



# Seafescape

*Science et photographie subaquatique*

N°3

## Le phytoplancton

10 questions à Sylvie Gobert  
Les sciences marines au féminin  
Cure de détox chez les oiseaux marins  
Observatrice des pêches en Corse  
ANTARES et les neutrinos  
La macrofaune du sédiment

## Édition

Arnaud Abadie

arnaud.abadie@seascape.fr

Elles ont participé à ce numéro :  
Leslie Bissey, Charlène Fréjefond,  
Sylvie Gobert, Célia Koellsch,  
Laura Iborra, Michèle Leduc,  
Michela Patrissi, Tatiana Severin,  
Julia Sosinski

Vous souhaitez partager vos  
connaissances sur les milieux  
aquatiques et publier un article  
dans Sea(e)scape ? Une seule  
adresse :

contact@seascape.fr

Retrouvez plus d'articles et de  
photos sur

www.seascape.fr



Ce document est la propriété de  
Sea(e)scape et de Arnaud Abadie. Il est  
partagé sous la licence Creative  
Commons – Attribution-NonCommercial  
- NoDerivatives 4.0 International. Il ne  
peut donc pas être modifié ni utilisé à  
des fins commerciales.

La totalité des photos publiées dans  
Sea(e)scape sont la propriété de leur  
auteur. Toute reproduction et utilisation  
est interdite.

Photo de couverture : microalgues  
unicellulaires vertes venant d'un lac du  
Michigan aux Etats-Unis – Tatiana  
Severin

# Édito

## Femmes (et) scientifiques

L'histoire le montre clairement, depuis  
des siècles l'homme (avec un tout petit h) a  
tout fait pour empêcher les femmes de faire  
de la recherche scientifique. Bien que de  
lentes évolutions sont visibles dans la plupart  
des cultures en ce qui concerne les égalités  
femme/homme dans la société, la route est  
encore longue pour atteindre la parité dans  
les laboratoires scientifiques, et voir un  
nombre plus conséquent de femmes occuper  
les plus hautes fonctions. Les clichés et les  
préjugés minent le parcours professionnel des  
femmes scientifiques du début à la fin et tout  
est fait pour les décourager dès le début de  
leur scolarité.

Mais il ne faut pas s'arrêter à ce  
constat désolant car les choses changent et  
Sea(e)scape est là pour le prouver ! Une  
nouvelle génération de jeunes scientifiques  
est là pour tout chambouler ! Ces jeunes  
femmes prouvent tous les jours par leurs  
compétences et leur imagination que, non  
seulement les hommes ne sont pas plus  
capables qu'elles de mener des recherches  
de qualité, mais aussi que les femmes  
apportent des angles de vue et des pistes de  
réflexion inédites. Cette dynamique est très  
bien illustrée par les témoignages de Leslie  
Bissey et Michela Patrissi dans ce numéro.

Il serait réducteur de penser que  
l'intérêt de la gente féminine pour les sciences  
est récent. C'est en fait tout le contraire.  
Plusieurs exemples de femmes bravant le  
sexisme de leur époque pour faire des  
recherches scientifiques existent, comme  
nous le raconte Michèle Leduc dans son  
article très éclairant sur le sujet. L'interview de  
Sylvie Gobert, directrice du laboratoire  
d'océanologie de l'Université de Liège, est

également instructif sur la parité dans les  
sciences, mais nous montre aussi l'évolution  
des thématiques et des techniques de  
recherche.

Observation des pêches (Michela  
Patrissi), écotoxicologie chez les oiseaux  
marins (Julia Sosinski), observation des  
neutrinos dans les abysses (Célia Koellsch),  
la faune du sédiment marin (Charlène  
Fréjefond), le phytoplancton en photo (Tatiana  
Severin) : les auteures de ce numéro n'ont  
pas froid aux yeux et sont capables d'aborder  
tous les sujets des sciences marines.

Vous l'aurez peut-être compris, le  
contenu de ce numéro a été écrit à 100 % par  
des femmes. Sauf cet édito. Mais je pense  
que ce n'est pas une mauvaise chose.  
L'égalité femme/homme n'est pas un sujet  
réservé aux dames. Les hommes ne doivent  
pas être de simples spectateurs observant

passivement les femmes qui tentent de faire  
évoluer les mentalités. Ils doivent devenir des  
acteurs de ces changements que ce soit dans  
les sciences ou plus généralement dans la  
société. En attendant, j'arrête de parler et je  
laisse avec plaisir la place aux femmes !

Bienvenue dans le troisième numéro de  
Sea(e)scape et bon voyage subaquatique !

Arnaud Abadie

*Rencontre hautement symbolique en septembre 2016 sur l'atoll de Midway entre le président des États-Unis Barack Obama et la célèbre océanographe américaine Sylvia Earle. Depuis plus de 60 ans Sylvia Earle prouve que les femmes ont leur place dans les sciences marines. Photo : Pete Souza/ Executive Office of the President of the United States.*





p6



p8



p16



Portfolio : le  
phytoplancton

p78

# Sommaire



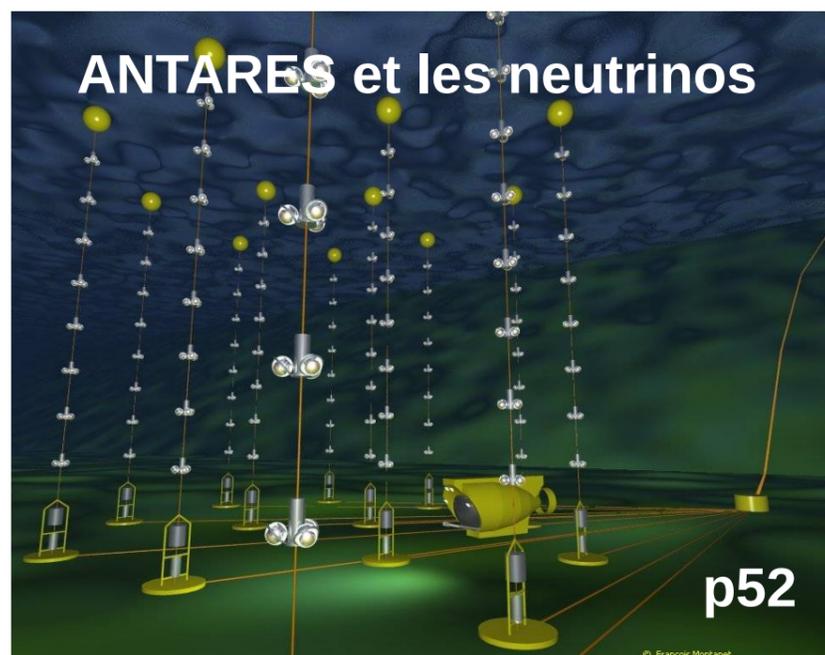
Cure de désintox chez les  
oiseaux marins

p30



La macrofaune du  
sédiment

p62



ANTARES et les neutrinos

p52



Observatrice des pêche

p40

# Les auteures



*Michèle Leduc*

Michèle Leduc est biologiste et plongeuse scientifique. Issue d'une formation en physiologie, elle s'est reconvertie pour se rapprocher de l'océanologie. Passionnée du monde marin, elle met ses compétences à profit de l'amélioration des connaissances sur les écosystèmes de Méditerranée. Depuis 5 ans, elle participe et gère de nombreux projets et études sur l'environnement marin au sein de la société STARESO.



*Célia Koellsch*

Étudiante en biologie et passionnée par la nature depuis toujours. Curieuse de tout, je parcours les différents paysages avec mon appareil photo sous le bras, je voyage à la découverte de nouveaux mondes et me plonge dans les livres. Mon objectif : devenir biologiste marin.



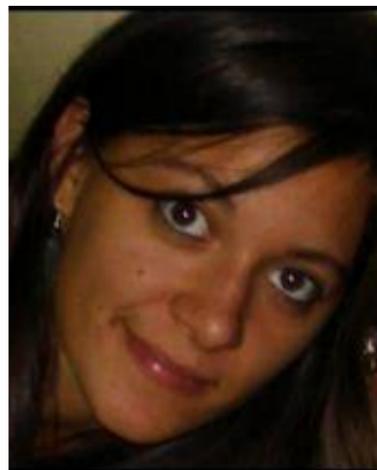
*Julia Sosinski*

Julia est en quatrième année d'étude de biologie marine. Souhaitant s'orienter dans la recherche pour le domaine aquacole elle est en alternance au sein de la plateforme Mollusque Marins de l'IFREMER. Elle est également la coprésidente de l'association KrillAdélie qui diffuse des vidéos de vulgarisation scientifique sur le thème de la gestion des ressources halieutiques et de la biodiversité.



*Charlène Fréjefond*

Après une formation universitaire spécialisée en biologie marine et gestion intégrée des écosystèmes littoraux, Charlène Fréjefond a travaillé au sein de différents Bureaux d'Etudes en tant que chargée d'étude sur la macrofaune benthique des substrats meubles. Charlène travaille depuis plus de 2 ans sur les habitats benthiques de méditerranée dans le cadre des directives européennes qui poursuivent l'objectif de rétablir et maintenir le bon état de conservation des habitats naturels marins et l'atteinte du bon état écologique de ceux-ci.



*Michela Patrissi*

Michela Patrissi est chargée d'études à STARESO. Elle s'est spécialisée sur la pêche professionnelle grâce à de nombreux embarquements autour de la Corse sur les navires de pêche dans le cadre de différents projets de recherches. Michela a travaillé également sur différentes espèces halieutiques exploitées sur l'île telles que l'oursin violet *Paracentrotus lividus*, le corail rouge *Corallium rubrum* et la langoustine *Nephrops norvegicus*.



*Tatiana Severin*

Tatiana Severin est en postdoctorat à la STARESO où elle étudie l'impact du changement climatique et des pressions anthropiques sur les écosystèmes planctoniques de la baie de Calvi. Après un doctorat à l'observatoire Océanographique de Banyuls-sur-Mer où elle a étudié l'impact des cycles biogéochimiques sur le compartiment microbien de la colonne d'eau, Tatiana est partie aux Etats-Unis, à l'université du Texas à Austin, puis à Michigan State University, afin de se spécialiser sur la physiologie du phytoplancton et sa capacité à s'adapter aux pollutions anthropiques et à l'augmentation de la température.

# Sylvie Gobert



**Sylvie Gobert est professeure et directrice du laboratoire d'Océanologie biologique à l'Université de Liège en Belgique, ainsi que directrice de recherche à la STARESO en Corse. A travers dix questions, Sylvie partage avec nous son parcours, son expérience et sa vision de l'évolution des sciences marines au cours des 30 dernières années.**

*Propos recueillis par Arnaud Abadie*

*La Wallonie est fort éloignée de la mer. Comment est née ta passion pour le milieu marin ? Quel est ton parcours ?*

Effectivement La Wallonie est « loin » (200 km) de la mer mais en Belgique c'est bien connu, il pleut beaucoup ! On a pas peur de se mouiller !

C'est par la plongée que je suis arrivée à l'Océanographie. Mon papa a commencé à faire de la plongée quand j'avais 10 ans, dès que j'ai pu, je l'ai suivi : à la piscine, dans les carrières et ensuite en mer lors de nos vacances (en Mer du Nord, Atlantique, Adriatique...). Je cassais les pieds à tout le monde avec les noms des bestioles et algues « reconnues » dans un ou l'autre livre de Cousteau.

Tout naturellement, à 13 ans (on est alors en 1980), j'ai décidé que je serai océanographe, que j'irai faire mes études à l'Université de Liège puisque je m'étais renseignée (sans internet) : c'était là qu'on pouvait accéder à cette profession.

Donc à 18 ans, j'ai quitté la maison et grâce à mes parents, j'ai commencé des études en Biologie pour pouvoir accéder après 4 ans à une Licence et une Maîtrise en Océanographie, et une thèse de doctorat sur les posidonies. Ensuite, mon parcours est assez classique mais déjà à l'époque, il fallait s'accrocher et durant toutes ces années je me suis toujours dit que si je devais partir avant d'avoir un poste définitif, j'aurais au moins fait ce que j'aimais pendant un maximum de temps !

Ainsi pendant 8 ans, j'ai travaillé sur des contrats de 6 mois, un an sur divers projets (en écotoxicologie marine, sur le mammifères marins en Mer du Nord; le cycle du carbone dans les posidonies en Méditerranée), ensuite des postes scientifiques temporaires pour donner des cours en océanographie et organiser les stages de terrain des étudiants en Corse (pendant 6 ans) et enfin une nomination dans le personnel scientifique permanent en 2006 et comme professeur en 2014.

*Quel est le lien de la ville de Liège avec la recherche océanographique ?*

Le lien entre la ville de Liège et l'océanographie, c'est l'Université avec une volonté de développer l'océanographie exprimée dès 1950. A l'époque, Le Recteur (=le Président) de l'Université a conscience qu'on connaît peu du milieu marin et que pour le comprendre et en exploiter les ressources, il faut mieux le connaître mais pas avec une approche classique : la biologie par les biologistes d'un côté, la chimie par des chimistes de l'autre, ..., mais bien par une approche intégrée ou le scientifique aura la formation pour pouvoir comprendre un phénomène du milieu marin avec des connaissances de biologiste marin, de chimiste océanographe, ... Ainsi, avec ses collègues, Le Recteur lance une formation universitaire en océanographie, cette formation (qui existe toujours actuellement) forme des océanographes capables de comprendre la biologie, la chimie, la physique, la géologie des océans.

*Quelles sont les thématiques de recherche du Laboratoire d'océanologie biologique que tu diriges ?*

Avec mes collaborateurs, nous travaillons en écotoxicologie marine, dans toutes les régions du monde depuis l'Arctique jusqu'en Antarctique en étudiant les transferts de polluants – nous sommes spécialiste des éléments traces « classiques » comme le plomb, le mercure, le zinc, l'arsenic et « émergents » (des éléments utilisés dans les nouvelles technologies : téléphonie, batteries, ..) comme le titane, le bismuth, le vanadium. Nous en mesurons les concentrations dans l'eau, le sédiment, les organismes (plancton, moule, mammifère marin) pour savoir comment ces polluants se comportent mais aussi pour en connaître les effets sur la physiologie des animaux et des végétaux marins et pour prédire leurs effets sur la santé humaine (consommation des produits de la mer).

Un autre axe majeur de notre laboratoire est la compréhension des écosystèmes marins par l'étude des transferts du carbone, de l'azote et l'étude des réseaux trophiques. Exprimée de manière simplifiée, nous étudions qui mange quoi (herbivore, carnivore, nécrophage), qui mange qui (top



La proximité avec la mer du laboratoire de la STARESO offre la possibilité aux chercheurs de l'Université de Liège d'analyser rapidement les échantillons récoltés en mer.

prédateur, piscivore) et qui mange où (zone côtière, abysse). Nous pouvons ainsi comprendre le fonctionnement des écosystèmes marins (mais aussi comprendre comment se fait le transfert des polluants: première thématique de mon laboratoire).

*Comment partages-tu ton temps entre la recherche et l'enseignement? Quelles sont les difficultés pour assurer ces deux fonctions?*

Si je devais remplir un calendrier de mon emploi du temps aujourd'hui, je pense que la conclusion serait que je passe 40% de mon temps à des charges administratives et de gestion, 40% pour l'enseignement et donc

20% pour la recherche.

Mais pour moi ces deux fonctions recherche et enseignement sont imbriquées. Évidemment, un cours se prépare si on tient à faire passer ce que l'on connaît. Cette préparation ne se fait pas de la même manière que la conception d'un projet ou d'une expérience même si dans tous les cas, une explication, rédaction conceptualisation claire (et qui paraît donc simple) donne plus de résultats qu'un « charabia complexe ». J'essaie toujours d'illustrer mes cours avec des exemples de recherches personnelles ou de collègues, je fais participer les étudiants aux cours (inutile d'espérer venir terminer sa nuit au fond de l'auditoire ou près du radiateur, tout le monde aura son tour devant la classe !).



L'étude des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau fait partie des sujets de recherche du laboratoire d'Océanologie biologique dont Sylvie est responsable.

*Tu es une spécialiste des plantes sous-marines et notamment de la posidonie en Méditerranée. Qu'en est-il de l'état des herbiers en Méditerranée face aux activités humaines et au réchauffement climatique ?*

Même si j'ai la chance d'avoir accès à un site très bien préservé ici en Corse, avec un herbier en très bon état (ce qui permet de réaliser des observations « naturelles » qui sont impossibles dans des endroits très impactés par l'activité humaine car ce qu'on y mesure sont les conséquences des réactions à l'anthropisation), les herbiers, qui sont en fait les forêts sous marines de La Méditerranée, sont, dans beaucoup de régions, altérés par les activités humaines. Evidemment le changement climatique aura des effets directs sur la physiologie de la plante et indirects par les modifications des populations : espèces envahissantes, pathogènes.

Une menace terrible sur les herbiers, qui pourrait être réduite par des mesures assez simples, c'est son morcellement par les ancrages des bateaux. Pour visualiser le carnage qui se déroule de manière silencieuse, imaginez la scène suivante : vous décidez de prendre l'apéro ce dimanche en pleine forêt amazonienne, vous y allez en famille avec votre hélicoptère. Pour vous poser, il vous faudra couper une surface nécessaire à l'atterrissage de cette forêt millénaire. Quelques minutes plus tard, votre verre terminé, vous rentrez à la maison pour dîner, en décollant vous arrachez encore quelques dizaines de mètre carré d'arbres et de ce qui vit dessus. Après votre départ, la pluie s'infiltrera dans la brèche que vous aurez créée et continuera de dégrader la forêt qui pourra peut être revenir à son état initial dans quelques centaines d'années. RIDICULE !!, pas tant que cela, cette fadaise n'en est pas une, c'est une réalité. A chaque relevé d'une d'ancre accroché dans l'herbier, des faisceaux de posidonie sont arrachés et l'herbier est morcelé, les courants érodent les parties abîmées, il faut environ un siècle pour recoloniser un mètre carré.

*Quelles sont les activités menées par ton laboratoire à STARESO ?*

Une partie de nos mesures,

observations, prélèvements est lié à des projets de recherche menés en totalité ou en partie en face de STARESO. C'est une station de recherche exceptionnelle à plus d'un titre : nos sites sont accessibles directement en plongée depuis la base, à quelques miles au large (20 minutes en bateau), nous sommes au pied de canyon sous-marin ; tout ceci accessible 24H/24 et toute l'année. Aucune station marine de Méditerranée ne bénéficie d'un accès pareil avec des telles conditions de préservations !

Nos étudiants en profitent également pour leur stage de terrain durant le master et pour venir conduire leurs recherches de mémoire ou de doctorat. Au final, je passe presque 3 mois par an en Corse.

*La plongée sous-marine peut occuper une part très importante des recherches de terrain en océanologie. A quoi ressemble une plongée type de biologiste marin (si une telle chose existe) ?*

C'est une des particularité de notre laboratoire, une partie de nos résultats sont issus d'expériences menées in situ, des heures et des heures d'observation, de comptages.

Il n'y a pas effectivement de plongée type mais une chose est certaine, sans préparation, ce type de plongée devient vite un fiasco (perte ou oubli de matériel, perte des échantillons, prise d'échantillons inutilisables). On aurait tendance à l'oublier car cela à l'air si simple mais dans l'eau rien n'est comme d'habitude : des objets qui coulent ou flottent et donc que vous perdez dès que vous les lâchez ; difficile d'improviser et d'expliquer votre nouvelle procédure à votre compagnon de plongée (vous aurez juste en face de vous deux grands yeux interrogatifs perdus dans un masque !). Le temps est compté : la saturation en azote doit être prise en compte, la quantité d'air dont vous disposez est limitée par le volume de votre bouteille ; il peut faire froid : essayez de visser, piquer, découper dans une eau à 13°C, les doigts s'engourdissent. Chaque mise à l'eau fait l'objet d'une préparation mais aussi d'un débriefing qui permettra de mettre au point le petit objet, outil qui nous fera gagner 5 minutes.



Sylvie est sur tous les fronts et n'hésite pas à se mouiller pour étudier les écosystèmes marins.

*Au cours de ta carrière tu as vu évoluer les techniques et les pratiques scientifiques. Quelles ont été les plus grandes avancées des 25 dernières années ?*

Oui, oups, cela fait presque 40 ans que je plonge (pas d'ordinateur de plongée, pas de manomètre, pas de gilet stabilisateur)! Le matériel a évolué : plus performant et confortable, les mélanges gazeux utilisés pour des plongées différentes (plus longues, plus profondes, moins fatigantes); les règlements, eux, sont devenus plus sévères et contraignants (pour la sécurité de tous). Il n'est pas raisonnable de raconter ce que nous faisons « à l'époque »...

Pour nos recherches, il y a maintenant des appareils, techniques qui peuvent acquérir en routine les données que nous mesurons une par une il y a des années (pour des cartographies, comptages, ...) mais la validation se fait toujours avec l'œil de l'expert qu'aucune machine n'a encore remplacé.

*Lorsque l'on se penche sur l'histoire des sciences il est clair que les femmes en ont été écartées depuis son commencement pour des raisons infondées. Ce constat malheureux est bien évidemment fait dans tous les domaines de la société. Comment ont évolué les mentalités dans les sciences ? Quelles évolutions sont encore nécessaires pour atteindre une égalité femmes/hommes dans les laboratoires ?*

Depuis toujours, je vis entourées de garçons : que des frères, peu de cousine, inscrite dans une école de garçon la première année obligatoire de la mixité des établissements scolaires : bilan 900 garçons et 30 filles, encore maintenant dans bons nombres de réunions auxquelles je participe (scientifique ou académique), les femmes sont minoritaires. Et oui ! Il m'est arrivé régulièrement de subir la misogynie de certains mal élevés.

Mais les choses changent, avec une volonté d'augmenter la présence féminine à tous niveaux. J'ai l'impression qu'avec la mixité depuis la crèche, les jeunes générations font moins de différence, en tout les cas elles sont discutées plus librement,

avec moins de tabou. Pour d'évoluer, il faut continuer l'éducation (dans les familles, les écoles, les universités, les entreprises) dans ce sens portée par une volonté similaire active des pouvoirs politiques.

*Selon toi quels sont les prochains défis en sciences marines ?*

Une meilleure connaissance des milieux marins pour la mise en place efficace de développements durables locaux et à l'échelle de la planète.

*Quelques références bibliographiques de Sylvie*

Gobert, S., Kyramarios, M., Lepoint, G., Pergent-Martini, C., & Bouqueneau, J. M. (2003). Variations at different spatial scales of *Posidonia oceanica* (L.) Delile beds; effects on the physico-chemical parameters of the sediment. *Oceanologica Acta*, 26(2), 199-207.

Gobert, S., Cambridge, M. T., Velimirov, B., Pergent, G., Lepoint, G., Bouqueneau, J. M., ... & Walker, D. I. (2007). Biology of *Posidonia*. In *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 387-408). Springer, Dordrecht.

Gobert, S., Sartoretto, S., Rico-Raimondino, V., Andral, B., Chery, A., Lejeune, P., & Boissery, P. (2009). Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11), 1727-1733.

Gobert S., Abadie A. (2019) La plante de la mer du milieu : la posidonie.



# LES SCIENCES MARINES AU FÉMININ

C'est un fait, les inégalités entre les femmes et les hommes sont présentes dans tous les aspects de nos vie et de notre société. Longtemps écartées des professions scientifiques, en se basant sur des préjugés totalement erronés, les femmes font désormais partie intégrante de la recherche scientifique de pointe. Mais le chemin a été ardu pour obtenir ces avancées égalitaires et vous allez voir que qu'il y a encore une sacré marge de progression pour atteindre une vraie parité dans le monde scientifique.

Michèle Leduc

### Depuis l'origine...

Il est de coutume parfois de dire que, derrière un homme qui réussit, se cache une femme. Si l'expression est sans doute ancrée dans une certaine réalité, y compris en sciences, elle peut apparaître comme maladroite dans sa formulation. Les femmes se cachent-elles vraiment ?

Les inégalités homme/femme existent depuis très longtemps et dans quasiment tous les pays du monde. Leurs origines sont multiples mais peuvent être, en partie, retrouvées dans la religion, et ce dans toutes les religions basées sur le fait que le but de la femme est de procréer et de rester soumise à son mari. Cette inégalité est difficile à contrer puisqu'intégrée dans les mentalités depuis toujours. Après de longues années à tenter de faire entendre leurs voix, les femmes ont été considérées assez tardivement dans la législation. Le principe de l'égalité entre les femmes et les hommes dans tous les domaines est inscrit dans le préambule de la Constitution « La loi garantit à la femme, dans tous les domaines, des droits égaux à ceux de l'homme » depuis 1946.

De plus, les femmes ont été absentes des académies, lieux principaux de connaissance scientifiques jusqu'à la fin du XIXe siècle. L'accès libre à l'université n'est possible pour les femmes que depuis 1938 avec la suppression de l'incapacité civile : les femmes peuvent s'inscrire à l'université sans l'autorisation de leur mari. Malgré tout, de nombreuses femmes pionnières autodidactes ont marqué l'histoire. En voici trois exemples marquants.

**Jeanne Villerpreux-Power** (1794 – 1871) est très peu instruite mais s'immerge dans un univers baigné de sciences grâce à un mariage réussi. Elle se forme en autodidacte et se passionne pour l'histoire naturelle et devient une scientifique. Jeanne a percé dans ce milieu en étudiant l'Argonaute, mollusque céphalopode vivant dans une coquille et en clarifiant une controverse, en 1833, qui divisait la communauté scientifique : était-ce un parasite habitant la coquille d'un autre animal ou sécrétait-il cette coquille lui-même ?

*« Ayant depuis plusieurs années consacrées aux sciences naturelles les heures qui me restaient libres de mes affaires domestiques, pendant que je classifiais pour mon cabinet quelques objets marins, le poulpe de l'Argonaute fixa mon attention... »*  
*Jeanne Villerpreux-Power dans Observations physiques sur le poulpe de l'Argonauta argo.*

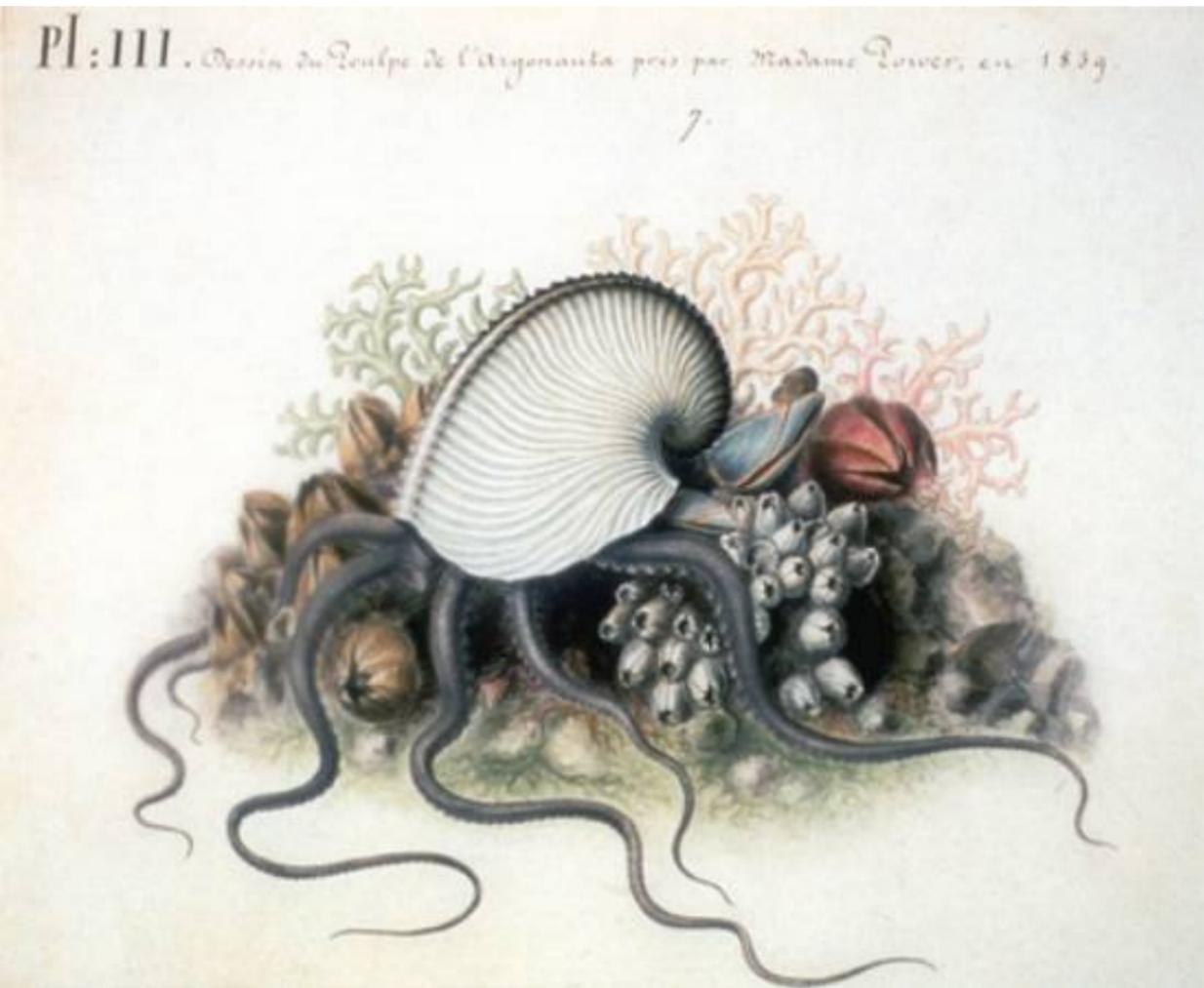
Ainsi, Jeanne réalise de nombreuses expériences pour démontrer que l'animal est capable de réparer la coquille grâce à ses capacités de sécrétion. Or, Jeanne reste en bas de l'échelle de l'autorité scientifique, ce qui l'oblige, pour être écoutée, à produire une batterie d'arguments expérimentaux ou à être soutenue par des scientifiques hiérarchiquement plus imposants. De plus, Jeanne emploie une approche novatrice : il faut observer les organismes sur leurs lieux de vie ou recréer les conditions d'observation les plus « naturelles » possible. Elle crée ainsi les premières formes d'aquariums modernes et essaye de reconstituer un environnement aussi « écologique » (comme on dirait aujourd'hui) que possible.

**Anita Conti** (1899 – 1997) est la première femme océanographe française et fut la première femme à embarquer sur un navire scientifique. « Si je n'étais pas portée par la mer, de temps en temps, je serais morte. Sur la terre ferme vous mesurez l'obstacle, en mer vous ne mesurez rien », résume Anita Conti en 1992 sur France 3.

Passionnée par la mer, elle embarque de plus en plus sur les bateaux de pêche où elle s'initie au travail scientifique en observation. Elle prend conscience que les ressources sous-marines sont fragiles et épuisables. Elle commence donc à dresser les premières cartes de pêche et

Jeanne Villepreux-Power, photographiée en 1861 par André-Adolphe-Eugène Disdéri.





Anita Conti exploratrice, photographe et océanographe française.

« Dessin du poulpe de l'Argonaute pris par Madame Power en 1839 », aquarelle de Jeanne Villepreux-Power. © Bibliothèque centrale du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

contribue à rationaliser les pratiques de pêche hauturière. Anita parcourt les océans jusqu'à ses 85 ans. Ses convictions écologistes étant de plus en plus fortes, Anita Conti fait peur et elle est peu à peu oubliée. Ses écrits ne sont redécouverts que des années plus tard. Avant-gardiste, ses observations sont toujours d'actualité.

**Mileva Maric** (1875 – 1948) le talent caché d'Einstein  
 "Derrière chaque grand homme se cache une femme." Cet adage un tantinet agaçant se vérifie parfois. Mileva Maric, brillante

physicienne née en 1875 en Serbie, n'est autre que la femme d'Albert Einstein. Les deux scientifiques se rencontrent à 1896. Elle est méthodique et persévérante, lui est curieux et indiscipliné. Les deux amants étudient en binôme et finissent par se marier en 1903.

Trois ans plus tard, c'est la consécration pour Albert Einstein qui se fait notamment connaître grâce à sa publication sur la relativité restreinte et sa célèbre équation  $E = mc^2$ . Bien que leurs proches aient témoigné plus tard de l'importance de leur collaboration, le nom de Mileva Einstein n'apparaît nulle part. "Nous formons une seule pierre" (en allemand, "en Stein" signifie

"une pierre"), justifie-t-elle. En 1919, quand le couple divorce, l'une des clauses précise que, si Albert Einstein obtient le prix Nobel de physique, il devra reverser l'intégralité de l'argent à Mileva. En 1925, bataillant avec son ex-mari au sujet de l'héritage de leur fils, Mileva obtient son dû en le menaçant de révéler l'ampleur de ses contributions.

### *Aujourd'hui, la place de la femme dans les sciences*

En 2016, les filles étaient encore sous représentées dans les domaines scientifiques au second degré (45.2%). Ainsi, les filles font plus des choix d'enseignements littéraires et les garçons d'enseignements scientifiques ou technologiques. On retrouve cette même situation au second degré (45.2%). Ainsi, les filles font plus des choix d'enseignements littéraires et les garçons d'enseignements

scientifiques ou technologiques. On retrouve cette même tendance dans l'enseignement supérieur. Bien qu'en 2018-2019, 59 % des étudiants de l'enseignement supérieur sont des femmes, elles restent minoritaires dans les disciplines scientifiques (38 %). Depuis 1980, en France, la scolarisation des femmes dans l'enseignement supérieur s'est plus fortement développée que celle des hommes, mais en s'orientant vers les formations paramédicales (64 % en médecine, odontologie, pharmacie) et les disciplines littéraires (69% en langues ou en lettres-sciences humaines).

Cette sous-représentation des femmes dans les domaines des mathématiques, des sciences physiques, des technologies et de l'ingénierie est constatée à l'échelle mondiale. La réduction de ce déséquilibre est souvent un objectif prioritaire dans les pays développés progressistes. Une étude de 2018, menée sur 472 000

Mileva Einstein, l'oubliée de la relativité ? Photo : ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Public Domain Mark.



adolescents répartis sur 67 pays, montre cependant qu'il existe une véritable tendance de fond qui est, que plus un pays lutte contre les inégalités homme-femme, moins les femmes font d'études scientifiques. Deux processus semblent expliquer ce phénomène. Tout d'abord, les filles se perçoivent meilleures en lettres qu'en sciences. Cependant, l'étude a montré que les jeunes filles obtenaient des résultats en sciences similaires voire meilleurs que les garçons dans la majorité des pays. Ainsi, elles orienteraient leur choix vers un domaine qu'elles préfèrent où elles s'estiment plus performantes, même si cela n'est pas avéré. Cet effet semble être accru dans les pays égalitaires où l'expression des goûts personnels dans les choix professionnels est encouragée. La deuxième explication vient du fait que les métiers scientifiques s'apparentent à des emplois sûrs et bien rémunérés motivant ainsi l'intérêt des filles dans les pays moins favorisés.

Au fil des années, le nombre de femmes qui choisissent de poursuivre des

carrières scientifiques ou technologiques a significativement augmenté. Cependant, bien que l'on observe aujourd'hui des signes encourageants de progrès, les femmes demeurent encore sous-représentées à tous les niveaux dans le secteur des sciences, des technologies, de l'ingénierie et des mathématiques. De plus en plus d'organismes veulent promouvoir la place de la femme dans la science.

Par exemple, le CNRS a été le premier en 2001 à créer la Mission pour la Place Des Femmes (MPDF). En effet, la répartition femmes-hommes au CNRS est très inégale : dans certains domaines et certains grades, les femmes sont très majoritaires, dans d'autres elles sont presque absentes. Ainsi, la branche d'activité professionnelle « sciences du vivant, de la terre et de l'environnement » est une des branches les plus féminisées. Cependant, les postes à plus haute responsabilité sont souvent occupés par des hommes (15% des femmes ingénieurs de recherche contre 32.7% d'hommes au même poste).

### La femme biologiste plongeuse

Un autre frein à la présence des femmes dans l'océanologie est la nécessité parfois de s'immerger dans le milieu pour l'étudier et ainsi de pratiquer la plongée sous-marine. Encore une fois, 99% des plongeurs commerciaux sont des hommes, tandis que 55% des biologistes marins sont des femmes. Dans la plongée sportive, nous retrouvons aussi une majorité d'hommes avec environ 48% d'adeptes féminines de plongée sous-marine en 2009 contre seulement 9% en 1968. Le monde de la plongée sous-marine était autrefois réservé aux hommes.

« La proportion des « plongeuses augmente sans cesse et elle augmenterait davantage si « les autres » savaient qu'aucun esthéticien ni aucun bustier ne peut leur donner le galbe naturel et la silhouette que leur assure, le temps d'une plongée, les lois physiques étudiées au chapitre précédant. ». Ainsi s'exprime en 1962 Guy Poulet, figure de la plongée française. Cette vision très masculine est révélatrice de la perception des plongeuses au début des années soixante et de la nécessité de plonger pour la transformation de leur plastique et non

pour le seul plaisir. La première représentation de la femme plongeuse dans les magazines ou les publicités est donc révélatrice de cette répartition des rôles où la femme, peu équipée (palmes, masque et arbalète), s'exhibe devant un photographe en combinaison et scaphandre autonome (Magazine Point de Vue, Images du monde d'août 1951 reprise dans la publicité La Spirotechnique de 1958).

La féminisation de l'exploration sous-marine atteste dans le cas de la plongée d'une émancipation de la chasse sous-marine et de la plongée militaire. Son développement doit aux évolutions des représentations de l'immersion mais aussi aux transformations plus générales de la société. L'émergence d'une conscience écologique collective depuis les années 1970- 1980 qui « porte » le développement des activités de pleine nature est une piste non négligeable de l'attrait général pour la plongée.

La première femme à exercer la plongée professionnellement est Sophie Wilde dans le milieu de la photographie en 1982. Cependant, dans le cadre professionnel, l'accès à l'air comprimé aux femmes a été autorisé seulement dans le décret du 28 mars 1990, abrogeant le vieil article du Code du

Les femmes de science sont de plus en plus régulièrement mises à l'honneur comme lors de l'événement « La science taille XX elles » organisé en 2018 par le CNRS et l'association Femmes & Sciences. Malgré les progrès des dernières années d'importants progrès sont encore nécessaire pour atteindre l'égalité femme/homme dans les sciences.



Première représentation féminine parue dans la revue officielle de la F.F.E.S.S.M : Etudes et Sports Sous-Marins, n°2, 1958, publicité pour la marque d'équipement : La Spirotechnique.

Travail. Aujourd'hui, la plongée professionnelle pour les femmes ne voit plus de barrières particulières. Cependant, les mentalités doivent encore changer !

*Témoignage de Leslie Bissey.  
Océanologue, photographe sous-  
marin et skippeuse*

**Son parcours**

Après une licence « Sciences de la mer et de l'environnement » au sein de



Une plongeuse scientifique étudie les herbiers de posidonies en Corse.

Après une licence « Sciences de la mer et de l'environnement » au sein de l'université Aix-Marseille II dont une année en échange ERASMUS en Angleterre (University of East Anglia) et un master en « Gestion des littoraux et des mers » (Paris et Montpellier), j'ai travaillé en Indonésie pour l'Agence environnementale de Java Ouest, puis en Asie pour le bureau d'études Créocéan où j'étais en charge du développement des projets en Asie du Sud Est dans le cadre d'un poste de VIE (Volontaire Internationale en Entreprise). Je suis ensuite rentrée en France où j'ai travaillé pour le Parc National des Calanques à Marseille. Ayant pendant mes années à l'étranger travaillé de manière indépendante, j'ai décidé de me lancer en tant que consultante pour des bureaux d'études, des laboratoires de recherches en France et à l'étranger (Maldives, Polynésie...). Puis en 2017, j'ai acheté « Moody », un voilier anglais que je voulais mettre au service du projet WeOcean que j'avais en tête depuis plusieurs

que je voulais mettre au service du projet WeOcean que j'avais en tête depuis plusieurs années déjà. Elodie puis Typhaine m'ont rejoint a bord et nous formons aujourd'hui un trio féminin qui s'engage pour le milieu marin.

### Son métier

Finallement, je suis multicasquette ! Je suis plongeuse scientifique pour réaliser des suivis, plongeuse technique pour réaliser de la maintenance de structures en restauration écologique. Il m'arrive aussi de faire du traitement de données scientifiques, de la sensibilisation comme par exemple lors de la campagne Ecogestes Méditerranée qui s'adresse à la plaisance, puis skippeuse sur que je voulais mettre au service du projet WeOcean que j'avais en tête depuis plusieurs mon voilier dans le cadre du projet, et je découvre le métier de réalisatrice depuis trois ans puisque nous venons de réaliser notre premier long métrage "Méditerranée à venir". Il m'arrive donc aussi d'être en train de piloter

un drone ou de filmer sous l'eau. Évidemment, il faut aussi gérer la partie administrative, demandes de subventions, comptabilité...

L'association We Ocean a plusieurs vocations :

- Une partie expertise et suivi scientifique centrée sur l'herbier de Posidonie, les post larves de poissons et le suivi de récifs artificiels,
- Sensibilisation sur le milieu marin, avec la campagne EcoGestes Méditerranée en partenariat avec la région Occitanie et une trentaine d'associations sur le littoral Occitanie PACA Corse.
- Développement de projets audiovisuels, avec une premier 52 min « Méditerranée A venir » et de nombreuses photographies de biodiversité que nous utilisons dans le cadre de conférences et d'expositions.

L'ensemble de ces projets sont

majoritairement menés avec le voilier. L'association est basée à la Ciotat et au Grau du Roi. Nous sommes maintenant trois associées : Elodie Gasparin (Biologiste marin et ingénieur agronome,, co-équipière à bord de WeOcean) et Thiphaine Szelangiewicz (Réalisatrice et cadreuse sous-marin) et moi.

### Pourquoi avoir choisi deux associées féminines ?

Cela s'est fait naturellement, Elodie était une amie qui avait des compétences complémentaires au mienne car elle est plus biologiste marin et moi océanologue (gestion, développement de projet). Et on a croisé Typhaine au hasard lors d'un festival, elle avait entendu parler du projet WeOcean et elle voulait s'impliquer dans un projet qui avait du sens au niveau environnementale en plus de l'aspect réalisation de films. La volonté de départ n'était pas forcément de fonder une équipe féminine. D'ailleurs des hommes viennent à bord selon les projets que l'on a.



Leslie en plein tournage ! Photo : WeOcean.



Le « Moody » le navire de WeOcean. Photo : WeOcean.



La team WeOcean. De gauche à droite : Élodie Gasparin, Thiphaine Szelangiewicz et Leslie Bissey. Photo : WeOcean.

### Plongeuse au quotidien, est-ce un handicap pour une femme ?

C'est un métier génial, peut être physiquement un peu fatiguant car pas régulier avec l'alternance des périodes avec de nombreuses plongées et d'autres plus calmes. Je ne sais pas si c'est un handicap mais cela suscite des questions comme le fait d'être sur un voilier. Cela interpelle, lorsqu'on arrive dans un port, on nous demande où est le skipper... Et bien c'est moi et je suis une femme. Les gens sont encore perturbés car nous évoluons dans des milieux clairement très masculins, que ce soit la plongée ou la voile.

### Des difficultés dû au fait d'être une femme dans votre cursus ?

Clairement oui, j'ai dû démissionner

d'un poste à cause de cela. Nous pouvons être amenés dans ce métier à partager sur le terrain beaucoup de choses avec nos collègues et parfois certains n'ont pas de limite et attendent autre chose d'une femme. J'ai appris de cette expérience et lorsque je cherche de nouveaux partenariats je fais bien attention à ce que ce soit des partenariats professionnels et non intéressés.

### Un plus d'être une femme dans ce métier ?

Finalement, le fait d'être une équipe féminine dans un milieu masculin (biologiste marin, plongée, voile), cela interpelle et parfois, nous ne sommes pas pris au sérieux. Et d'autres fois, les gens admirent le fait que l'on soit des femmes et que nous menions ces projets. Cela montre que ce n'est pas un frein d'être une femme. Peut-être cela va nous aider par la suite, car nous sommes peu

nombreuses à monter des projets 100% féminin.

### Et si vous aviez des hommes dans l'équipe ?

Nous aurions peut-être plus de crédibilité sur le premier contact. Les gens sous-estiment ce que l'on fait à bord et doutent de nos capacités physiques. Alors que finalement ont fait la même chose que les hommes mais d'une manière différente.

Propos recueillis par Michèle Leduc

### Le changement climatique, une question féminine ?

De plus en plus d'études sur le genre voient le jour et s'interrogent sur l'influence des femmes scientifiques sur les décisions environnementales. Ainsi, une Université Québécoise s'intéresse aux impacts des changements climatiques selon les genres.

« Le genre fait référence aux opportunités et attributs sociaux associés au fait d'être un homme ou une femme et aux relations entre les femmes, les hommes, entre les filles et les garçons ainsi qu'aux relations entre femmes et entre hommes. Ces attributs, opportunités et relations sont des constructions sociales. Cela signifie que ce sont des constructions et des produits de la société et, en cela, ils peuvent être modifiés et transformés. » (Skinner 2012 – traduction de la définition d'ONU Femmes).

Les femmes sont plus vulnérables aux impacts des changements climatiques sur leur santé. Par exemple, l'exposition pendant la grossesse aux polluants organiques de l'environnement pourrait avoir des répercussions sur la santé de l'enfant et de la mère. De plus, plusieurs études ont révélé que les femmes se montrent davantage préoccupées que les hommes par le phénomène des changements climatiques. L'importance de la place des femmes

en sciences de l'environnement est largement démontrée. Une plus grande diversité dans les équipes de recherche amène des applications également pensées pour les femmes ou les autres groupes souvent exclus des réflexions en science et en ingénierie. Puisque les changements climatiques n'affectent pas tout le monde de la même façon, les mesures de lutte doivent tenir compte des besoins spécifiques des femmes et des populations à risque comme les jeunes, les personnes immigrantes ou les communautés autochtones. Il est donc essentiel que les femmes fassent partie non seulement des équipes scientifiques, mais également des processus de décision.

### Le mot de la Fin

Saviez-vous que :

Les femmes par rapport aux hommes :

- vivent en général d'une façon plus «durable» ;
- ont une plus petite empreinte écologique ;
- génèrent moins de gaz à effet de serre.

Le but de cet article est bien de montrer qu'il y a une complémentarité et un avantage certain pour la science à travailler dans la parité. Aujourd'hui, les mentalités évoluent et de nombreuses femmes océanologues tiennent une place importante dans les sciences.

### Pour en savoir (beaucoup) plus

Arnal, Claude (1994) La Dame des Argonautes, Bulletin de la Société des Lettres, Sciences et Arts de la Corrèze, p. 179-189

CNRS (2018) Rapport de situation comparée entre les femmes et les hommes, Mission pour la place des femmes au CNRS

Mascaret (1985) L'aventure sous-marine. Histoire de la plongée sous-marine de loisir en scaphandre autonome en France (1865-1985).

Miriam Gay-Antaki and Diana Liverman (2018) Climate for women in climate science: Women scientists and the Intergovernmental Panel on Climate Change PNAS 115 (9) 2060-2065

# CURE DE DÉTOX CHEZ LES OISEAUX MARINS

## ÉLIMINATION DU MERCURE PAR LE SÉLÉNIUM

Le mercure se répand de plus en plus dans la nature et est aujourd'hui considéré comme l'une des substances les plus dangereuses pour la santé et l'environnement. Chez la plupart des organismes il s'accumule le long de la chaîne alimentaire. Les oiseaux marins ont alors une technique particulière pour l'éliminer : le sélénium.

*Le mercure, un danger*

Le mercure, de symbole Hg est un métal non-essentiel classé au troisième rang sur la liste des substances dangereuses et est considéré comme l'un des métaux les plus préoccupants pour les organismes marins. Le mercure provient de sources naturelles comme l'activité volcanique, et également de l'activité humaine avec les usines ou l'orpaillage. Il peut parcourir de longues distances dans l'atmosphère et atteindre des régions très éloignées des sources d'émissions. En 2003, il a été déclaré comme étant une substance nocive d'importance mondiale. Les effets du mercure sont néanmoins variables car ils dépendent de sa forme moléculaire.

Un peu de chimie est nécessaire pour comprendre le fonctionnement de l'intégration du mercure par les organismes vivants. Le mercure existe sous trois formes chimiques principales : élémentaire (Hg<sup>0</sup>), sous forme de sel inorganique (HgII), ou lié à un ligand organique, toutes ces espèces chimiques étant potentiellement toxiques. Le mercure

inorganique divalent (Hg<sup>2+</sup>) est l'un des éléments de liaison aux groupements thiols<sup>2</sup> les plus puissants. Sa toxicité est expliquée par sa capacité à former des complexes stables avec les groupes de protéines sulfhydryle-cystéine (-SH)<sup>3</sup>, comme de nombreuses enzymes liées aux groupements thiols. Les composés organiques du mercure sont principalement métabolisés<sup>4</sup> dans le foie où ils peuvent subir une méthylation<sup>5</sup> en méthylmercure (MeHg). Le méthylmercure est une puissante neurotoxine qui s'accumule dans les organismes et se bioamplifie au cours de la chaîne trophique, jusqu'à atteindre des niveaux dommageables pour la santé. Ses effets néfastes sont connus aux niveaux physiologiques, neurologiques, comportementaux et reproductifs.

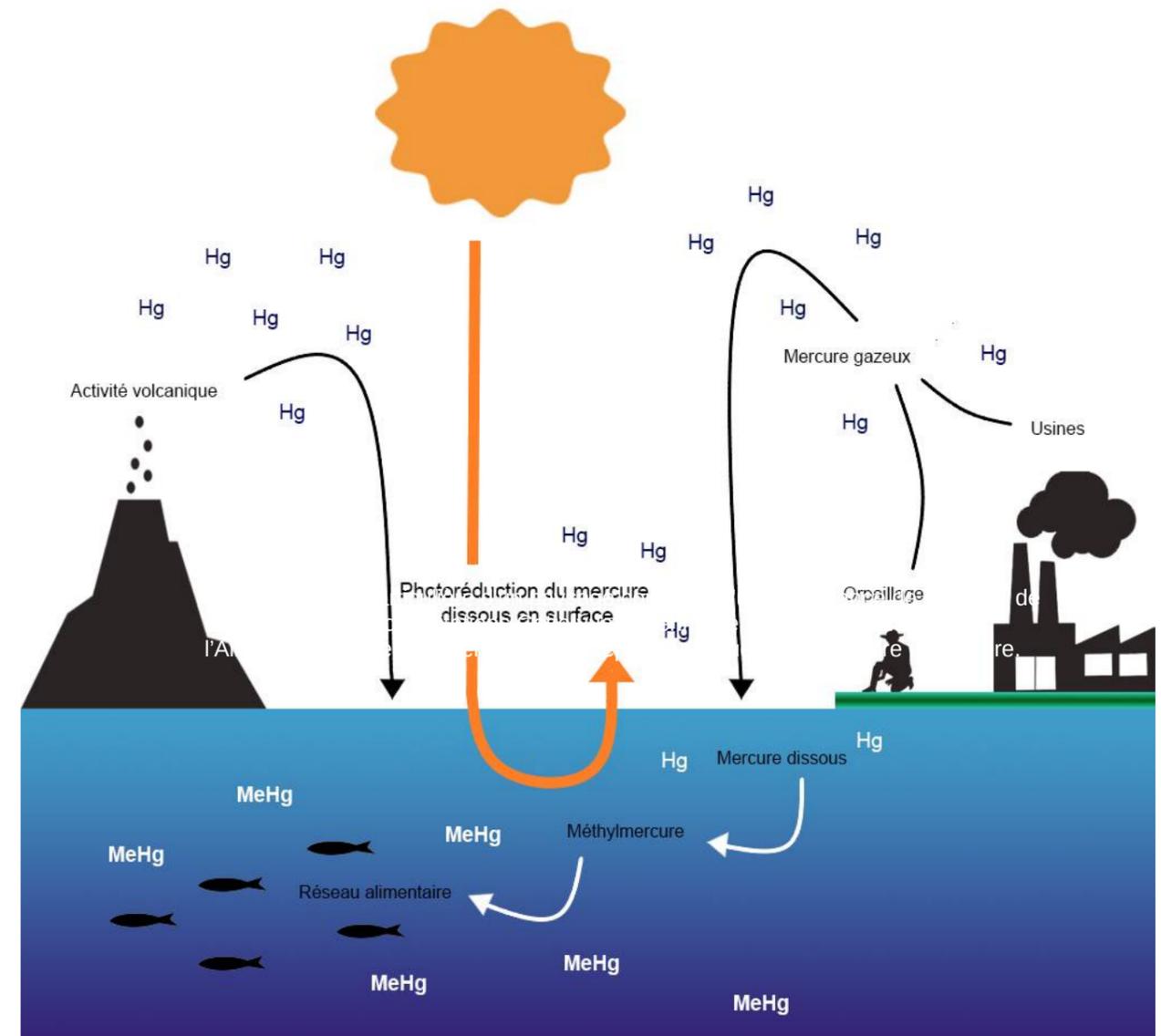
*Quelles conséquences pour les oiseaux marins ?*

Si les oiseaux marins ne constituent que 3 % de la totalité des oiseaux, ils jouent



Des mouettes scopulines sur la plage de Brighton en Nouvelle Zélande. Photo : CC Daniel Gammert.

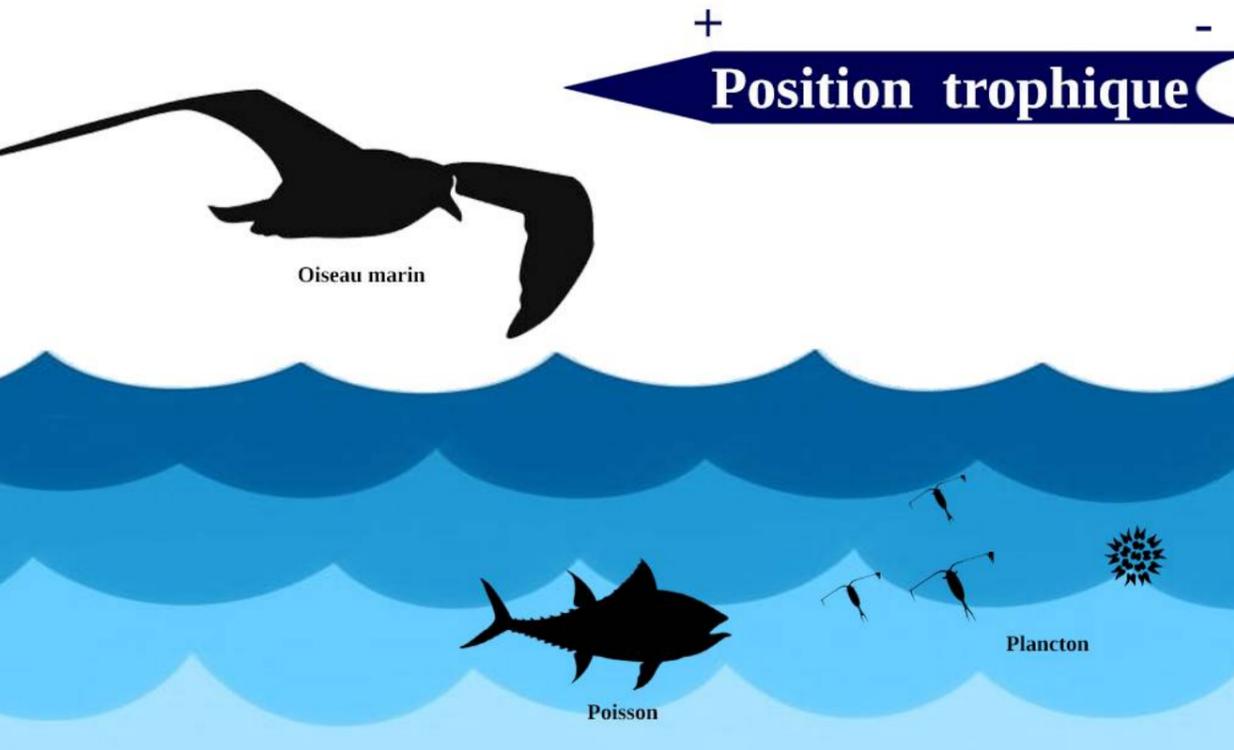
Sources naturelles et anthropiques du mercure (Hg) et son système de diffusion dans le milieu marin.



néanmoins un rôle essentiel dans leur écosystème. Présents sur tous les océans, ils sont de grands prédateurs et sont par conséquent situés tout en haut de la chaîne alimentaire. Il est donc très important de veiller à leur maintien. Chez les oiseaux marins, le mercure peut entraîner une réduction de l'apport alimentaire conduisant à une perte de poids et une faiblesse progressive dans les ailes et les pattes. L'oiseau aura donc des difficultés à voler, marcher, se tenir debout et coordonner ses mouvements musculaires. Au niveau

reproducteur, les effets du mercure sont multiples. Ainsi, une dose de 2 ppm conduit à un développement tardif des testicules chez les jeunes mâles, une atresie<sup>6</sup> des gonades et chez les femelles et une baisse de la fertilité. Sur le système nerveux central, le mercure peut provoquer des dysfonctionnements associés à des lésions, particulièrement dans la moelle épinière.

Les oiseaux marins accumulent le mercure principalement via leur alimentation, et l'éliminent par leurs excréments, leur plumage et, chez les femelles, par les œufs. Il



Plus un prédateur est placé haut dans la chaîne alimentaire, plus sa position trophique augmente. Les oiseaux marins sont situés à des hauts niveaux trophiques.

ne se contentent donc pas d'absorber le mercure : ils équilibrent la balance entre le taux ingéré et celui éliminé. Durant la synthèse du plumage, le mercure est transporté par le sang vers les plumes en croissance. Une fois leur synthèse terminée, chaque plume devient physiologiquement inerte, non irriguée ce qui empêche toute remobilisation du mercure vers le corps. Ainsi, le renouvellement du plumage constitue une voie de détoxification et d'excrétion du mercure tout à fait efficace, permettant d'éliminer plus de 90% du mercure accumulé dans les tissus internes. La détoxification du mercure dans les tissus internes est permise par des protéines, notamment par les métallothionéines<sup>7</sup>. Ces protéines sont riches en cystéine et donc en groupement thiols qui permettent la liaison à différents métaux comme le cuivre ou le zinc pour lesquels elles jouent un rôle homéostatique<sup>8</sup>. Pour les métaux non-essentiels comme le cadmium ou le mercure, elles vont également permettre une plus

haute tolérance de l'organisme à ces éléments toxiques à de faibles concentrations. Elles protègent les cellules en agissant comme antioxydants et en piégeant les radicaux libres, mais également en liant les métaux lourds, les neutralisant et les enfermant à l'intérieur de la cellule.

### L'action du sélénium pour la détoxification

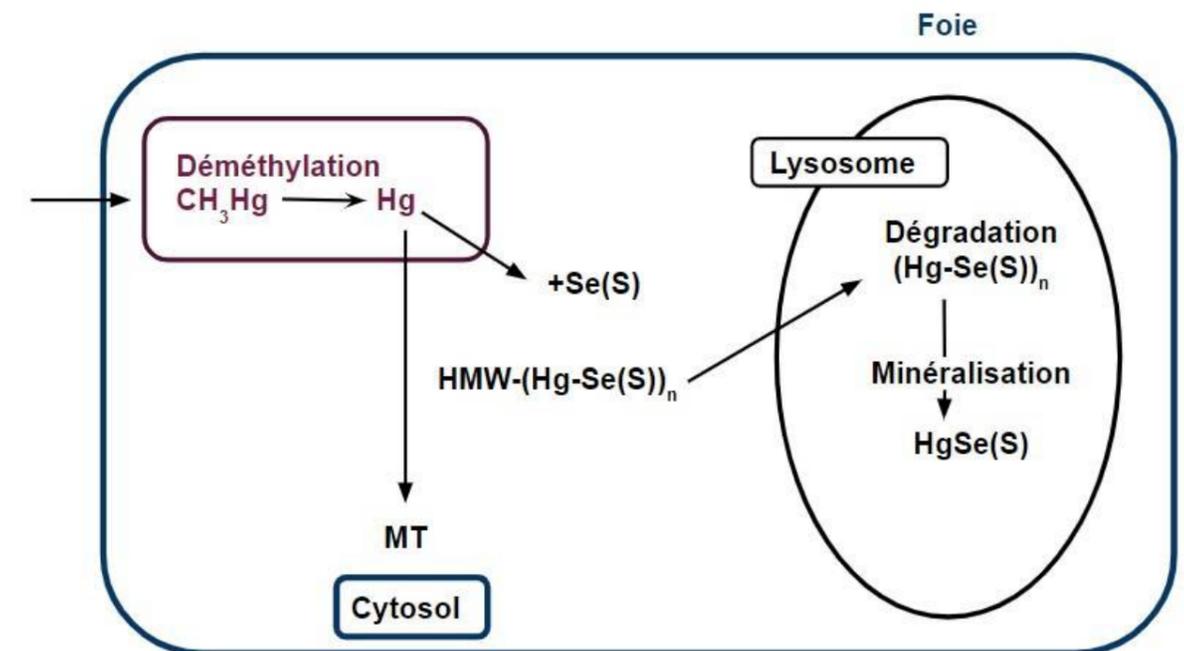
La détoxification du mercure est également permise via son interaction avec le sélénium (Se) qui permet de transformer le méthylmercure très toxique en séléniure de mercure, inerte chimiquement. Du fait de sa forte affinité pour le sélénium, cette déméthylation a lieu principalement dans le foie des oiseaux marins (mais également des mammifères marins), conduisant à une proportion de mercure inorganique majoritaire dans leur foie. La production de séléniure de

mercure (ou tiemannite) se caractérise par un ratio équimolaire (1:1) entre les deux éléments. La présence de tiemannite indique que le processus de détoxification du méthylmercure par le sélénium est actif, ce qui se traduit par leur coaccumulation. La présence de Se semble également avoir un effet inhibiteur de la toxicité du Hg au niveau des activités enzymatiques.

Le méthylmercure (MeHg) absorbé par l'alimentation est transformé en Inorg-Hg par la microflore intestinale, et le sélénium. L'Inorg-Hg résultant se lie aux Métallothionéines (MT) et forme un complexe Hg-Se équimolaire, puis se lie aux substances de haut poids moléculaire (HMW) dans le foie. Le complexe Hg-Se lié aux protéines est supposé être le précurseur du HgSe cristallin. On suppose que les molécules de glutathion (GSH) se fixent au HgSe pour le rendre soluble et que le complexe résultant se lie à une protéine spécifique. De plus, il est connu que la digestion des HMW liés au mercure et au sélénium par la protéase provoque la formation de mercure et de sélénium insolubles.

### Pourquoi cette détoxification n'est-elle pas toujours possible ?

Le Se est en partie essentiel et doit être présent à des niveaux appropriés (environ 30 mg/ kg de poids sec) pour maintenir la fonction physiologique dans le corps animal. En dessous d'un certain ratio Se:Hg, les liaisons entre le sélénium et le mercure ne se forment pas. Malgré ses effets protecteurs, le sélénium, lorsqu'il est présent en grande quantité, peut engendrer des anomalies comportementales, une chute du succès reproducteur et dans les cas extrêmes, la mort. Chez certains oiseaux, une concentration en sélénium entre 19 et 130 ppm dans le foie a été associée avec le fait que 40% des oiseaux adultes produisaient un embryon mort. De fortes concentrations en sélénium ont été reportées dans les œufs et les tissus d'oiseaux marins comme les guillemots marmettes. Chez la petite Sterne (*Sterna antillarum*), 80% des œufs testés dans le Nord de l'Amérique avaient une concentration en Se supérieure à celle considérée comme saine.



Processus de détoxification qui se produit dans le foie des oiseaux marins.

La pie de mer est un huîtreur qu'on retrouve sur les côtes françaises. Photo : CC Richard Bartz



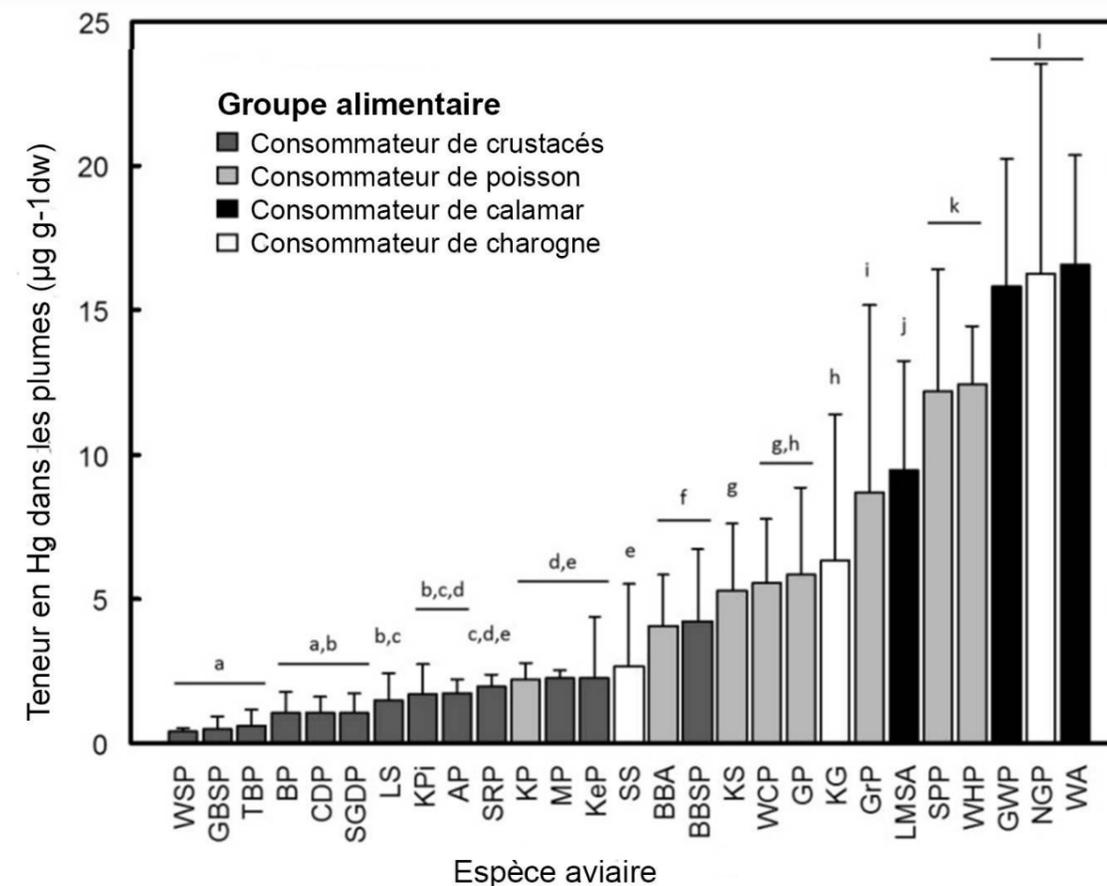
L'étude de Hutton en 1981 illustre déjà bien se principe. En mesurant la quantité de mercure et de sélénium dans le foie de Pie de mer *Haematopus ostralegus*, un huîtreur, ce rapport était déjà observé. En effet, la concentration en sélénium était alors de 12,8 µg/g pour seulement 0,73 µg/g de mercure. Le ratio Se:Hg était donc de 17,53, bien loin du ratio molaire 1:1 obtenu chez les mammifères marins. En 1977, Philips notait que les mollusques marins (dont se nourrit la Pie de mer) étaient capables d'accumuler de grandes quantité de mercure. Le niveau de mercure bas chez la Pie peut s'expliquer par le fait qu'il existe d'autres moyens de détoxification du Hg, ne nécessitant pas de Se.

### Comment expliquer les différences interspécifiques ?

Les différences interspécifiques, c'est-à-dire entre différentes espèces, de l'exposition au mercure sont le résultat du régime alimentaire. Le mercure étant amplifié

efficacement dans les réseaux trophiques, les proies de haut niveau trophique comme les poissons et les céphalopodes vont inévitablement présenter de plus fortes concentrations en mercure que les crustacés ou le plancton. Ces explications sont bien corrélées par la figure ci dessus, où les concentrations de Hg dans les plumes augmentent dans cet ordre : consommateurs de crustacés ≤ poissons ≤ céphalopodes ≤ charognes. Les eaux mésopélagiques sont celles qui contiennent le plus de méthylmercure. Par conséquent, les proies comme les céphalopodes, qui vivent dans ces eaux, seront plus contaminées, entraînant une plus forte contamination du consommateur.

Les espèces côtières se nourrissant d'organismes benthiques peuvent avoir des concentrations en mercure élevées. Cela s'explique par la biodisponibilité élevée du mercure dans les environnements benthiques, à cause de la production de MeHg dans les sédiments marins côtiers. La concentration en MeHg atteint son maximum dans les eaux



Cette figure est issu de l'étude de Carravieri et al. de 2014 « Mercury exposure in a large subantarctic avian community. Environmental Pollution ». Elle compare les différentes concentrations de mercure chez plusieurs espèces d'oiseaux marins en fonction de leur régime alimentaire.

mésopélagiques, entraînant la contamination des proies.

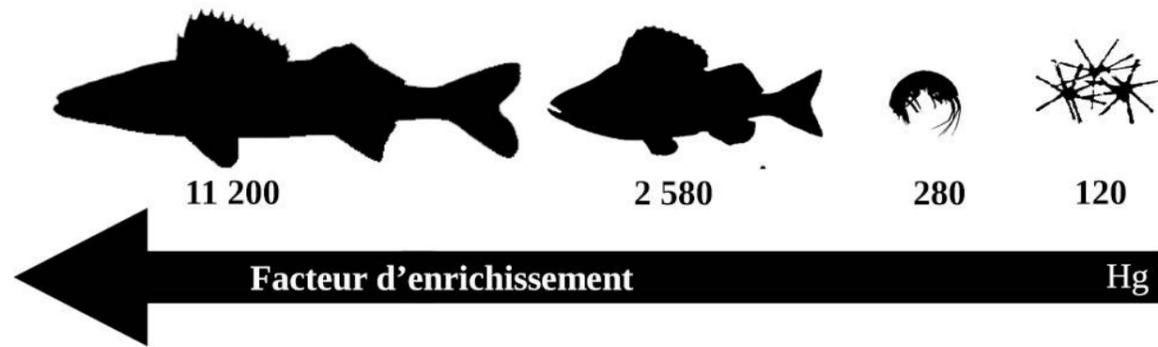
Un ratio Hg/Se élevé s'observe chez les oiseaux à une haute position trophique. Le mercure est connu pour sa capacité à être bioaccumulé tout au long de la chaîne alimentaire. Par conséquent, un prédateur aura un plus haut risque de contamination qu'un consommateur primaire. De plus, comme précédemment expliqué, il semblerait que le mécanisme de détoxification du Hg par le Se ne peut avoir lieu qu'une fois un haut ratio de Se:Hg atteint.

Une étude de Belzile et al. en 2005 démontre que le facteur d'enrichissement (en Hg, MeHg et Se) chez les consommateur primaires étaient de 120 pour le phytoplancton et 280 pour les amphipodes.

Les consommateurs secondaires atteindraient des valeurs de 2580 chez la perche et les grands prédateurs comme le doré jaune (*Sander vitreus*) arrivent à atteindre un facteur de 11 200. Ce facteur d'enrichissement augmentant tout au long de la chaîne trophique, on peut supposer la continuité jusqu'aux grands prédateurs que sont les oiseaux marins.

### Le mot de la Fin

Le mécanisme de détoxification du mercure par le sélénium est possible grâce à la forte affinité du méthylmercure pour le sélénium, formant ainsi du sélénure de mercure. De nombreuses études ont prouvé que la quantité de mercure accumulée, et donc le ratio Hg:Se, était influencé par la



Le facteur d'enrichissement en mercure (Hg) augmente tout au long de la chaîne alimentaire.

position trophique des individus. Plus un consommateur est à un haut niveau, plus ses proies ont pu être contaminées. Néanmoins, les rapports Hg:Se peuvent évoluer selon le degré de contamination du lieu où les oiseaux se nourrissent. De plus, le ratio Hg:Se est susceptible de varier au cours des saisons. L'étude de Rutkowska et al. de 2019 montre que chez le pingouin Torda (*Alca torda*), les concentrations en MeHg sont significativement plus élevées en hiver. Cette différence peut être expliquée par la mue, et par l'utilisation des réserves énergétiques entraînant, par exemple, une diminution de la taille foie et donc une plus grande concentration en mercure. Une autre possibilité de détoxification du Hg est la transmission de la mère à l'œuf. Enfin, les migrations sont également un facteur de variation du ratio Hg:Se. Les espèces visitant les eaux subtropicales hors période de reproduction ont tendance à concentrer plus de Hg que celles qui restent dans l'océan Austral toute l'année.

Les variations saisonnières de ce rapport sont encore trop peu étudiées mais sont un axe essentiel à aborder pour mieux comprendre et appréhender ces mécanismes de détoxification. De plus, le sélénium ne se lie pas uniquement avec le mercure, mais également avec d'autres métaux comme le plomb, le fer, le cuivre ou encore le zinc. Il serait donc intéressant d'aborder l'ensemble de ces mécanismes.

### Glossaire

<sup>1</sup>Ligand : Atome, ion ou une molécule capable de se lier à un ou plusieurs atomes ou ions.

<sup>2</sup>Groupements thiols : Composé organique impliqué dans la captation des métaux lourds.

<sup>3</sup>Protéines sulfhydryle-cystéine (-SH) : Protéines capables de capter les métaux lourds.

<sup>4</sup>Métaboliser : Transformer une substance au cours du métabolisme.

<sup>5</sup>Méthylation : Association d'une molécule avec un groupe méthyl (CH<sub>3</sub>).

<sup>6</sup>Atrésie : Malformation congénitale menant à une anomalie anatomique qui se caractérise par la fermeture complète ou non d'un orifice ou d'un conduit d'un organisme.

<sup>7</sup>Métallothionéines : Protéines ayant une haute affinité pour les ions métalliques. Elles sont présentes chez tous les animaux.

<sup>8</sup>Homéostasie : Capacité d'un système à maintenir l'équilibre de son milieu intérieur, quelles que soient les contraintes externes.

<sup>9</sup>Neurotoxine : Substance toxique élaborée par un être vivant, agissant sur le système nerveux.

### Pour en savoir (beaucoup) plus

Belzile, N., Chen, Y. W., Gunn, J. M., Tong, J., Alarie, Y., Delongchamp, T., & Lang, C. Y. . 2006. The effect of selenium on mercury assimilation by freshwater organisms. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(1), 1–10.

Bustamante, P., Lahaye, V., Durnez, C., Churlaud, C., Caurant, F., 2006. Total and organic Hg concentrations in cephalopods from the North Eastern Atlantic waters: influence of geographical origin and feeding ecology. *Sci. Total Environ.* 368, 585e596.

Carravieri, A., Cherel, Y., Blévin, P., Brault-Favrou, M., Chastel, O., & Bustamante, P. 2014. Mercury exposure in a large subantarctic avian community. *Environmental Pollution*, 190, 51–57.

Cherel, Y., Barbraud, C., Lahournat, M., Jaeger, A., Jaquemet, S., Wanless, R. M., Bustamante, P. 2018. Accumulate or eliminate? Seasonal mercury dynamics in albatrosses, the most contaminated family of birds. *Environmental Pollution*, 241, 124–135

Hutton, M. .1981. Accumulation of heavy metals and selenium in three seabird species from the United Kingdom. *Environmental Pollution. Series A, Ecological and Biological*, 26(2), 129–145.

# OBSERVATRICE EN MER À BORD DES NAVIRES DE PÊCHE ARTISANALE EN CORSE

La demande mondiale pour les produits de la mer est en hausse continue et au cours des dernières années, de nombreuses ressources halieutiques ont été surexploitées, ce qui soulève des doutes quant à la viabilité à long terme de certaines pêcheries. La pêche artisanale semble être un modèle de pêche durable. Le rôle de l'observateur en mer est primordial pour la collecte des données scientifiques et représente l'intermédiaire nécessaire pour les discussions entre scientifiques et professionnelles pour la protection et la gestion des ressources marines.

Michela Patrissi

Matériel de pêche artisanale sur  
le port de Saint-Florent en Corse.  
Photo : Arnaud Abadie.

### La pêche artisanale en France

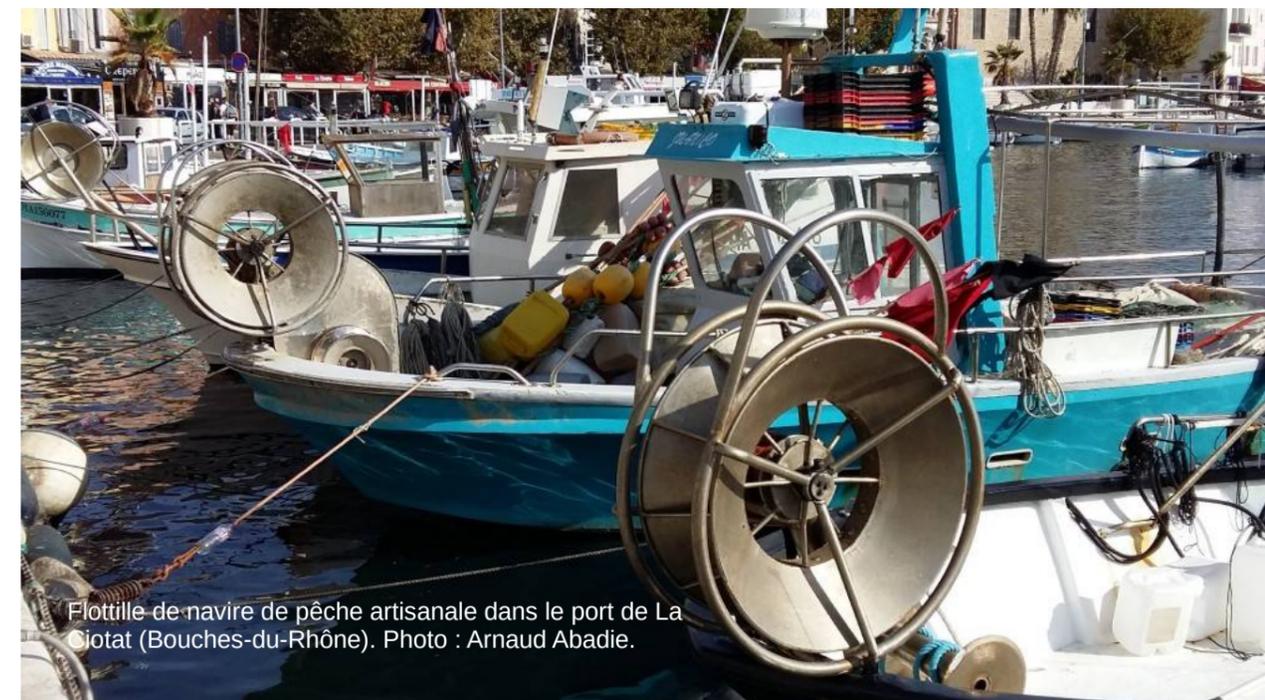
Juste après la seconde guerre mondiale s'est engagée une exploitation intensive de la ressource halieutique<sup>1</sup> s'appuyant sur l'idée qu'elle était intarissable (Cury & Miserey, 2008). Depuis les années 90, les captures mondiales observent une diminution des stocks halieutiques<sup>2</sup> (Pauly et Le Manach, 2012).

Dans ce contexte, l'Union européenne s'est dotée d'une politique commune de la pêche (PCP) afin de renforcer l'approche écosystémique et la durabilité de la filière pêche et aquaculture. Pour atteindre cet objectif, chaque pays membre doit aider à renforcer les activités halieutiques et assurer la durabilité des ressources marines. Les politiques nationales et internationales sont de plus en plus favorables à la conservation et au développement des pêcheries de « petits métiers » qui semblent être un modèle de pêche durable en opposition à la « pêche industrielle ».

La FAO<sup>3</sup> définit la pêche artisanale comme une pêche traditionnelle pratiquée par des ménages de pêcheurs, caractérisée par une faible consommation énergétique, des navires de pêche de petite taille (moins de 12 m), des sorties de faible durée et une commercialisation à circuit court. Cette activité est caractérisée par un effort de pêche<sup>4</sup> raisonnable (peu de filets et d'hameçons calés) et par une grande diversité des captures. Elle représente une pêche multisécifique<sup>5</sup>, ciblant différentes espèces, en opposition à une pêche industrielle monospécifique<sup>6</sup>.

D'après Cury et Miserey (2007), la globalité des pêcheries artisanales dans le monde capture les mêmes quantités de poissons que les pêcheries industrielles, mais elles emploient 12 millions de pêcheurs contre 0,5 millions pour la pêche industrielle.

La France est classé deuxième pays, après l'Espagne, pour la pêche en Europe. En 2019, 3 512 navires de petite pêche artisanale



Flottille de navire de pêche artisanale dans le port de La Ciotat (Bouches-du-Rhône). Photo : Arnaud Abadie.



Flotte de pêche industrielle au chalut à proximité de Rotterdam en Hollande. Photo : Arnaud Abadie.

sont comptabilisés en métropole, soit environ 80 % de la flottille entière. L'activité de pêche est répartie sur tout le littoral métropolitain.

### La pêche artisanale en Corse

La flottille corse est caractérisée essentiellement par des entreprises artisanales: 180 bateaux font moins de 12 m, soit 98 % de la flottille totale en 2020 (licences DIRM, 2020). Cette petite pêche, essentiellement répartie sur la façade occidentale de l'île, profite de l'abondance des fonds rocheux et coralligènes le long de 1 000 km de côte. Six licences pour la pêche au chalut sont comptabilisées pour l'année 2020 sur la façade orientale.

Les territoires de pêche sont répartis en 4 circonscriptions de pêche appelées prud'homies (Ajaccio, Bonifacio, Bastia-Cap Corse et Balagne). La prud'homie d'Ajaccio regroupe à elle seule près de 50 % des effectifs. Les prud'homies fonctionnent comme des institutions démocratiques car des prud'hommes sont élus par les pêcheurs lors d'un vote. Au totale, il y a 34 ports et zones de débarquements et l'ensemble de la

production est vendue dans l'île.

L'activité de pêche artisanale est très dépendante de la saison touristique et concentre son effort entre le printemps et l'été. Cette forte saisonnalité et dépendance du tourisme influencent le type d'espèces exploitées. L'effort est, en effet, concentré sur un petit nombre d'espèces : la langouste rouge, le homard le chapon, le St Pierre, le rouget, le denti, le sars, la dorade, etc., et pour certains le thon rouge et l'espadon (soumis à quotas<sup>7</sup>).

La Corse est la principale région française productrice de langouste rouge (*Palinurus elephas*) et sa pêche est une tradition de l'île. Cette espèce est exploitée seulement pendant la saison d'ouverture entre le 1er mars et le 30 septembre afin de l'épargner pendant sa période de reproduction. Elle représente une espèce cible du fait de son rôle économique majeur et attrait pour le tourisme.

La flottille corse est essentiellement constituée de très petites embarcations souvent en bois, appelés « pointus » ou de petites vedettes. Les engins de pêche les plus fréquemment utilisés sont les filets à



Une langouste rouge (*Palinurus elephas*) dans son biotope. Photo : Stephen Mauron.



Filet trémail, à trois nappes pour pêcher les langoustes et les poissons. Photo : Michela Patrissi.



"Pointu" navire en bois de pêche artisanale à quai dans le port de Porto, en Corse. Photo : Anthony Pere.

langouste, les filets à poisson, les palangres de surface (dites pélagiques<sup>8</sup>) pour pêcher surtout le thon rouge et l'espadon, les palangres de fond (dites benthiques<sup>9</sup>) pour pêcher d'autres espèces de poissons tels que les dentis, les pagres, etc., et les nasses. La grande majorité des professionnels commercialise leurs captures directement à des particuliers et aux restaurateurs, sans la présence d'intermédiaires. Ainsi, les circuits de commercialisation sont très courts.

### Pourquoi il est important d'être sur un bateau de pêche?

Les pressions et les impacts des petits métiers restent méconnus. Afin de mieux appréhender la petite pêche côtière, l'observateur en mer est là pour collecter des données halieutiques sur les navires de pêche. Les données qui sont prises pendant un embarquement sont beaucoup plus complètes que celles issues des déclarations réalisées par les pêcheurs ou de débarquement aux criées.

Le cas de la Corse est très particulier car ici, aucune criée n'est présente. Les données collectées lors des embarquements

sont donc encore plus nécessaires pour comprendre la pêche corse. L'observateur en mer est présent du début de la sortie de la pêche jusqu'à la rentrée au port et peut noter et collecter des données parfois trop précises et compliquées pour le pêcheur. L'observateur en mer représente un avant-poste pour la protection des ressources marines car il est au cœur de l'opération de pêche : il devient « les yeux et les oreilles » pour une meilleure gestion et conservation des ressources marines. Il devient ainsi un maillon nécessaire et indispensable pour la conciliation et la discussion entre les différents acteurs de la pêche.

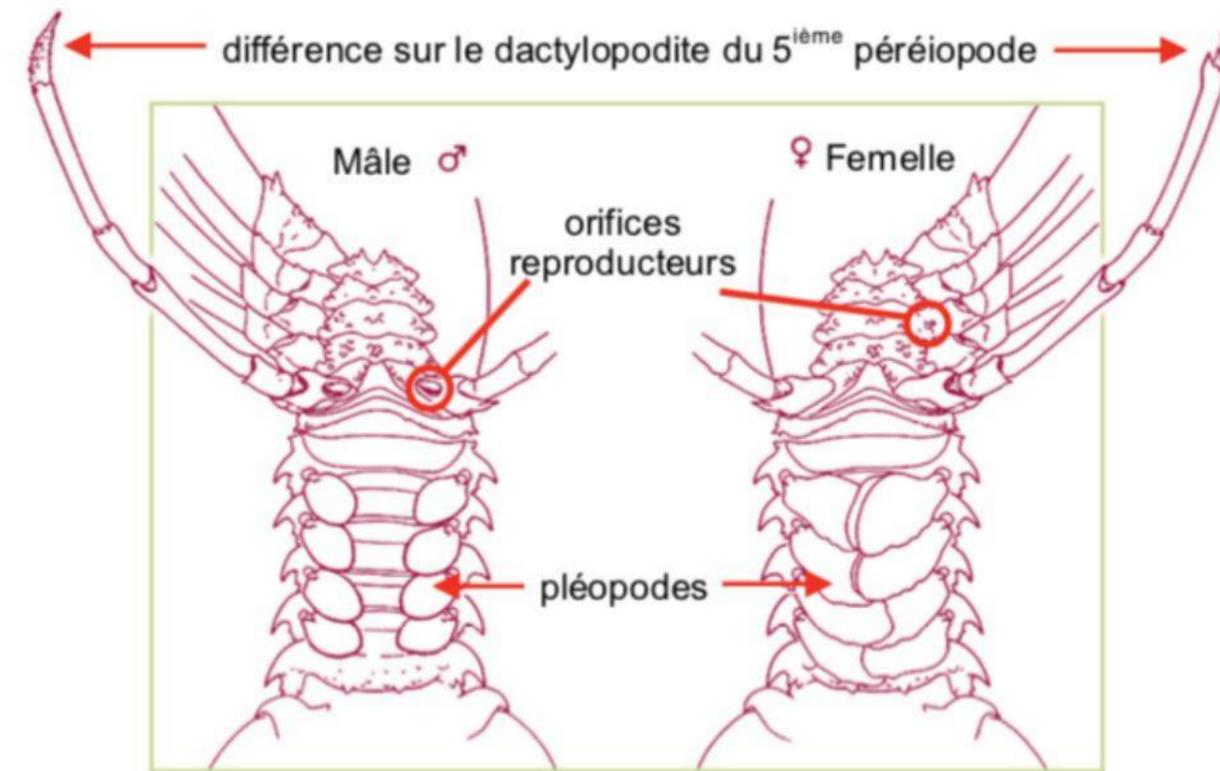
### Le travail d'observateur des pêches

Une sortie en mer peut varier en fonction du pêcheur mais en moyenne a une durée de 8/10 heures pendant laquelle différents engins de pêche sont tirés et calés. Les données halieutiques sont nombreuses. Tous les paramètres de la sortie tels que l'heure du départ et arrivée, les conditions météorologiques sont notés. Toutes les caractéristiques de chaque engin de pêche sont également mentionnées comme par

exemple le type de filet, les points GPS ou zone de pêche, la profondeur, la longueur, la hauteur, la taille de l'hameçon, ainsi que la maille et la durée de cale (la durée pendant laquelle le filet a pêché) et d'autres paramètres.

Pour chacun des engins de pêche, tous les individus capturés sont identifiés, mesurés et sexés quand un dimorphisme sexuel<sup>9</sup> externe et visible. Par exemple chez les crustacés cette différence est facilement visible grâce à la présence de gonopores<sup>10</sup> situés chez les femelles au niveau de la troisième paire de pattes et de la 5ème chez les mâles. De plus, chez les femelles, les pléopodes<sup>11</sup> (à forme de palette) sont plus développés pour protéger les œufs (Pere, 2012).

Pour toutes les espèces qui sont rejetées en mer, l'état physiologique sera



Dimorphisme sexuel chez la langouste rouge (*Palinurus elephas*). Illustration : Anthony Pere.

noté : si les individus sont rejetés en mer vivants ou morts. Ces données ont pour but d'estimer les captures totales conservées et rejetées, les captures accidentelles et mieux caractériser la pêche.

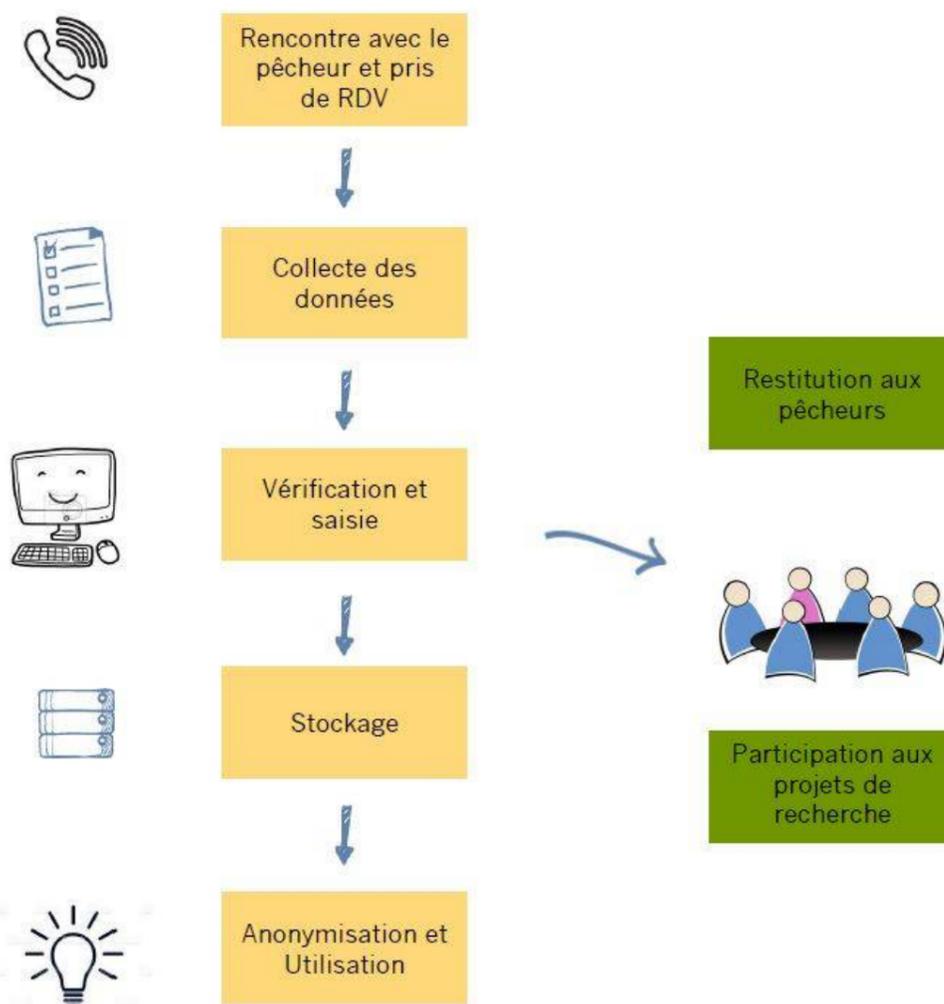
Les conversations à bords contribuent à renforcer les liens entre les professionnels et les observateurs et permettent l'installation d'un lien de confiance réciproque. En Corse, cinq observateurs en mer ont travaillé pendant la saison 2019.

### Qualités et compétences d'un observateur des pêches

L'observateur en mer a reçu des formations scientifiques dans le cadre de la pêche et de la reconnaissance des différentes espèces. Il a suivi une formation



Mesure d'une raie (*Raja miraletus*) pendant un embarquement à bord d'un navire de pêche avant de la rejeter vivante en mer. Photo : Michela Patrisi.



Processus du recueil et de l'utilisation des données de pêche. Illustration : Michela Patrisi.

réglementaire de sécurité en mer pour faire face à des éventuelles situations dangereuses sur le bateau. Il doit être capable de bien se positionner sur un bateau sans gêner le pêcheur et être prêt à aider si besoin.

- Il doit faire preuve de discrétion et de confidentialité par rapport aux informations collectées.

- Il devient un interlocuteur privilégié pour la profession et une relation de confiance et un partage réciproque des savoirs s'installe.

- Il doit faire preuve de rigueur scientifique et sens de l'organisation.

- Il doit manifester un esprit d'initiative

- Il doit accepter les conditions de vie et de travail qui sont parfois compliquées du fait d'horaires très contraignants.

- Les sorties en mer peuvent être longues et fatigantes.

- Il doit être capable de se réveiller tôt. Très tôt.

- Il doit avoir le pied marin et une certaine résistance à des conditions météorologiques parfois compliquées.

- Il doit avoir une certaine tolérance aux odeurs très fortes (poisson, gasoil, etc.) et ne doit pas avoir peur de se salir.

Certes le travail d'observateur des pêches est un travail très dur physiquement mais.. Un lever de soleil au petit matin et un lever de lune dans une nuit noire n'ont pas de prix.

### Les observateurs dans le monde

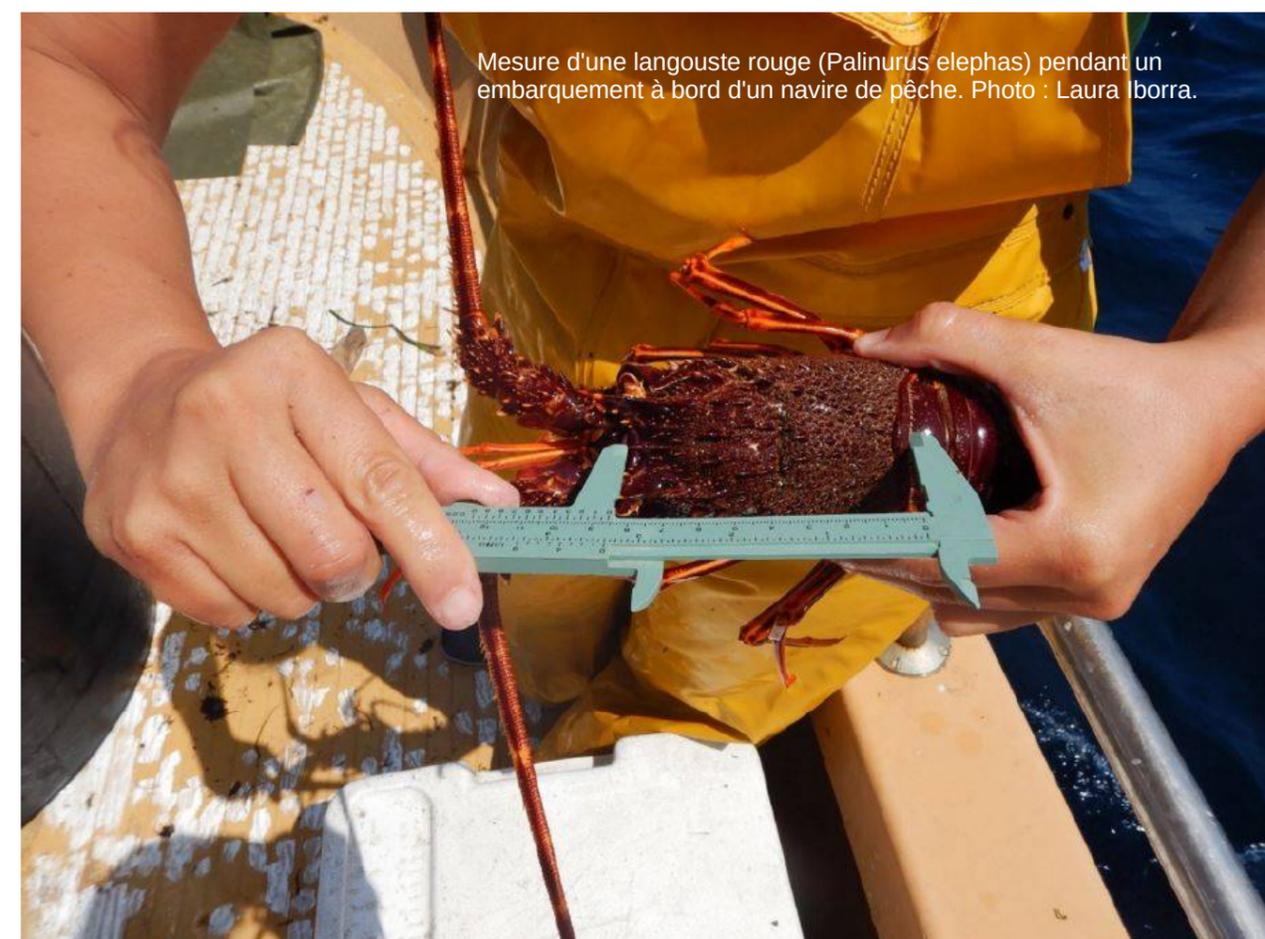
En France, un réseau d'observateurs des pêches est mis en place dans tous les territoires nationaux et outre mer. Les scientifiques travaillent dans toutes les zones de pêche faisant partie de la ZEE (Zone Exclusive Economique) française dans tous

les océans du globe. Ils travaillent et collectent les données halieutiques sur les palangriers, les senneurs, les caseyeurs et les fileyeurs. La France possède la plus grande ZEE du monde devant les États-Unis et l'Australie, avec un total de 11 690 000 km<sup>2</sup>.

### Une femme dans un milieu d'hommes

Alors que le progrès technique et le développement des moyens de communication ont considérablement amélioré la sécurité en mer, certaines croyances ont toujours le vent en poupe.

Parmi elles, une croyance résiste : la présence d'une femme à bord a longtemps été considérée comme portant malheur. L'origine de cette superstition provient de siècles en arrière. Les équipages



Mesure d'une langouste rouge (*Palinurus elephas*) pendant un embarquement à bord d'un navire de pêche. Photo : Laura Iborra.

étaient uniquement composés d'hommes et les longues traversées étaient synonyme de privations et de frustrations sexuelles et une dame aurait pu susciter désir et querelles entre marins. Afin d'éviter ces désagréments et pour que l'ordre règne en mer, il a été décrété que les femmes portaient malheur. De nos jours, la femme a toujours un peu de mal à se faire une place à bord.

Il semblerait donc que cela ne soit pas facile de s'intégrer dans le milieu physique et souvent macho de la pêche. Mais les mentalités changent.

### *Mon expérience : Michela Patrissi, observatrices depuis 2012 sur les navires de pêche artisanale en Corse*

Mon expérience pour la pêche corse a été toujours très bonne. Cependant une bonne capacité d'adaptation est souvent nécessaire. Les bateaux de pêche en Corse sont très petits et très peu ont des cabines. Seul un pêcheur a ma connaissance a des toilettes à bord. En étant une femme, l'absence de commodités peut engendrer des situations gênantes.

Mon entourage était au début très inquiet quand je sortais en mer par le fait qu'une femme passe beaucoup d'heures en mer avec un ou deux hommes en pleine nuit. Je pense que le pêcheur a toujours eu une assez mauvaise réputation et les préjugés sur la profession sont multiples.

Certes, les blagues salaces font partie du quotidien...mais on s'habitue vite. Les pêcheurs ont toujours été très attentionnés avec moi : une invitation à la maison pour un repas en famille pour mon anniversaire, des pains au chocolat et du thé chaud pendant les nuits froides, du poisson à ramener à la maison. Sûrement le fait que je sois italienne a du faciliter les choses...entre méditerranéens on se comprend.

## Glossaire

<sup>1</sup>Halieutique : qui concerne le pêche

<sup>2</sup>Stock halieutique : la partie exploitable d'une population de poissons par exemple. Un stock est composé d'adultes, qui participent à la reproduction, et de plus jeunes qui sont les recrues qui viennent de se reproduire. Un stock évolue en fonction du nombre de recrues, de la mortalité naturelle et du prélèvement de la pêche. Le stock est considéré comme une unité de gestion sur laquelle une évaluation scientifique est réalisée.

<sup>3</sup>FAO (Food and Agriculture Organisation) : organisation intergouvernementale sous es Nations Unis. Elle compte 194 membres associés et l'Union Européenne. Elle met à disposition, grâce aux recherches et travaux, des données pour favoriser la croissance du secteur agricole.

<sup>4</sup>Effort de pêche : unité de mesure pour évaluer une activité de pêche. Il peut être une durée de pêche, un nombre de navires, un nombre de filets mis à l'eau, une puissance motrice, etc..

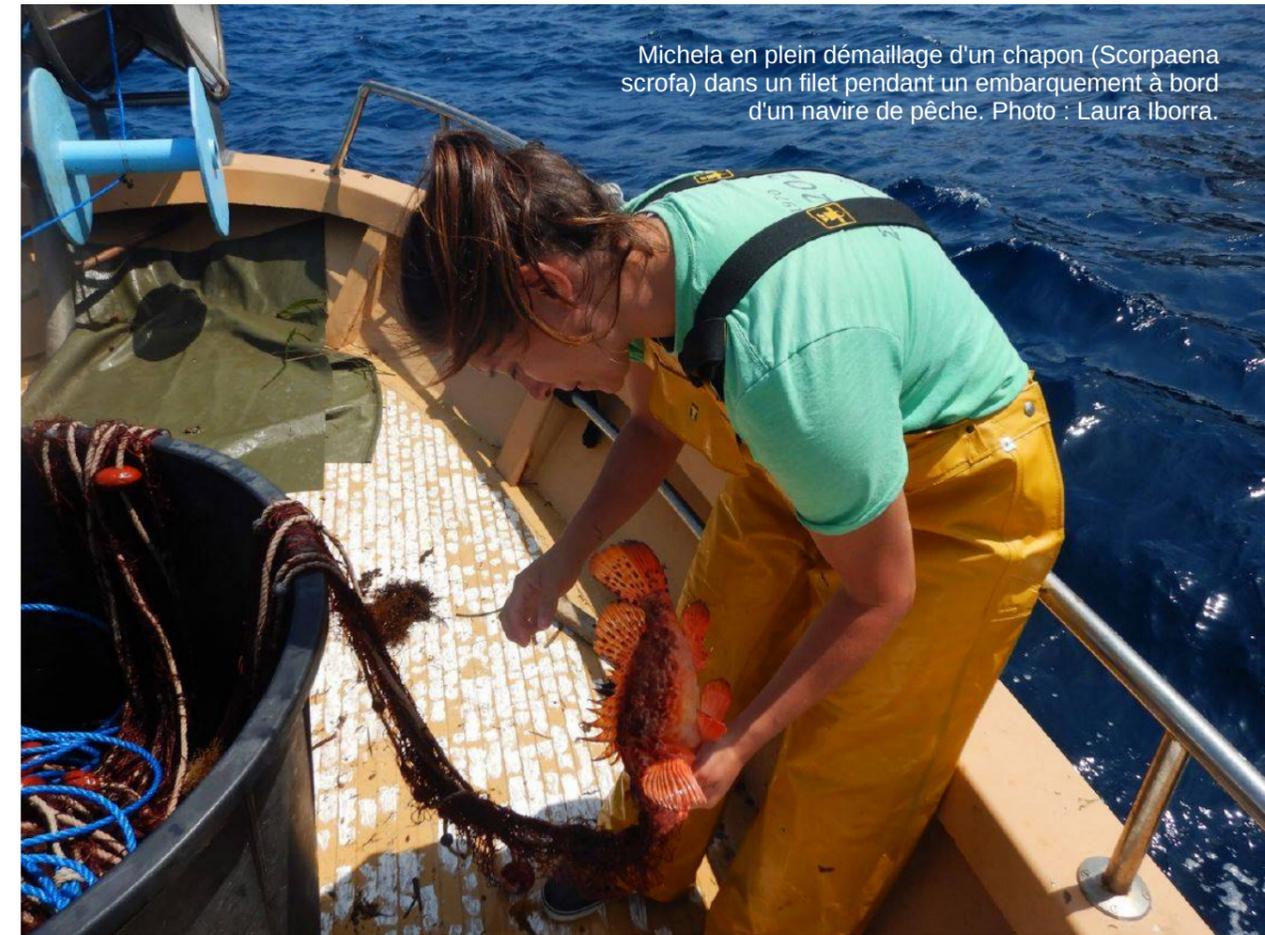
<sup>5</sup>Pêche multispécifique: pêche dirigée vers la capture de plusieurs espèces

<sup>6</sup>Pêche monospécifique : pêche dirigée vers la capture d'une seule espèce.

<sup>7</sup>Quota ou TAC (Taux autorisé de capture) : la quantité maximale qu'il est raisonnable de pêche dans une zone et une année définie pour une espèce donnée. Les ministres de l'Agriculture et de la Pêche des 28 Etats Membres se réunissent tous les ans pour discuter des quotas pour chaque espèce dont le stock est géré. Le thon et l'espadon sont deux espèces soumises à quota.

<sup>8</sup>Palangre pélagique ou benthique : l'engin est composé d'une ligne mère où sont fixés des avançons (des portions de fils) se terminant par des hameçons. Elle est conçue pour capturer des espèces de poissons présentes en surface (pélagique) ou de fond (benthique).

<sup>9</sup>Dimorphisme sexuel : différence extérieure visible d'aspect du mâle et de la femelle.



Michela en plein démaillage d'un chapon (*Scorpaena scrofa*) dans un filet pendant un embarquement à bord d'un navire de pêche. Photo : Laura Iborra.

<sup>10</sup>Gonopore : l'orifice génital de nombreux invertébrés

<sup>11</sup>Pléopode : appendice dans la partie abdominale chez les crustacés. Chez la femelle ils sont utilisés pour couvrir les œufs.

<sup>12</sup>Senneur : navire de pêche conçu pour la pêche à la senne : un filet de pêche composé d'une nappe simple qu'on traîne sur le fond des eaux.

<sup>13</sup>Caseyeur : navire de pêche utilisant des casiers destinés à la pêche de certains crustacés et poissons.

<sup>14</sup>ZEE ou Zone Economique Exclusive : des espaces maritimes où l'Etat exerce des droits d'exploitation sur les ressources naturelles, biologiques et non biologiques des eaux aux fonds marins et leur sous-sol.

### *Pour en savoir (beaucoup) plus*

Cury P, Miserey Y. 2007. Une mer sans poissons. Calmann-Lévy. Paris, France. 293 p.

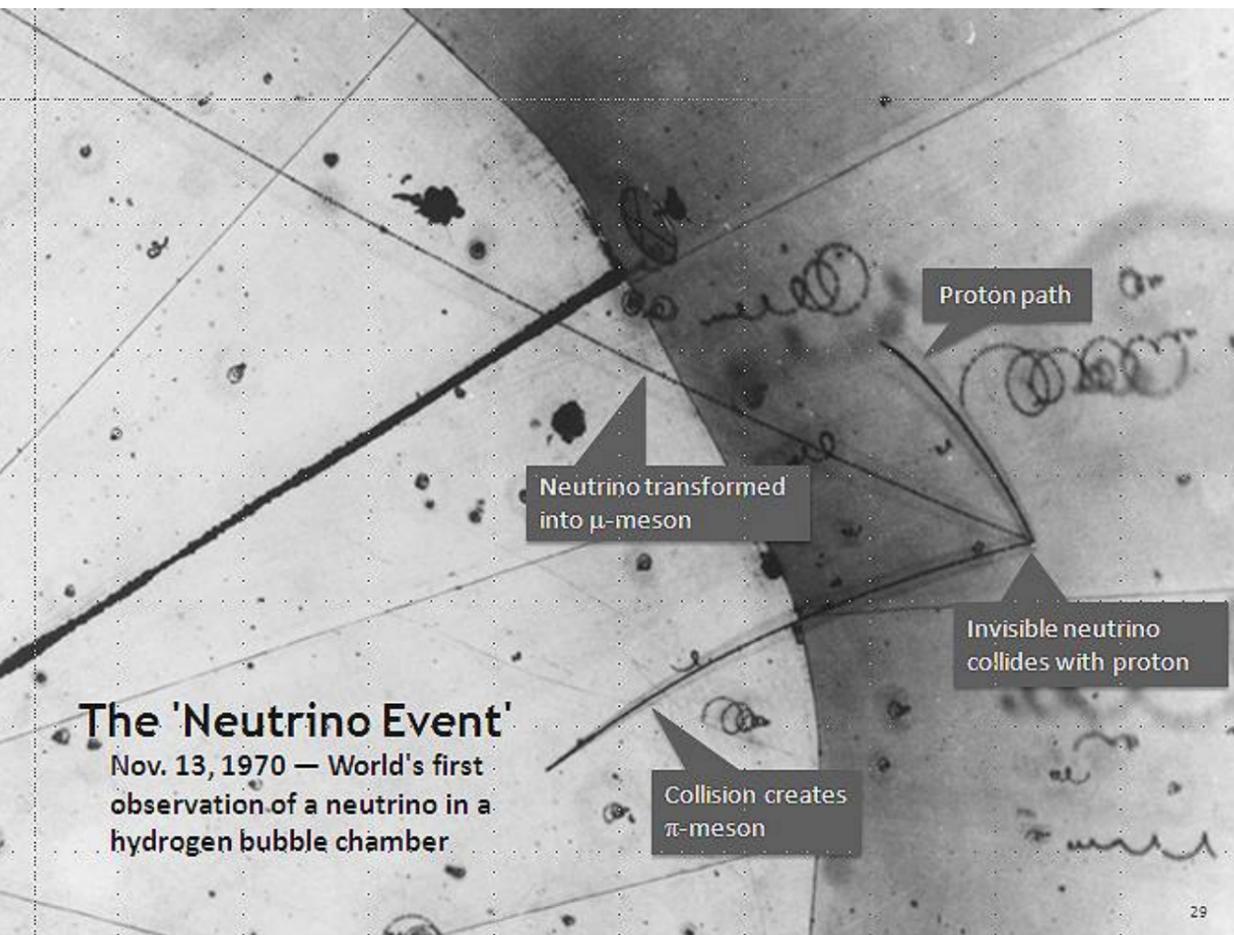
Pauly D, Le Manach F. 2012. Expansion de la pêche mondiale : conséquences et perspectives. *Espèces*. 5, 54-61.

Pere A. 2012. Déclin des populations de langouste rouge et baisse de la ressource halieutique en Corse – Causes et perspectives. Thèse de doctorat, spécialité biologie marine, mention biologie des populations et écologie. Université de Corse, France. 478 pp.

# ET SI OBSERVER LES ÉTOILES POUVAIT SE FAIRE DEPUIS LES PROFONDEURS DE LA MÉDITERRANÉE ?

Antares c'est le nom de l'étoile la plus brillante de la constellation du scorpion mais aussi celui du télescope sous-marin immergé à La Seyne-sur-mer en Méditerranée (Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental REsearch) à plus de 2400 mètres de profondeur. Le projet met en collaboration huit pays : France, Maroc, Espagne, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Australie et Roumanie dont près de 200 chercheurs, techniciens, physiciens et ingénieurs. Il a été pensé par Jean-Jacques Aubert au Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM). La structure est composée de douze lignes verticales de 400 mètres de long possédant chacune 75 capteurs capables de détecter la moindre trace lumineuse de neutrino muonique ( $\nu_\mu$ ).

Célia Koellsch



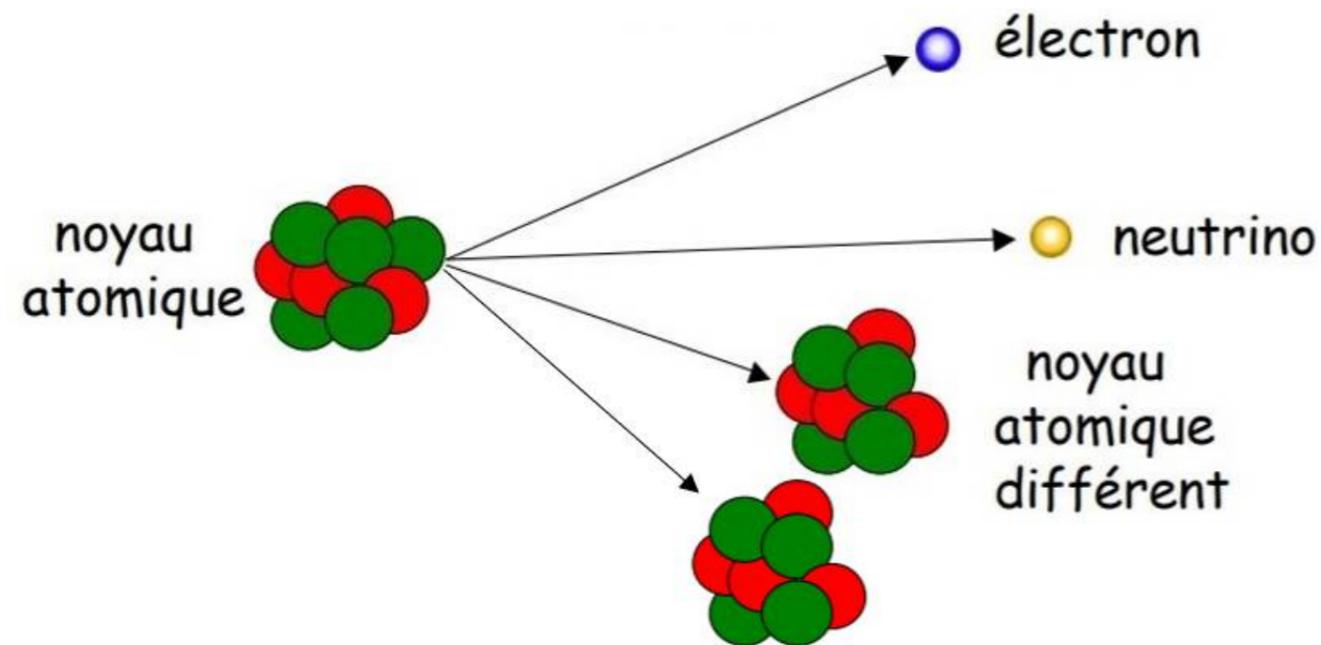
Photographie de la première observation d'un neutrino percutant un proton et donnant naissance à un muon (mésos-mu). Illustration : Argonne National Laboratory.

### Les neutrinos, ces drôles de particules élémentaires

Le télescope Antares est en effet, ce qu'on appelle un télescope à neutrinos. C'est Wolfgang Pauli, un physicien autrichien et l'un des créateurs de la théorie quantique des champs, qui invente le neutrino en 1930 – alors appelé le « neutron de Pauli » et seulement plus tard rebaptisé neutrino par le physicien italien Enrico Fermi - lorsque les seules particules élémentaires connues étaient alors les protons, les électrons et les photons. La matière est constituée de particules élémentaires : les Quarks (protons, neutrons) et les Leptons (électrons, muons,

tauons). Les neutrinos sont des Leptons, possédant une masse faible et une charge nulle, générés par des réactions nucléaires qui voyagent en ligne droite et sur de grandes distances grâce à leur faible interaction avec la matière. Ils existent depuis ce qu'on pourrait appeler : le commencement de l'Univers tel que nous le connaissons. Il en existe trois sortes aussi appelées saveurs<sup>1</sup> : Le neutrino électronique ( $\nu_e$ ), le neutrino muonique ( $\nu_\mu$ ) et le neutrino tauique ( $\nu_\tau$ ).

En se déplaçant, il semble que les neutrinos soient capables de passer d'une saveur à une autre ; c'est ce qu'on appelle l'oscillation des neutrinos. Le neutrino produit pendant une réaction nucléaire – comme lors



Production d'un neutrino par fission nucléaire, éclatement d'un noyau atomique. Illustration : Célia KOELLSCH.

de la réaction de fusion du soleil – naît d'un certain type puis devient une sorte de masse associative des trois sortes lors de son voyage. A la fin de son déplacement il est alors capable de changer de saveur. Le neutrino étant la seule particule élémentaire à posséder cette capacité.

Les neutrinos sont produits par des particules élémentaires chargées et proviennent d'une anomalie qui a pu être détectée par le rayonnement bêta. Le neutrino produit par réaction nucléaire peut provenir de deux processus : la fission nucléaire et la fusion nucléaire. La fission nucléaire est le processus selon lequel un noyau dit instable éclate en deux noyaux distincts et en particules élémentaires, libérant ainsi un ou plusieurs neutrinos.

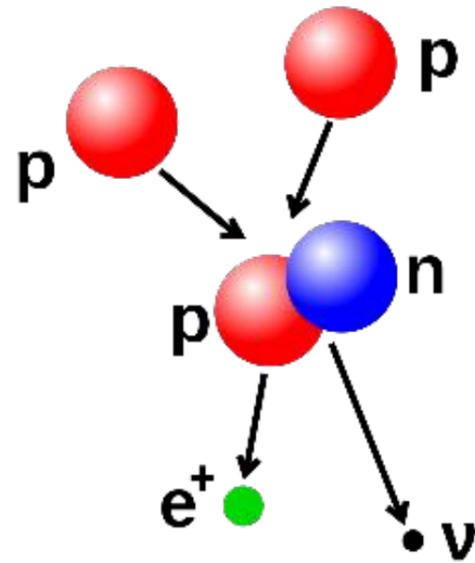
Le second processus est la fusion nucléaire, réaction naturellement présente dans la majorité des étoiles notamment dans notre Soleil (65 milliards de neutrinos par  $\text{cm}^2$  et par seconde) sous forme de chaîne proton-proton<sup>2</sup> ou chaîne PP. La fusion nucléaire permet – à l'inverse de la fission nucléaire - d'assembler deux noyaux, ici d'hydrogène,

pour former un noyaux d'hydrogène plus lourd (deutérium) ainsi que des particules élémentaires (positron<sup>3</sup> et neutrino). Le nombre de neutrinos produits est alors déduit de la luminosité totale et de l'énergie produite lors de la transformation.

Dans l'atmosphère, les neutrinos sont produits par la décomposition de particules instables retrouvées dans les rayons cosmiques au contact de l'atmosphère. Ce que nous verrons par la suite, donnent des muons descendants.

### Principe de détection des neutrinos par ANTARES

Les neutrinos possédant une masse faible, leur interaction avec la matière est donc moindre et rend leur détection encore plus difficile. Seule l'astronomie neutrino se révèle être capable de détecter ces particules élémentaires. Le télescope sous-marin ANTARES est équipé d'une structure particulière composée de nombreux photodétecteurs et scintillateurs<sup>4</sup>, assemblés par groupes de trois sur douze câbles



Production d'un neutrino par fusion de deux protons. Illustration : Auteur inconnu- domaine public Wikipédia.

verticaux de près de 450 mètres de haut et rattachés au fond marin. Au total on décompte 75 photomultiplicateurs par câble qui seront capables de détecter la lumière de Tcherenkov.

La lumière de Tcherenkov ou Cerenkov est un rayonnement lumineux produit par des muons (particules semblables aux électrons) eux même produits par l'interaction de neutrinos de haute énergie. Ce rayonnement de couleur bleue apparaît suite à la production d'une onde de choc générée par toute particule chargée électriquement dans un milieu et qui se déplace à une vitesse supérieure à celle de la lumière dans ce même milieu, ici l'eau. Dans l'eau la lumière se déplace à près de 225 000 km/s contre certaines particules qui, elles, peuvent avoir une vitesse avoisinant les 300 000 km/s. Lorsqu'un neutrino percute un atome de matière il se transforme donc en muon.

Les 900 photodétecteurs sont donc capables d'amplifier le sillon de lumière de Tcherenkov émis par un seul photon et, grâce

à leur taille, de détecter et différencier les muons montants ou descendants dans leur direction ; La détection du rayonnement permettant de remonter jusqu'au neutrino de haute énergie à l'origine de ce phénomène et de déterminer sa source de production.

Les muons descendants sont produits dans l'atmosphère par l'interaction du rayon cosmique avec l'atmosphère et sont très nombreux ; de l'ordre d'un muon descendant par seconde. Tandis que les muons montants proviennent de l'interaction entre les neutrinos et la croûte terrestre et restent plus rares à repérer ; quelques-uns par jour. Le télescope sous-marin ANTARES est chargé d'observer et de tracer les muons montants afin de déterminer la direction du neutrino et d'en découvrir l'origine de production à travers la voie lactée. Le but final de ce traçage étant de pouvoir découvrir les origines du rayonnement cosmique et d'obtenir une description plus précise de l'Univers telle que l'origine du Big-Bang. De même, ANTARES permet la recherche de la masse manquante de l'Univers nommée matière noire, celle-ci étant

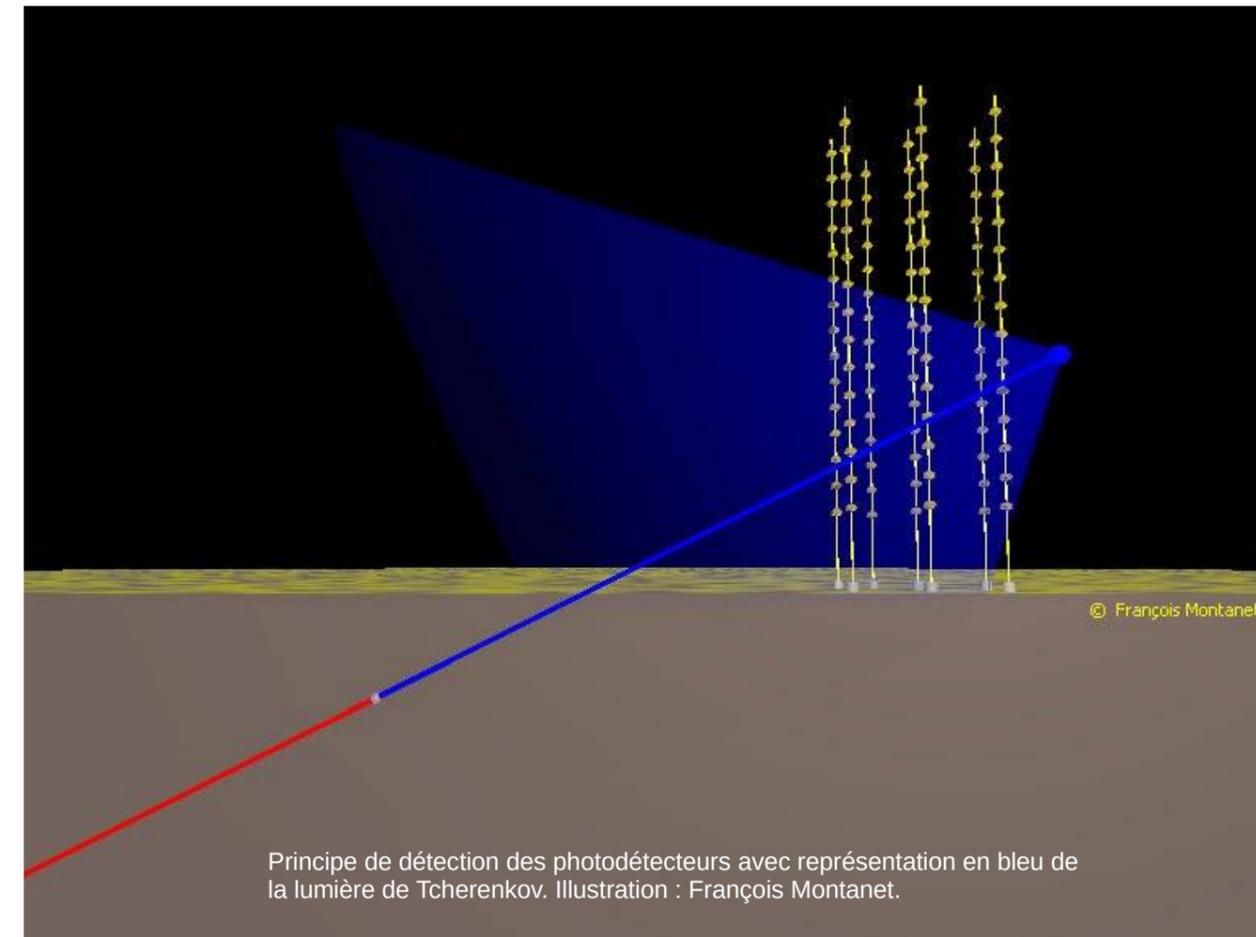
*Une structure complexe pour détecter et cartographier*

Les photomultiplicateurs d'ANTARES sont installés à 2500 mètre de profondeur, dans les abysses Méditerranéennes afin d'être protégés des rayonnements cosmiques incidents, les profondeurs abyssales fournissant à la structure une obscurité totale, nécessaire à la détection des rayonnements de Tcherenkov.

L'infrastructure occupe une surface de 40 000 m<sup>2</sup> au sol permettant aux douze lignes de couvrir une large zone. Ces lignes sont toutes reliées entre elles par des câbles de raccordement à un boîtier de jonction lui-

supposément composée de particules neutres semblables aux neutrinos mais de masse plus importante, les WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles, « particules massives interagissant faiblement ») représentant près de 90% de la masse de l'Univers. La matière noire pouvant également être à l'origine de la production de neutrinos par l'énergie libérée lors de la chute de ces particules causée par le champs gravitationnel des astres.

ANTARES pourrait également venir à bout de la question de la masse des neutrinos, toujours inconnue à ce jour. Bien que faible, elle n'est pas inexistante. ANTARES a donc pour cible les noyaux actifs de la galaxie et les objets célestes dégageant des hautes quantités d'énergie.



Principe de détection des photodétecteurs avec représentation en bleu de la lumière de Tcherenkov. Illustration : François Montanet.

même rattaché à un câble électro-optique sous-marin de 45 km permettant la liaison avec la station à terre : l'institut Michel Pacha, qui réceptionnera et analysera les informations.

ANTARES peut également permettre de cartographier les neutrinos - ou plutôt des antineutrinos - émis par la radioactivité terrestre. Les neutrinos sont produits par les réactions nucléaires comme la fission ou la fusion. Tandis que les antineutrinos sont produits par la radioactivité terrestre naturelle, émise par la croûte terrestre et le manteau, et dans les centrales nucléaires.

Les antineutrinos ou géoneutrinos permettraient de renseigner les physiciens sur la structure interne de la Terre. Majoritairement produits par des éléments comme le potassium, le thorium ou l'uranium 238 et l'uranium 235, les chercheurs s'en servent pour déterminer la concentration et la répartition de ces éléments dans le manteau et la croûte terrestre.

### *Un télescope capable d'aller encore plus loin*

Les profondeurs dans lesquelles se trouve ANTARES abritent de nombreux organismes abyssaux, qui pour la plupart sont capables de produire de la lumière (bioluminescence). 90% des animaux marins et microorganismes abyssaux sont capables de produire une bioluminescence, la plupart du temps grâce à une symbiose avec des bactéries possédant cette capacité naturellement. Cette particularité leur permettant par exemple d'attirer leurs proies ou de se reproduire comme chez les baudroies. Entre 2009 et 2010 le télescope sous-marin, normalement missionné pour détecter les neutrinos et les muons, met en avant une brusque augmentation de la bioluminescence de ces organismes, révélant une activité biologique très intense.

Le bruit de fond habituellement mesuré entre 40 et 100 kHz par le télescope a relevé des mesures supérieures à 9000 kHz, les photons produits par la bioluminescence des individus environnants éblouissant littéralement les photomultiplicateurs d'ANTARES.

La bioluminescence produit le plus

souvent une lumière bleue, se rapprochant de celle produite par la lumière de Tcherenkov, induisant en erreur le télescope à neutrinos. Cette augmentation soudaine de la bioluminescence au large de Toulon a pu être mise en relation avec une augmentation de la température et de la salinité de l'eau dans le Golfe du Lion dû aux mouvements de convection d'eau profonde. La période hivernale induisant une chute de la température des eaux tandis que la salinité augmente, alourdissant les masses d'eau qui vont ensuite descendre vers les abysses. La convection d'eau profonde entraîne donc un mélange des masses d'eau en profondeur et amène avec elle d'avantage d'oxygène, de carbone et de nutriments, permettant d'augmenter l'activité biologique des êtres vivants qui y vivent et favorisant d'autant plus la bioluminescence. C'est ce phénomène qui a entraîné un pic d'activité lumineuse dans les abysses entre 2009 et 2010.

Les chercheurs ont admis que cette mesure de la bioluminescence par ANTARES dans ces conditions pourrait devenir une mesure continue, permettant de relever l'activité biologique des espèces abyssales notamment lors de prochains mouvements de convection. Le réchauffement climatique menaçant de déséquilibrer ces écosystèmes, il est d'autant plus intéressant et primordial de poursuivre ces mesures et d'analyser l'impact sur la faune abyssale. En effet avec le temps les mouvements de convection devraient diminuer en réponse à ce phénomène et par conséquent amener à une baisse importante des apports en oxygène, carbone et nutriments qui favorisent ces pics d'activité. ANTARES sera donc chargé d'évaluer cette activité afin de pouvoir déterminer les organismes responsables de cette bioluminescence soudaine permettant par la suite de mesurer ce phénomène en continu et de mettre à jour les instruments capables d'analyser ces données.

### *Mais ce n'est pas le seul*

ANTARES n'est cependant pas la seule structure de ce type à avoir vu le jour sur cette planète. En effet il existe d'autres télescopes à neutrino similaires comme celui en Antarctique ; AMANDA (Antarctic Muon And Neutrino Detector Array) construit dans les profondeurs de la calotte glaciaire de la



Un étage de la ligne secteur avec ses trois modules optiques et son module local. Photo : Camille Moirenc/CNRS.

Olindias formosa, une méduse bioluminescente à l'aquarium de la baie de Monterey. Photo : CC Chris Favero.



base d'Amundsen-Scott au pôle sud à une profondeur allant de 1200 à 2300 mètres. La calotte glaciaire permet d'atteindre des profondeurs d'environ 2900 mètres ainsi qu'une eau extrêmement claire grâce à la transparence de la glace. Les objectifs sont les mêmes que pour ANTARES, AMANDA est chargé de détecter les neutrinos et les muons à proximité de ses 677 modules optiques. Les photodétecteurs sont répartis dans 19 trous de glace réalisés grâce au forage à l'eau chaude.

ANTARES a vu le jour en 2002 et AMANDA en 2000. Après AMANDA, c'est IceCube qui a vu le jour dans le pôle sud, englobant AMANDA et devenant opérationnel en 2010. « Grâce à AMANDA, on a enregistré un murmure ; avec IceCube, on écouterait le son d'une contrebasse. » Confie Francis Halzen, initiateur des projets AMANDA et IceCube. En effet Le second projet du pôle sud a été conçu pour dépasser de près de 100 fois la taille de la précédente structure.

### Le mot de la Fin

Le télescope ANTARES est donc la première structure de ce type à voir le jour, notamment en France. Capable dans un avenir proche (ou pas) de répondre à certaines questions sans réponses à ce jour sur l'Univers qui nous entoure. Les neutrinos sont encore un mystère pour la science et il va falloir creuser plus loin encore pour révéler tous leurs secrets. De plus, nous savons maintenant qu'une étude plus approfondie de la bioluminescence dans le Golfe du Lion et l'impact du réchauffement climatique va pouvoir être menée grâce à la capacité d'ANTARES à percevoir les pics de cette activité biologique. Une chose est sûre, grâce à ce type de structure que sont ANTARES, AMANDA ou encore IceCube, nous allons pouvoir creuser plus loin dans les mystères de l'Univers.

### Glossaire

<sup>1</sup>Saveur : Caractéristique qui permet de différencier les différentes sortes de Quarks et de Leptons en physique des particules. Les Quarks se différencient en six saveurs (haut, bas, étrange, charme, beauté et vérité) et les Leptons en trois (électron, muon et tauon).

<sup>2</sup>Chaîne proton-proton : Une des réactions de la fusion nucléaire à l'origine de l'énergie des étoiles qui combine à l'origine deux protons afin de former un noyau de deutérium et de libérer un positron et un neutrino.

<sup>3</sup>Positron : électron à charge positive.

<sup>4</sup>Scintillateurs : ou détecteurs à scintillation sont des objets constitués de matériaux qui émettent de la lumière lors du passage d'une particule.

### Pour en savoir (beaucoup) plus

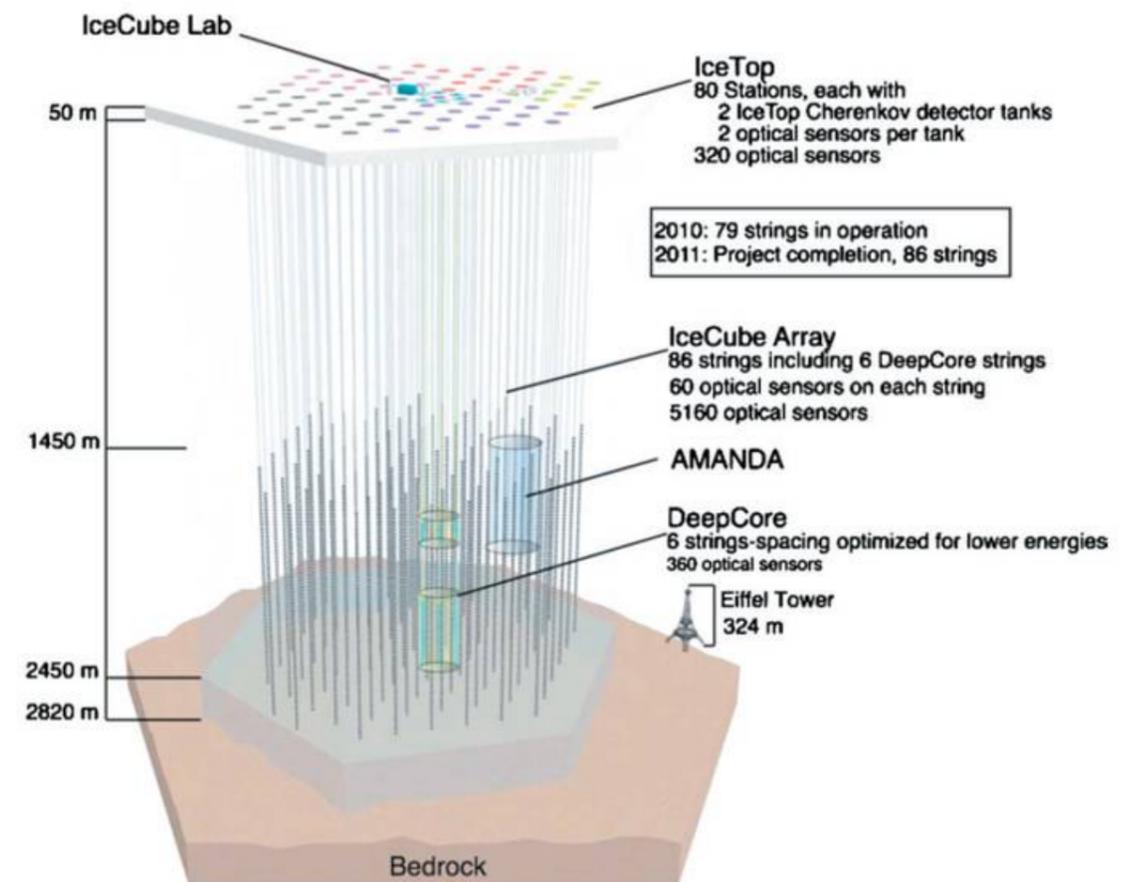
J. A. Aguilar et al. (2006) - First results of the Instrumentation Line for the deep-sea ANTARES neutrino telescope

S. Adrián-Martínez et al. (2012) - Search for Cosmic Neutrino Point Sources with Four Year Data of the ANTARES Telescope

J. Barrios-Martí (2014) - Searches for Point-like and extended neutrino sources close to the Galactic Centre using the ANTARES neutrino Telescope

Sergio Navas (2019) - Searches for point-like sources of cosmic neutrinos with 11 years of ANTARES data

A. Albert, M. André, M. Anghinolfi (2018) - The Search for Neutrinos from TXS 0506+056 with the ANTARES Telescope



Le projet IceCube incluant le programme AMANDA. Illustration : CC Francis Halzen, Department of Physics, University of Wisconsin.

Étoile de mer peigne (*Astropecten irregularis*) sur les fonds marins sableux de la baie de La Ciotat. Photo : Arnaud Abadie.

# LA MACROFAUNE BENTHIQUE DES SUBSTRATS MEUBLES

Dans les fonds meubles marins, une faune riche, exceptionnelle et indispensable à la vie des mers et océans évolue à l'abri des regards du grand public. Des individus de différentes espèces cohabitent ensemble au sein des mêmes habitats, ce regroupement d'individus est qualifié de peuplement macrobenthique des substrats meubles. La diversité au sein de ces peuplements renseigne les biologistes benthologues sur la qualité écologique du milieu dans lequel les prélèvements de cette faune, très souvent méconnue, ont été prélevés. Le terme « macrofaune benthique des substrats meubles » peut paraître barbare à la première lecture, mais ne vous inquiétez pas tout va bien se passer. Laissez-moi vous guider dans le petit monde merveilleux du benthos !

Charlène Fréjefond

## Un peu de vocabulaire

Pour la majorité du grand public, les baleines, dauphins, poissons et autres petites espèces qui rendent les documentaires animaliers sous-marins féériques, constituent la principale vie marine. Ces stars des océans ne sont que la partie immergée de l'iceberg de la vie océanique, il faut se rapprocher des plus petits pour comprendre comment les vastes étendus que constituent les mers et océans subsistent et évoluent depuis leur création.

Dans un premier temps il paraît primordial de faire un petit point étymologique afin de pouvoir partir sur de bonnes bases et une meilleure compréhension de tout ce qui va suivre au sein de cet article.

- Macrofaune : tous les individus de taille supérieure à 1 mm
- Benthique : fond marin
- Substrats meubles : sédiments meubles (mous) regroupant tous les sables (vaseux à détritique).

Il faut distinguer les deux termes employés pour distinguer les différents animaux constituant le benthos, l'endofaune et l'épifaune :

- L'endofaune est inféodée aux substrats meubles, elle regroupe les animaux vivant à l'intérieur du sédiment.
- L'épifaune regroupe les animaux vivant à la surface du sédiment. Ces animaux peuvent avoir un mode de vie sédentaire ou errant.

En conclusion, la macrofaune benthique des substrats meubles regroupe tous les animaux d'une taille supérieure à 1mm vivant à proximité ou dans le fond des mers et océans, où ils y trouvent leur nourriture et s'y reproduisent.

Lorsque les biologistes parlent de macrofaune benthique des substrats meubles, ils se réfèrent aux invertébrés. Pourquoi me direz-vous ? Car précédemment il a été expliqué que « macrofaune » correspondait aux animaux dont la taille est supérieure 1 mm et que par conséquent les vertébrés vivant sur ou à proximité du fond marin devrait être pris en compte dans cet article. Il est tout à fait légitime de se poser la question, toutefois, les vertébrés (poissons osseux, poissons cartilagineux) font l'objet d'études

spécifiques menées par des experts de ces espèces. Vous aurez donc compris qu'ici ne sera traité exclusivement que le sujet des invertébrés marins, chacun sa spécialité, ne nous emmêlons pas les pinceaux, il y a déjà bien à faire avec ces petites bêtes !

*A noter que vous retrouverez au long de votre lecture le terme « macrofaune benthique » sous la forme de macrobenthos.*

## Les substrats meubles

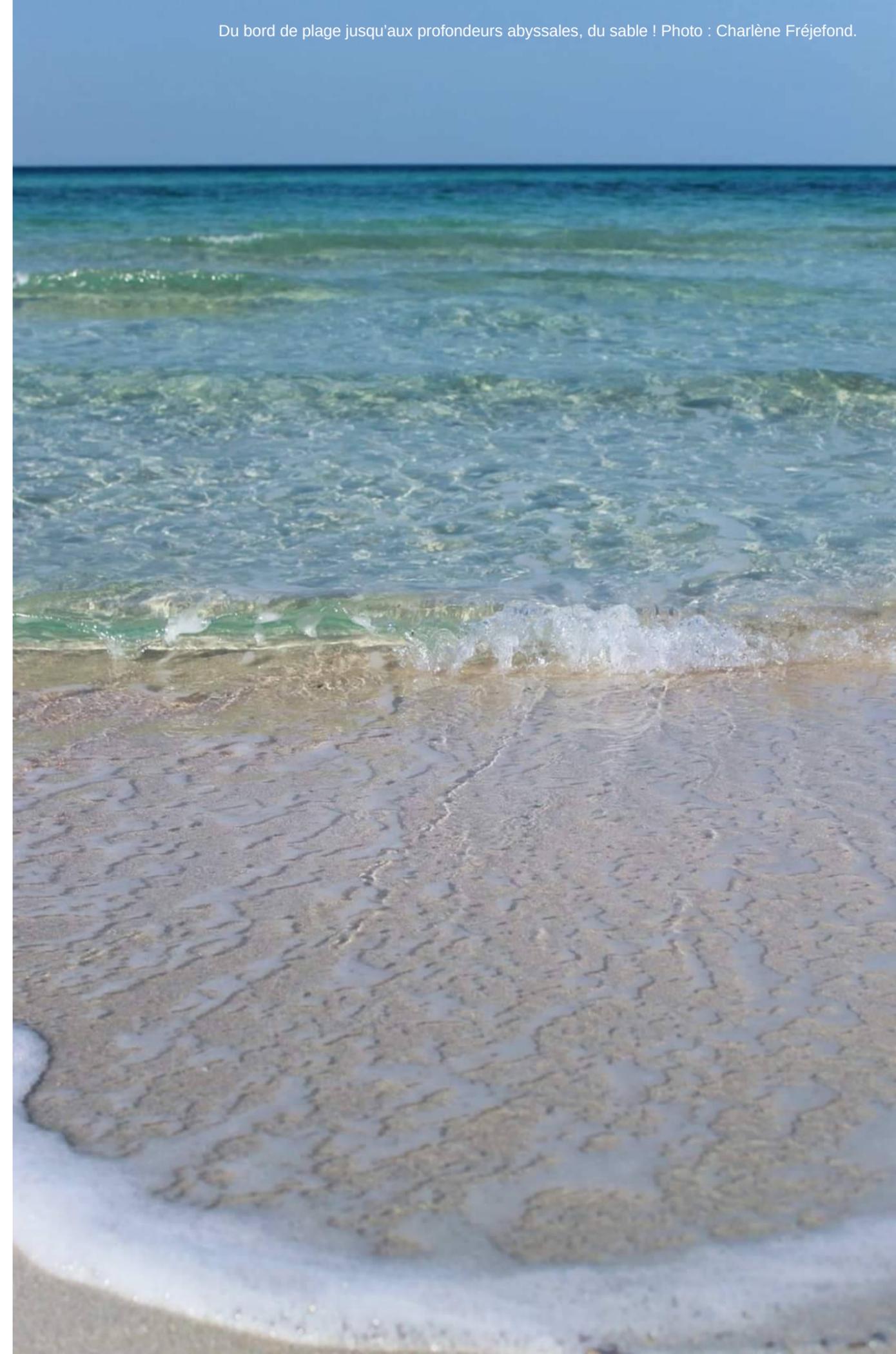
Dans l'esprit collectif, les substrats meubles se limitent au « sable » que l'on retrouve lors de nos baignades estivales en bord de mer. Mais savez-vous qu'il existe une multitude de substrats meubles que l'on retrouve au niveau de tous les étages bathymétriques des mers et océans (Et oui même dans les fonds abyssaux on peut faire des châteaux de sables !).

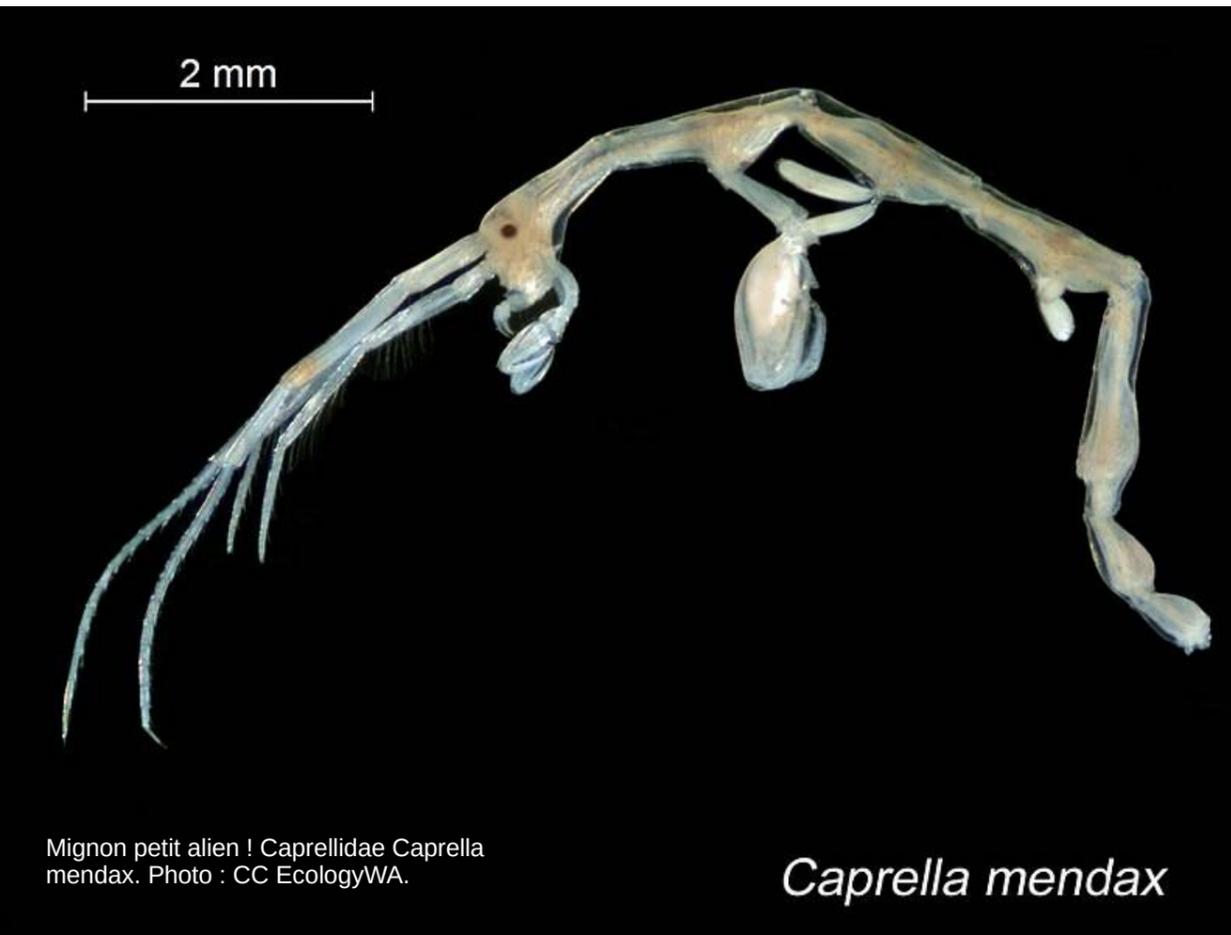
Dans une même gamme de profondeur, plusieurs types de substrats sableux peuvent être en contact où même être associés. Pour distinguer ces substrats, outre l'aspect visuel, il faut se référer aux classifications granulométriques existantes pour savoir dans quel type de milieux les invertébrés évoluent.

La gamme sédimentaire s'étend des particules fines (argiles, limons) à grossières (sable), déplacées et transportées grâce, notamment, aux actions hydrodynamiques (vent, courants, marées) et actions anthropiques (dragage, clapage).

## Le macrobenthos

Le macrobenthos de substrats meubles regroupe toute la macrofaune dont la taille est supérieure à 1mm, vivant sur (épifaune) ou dans (endofaune) les fonds meubles. Deux facteurs principaux conditionnent la structure des communautés macrobenthiques de substrats meubles : la profondeur et la granulométrie du sédiment dans lequel elles évoluent. L'étude du macrobenthos de substrats meubles est utilisée dans le cadre de la DCE (Directive Cadre Eau) et d'autres programmes internationaux de surveillance de la qualité des eaux car les organismes et communautés benthiques se révèlent être particulièrement





Mignon petit alien ! Caprellidae Caprella mendax. Photo : CC EcologyWA.

*Caprella mendax*

adaptés pour l'évaluation de l'état présent et passé des écosystèmes dans lesquels ils se développent. Ceci est dû à la sensibilité et à la faible mobilité de certaines espèces. En effet, les espèces associées au macrobenthos ne peuvent pas fuir face à la pollution du milieu. De plus, la durée de vie relativement longue des organismes macrobenthiques permet d'observer les perturbations au sein d'un peuplement. Ce sont donc de très bons indicateurs de la qualité écologique du milieu.

Vous allez me dire, tout ça c'est très bien mais concrètement elles ressemblent à quoi ces bestioles ? Parce que jusqu'à là beaucoup de blabla mais pas beaucoup d'images sympathiques à se mettre sous la dent pour s'imaginer à quoi bon tout cela ressemble. Patience petit padawan ça arrive !

En regardant certains films d'horreur ou de science-fiction, vous vous êtes probablement dit « wouah mais quelle

imagination débordante ! » où peut être pour les plus terre à terre d'entre vous « Heu ça existe vraiment dans la nature ces monstres ? ». Pour être la plus honnête avec vous, OUI, certaines des créatures cauchemardesques mises en scène dans les films qui hantent vos nuits (Alien, 20 000 lieues sous les mers, Abyss) sont inspirées du catalogue animalier benthique.

Plaisanterie faite, la macrofaune benthique est constituée de nombreux phylum (embranchements) parmi lesquels quatre principaux sont étudiés par les biologistes dans le cadre des études portant sur le macrobenthos :

**Les polychètes** sont des vers annélides, généralement marins ou estuariens, divisés en deux groupes avec des espèces sédentaires sessiles, fixées au substrat, et des espèces errantes vagiles, capables de se



Petit air de famille ! Phyllodocidae Phyllodoce lineata qui semble tout droit sorti d'un film de science-fiction comme l'alien de droite (bien que le polychète ressemble plus à un predator). Photo de gauche : CC Hans Hillewaert.



Cumacé (Diastylis bradyi). Crustacea. Photo : CC Hans Hillewaert.

déplacer dans/ou sur le sédiment. Beaucoup sont cosmopolites et se rencontrent dans presque toutes les mers du globe. Contrairement aux vers terrestres (olygochètes), ils ont la particularité de posséder sur chaque segment des parapodes qui ressemblent à de petites nageoires permettant la locomotion où sont implantées de nombreuses soies chitineuses. Ces deux organes sont extrêmement importants du point de vue de la classification, ils fournissent les principaux caractères distinctifs entre familles.

**Les crustacés** font partis de l'embranchement des arthropodes dans lequel sont regroupés les espèces animales possédant des appendices articulés, un corps segmenté et un exosquelette. En d'autres termes se sont des animaux, possédant des pattes, des antennes, et une carapace articulée. Les plus connus du grand public sont les crabes, les crevettes, les langoustes, les araignées de mer. Mais il existe un grand nombre d'autres espèces méconnues.

Faisons un zoom sur les amphipodes ! Cela serait trop simple de vous parler des familles que vous connaissez déjà bande de petits malins. Donc les amphipodes. Ce sont de petits crustacés présentant une grande diversité et des caractéristiques morphologiques variables selon les genres, certaines espèces peuvent présenter des yeux énormes ou au contraire une absence de ceux-ci, des « épines » dorsales, des gnathopodes plus ou moins développés, qui comptent parmi les organismes les plus souvent rencontrés dans les échantillons de macrofaune.

**Les mollusques** partagent quelques points communs : un corps mou, un pied qui leur sert à se mouvoir et un manteau qui sécrète souvent une coquille. Le phylum des mollusques se divisent en trois classes (bivalves, gastéropodes et céphalopodes), ici seront traités seulement deux classes :

- Les bivalves (huitres, moules, palourdes...) caractérisés par deux valves



Polychète errant sur substrat meuble. Photo : CC Philippe Bourjon.



Sabellidae : Cette famille appartenant aux polychètes sédentaires présente de longs filaments branchiaux formant une couronne tentaculaire qui peut être soit circulaire (genre sabella), soit en spirale (genre spirographis). Ces filaments branchiaux leurs servent à capter des particules alimentaires. Ils vivent dans des tubes membraneux, souples et fixés dans le sable. Photo : CC Gambini Alberto.

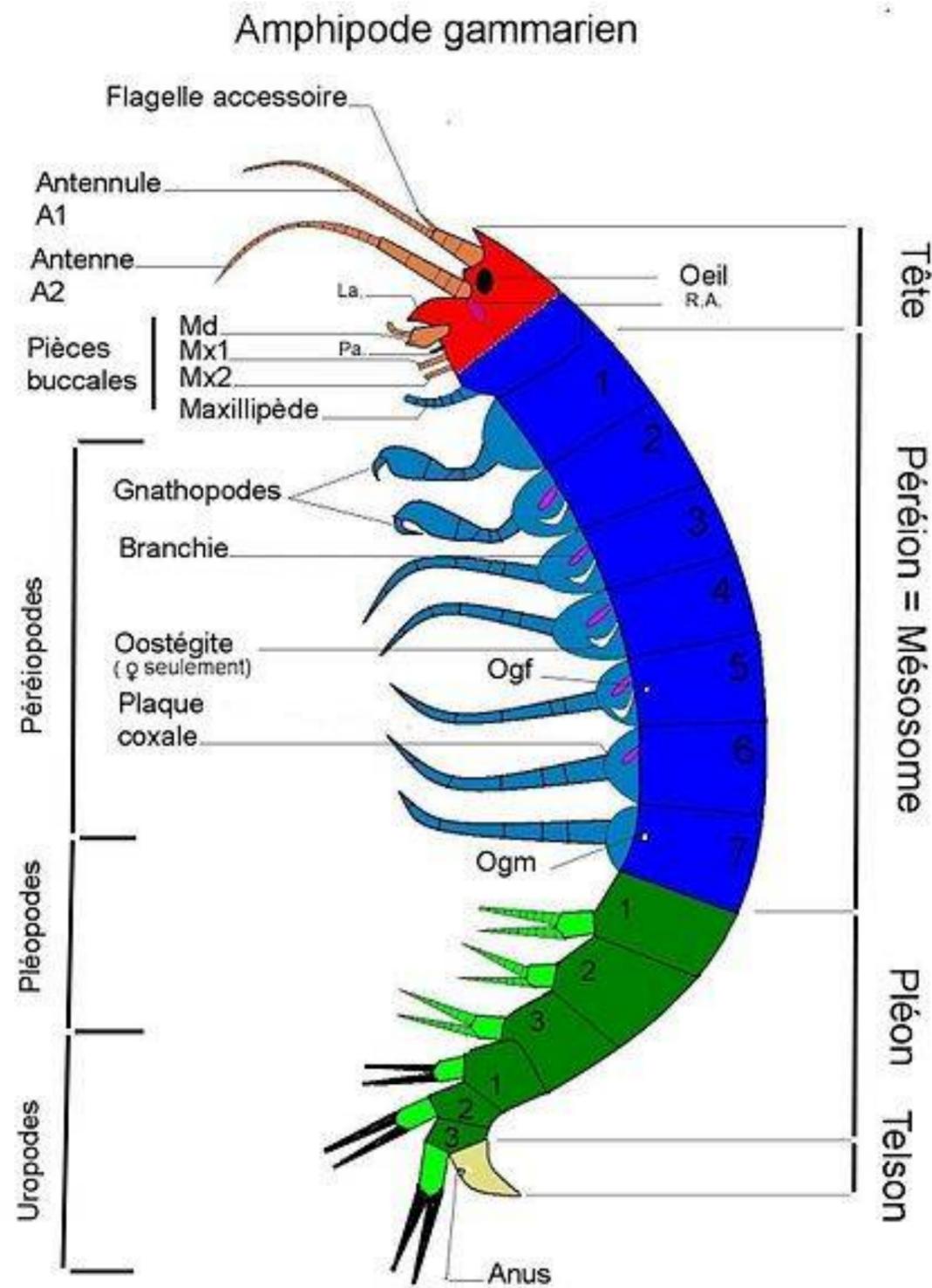
(coquilles) reliées entre elles par une charnière. Tous les bivalves possèdent deux siphons (un inhalant et un exhalant) qui permettent à l'animal, caché dans le substrat, de respirer et de se nourrir en faisant circuler les courants d'eau chargée en oxygène et en particules alimentaires (Müller, 2016). Ils servent également à l'élimination des particules non ingérées (pseudofèces), à l'excrétion et à l'émission des gamètes. Le plus souvent seules les extrémités des siphons apparaissent à la surface du substrat.

- Les gastéropodes (bulots, bigorneaux, patelles) caractérisés par la présence d'un pied et une coquille qui est toujours d'une seule pièce et en position dorsale, le plus souvent spiralee, mais qui peut être droite

(rare cas de gastéropodes sans coquille).

**Les échinodermes** (oursins, étoiles de mer, ophiures...) sont caractérisés par une symétrie radiaire et généralement de type 5.

- Echinoidea : Classe regroupant les Oursins réguliers et irréguliers. Ce sont des animaux de forme arrondie au corps recouvert de piquants. Contrairement aux oursins réguliers qui vivent la plupart du temps fixés sur un substrat dur, et que vous avez déjà sûrement rencontré lors de vos plongées où ballades le long du littoral, le mode de vie des oursins irréguliers est bien différent puisqu'ils sont fouisseurs et restent dissimulés dans les substrats sablonneux.



Anatomie d'un amphipode. Photo : CC Auguste Le Roux.





La coquille spiralée d'un gastéropode marin. Photo : Illuvis/Pixabay.



Une petite ophiure vivant dans le sable. Photo : Charlène Fréjefond.

- **Holothuroidea :** Les holothuries communément appelées concombre de mer, ont un aspect vermiforme dépourvu d'épines. Leur corps est allongé selon un axe bucco-anal. La bouche et l'anus sont terminaux et opposés. La bouche est entourée de plusieurs petites tentacules.
- **Asteroidea :** Contrairement aux oursins qui ont une forme arrondie, le corps des Astérides est aplati selon l'axe de symétrie caractéristiques des échinodermes. Leur morphologie est celle d'une étoile à cinq branches mais parfois plus sans que ce soit forcément un multiple de 5. Elles possèdent un disque central où s'ouvre la bouche (face orale ou ventrale) et à partir duquel rayonnent les bras.
- **Ophiuroidea :** Les ophiures, comme tous les échinodermes, ont une symétrie pentaradiale. Elles ressemblent à des étoiles de mer, avec cinq bras fins et fragiles rattachés à un disque central.

### Structure trophique du macrobenthos

Il est important de s'intéresser aux comportements alimentaires de ces petites bêtes pour mieux appréhender le fait qu'elles sont indispensables au bon équilibre de la chaîne trophique et de l'environnement marin en général.

La structure trophique des peuplements macrobenthique est basée sur les groupes trophiques des différents taxons rencontrés. Chaque groupe trophique est basé sur le comportement et les habitudes alimentaires des individus. Cette classification tient compte de la nature et de la taille de la nourriture et de son mode de récolte. Ces groupes trophiques se répartissent en deux grandes catégories : macrophages et microphages.

Les macrophages se nourrissent de grandes particules alimentaires et regroupe

quatre sous-catégories: les herbivores (brouteurs ou mangeurs d'algues), les nécrophages (se nourrissant d'animaux morts), les détritivores (animaux vagiles consommant les débris d'origine essentiellement végétale), les carnivores ou prédateurs (chassant des proies).

Les microphages sont les animaux qui se nourrissent de petites particules et se composent des: micro-brouteurs (se nourrissant des microphytes, bactéries et débris colonisant les surfaces solides), suspensivores (liés aux apports par la couche d'eau et se nourrissent par filtration des particules alimentaires ou du plancton en suspension), dépositivores sélectifs (se nourrissant de particules organiques, de bactéries et d'algues unicellulaires déposées sur le fond), dépositivores non-sélectifs ou limnivores (animaux vivant dans le sédiment qu'ils ingèrent pour prélever la matière vivante telle que les bactéries, les microorganismes et la méiofaune benthique).

### Sur le terrain et en laboratoire comment ça se passe pour les biologistes ?

La méthode de suivi de la macrofaune benthique (suivant le protocole DCE) se déroule en deux grandes étapes : une sur le terrain pour les prélèvements et une en laboratoire. Une fois la zone à prélever localisée, les prélèvements sont effectués soit en plongée sous-marine à l'aide d'une benne à main d'Eckman, ou directement à partir de l'embarcation à l'aide d'une benne Van Veen. Les méthodes de prélèvement sont adaptées en fonction de la profondeur.

Cinq réplicats sont échantillonnés par station, puis les échantillons sont tamisés sur un tamis d'une maille de 1 mm et sont ensuite fixés au formol neutralisé à l'eau de mer (5%).

Au laboratoire, on réalise l'extraction de la macrofaune. Les refus de tamis sont triés au laboratoire suivant la norme ISO16665 (Qualité de l'eau-Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le



Biologiste récupérant les sédiments prélevés à la benne à main d'Eckman.

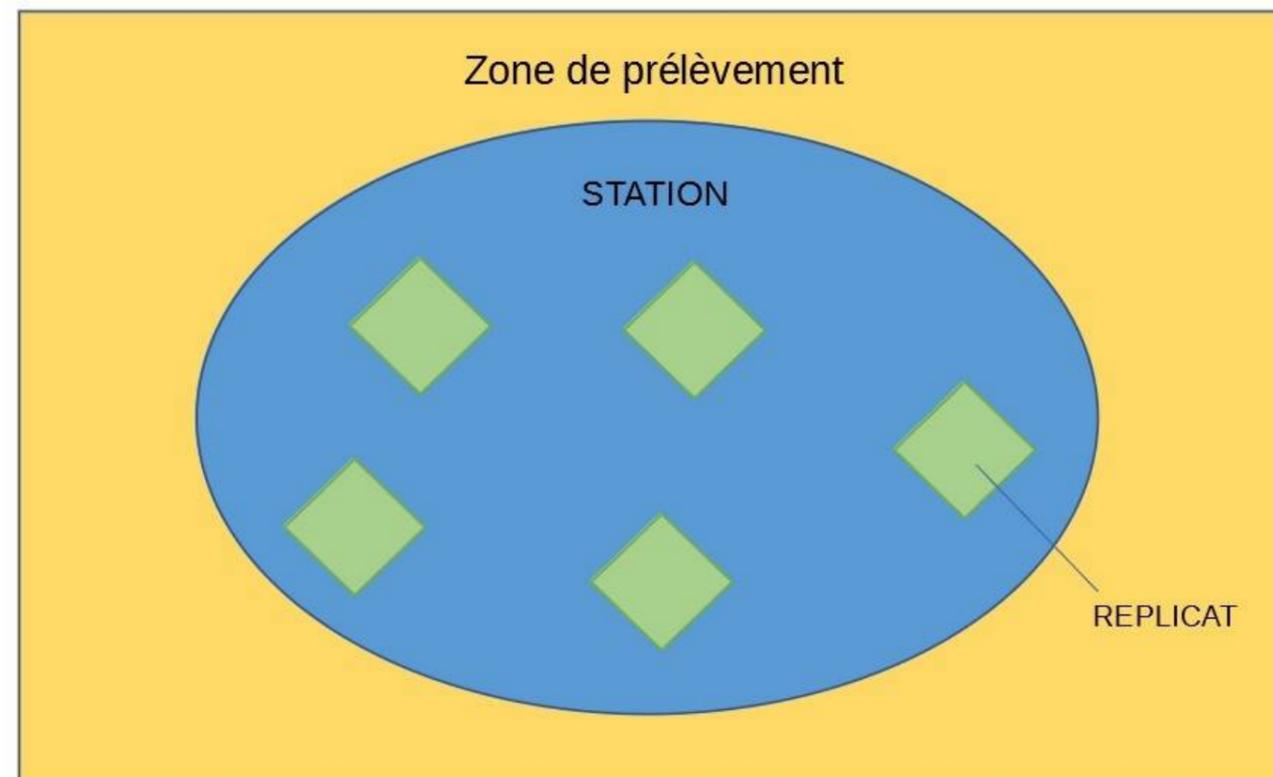


Illustration d'un site d'échantillonnage.

traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles). La faune benthique est ensuite conservée dans de l'éthanol 70%. Dans un deuxième temps, les biologistes experts réalisent la détermination de l'ensemble des individus. Elle est réalisée à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope, les différentes espèces sont identifiées et les individus dénombrés en se basant sur le WORMS (world Register Of Marine species) comme liste de référence des noms d'espèces.

### *Intérêt pour la conservation/Menaces potentielles*

En raison de la fonction écologique importante du macrobenthos au sein des écosystèmes marins (dégradation et production de matière organique), les connaissances sur les assemblages macrobenthiques de substrats meubles sont indispensables pour identifier les domaines

prioritaires pour la conservation et pour l'adaptation des activités humaines dans la zone maritime. Sans ces connaissances, les effets des facteurs de stress anthropiques ne peuvent être prédits ou atténués. Le terme « facteur de stress anthropiques » définit les activités humaines en mer générant une ou plusieurs pressions sur le milieu. Ces facteurs peuvent engendrer des changements dans la structure des communautés benthiques et peuvent ainsi avoir des impacts significatifs sur les écosystèmes marins, affectant la production de matière organique, la géochimie du sédiment et la quantité de nourriture disponible pour les prédateurs des niveaux trophiques supérieurs. En effet, la structure des biocénoses benthiques peut être influencée par de nombreux facteurs environnementaux et anthropiques (température, profondeur, type de sédiment, apports de matière organique...), qui peuvent être étroitement liés entre eux et difficiles à distinguer (Weisshappel et Svavarson, 1998).

Le macrobenthos est la mémoire des événements qui se sont passés les quelques



Tri et identification au laboratoire.

semaines (mois) avant le prélèvement. Ce sont donc de parfaits bio-indicateurs de la qualité écologique du milieu dans lequel les peuplements sont prélevés.

Lorsque l'on parle de menaces potentielles on entend par là, les pressions et impacts sur les milieux naturels découlant des activités humaines. Selon les milieux et les régions biogéographiques, les impacts ne sont pas forcément identiques.

Les étages supralittoralittoraux qui assurent la transition entre les domaines marin et terrestres et médiolittoral qui correspond à la zone de balancement des marées où il y a alternance d'immersion et d'émersion, subissent des impacts quasi-identiques. Ces zones sont particulièrement soumises à la fréquentation humaine (rejets de détritiques) et aux piétinements (pêche à pied) qui modifient notamment la compacité des sédiments ; aux nettoyages des plages détruisant non seulement la faune associée aux laisses de mers mais privant également le milieu de l'apport de matériel organique qui lui

est nécessaire (ex : banquettes de posidonies et autres macrophytes en méditerranée) ; aux pollutions par les nappes d'hydrocarbures après des accidents en mer (marées noires) ; aux débordements et ruissellements des cours d'eau ; aux rejets anthropiques de toutes sortes et à l'artificialisation du littoral.

L'infralittoral, zone immergée dont la frange supérieure peut cependant être exondée aux grandes marées de vives-eaux en Atlantique, subit les pressions anthropiques que l'on retrouve dans les étages supérieurs et inférieurs. C'est une sorte de « zone de transition » entre le bord de mer et les grands fonds qui cumule le plus de pressions. Cette zone bathymétrique est particulièrement soumise (en plus des activités précédentes) aux macrodéchets de surface ; aux eaux turbides et à l'envasement ; à la pêche artisanale (pêche par raclage dans certaines zones, pêche aux mollusques, pêches aux appâts) ; à la suppression des barrières naturelles ou artificielles pour faciliter la circulation des eaux ou des embarcations ; aux dragages

pour l'extraction de maërl en Atlantique.

Lorsque on s'éloigne du littoral, le circalittoral partie du littoral la plus profonde, presque totalement sombre et le Bathyal, zone qui s'étend de 1000 à 4000 mètres de profondeur se dessinent lentement. Comme les étages précédents, ces zones bathymétriques subissent de forts impacts anthropiques. A la différence, que se retrouve dans ces zones, la surpêche aux arts traînants.

Quel est l'impact de toutes ces pressions sur les peuplements macrobenthiques des substrats meubles ? il en résulte une diminution drastique de la densité et la diversité des espèces sensibles caractéristiques des différentes biocénoses et à leur remplacement par des espèces à large répartition écologique où opportunistes dans l'ensemble des substrats meubles. La faible résilience de certaines espèces et leur sensibilité accrue aux changements du milieu ne permettent pas aux populations de résister à la destruction de leur habitat associé.

### Le mot de la Fin

Le métier d'expert benthologue ne s'improvise pas, il nécessite plusieurs années de formation et de longues heures les yeux fixés sur le microscope. Cela demande un investissement personnel assidue pour retenir toutes les familles, genres et espèces et une grande dextérité pour disséquer des individus de l'ordre du millimètre.

N'oublions jamais que toutes nos actions terrestres se retrouvent en mer et aboutissent à de forts impacts sur les plus gros et plus petits individus marins trop souvent oubliés.

### Glossaire

Réseau trophique : ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème.

Gnathopode : Qualifie une des deux premières pattes thoraciques des amphipodes, patte non ambulatoire, généralement préhensile et terminée en forme de pince.

Espèce à large répartition écologique : espèce ne vivant pas dans un environnement

spécifique et que l'on peut retrouver dans plusieurs habitats.

Espèce opportunistes : espèce qui présente une capacité d'adaptation élevée. Elle occupe des habitats nouvellement disponibles, survit dans des environnements transitoires, imprévisibles<sup>3</sup>. Peu spécialisée, elle modifie son mode d'alimentation pour coloniser de nouveaux espaces.

Résilience : on utilise ce mot pour désigner l'aptitude d'une population, d'une espèce, d'un écosystème à se reconstituer et à récupérer ses effectifs initiaux après une perturbation. On évalue la capacité de résilience en combinant divers facteurs dont le temps de doublement de population, le taux de croissance, l'âge à maturité, etc. Pour un organisme isolé, c'est la capacité de réparation ou de régénération après un choc, un stress, un accident (SOURCE : DORIS).

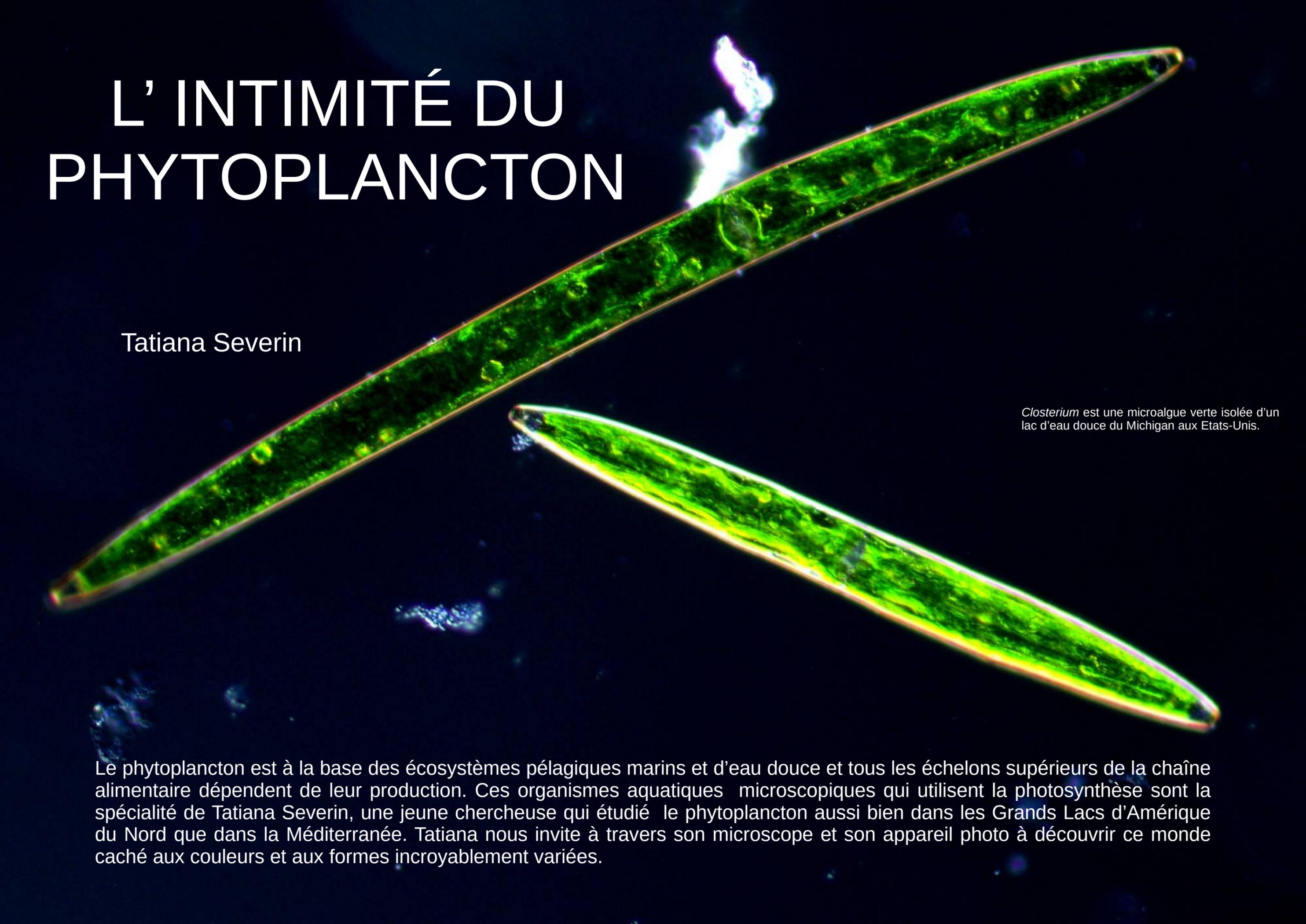
### Pour en savoir (beaucoup) plus

Dauvin J.-C. (ed.) (1997). Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes atlantiques, Manche et Mer du Nord. Patrimoines Naturels / Série Patrimoine Ecologique. Service du Patrimoine Naturel / IEGB) / Muséum National d'Histoire Naturelle (ed.). Vol. 28, Paris : 376 pp.

Michez N., Bajjouk T., Aish A., Andersen A., Ar Gall E., Baffreau A., Blanchet H., Chauvet P., Dauvin J.-C., de Casamajor M.-N., Derrien-Courtel S., Dubois S., Fabri M.-C., Houbin C., Legall L., Menot L., Rollet C., Sauriau P.-G., Thiébaud E., Tourolle J. & Van den Beld I. (2015). Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique : Version 2. Rapport SPN , Paris, 2015 - 45, MNHN : 61 pp.

R. Kantin, B. Andral, S. Debard, J. Denis, V. Derolez, E. Emery, N. Ganzin, G. Hervé, T. Laugier, M. Le Borgne, D. L'Hostis, J. Oheix, V. Orsoni, S. Raoult, S. Sartoretto, C. Tomasino R.INT.DOP/LER-PAC/06-08 Décembre 2006 Le Référentiel Benthique Méditerranéen (REBENT MED), 124p.

# L'INTIMITÉ DU PHYTOPLANCTON



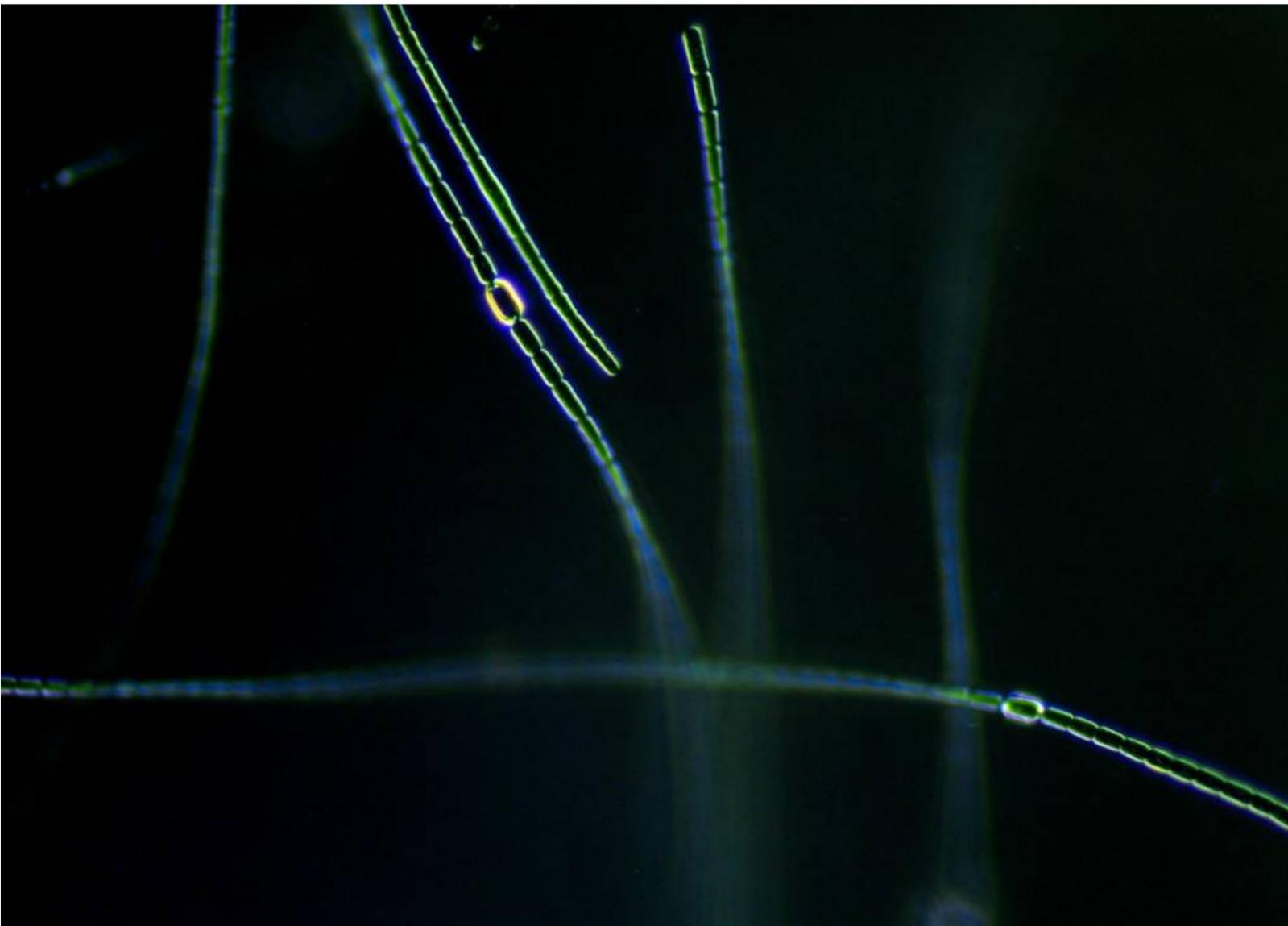
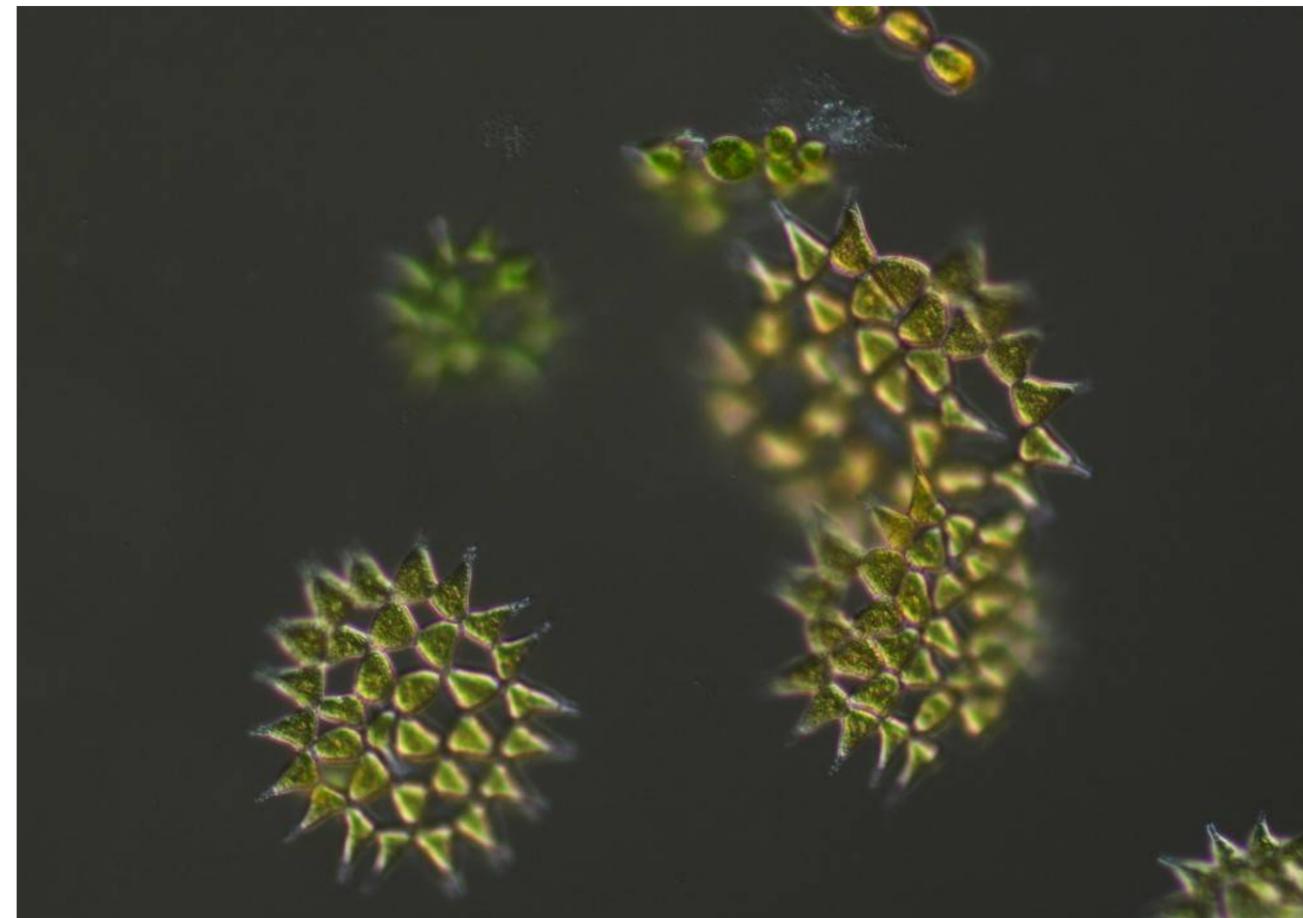
Tatiana Severin

*Closterium* est une microalgue verte isolée d'un lac d'eau douce du Michigan aux Etats-Unis.

Le phytoplancton est à la base des écosystèmes pélagiques marins et d'eau douce et tous les échelons supérieurs de la chaîne alimentaire dépendent de leur production. Ces organismes aquatiques microscopiques qui utilisent la photosynthèse sont la spécialité de Tatiana Severin, une jeune chercheuse qui étudie le phytoplancton aussi bien dans les Grands Lacs d'Amérique du Nord que dans la Méditerranée. Tatiana nous invite à travers son microscope et son appareil photo à découvrir ce monde caché aux couleurs et aux formes incroyablement variées.

# DES ALGUES VERTES D'EAU DOUCE

*Pediastrum simplex* est une microalgue d'eau douce formant de magnifiques colonies plates et circulaires en forme d'étoiles.

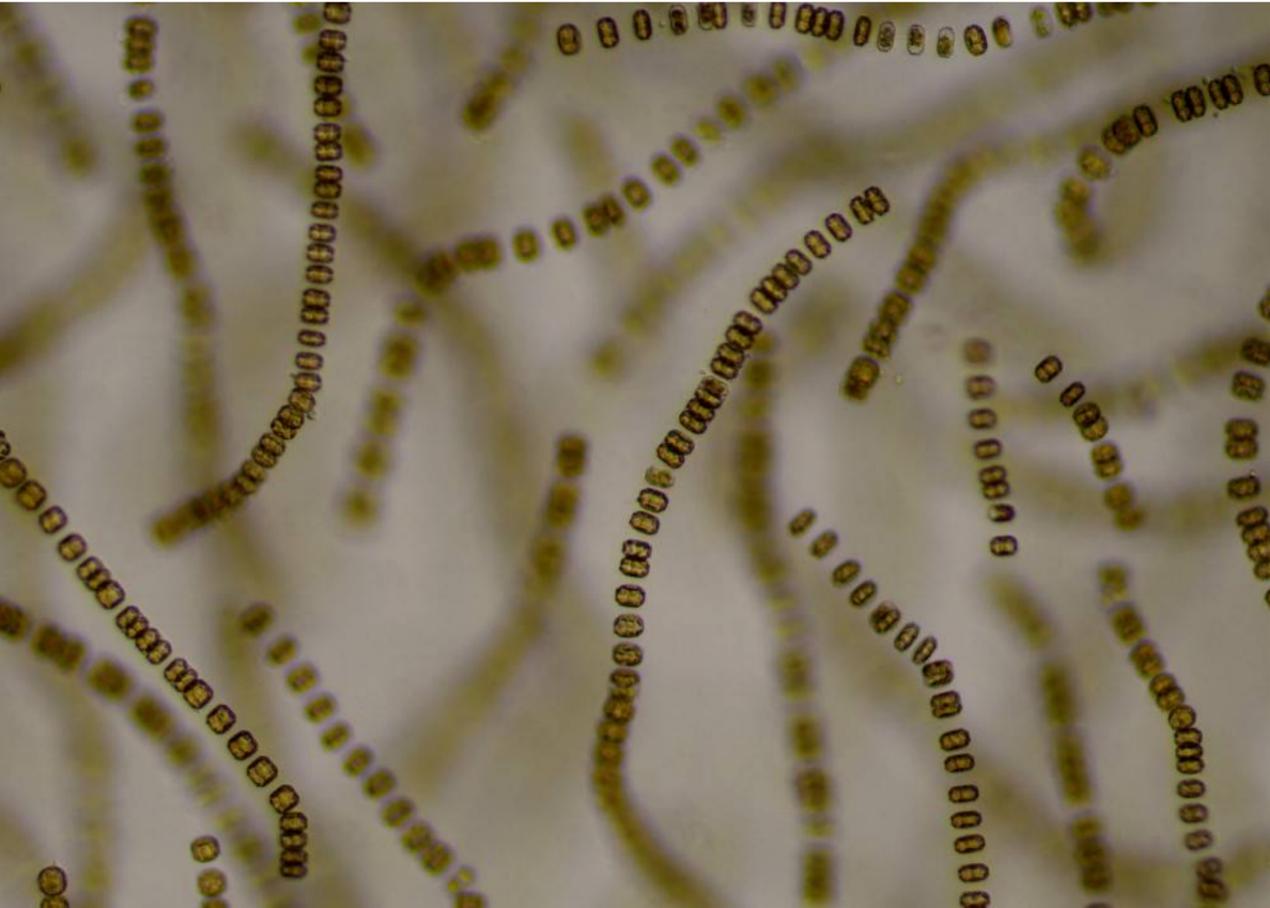
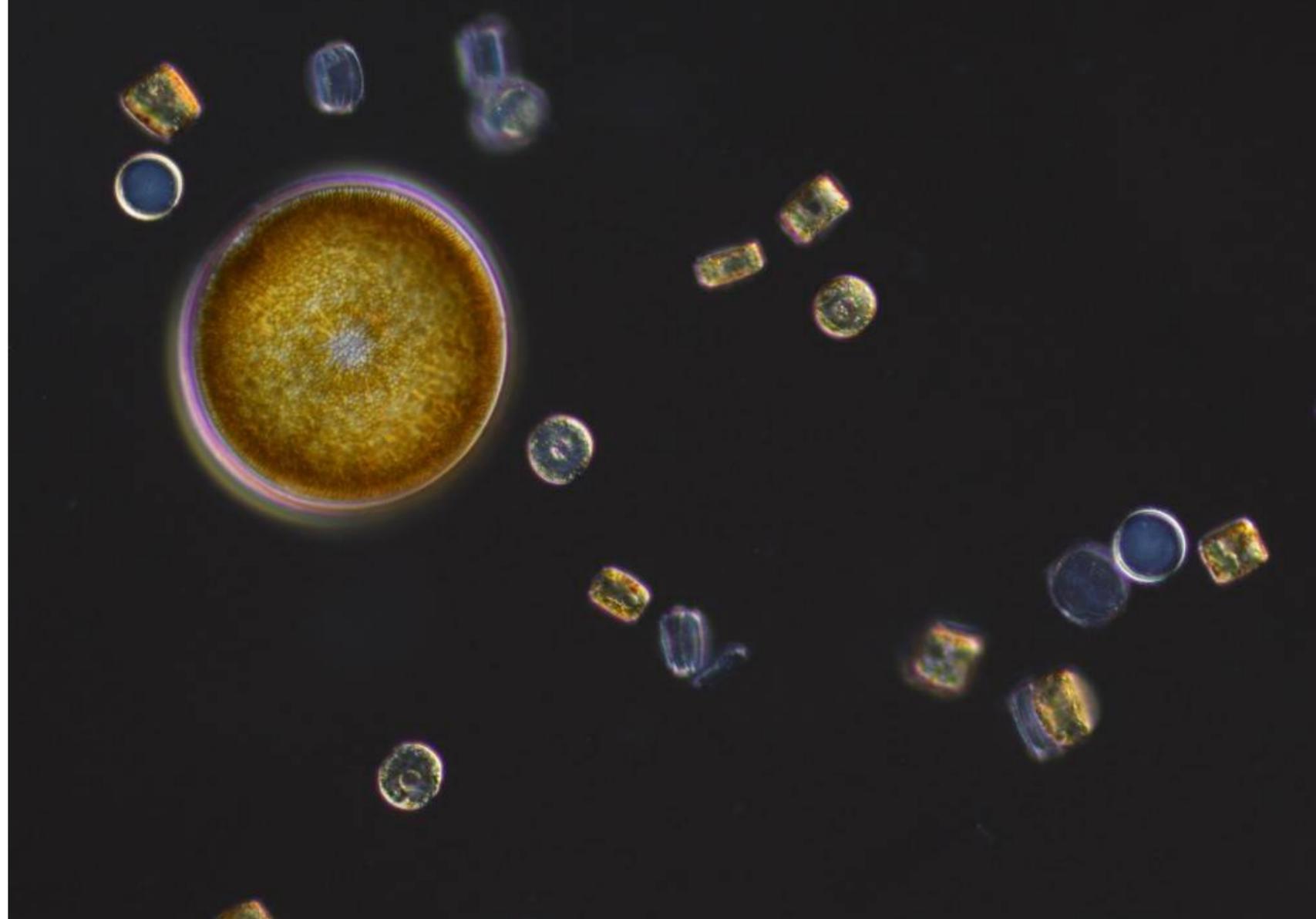


Bien qu'étant des organismes unicellulaires, certaines espèces phytoplanctoniques ont développé des facultés extraordinaires. En cas de limitation en nitrate dans le milieu, la cyanobactérie *Anabaena cylindrica* est capable de se spécialiser afin de fixer l'azote atmosphérique (cellules jaunes), et de le transmettre à ses cellules sœurs de la colonie (cellules vertes) afin qu'elles puissent continuer leur activité photosynthétique. En échange, ces dernières lui transmettent la matière organique qu'elles synthétisent afin que les cellules spécialisées puissent continuer à fixer l'azote atmosphérique.

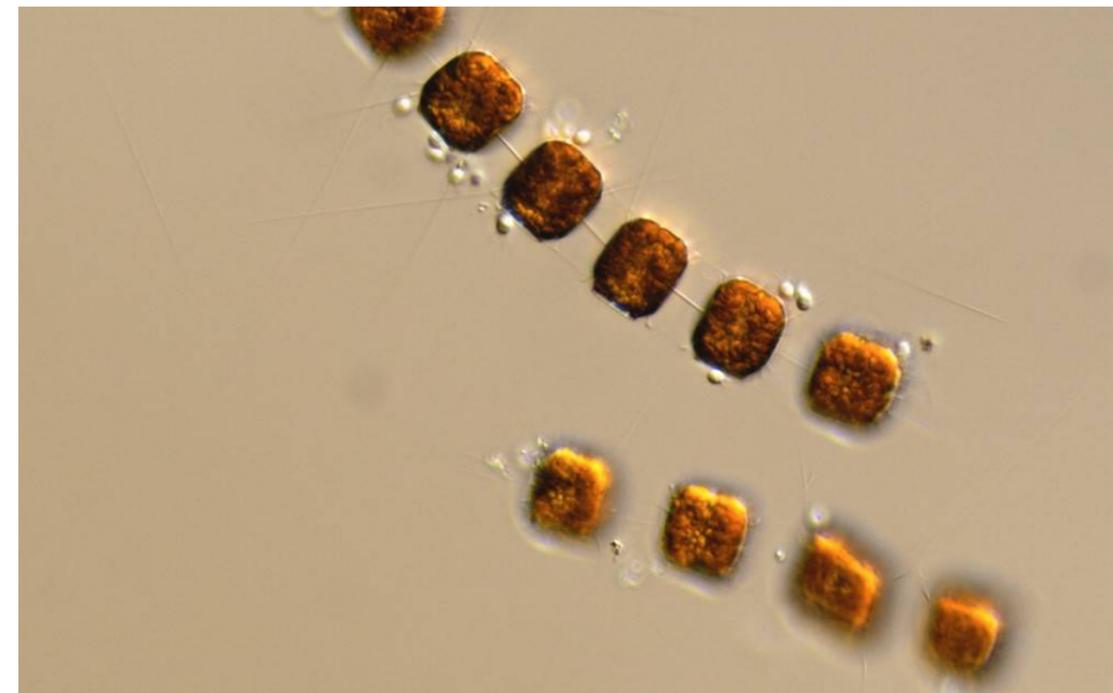
Les diatomées sont les microalgues les plus abondantes dans nos océans. Elles s'entourent d'une coquille de silice, du verre, présente sous la forme de deux thécas qui s'emboîtent telle une boîte à camembert. La terre de diatomée est constituée de la coquille fossilisée de ces microorganismes, le frustule, accumulée il y a très longtemps dans des rivières, des ruisseaux, des lacs et des océans, et est exploitée par de nombreuses industries (litière pour animaux, cosmétiques, insecticide naturel...). *Coscinodiscus* (grosse cellule) et *Thalassiosira* (petites cellules) sont des diatomées centrées communément retrouvées dans nos océans.

# DIATOMÉES

*Thalassiosira* est capable de former de longues chaînes ressemblant à des colliers de perles.



La même culture de *Thalassiosira* observée avec un grossissement plus important nous montre comment ces chaînes sont formées grâce aux « épines » des cellules. Des parasites flagellés de la famille *Acanthoecidae* peuvent aussi être observés accrochés aux cellules de *Thalassiosira*.



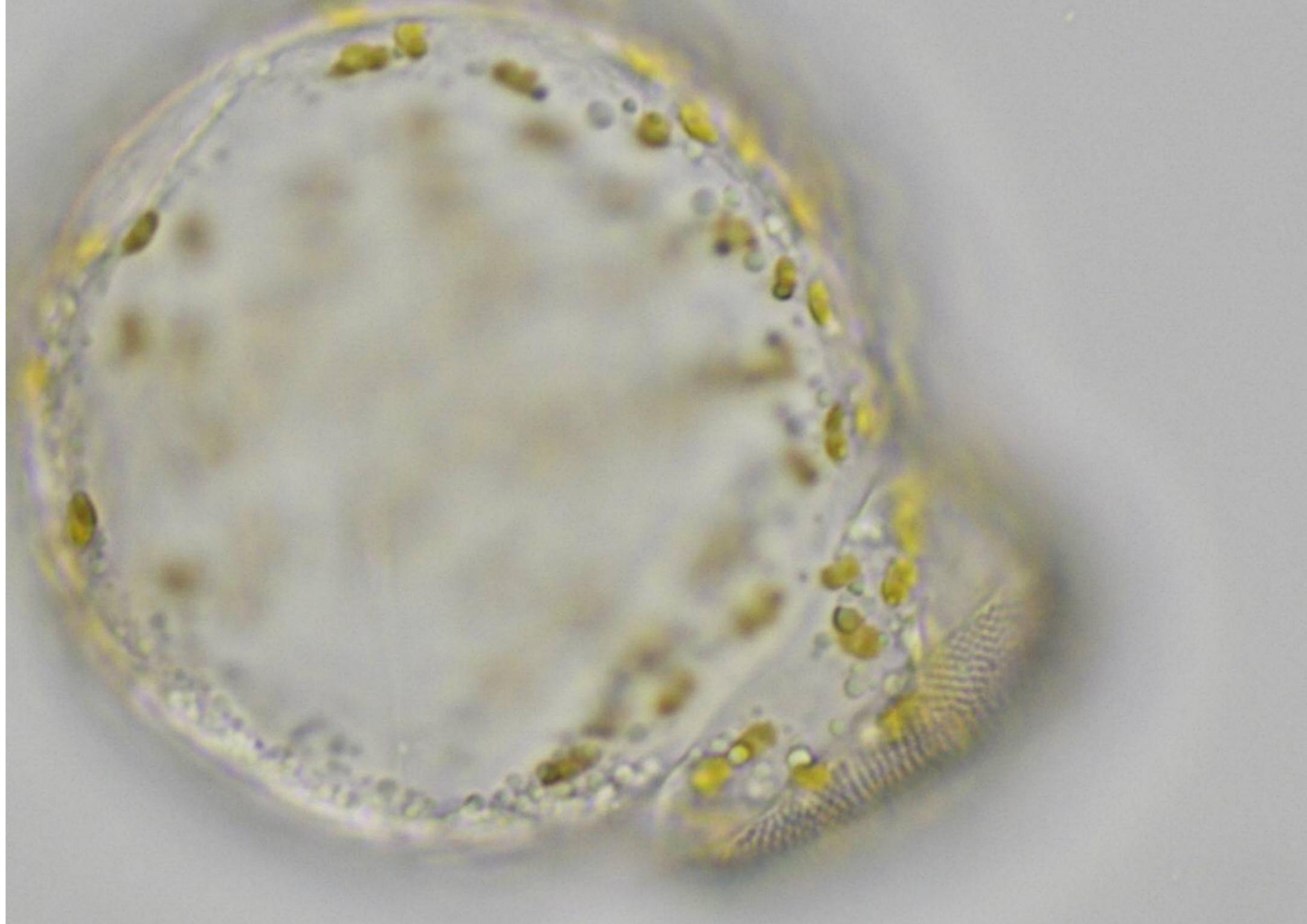


*Fragilaria* est une diatomée marine qui a été isolée en Baie de Narragansett, à Rhode Islande aux Etats-Unis. Cette espèce est de toute petite taille, 2-3 $\mu$ m, et forme des colonies en se collant côte à côte. Sur la colonie du bas, on peut voir le chloroplaste de chaque cellule en vert, l'organelle où la photosynthèse a lieu.

*Chaetoceros* est une diatomée communément observée dans nos océans et est caractérisée par de longues épines présentes à chaque extrémité, la cellule du haut ayant perdu ces épines du haut lors de la manipulation. Celles-ci ont été isolées en Baie de Narragansett, à Rhode Islande aux Etats-Unis.

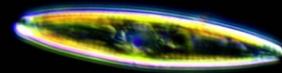
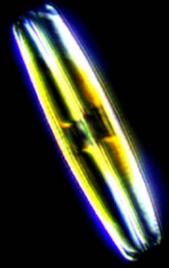


Le phytoplancton se reproduit généralement de manière asexuée par division, tout comme les bactéries. Mais chez les diatomées, cela entraîne un rétrécissement de leur taille au cours du temps. Avant d'atteindre leur taille limite, celles-ci vont se reproduire sexuellement en fusionnant deux cellules pour former un auxospore. Celui-ci va grossir jusqu'à atteindre la taille originale de l'espèce, avant de se diviser à nouveau. Cet auxospore de *Coscinodiscus* en grossissant a perdu l'un de ces thécas et n'en présente plus qu'un seul observable en bas à droite.



# LA REPRODUCTION SEXUÉE CHEZ LES DIATOMÉES

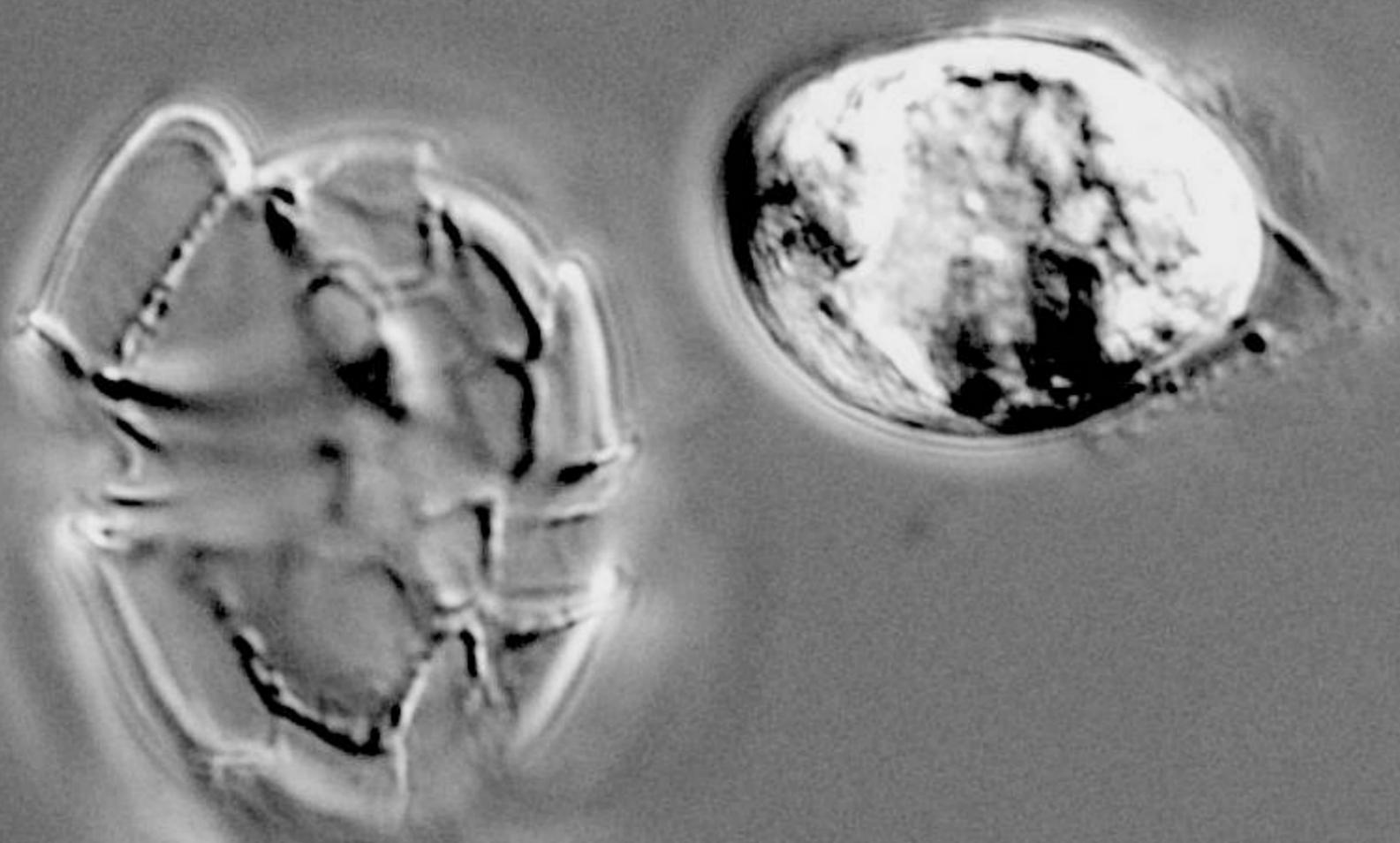
*Navicula* est une diatomée pennée avec un raphé lui permettant de se déplacer sur les substrats durs. Le nucléus, le noyau contenant l'ADN, est visible au centre de chaque cellule, ainsi que ces chloroplastes de couleur jaune-vert.

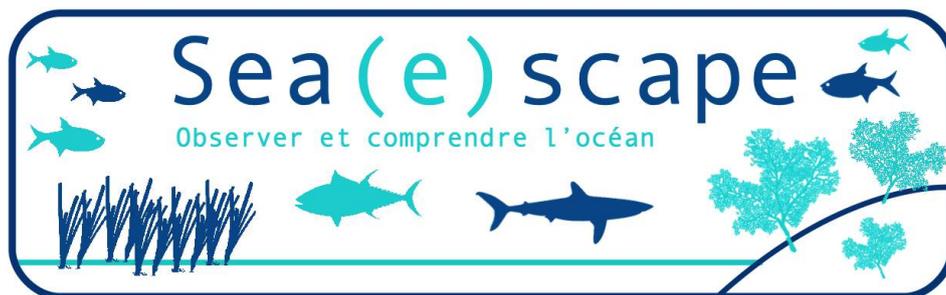


Un auxospore est en formation suite à la reproduction sexuelle de la diatomée *Navicula*. Ici, les deux thécas sont encore présents et s'ouvrent comme un bec d'oiseau pour laisser la place à l'auxospore pour grossir.

# UN DINOFLAGELLÉ DU MILIEU MARIN

Après les diatomées, les dinoflagellés sont le groupe le plus abondant. Cette cellule du genre *Gymnodinium* a été stressée et a formé un kyste, une cellule dormante. C'est-à-dire que la cellule (en haut à droite) est sortie de sa membrane externe faite de cellulose (en bas à gauche) suite au stress, et est maintenant inactive. Lorsque les conditions lui seront favorables, la cellule reformera sa membrane externe, et sera de nouveau active. Dans l'environnement, ce processus permet à cette espèce de survivre enfouit dans le sédiment pendant de nombreuses années, voir des siècles, avant que les conditions favorables soient réunies lui permettant de germer de nouveau. De nombreuses espèces de dinoflagellés et de diatomées sont capables de former ces kystes dormants.





[www.seaescape.fr](http://www.seaescape.fr)