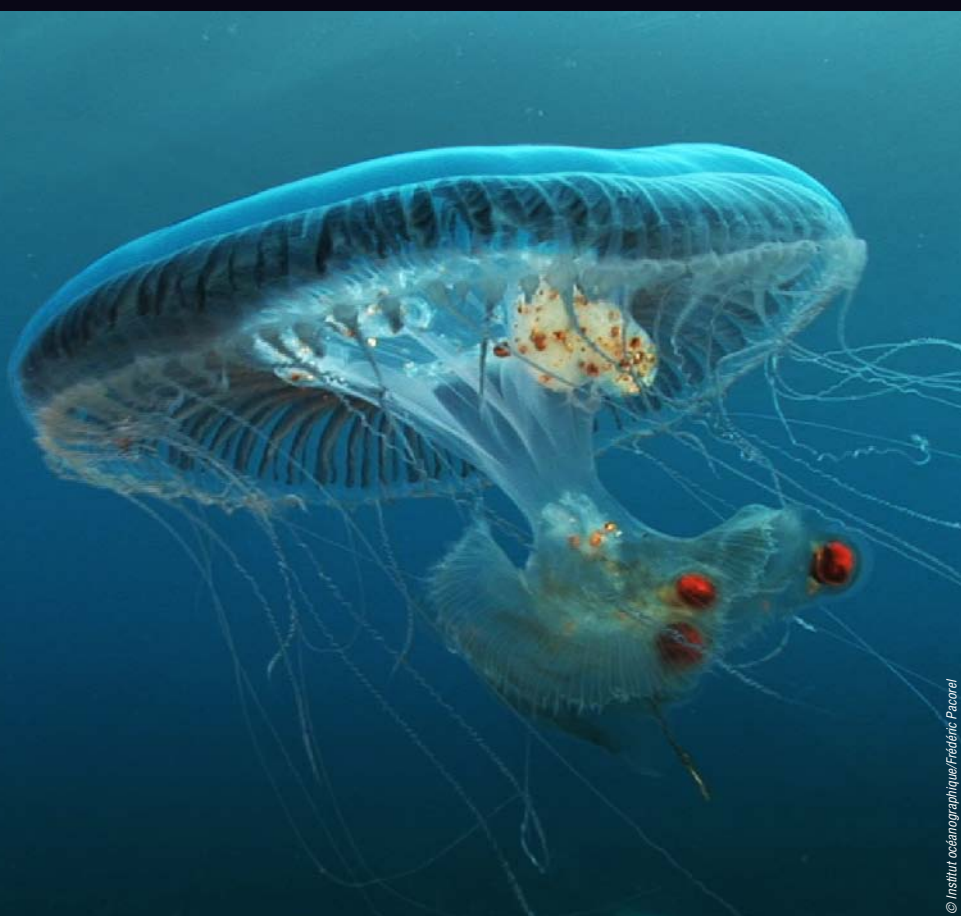


AEQUOREA VICTORIA

Cette méduse du Pacifique nord-américain atteint parfois 20 centimètres de diamètre. Elle est presque parfaitement hémisphérique, avec un large estomac central d'où partent jusqu'à 100 canaux radiaires, lui donnant l'allure d'une roue de vélo. Ces canaux apportent les nutriments à tout l'organisme. Autant de petites lèvres bordent la bouche et autant de tentacules s'étirent autour de l'ombrelle. Les organes de la reproduction tapissent chaque canal radiaire. Cette méduse émet de la lumière grâce à deux protéines, l'aequorine et la GFP (*green fluorescent protein*), qui émettent une lumière respectivement bleue et verte en présence de calcium. Ce mécanisme a été découvert en 1961 par le biologiste japonais Osamu Shimomura. Puis deux chercheurs américains, Martin Chalfie et Roger Tsien, ont isolé le gène qui code la GFP et l'ont greffé à d'autres animaux, lesquels ont produit à leur tour de la lumière verte. Tous trois ont reçu le prix Nobel de chimie en 2008. Cette technique de marquage est désormais courante en biologie et en médecine.

CRAMBIONE MASTIGOPHORA

Ce rhizostome est une espèce à répartition limitée et sporadique dans les eaux de la Malaisie. Il atteint 40 centimètres de diamètre. Son ombrelle est parsemée de verrues et ses huit organes des sens (équilibre, vision) sont cachés dans les replis des lobes marginaux. Les bras oraux, percés de nombreux pores, s'étalent à leur extrémité. Les rhizostomes, souvent incapables d'avalier des proies aussi grosses, servent de refuge aux alevins. Les poissons s'enduisent du mucus qui exsude de l'ectoderme (la partie externe de l'ombrelle); ce mucus bloque le fonctionnement des cellules urticantes et les alevins sont ainsi protégés. Ces méduses ont alors un rôle de crèche à poissons. À une échelle plus grande, c'est ce même dispositif de concentration de poissons que les pêcheurs utilisent. Ils immergent des radeaux superficiels sous lesquels les poissons se réfugient. Ce système de pêche presque gratuit se répand sans aucune réglementation.



© Institut océanographique / Frédéric Pacarel

ZYGOCANNA DIPLOCONUS

Les *Zygocanna* sont rarement observées. Elles vivent dans l'océan Indien. Leur taille ne dépasse pas dix centimètres et elles ont un grand nombre de canaux radiaires qui partent de l'estomac central, comme *Aequorea*. À l'extrémité du long pédoncule s'ouvre la bouche entourée de lèvres très plissées. Au bord de l'ombrelle, les tentacules, nombreux, sont recouverts de cellules urticantes, les cnidocytes, dont le venin paralyse les proies. Celles-ci sont ensuite déposées sur les lèvres, puis acheminées jusqu'à l'estomac. Le trajet de la nourriture, colorée en rouge, est bien visible sur cette photographie.

© Alexius Sitaridis / Shutterstock.com

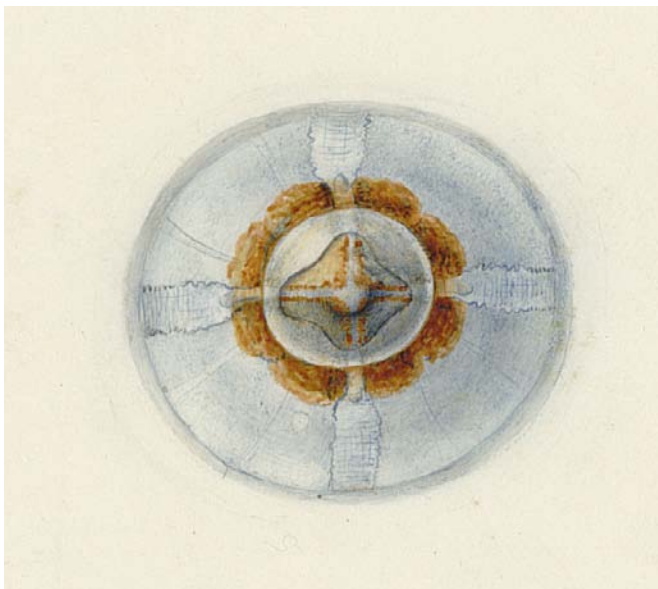






LEUCKARTIARA OCTONA

Ces images peintes par le naturaliste français Charles-Alexandre Lesueur (1778-1846) illustrent le texte où son confrère François Péron décrit les méduses pêchées à Nice en 1810. L'espèce *Leuckartiara octona* y est commune au printemps. Haute d'environ trois centimètres, son ombrelle est surmontée d'un bouton de gelée. Libre comme le battant d'une cloche, l'estomac pend dans la cavité. Il est recouvert par les gonades brun-rouge et se termine par des lèvres plissées. Les tentacules bordent l'ombrelle et Lesueur ajoute sur son ébauche : « petit point roux à la base du tentacule ». C'est la première mention de l'œil des méduses. Vue de dessus (*en bas à gauche*), l'ombrelle recouvre l'estomac central, entouré des quatre gonades. Les quatre canaux radiaires sont disposés en croix. L'animal se déplace en contractant ses fibres musculaires (*ci-dessous*), puis une dilatation lui permet de reprendre sa forme et de nager. Péron constate que « les tentacules ne prennent aucune part à la nage et que c'est l'ombrelle qui en fait tous les frais ».



Vélin 2019, Muséum du Havre



Gabrielle Baglione *et al.*,
Méduses – Jellyfish.
Charles-Alexandre Lesueur,
MkF, 2014.

Ce magnifique ouvrage rassemble les vélin de Lesueur, conservés au Muséum d'histoire naturelle du Havre. Ceux-ci seront présentés à l'automne 2015 à l'Aquarium de Paris.

Votre application **Pour la Science** maintenant disponible dans le kiosque Apple !

Abonnez-vous
sur tablette et smartphone
3 mois
55% de réduction*!



Téléchargez gratuitement l'application sur App Store et Google Play, **et feuilletez gratuitement un extrait du numéro en cours !**



Avec l'application « Pour la Science », retrouvez dès leur sortie le mensuel *Pour la Science* à 4,49 € et son trimestriel *Dossier Pour la Science* à 5,99 € en version numérique optimisée pour tablette : lecture intuitive, sommaire interactif, contenus enrichis, feuilletage hors connexion, etc.

Disponible sur
App Store

DISPONIBLE SUR
Google play



Flashez ce QR code avec votre mobile ou votre tablette pour télécharger immédiatement l'application.

*Soit 4 numéros pour 9,99 € au lieu 20,96 € pour un achat à l'unité.