

le manuel du plancton

Pierre Mollo
Anne Noury

LE MANUEL DU PLANCTON

ÉDITIONS **Charles Léopold Mayer**

38, rue Saint-Sabin 75011 Paris / France
Tél. et fax : 33 (0)1 48 06 48 86 / www.eclm.fr

Les Éditions Charles Léopold Mayer, fondées en 1995, ont pour objectif d'aider à l'échange et à la diffusion des idées et des expériences de la Fondation Charles Léopold Mayer pour le progrès de l'homme (FPH) et de ses partenaires. Les ECLM sont membres de la Coredem (Communauté des sites de ressources documentaires pour une démocratie mondiale) qui rassemble une trentaine d'associations, d'instituts de recherche et de réseaux autour d'un moteur de recherche (scrutari), d'un glossaire commun, le LexiCommon, et de la collection Passerelle : www.coredem.info

Vous trouverez des compléments d'information, des mises à jour, l'actualité des auteurs, etc., sur le site www.eclm.fr

L'Université Internationale Terre Citoyenne est une université sans murs qui a pour objectif la mise en œuvre d'une démarche d'alliance pour collecter, valoriser et projeter dans le futur l'expérience, au niveau international et local, des organisations sociales et de la société civile. Elle a pour objectif central la formation des citoyens et des leaders sociaux capables de faire face avec la communauté mondiale, aux enjeux de la mondialisation et du XXI^e siècle. ww.uitc-edu.org

Situé à Brest, **Océanopolis** est un parc de découverte des océans ouvert au grand public. Les écosystèmes des trois univers polaire, tropical et tempéré y sont reconstitués présentant plus de 10 000 animaux de 1 000 espèces différentes. Des spectacles et des expositions autour du monde marin y sont également proposés. www.oceanopolis.com

Les auteurs

Pierre Mollo

Après quarante ans au service du plancton et de la ressource marine, cet enseignant-chercheur est devenu une référence en la matière. Aujourd'hui retraité actif, il utilise tout son temps à transmettre son expérience au plus grand nombre et à tisser des liens entre le monde des professionnels de la mer et celui de la connaissance scientifique. Il développe des coopérations internationales (Europe, Asie, Afrique, Amérique du Sud) et s'engage, avec des associations bretonnes d'agriculteurs, de pêcheurs, de conchyliculteurs, dans la gestion du littoral et la préservation du plancton. Il participe à des conférences dans le monde entier, réalise films et vidéos, rédige de nombreux articles, anime des forums, écrit des livres et, en partenariat avec Océanopolis et la Fondation pour le progrès de l'homme (FPH), a créé un site Internet (plancton-du-monde.org) dans le but d'offrir à tous son savoir sur le plancton et le milieu marin.

Anne Noury

Anne Noury est réalisatrice de documentaires et auteure (albums jeunesse, nouvelles, livrets d'artistes, articles, expositions). Ses films et ses livres ont souvent un lien avec la mer. C'est donc avec enthousiasme qu'elle a rejoint Pierre Mollo pour ce plongeon dans les secrets de l'océan. Pour elle, la découverte du plancton est tout simplement la révélation d'une nouvelle vision de la planète et de la place qu'y prend l'homme.

Avant-propos	13
Introduction	15
Le plancton, à l'origine de la vie sur Terre	17
Qu'est-ce que le plancton ?	21
Première partie – LE PHYTOPLANCTON	25
CHAPITRE 1 : Des algues microscopiques	27
Le phytoplancton, acteur de la photosynthèse	27
Le phytoplancton, poumon de la planète	32
Le phytoplancton, base de la chaîne alimentaire aquatique	32
CHAPITRE 2 : Les algues bleues ou cyanobactéries	35
Gourmandes de pollution	35
Un équilibre naturel dans les mains de l'homme	37
Des microalgues toxiques, une exception : la spiruline	38
La spiruline dans nos assiettes	38
Une réponse à la malnutrition	39
CHAPITRE 3 : Les diatomées	43
L'apparition des diatomées	43
Belles	45
Toutes petites mais très fortes	45
Vivaces...	46
... et intelligentes !	48
Baguette magique	49
Utiles	50
Diatomées en danger !	54
L'exemple de la malaïgue dans les étangs languedociens	56
Les effets d'un barrage : quand l'invisible devient visible	56
L'exemple du barrage d'Arzal	57
Pollution physique et chimique	57
Marais salants, mangroves : des réussites écologiques	59
CHAPITRE 4 : Les coccolithes	61
De Murat à Étretat	61
Une alliée contre l'effet de serre	62
Point trop n'en faut !	62

La pluie et le beau temps	63
Coquilles menacées	64
L'équilibre, toujours l'équilibre...	64
CHAPITRE 5 : Les chrysophycées et les chlorophycées	67
Les chrysophycées	67
<i>Et si le flagelle avait permis l'évolution ?</i>	67
<i>L'herbe du zooplancton</i>	68
Les chlorophycées	69
<i>La chlorelle, une algue riche</i>	69
<i>De toutes les couleurs !</i>	70
<i>Marais salants et plancton : tout un équilibre</i>	71
CHAPITRE 6 : Les dinoflagellés	75
Attention danger !	76
Les « gentils » et les « méchants » !	78
Avis de recherche	81
Des sentinelles naturelles	83
Dinoflagellés et coraux, version toxique	85
Dinoflagellés et coraux, l'exception de la zooxanthelle	85
Une note acide	86
CHAPITRE 7 : Où vit le phytoplancton ?	89
À la source du développement du phytoplancton	89
L'habitat du phytoplancton	89
Le cycle du phytoplancton	90
La localisation du phytoplancton sur la planète	90
Les conséquences de la présence du phytoplancton	90
Un rôle primordial	91
Seconde partie – LE ZOOPLANCTON	93
CHAPITRE 1 : Le zooplancton permanent : lien entre deux mondes	95
Le zooplancton permanent	96
Le zooplancton temporaire	96
Au menu du zooplancton	97
Un maillon indispensable	98
CHAPITRE 2 : Les protozoaires	101
<i>Fabrea salina</i> , protozoaire des milieux salés	101
Mal aimés, mais utiles	102

CHAPITRE 3 : Les rotifères	105	CHAPITRE 8 : Du zooplancton permanent au zooplancton temporaire	157
Un petit ver insolite	105	Le temps de la vie larvaire	157
Marin et d'eau douce	106	Besoin de plus petit que soi	159
Gourmand et nourrissant	107	CHAPITRE 9 : Les larves de crustacés	161
Un animal d'exception	108	La crevette japonaise, une croissance exemplaire	161
CHAPITRE 4 : Les copépodes	111	Aquacultures	163
Un minicrustacé bien équipé	111	Le homard, une chronologie bien réglée	164
Une abondance planétaire	113	Une interaction prolifique menacée	166
Acteur et témoin	114	Coup de pouce humain	167
Un besoin de diversité	115	CHAPITRE 10 : Les larves de poissons	169
Un garde-manger bien garni	116	Les poissons fourrage : une nourriture indispensable	169
Une reproduction massive, sous conditions	117	Pourquoi les lançons ont-ils disparu ?	170
Incidences en cascade	119	L'élevage du bar	170
CHAPITRE 5 : Artemia salina	123	Prélever pour élever	171
L'inventeur des pédoncules oculaires	123	Un menu végétarien	172
S'il faut un dernier...	125	Pêcher pour manger	173
<i>Artemia salina</i> , le retour !	127	L'homme aussi doit s'adapter	174
Une reproduction avantageuse	128	CHAPITRE 11 : Les larves de mollusques	175
Résistant mais pas invincible	130	La reproduction des huîtres	175
CHAPITRE 6 : Le krill	133	La vie larvaire	176
Indispensable aux réseaux trophiques	133	Quelques principes d'ostréiculture	177
Une étape dans l'évolution	134	Les ennemis de l'huître	178
À la poursuite des diatomées	136	Larves à foison	179
La reproduction d' <i>Euphausia superba</i>	137	Indicateur de santé	180
Un concentré de vertus	138	CHAPITRE 12 : Les larves d'échinodermes	183
Un enjeu planétaire	140	L'oursin, un animal original	183
Dangers pour le krill	142	La reproduction de l'oursin	184
CHAPITRE 7 : Les méduses	145	Voraces et utiles	185
Mystérieuses méduses	145	Conclusion	187
Manger et se reproduire	148	Ouvrir les yeux sur l'invisible	189
Une espèce opportuniste	151	Bibliographie	191
Envahissantes méduses !	151	Glossaire	195
Des voyageuses peu exigeantes	152	Livret de photos	201
Une menace sérieuse	153		
Quelques atouts	154		
Dangers pour la méduse	156		

REMERCIEMENTS

Morgane Nédélec pour son appui scientifique,
Marie-France Noury pour ses relectures,
Géraldine Jublin pour ses schémas,
Anne Blondel pour ses dessins,
Geneviève Arzul, Bernard Schmitt et Maurice Loir pour leur contribution.

La Fondation Charles Léopold Mayer pour le progrès de l'homme (FPH), notamment son directeur Matthieu Calame, et Pierre Vuarin pour ses encouragements et sa ténacité.

Océanopolis, en particulier Éric Hussenot et Philippe Coyault pour leur accompagnement précieux.

Toutes les personnes qui ont mis à notre disposition photos, articles, extraits ou qui ont bien voulu répondre à nos sollicitations.

Anne Noury et Pierre Mollo

*À Martin, Pépita, Marie, Charlie et Andréa.
À tous les jeunes qui demain recevront la planète en héritage.
Merci à Martin de m'avoir « supportée » avec patience.
Merci à Yves Noury pour sa maison, mon bureau
avec vue sur plancton.
Merci à Pierre Mollo pour cette magnifique aventure.
Anne*

*À ma famille pour son soutien et ses bons conseils.
Pierre*

Avant-propos

L'océan et l'homme

Couvrant 70 % de sa surface, l'océan, avec son extraordinaire puissance, domine notre planète. Outre son influence directe sur le climat, il est le berceau de la vie. Ses courants, gigantesques ou locaux, gardent les eaux en perpétuel mouvement et gèrent la répartition de la nourriture et donc de la vie marine. En remontant les éléments nutritifs des profondeurs jusqu'à la surface, ils alimentent le phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire sans lequel le monde animal aquatique n'existerait pas.

L'homme vit en étroite interaction avec l'océan qui lui apporte une partie de sa subsistance ainsi que les deux tiers de l'oxygène de l'atmosphère, produits par le phytoplancton. La population mondiale a sa part de responsabilité sur la santé de cet écosystème immense et fragile, les activités humaines représentant la principale menace pour les habitants de l'océan. À l'image du jeu de dominos où la chute d'une pièce peut entraîner toutes les autres, lorsque l'homme déséquilibre un pion, provoquant l'érosion de la biodiversité marine, les conséquences atteignent en cascade le jeu entier, jusqu'au joueur. L'influence de l'homme sur l'océan est égale à celle de l'océan sur sa vie et son devenir. La solution étant le respect de l'équilibre à commencer par celui du plancton.

INTRODUCTION

« **BANG ! C'est l'univers.** Puis notre soleil et ses satellites. Après un milliard d'années terribles, la situation se calme peu à peu : la terre se refroidit, l'activité volcanique se réduit, les bombardements de météorites sont de mieux en mieux stoppés par un brouillard de gaz gris et épais. D'étranges et infimes créatures, nos ancêtres, naissent alors dans les eaux sombres recouvrant la planète. »

La plus belle histoire des plantes

J.M. Pelt, M. Mazoyer, T. Monod et J. Girardon - Seuil

LE PLANCTON, À L'ORIGINE DE LA VIE SUR TERRE

Il y a environ 15 milliards d'années, l'histoire de la vie commence par un grand mystère : le big-bang. L'univers est tout entier concentré dans un point des milliards de fois plus petit qu'une tête d'épingle, d'une température de milliards de milliards de degrés. Soudain, ce point infime se met à enfler puis explose ! Le monde est né et ne cesse de s'étendre. Tandis que la température baisse, les particules microscopiques libérées se rassemblent pour donner naissance aux premiers atomes. Plus l'univers grandit et se refroidit, plus les atomes se diversifient et se combinent ensemble. Ainsi naissent les étoiles. Pendant 10 milliards d'années se fabriquent ainsi des milliards de galaxies constituées chacune de milliards d'étoiles.

Il y a 5 milliards d'années, dans l'une des galaxies, la Voie lactée, apparaît notre étoile, le Soleil. Autour de lui, les débris tournant dans l'espace s'agglutinent petit à petit pour former les planètes du système solaire. Parmi elles, la Terre, qui n'est pas encore la « planète bleue », mais une boule de matière en fusion sans atmosphère, une fournaise totalement minérale, ne contenant aucune trace de vie. Durant 700 millions d'années, la Terre est, comme les autres planètes, littéralement bombardée par une pluie de comètes et d'astéroïdes. Lors de ces impacts, les roches fondent, se mélangent et libèrent des gaz comme le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau qui créent l'atmosphère primitive de la Terre.

Il y a 4 milliards d'années, la température de la Terre commence à diminuer. Sa surface se solidifie, les volcans se forment. Peu à peu, dans l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense. Les premières gouttes s'abattent sur le sol, puis une pluie terrible, violente, bouillonnante tombe pendant des millions d'années, créant les océans. Les comètes, encore très nombreuses à cette période et contenant probablement de l'eau, auraient participé à ce déluge. Tous les creux et les cratères produits par les météorites se remplissent d'eau. L'océan finit par recouvrir presque totalement la Terre, hormis quelques îles : les futurs continents. La « planète bleue » est née !

À cette époque, la couche d'ozone n'existant pas, l'atmosphère ne filtre pas les rayonnements ultraviolets du soleil qui empêchent toute vie sur Terre. L'eau est alors le seul milieu capable de faire écran à ces rayons ultraviolets.

Il y a 3,5 milliards d'années, la vie naît dans l'eau. La mer est une sorte de soupe primitive sans oxygène, contenant des molécules chimiques en suspension. Dans cette « boue » apparaît la toute première cellule vivante : une bactérie anaérobie (capable de vivre sans oxygène).

Celle-ci puise son énergie dans les molécules environnantes par réaction chimique (chimiosynthèse) en rejetant des bulles de gaz carbonique.

Après plusieurs mutations, l'une des bactéries anaérobies se perfectionne et synthétise pour la première fois une nouvelle molécule : la chlorophylle. Devenant ainsi algue bleue, cette première algue microscopique (phytoplancton) a la bonne idée d'utiliser sa chlorophylle et l'énergie de la lumière pour fabriquer sa matière végétale (sucres). Consommant des composés minéraux (fer, soufre...) et du gaz carbonique présents dans l'eau, cette production émet un déchet : l'oxygène... Ainsi, l'algue bleue invente la photosynthèse. En lui offrant une « machine à produire de l'oxygène », cette algue unicellulaire révolutionne complètement la planète.

Dans un premier temps, l'oxygène se dissout dans l'océan primitif. Les seuls êtres vivants de la Terre sont des algues microscopiques qui se multiplient, se diversifient et évoluent uniquement dans l'eau. Pendant 1,5 milliard d'années, ce plancton végétal produit assez d'oxygène pour que puissent apparaître les premiers animaux unicellulaires. Ce premier zooplancton est l'ancêtre de toutes les espèces animales marines et terrestres.

Il y a 2 milliards d'années, l'oxygène commence à se diffuser dans l'atmosphère, composée jusque-là essentiellement de gaz carbonique et d'azote. Peu à peu, la concentration en gaz carbonique chute de 20 % à 0,1 %, tandis que l'oxygène atteint 21 %, autant qu'aujourd'hui. Dès lors, sous l'effet des rayons ultraviolets du soleil, l'oxygène se transforme, formant la couche d'ozone. Ce bouclier contre les rayons solaires nocifs permet à la vie d'émerger des profondeurs des océans pour « coloniser » la terre ferme.

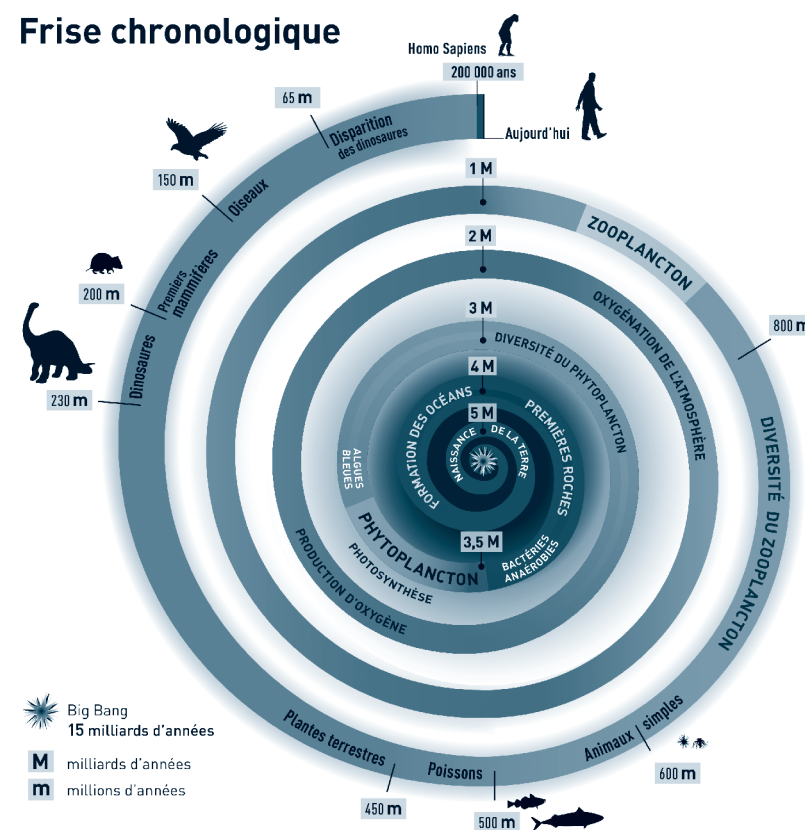
Il y a 600 millions d'années, les premières traces de vie apparaissent sur terre. C'est le début de l'évolution vers la grande diversité. Le premier être vivant terrestre est une algue unicellulaire devenue plante verte microscopique : le lichen. Suivront tous les végétaux et animaux qui peupleront nos continents. Première cellule végétale de l'univers, l'algue bleue est notre ancêtre, la brique initiale sur laquelle a été construite toute la pyramide des espèces végétales puis animales jusqu'à l'homme. Ce phytoplancton existe encore aujourd'hui.

Il y a 65 millions d'années, la chute d'une météorite sur la planète provoque la disparition des dinosaures et autres animaux. Une poussière cosmique couvre la Terre et la refroidit, empêchant la lumière solaire de passer. Ne survivent que des espèces minuscules comme les scorpions à la carapace épaisse ou des micro-organismes qui s'enfouissent au fond des eaux, vivant au ralenti en attendant une

amélioration du milieu. Venu de la nuit des temps, le plancton sait s'adapter et traverse ainsi tous les cataclysmes.

Il y a 200 000 ans apparaît l'homme, *Homo sapiens*, « homme sage ». Dernier arrivé, il s'intègre dans l'histoire de notre planète unique et vit en interaction avec tous les éléments de son milieu. Tout comme l'homme de Cro-Magnon, l'homme moderne a sa place dans l'écosystème, mais il doit le respecter s'il veut continuer à en faire partie. Quoi que l'homme fasse, la Terre ne cessera pas de tourner, mais elle peut lui devenir hostile. La nature a sa propre échelle de temps et peut se passer de l'homme.

Frise chronologique



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

De nos jours, la présence « en équilibre » de chaque espèce de plancton est déterminante pour la santé des océans et de la planète. Si, par le comportement de l'homme, les milieux se modifient et se dérèglent, le plancton continuera à exister, mais seules certaines espèces survivront, ce qui créera un déficit préjudiciable à la vie

végétale, animale, puis humaine. Le processus a déjà commencé, mais reste invisible à l'œil nu. L'«état des lieux» de la diversité planctonique est un indicateur implacable de la santé des écosystèmes. Son étude peut aider à anticiper la menace qui pèse sur le cycle de la vie et donc sur l'homme.

Êtres vivants microscopiques, aux formes étranges et belles, aux couleurs variées, chatoyantes ou transparentes, aux modes de vie parfaitement liés à leur milieu, les milliers d'espèces du phytoplancton et du zooplancton ont des rôles multiples. Mieux les connaître permet de découvrir tout ce qu'ils nous apportent et pourquoi il est de notre intérêt de sauvegarder leur présence en équilibre.

Fondamentalement, le plancton constitue la base de la chaîne alimentaire de tous les organismes marins, la mer représentant une source de nourriture non négligeable pour la population mondiale. Par ailleurs, par la photosynthèse, le plancton végétal fournit près des deux tiers de l'oxygène de l'air que nous respirons. De plus, absorbant plus de la moitié du gaz carbonique de l'atmosphère, il est un élément indispensable de la lutte contre le réchauffement climatique. Depuis l'origine de la vie, le plancton est un allié de l'homme et un acteur vital de l'équilibre écologique et climatique planétaire.

MISSION ROSETTA : RENCONTRE AVEC UNE COMÈTE

La mission *Rosetta*, mission de l'Agence spatiale européenne (ESA), a pour objectif l'étude de la comète Churyumov-Gerasimenko avec laquelle la sonde a rendez-vous en août 2014.

Si tout se passe bien, la sonde européenne *Rosetta* se placera en orbite autour de la comète et y fera atterrir un petit module, Philae, afin d'en étudier le sol. Une mission ambitieuse qui, jusqu'à présent, n'avait jamais été tentée.

Les comètes présentent un grand intérêt pour les scientifiques, car leur composition a peu évolué depuis la formation du système solaire, il a environ 5 milliards d'années. Elles sont issues de la matière primitive à l'origine du Soleil et des planètes. Leur observation doit permettre

de réaliser une étude d'autant plus intéressante que les comètes ont peut-être influé sur l'évolution de notre planète en y apportant de l'eau et des matières organiques.

Car, si l'on en croit certains scientifiques, les comètes, avec leurs poches d'eau liquide et tiède, auraient constitué des éprouvettes idéales pour une chimie primitive.

La mission *Rosetta* fournira des informations essentielles sur l'origine et l'évolution de notre système solaire et, par la recherche de bactéries fossiles, aidera notamment à déterminer si les comètes ont contribué à l'apparition de la vie sur Terre. ■

LA PLANTE PIONNIÈRE : LE LICHEN

Les lichens sont les premières plantes qui, il y a 600 millions d'années, ont conquis la Terre. Provenant de la mer, véhiculées dans des gouttelettes d'eau apportées par le vent, des microalgues se sont déposées sur les rochers. S'associant à un champignon, elles se sont fixées sur les parties humides et ensoleillées des roches, ayant besoin d'eau et de soleil pour vivre. Cette étonnante association entre un champignon et une algue, chaque plante bénéficiant des qualités de l'autre, s'appelle une symbiose. Les microalgues, grâce à leur chlorophylle, absorbent le gaz carbonique de l'air et, par photosynthèse, fournissent aux champignons la nourriture carbonée dont ils ont besoin. Les champignons forment un enchevêtrement de filaments qui protège les microalgues de la sécheresse et fabriquent des substances capables de dissoudre les pierres les plus dures. C'est cette organisation tout à fait remarquable qui fait que les lichens sont capables de s'adapter à tous les climats et à tous les sols.

Premier végétal à s'implanter sur terre, le lichen est l'ancêtre de toutes les plantes terrestres. Sa croissance est très lente, et certains lichens sont vieux de plusieurs centaines d'années. Si peu qu'ils se développent, ils forment sur les sols infertiles des plaques de matières organiques qui

permettent l'implantation d'espèces végétales un peu plus exigeantes. Ils sont donc une étape dans la conquête de la terre par les végétaux.

Aujourd'hui, on peut voir le lichen comme il était à l'origine. Les traînées vertes sur les arbres ou sur les statues sont des amas de ces algues vertes unicellulaires qui se sont installées sur la Terre sans y évoluer. L'originalité du lichen est sa capacité à vivre dans des conditions extrêmes. Il peut s'épanouir en Antarctique et en Arctique... où il peut être âgé de plusieurs siècles. On trouve également du lichen en haut des montagnes, qui, lors de leur formation, l'ont soulevé avec elles. Le lichen est ainsi devenu la plante la plus haute du monde : une petite algue vivant dans la neige !

Se développant là où rien ne pousse, le lichen produit des molécules très rares que l'on ne trouve nulle part ailleurs dans la nature. Celles-ci servent de modèles pour nos futurs médicaments. Le lichen est aussi intéressant pour la vie qui grouille à sa surface. Sur un fragment de cette plante, on peut trouver des milliers de micro-organismes intéressants à cultiver. Cette biodiversité, que l'on commence à peine à découvrir, peut offrir des molécules très actives, par exemple pour de nouveaux antibiotiques. ■

QU'EST-CE QUE LE PLANCTON ?

Le mot plancton vient du grec *plankton* qui signifie «errer». Il désigne l'ensemble des végétaux et animaux aquatiques, microscopiques ou de petite taille, qui dérivent au gré des courants, se déplaçant en mouvements limités dans la masse d'eau, car ils sont incapables de contrer le courant. Contrairement au plancton, le necton regroupe les animaux marins pouvant lutter activement contre le courant grâce à leur nage puissante, comme les calmars, les poissons pélagiques

(harengs, sardines, thon...), les mammifères marins (baleines, dauphins...) et les crustacés. Le necton (poissons, mammifères marins...) et le plancton qui vivent en pleine eau sont dits «pélagiques». Ils constituent le pelagos. Par opposition, le benthos est l'ensemble des organismes vivant au fond. Ceux-ci peuvent :

- être fixés : grandes algues, huîtres...;
- ramper : vers, oursins...;
- être fouisseurs : certains coquillages ou vers;
- nager au voisinage du fond : poissons benthiques;
- être posés : phytoplancton benthique accroché aux roches ou sur la vase.

Le plancton se divise en deux grands règnes :

- le plancton végétal, ou *phytoplancton*, constitué d'algues presque toutes unicellulaires, appelées de ce fait microalgues ou microphytes;
- le plancton animal, ou *zooplancton*, composé de deux groupes :
 - le zooplancton permanent : organismes unicellulaires ou pluricellulaires qui naissent, se reproduisent et meurent à l'état de zooplancton;
 - le zooplancton temporaire : œufs et larves d'animaux très variés (crustacés, coquillages, poissons...) qui quittent le monde du plancton en se métamorphosant. La larve (plancton) se transforme en juvénile en acquérant tous les attributs du futur adulte, tout comme la chrysalide devient papillon.

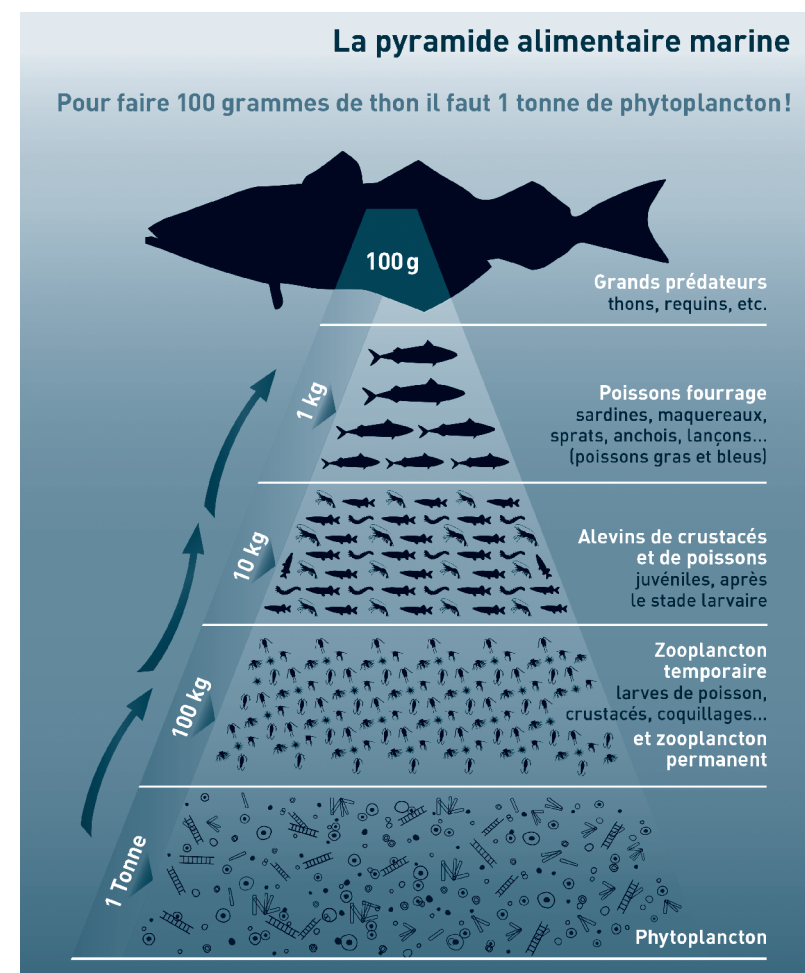
LE PLANCTON PAR ORDRE DE TAILLE

Imaginez une visite dans un grenier de grand-mère, le soleil passe par la lucarne, illuminant mille minuscules particules en suspension dans l'air. Chaque petit point de poussière qui scintille dans les rayons lumineux mesure environ 100 microns. C'est la taille moyenne d'un zooplancton, la majorité du phytoplancton mesurant dix fois moins.

Picoplancton : de 0,2 à 5 microns*.
 Ultraplancton : de 5 à 50 microns.
 Nanoplancton : de 50 microns à 1 mm.
 Microplancton : de 1 mm à 5 mm.
 Mésoplancton : de 5 mm à 1 cm.
 Mégaplancton : au-delà de 1 cm et même jusqu'à plusieurs mètres.
 Le phytoplancton va du picoplancton au nanoplancton. Le zooplancton va de l'ultraplancton au mégaplancton. ■

* 1 micron = 0,001 mm.

L'étude du plancton donne une véritable «échographie» des espèces du monde marin : microalgues, œufs et larves de poissons, de mollusques, petits crustacés et autres invertébrés... Ce sont des milliards de milliards d'individus qui peuplent nos océans, mers, lacs, rivières et ruisseaux, dérivant entre deux eaux ou fixés sur les fonds. De natures très diverses, ces organismes végétaux et animaux ont des tailles variant de 0,2 micron à plusieurs centimètres, voire plusieurs mètres pour les plus grands, comme les méduses. La très grande majorité du plancton est invisible à l'œil nu, mais les milliers d'espèces qui le composent représentent à elles seules la majeure partie de la biomasse des organismes marins. En d'autres termes, le plancton constitue la quasi-totalité du poids des habitants de la mer, poissons, crustacés et baleines compris !



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

En effet, le plancton constitue la base de l'alimentation de tous les individus marins, comme le montre la pyramide alimentaire marine : 1 tonne de phytoplancton nourrit 100 kg de zooplancton qui donnent 10 kg d'alevins (juvéniles) de poissons et de crustacés qui permettent de produire 1 kg de poissons fourrage (petits poissons), ce kilogramme donnant 100 g de thon. Schématiquement, il faut donc 10 tonnes de phytoplancton pour produire 1 kg de thon. ■

Première partie

LE PHYTOPLANCTON

CHAPITRE 1

DES ALGUES MICROSCOPIQUES

Le plancton végétal, ou phytoplancton, est l'ensemble des algues microscopiques formées d'une seule cellule (microalgues). Bien qu'elles soient unicellulaires, les microalgues présentent une grande diversité de tailles, de couleurs et de formes qui peuvent être très élaborées. Le phytoplancton comprend des milliers d'espèces se répartissant en plusieurs groupes : algues bleues ou cyanobactéries, diatomées, coccolithes, chrysophycées et chlorophycées, dinoflagellés.

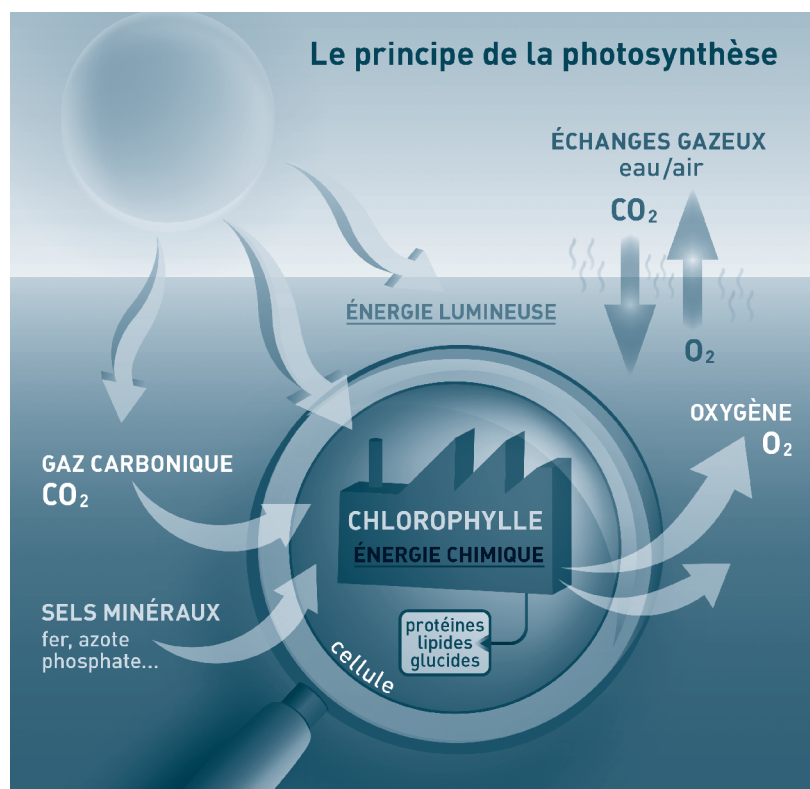
LE PHYTOPLANCTON, ACTEUR DE LA PHOTOSYNTÈSE

Comme toutes les plantes, les microalgues sont des organismes qui fabriquent leur substance à partir du gaz carbonique (CO_2) et des composés minéraux (azote, phosphates, potassium, fer, silice...) dissous dans l'eau. Pour cela, elles utilisent l'énergie de la lumière qu'elles captent grâce à la chlorophylle contenue dans leur cellule. Les réactions chimiques impliquées dans ces productions de matière organique libèrent de l'oxygène (O_2). Ce processus est la photosynthèse.

Acteurs de la photosynthèse, l'eau, la lumière, le gaz carbonique et les sels minéraux sont les éléments essentiels de la vie végétale. Le phytoplancton trouve les sels minéraux dans son environnement. Ceux-ci existent à l'état naturel dans la composition des roches, sont fabriqués par les bactéries (transformation de la matière organique en matière minérale) ou sont produits par l'homme (engrais dispersés par l'agriculture, produits chimiques fabriqués par l'industrie, rejets des activités domestiques).

Les principaux sels minéraux nécessaires au développement du phytoplancton sont :

- les nitrates, composés d'atomes d'azote et d'atomes d'oxygène ;
- le phosphore, composé d'atomes de phosphates et d'atomes d'oxygène ;
- les silicates, composés de d'atomes de silice et d'atomes d'oxygène, qui constituent 97% de la croûte terrestre ;
- le potassium, composé essentiellement d'atomes métalliques.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Dissous dans l'eau, ces sels nutritifs proviennent de différentes sources :

- **L'érosion**

Les ruisseaux, les rivières, les fleuves creusent leur lit dans les sols, y arrachant les minéraux des roches et les transportant jusqu'à la mer¹.

- **Les cheminées océaniques**

Dans les grandes profondeurs océaniques, la chaleur du magma provoque des fumées volcaniques qui traversent la croûte terrestre en se chargeant d'extraits minéraux. Ces nutriments se dissolvent dans l'eau des fonds abyssaux entraînée par les courants vers les couches supérieures des océans².

1. Voir schéma « Le bassin versant », p.179.

2. Voir schéma « Les cheminées océaniques », p. 44.

- **Les déserts**

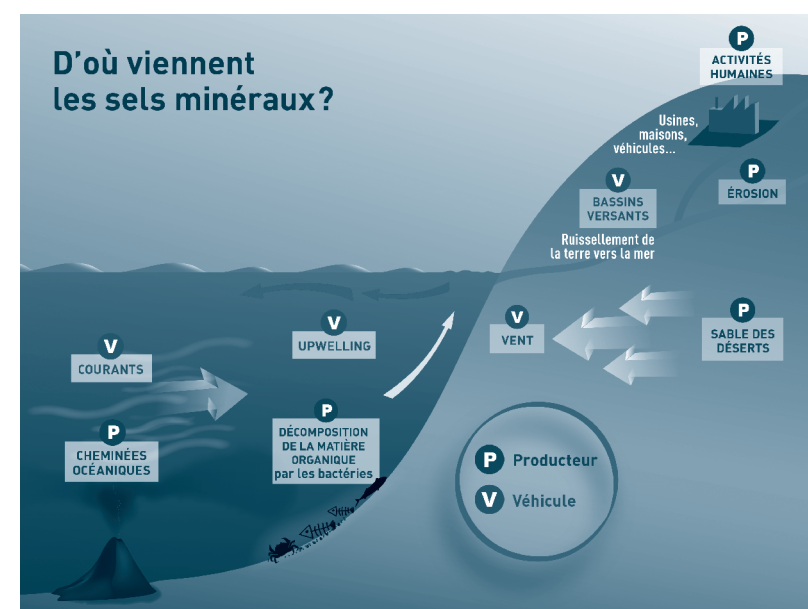
Les fines poussières telluriques arrachées aux déserts par les vents violents sont transportées en haute altitude jusqu'aux océans. C'est ainsi que le sable du Sahara parvient jusqu'aux Bermudes et que celui du désert de Gobi se dépose en plein milieu du Pacifique. Ces poussières contiennent avant tout de la silice.

- **Les bactéries**

Largement répandues dans le sol et les eaux, les bactéries sont des êtres vivants unicellulaires de très petite taille (de l'ordre du micron). Présentes tant en surface qu'au fond de la mer, elles se nourrissent de matière organique (micro-organismes, poissons et végétaux morts) qu'elles transforment en sels minéraux.

- **La terre et l'homme**

Provenant de l'érosion et des activités humaines, les sels minéraux circulent par les bassins versants : la pluie ruisselle, lessive la terre et coule jusqu'aux cours d'eau ; les fleuves et les rivières charrient ces eaux riches en minéraux qui rejoignent le littoral. Cet apport en sels nutritifs dans la mer permet la présence massive de plancton aux abords des estuaires et des côtes. Cette zone riche en nutriments est celle où se mesure l'impact des activités de l'homme sur la qualité de l'eau dont l'indicateur visible est la présence de la diversité végétale et animale marine.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

LES BACTÉRIES, REINES DU RECYCLAGE

Les végétaux (plante, algue, phytoplancton), grâce à la photosynthèse, utilisent de la matière inorganique (eau, sels minéraux, gaz carbonique) pour produire leur matière organique (substance végétale).

À la mort de l'organisme, cette dernière est assimilée et digérée par les bactéries qui produisent des sels minéraux. Cette matière inorganique est à nouveau disponible dans le milieu pour la photosynthèse des végétaux qui la transforment en matière organique. C'est le cas, par exemple, des cadavres

des poissons au fond de la mer qui sont consommés par les bactéries et transformés en sels minéraux. C'est aussi celui des végétaux du compost au fond du jardin qui, grâce à l'action des bactéries, recycle les déchets végétaux en terreau, engrais naturel riche en sels minéraux. Dans la forêt, le même principe permet la formation d'humus qui est issu de la dégradation des feuilles par un monde de décomposeurs successifs : vers de terre, acariens, bactéries. ■

En fonction de leur localisation, les nutriments sont plus ou moins facilement accessibles au phytoplancton qui a besoin de lumière pour se développer. Lorsqu'ils sont produits ou déversés en surface, les sels minéraux y sont directement consommés par les microalgues. Ceux qui tombent vers le fond de la mer ou y sont produits enrichissent les eaux profondes, créant un garde-manger qui resterait inaccessible au phytoplancton de surface, s'ils n'étaient remontés vers les couches supérieures de l'océan grâce à deux phénomènes mécaniques :

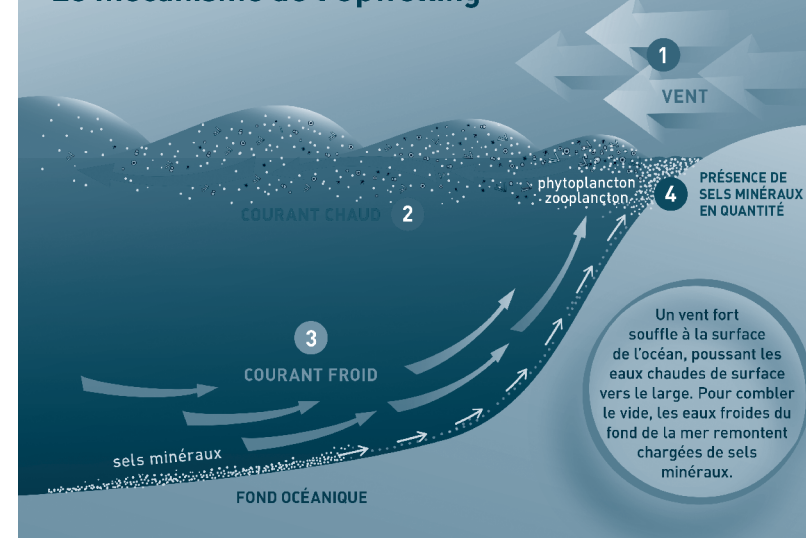
- **Les courants**

Les océans ne sont jamais immobiles. Régis par les différences de température et de salinité, la rotation de la terre et les reliefs sous-marins, les courants entraînent les eaux en permanence et favorisent ainsi la circulation des sels minéraux. Le plancton est dépendant des courants et de leur apport en nourriture.

- **L'upwelling**

L'upwelling est une remontée vers la surface d'eaux profondes riches en minéraux, due à l'action des vents et des courants. Lors de vents forts poussant l'eau de surface vers le large, un déficit se crée près de la côte. Le vide est aussitôt comblé par les eaux profondes qui remontent vers le littoral, chargées de sels minéraux, permettant ainsi le développement en surface de phytoplancton, puis de zooplancton et de toute la chaîne alimentaire. C'est pourquoi les zones d'upwellings sont riches en organismes marins.

Le mécanisme de l'Upwelling



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

LES SELS MINÉRAUX

Les sels minéraux sont des substances qui entrent dans la composition des organismes, à l'image du calcium, l'un des constituants des os et des coquilles. Comme les vitamines, ils sont indispensables à la vie végétale et animale et sont apportés par l'alimentation ou la photosynthèse pour les végétaux.

Les principaux sels minéraux

N : azote (constituant des protéines)
P : phosphore (constituant des acides nucléiques)
S : soufre (constituant des acides aminés)
Na : sodium (constituant du sang)
Mg : magnésium (constituant de la chlorophylle)
Ca : calcium (constituant des os et coquilles)
K : potassium (constituant des os et des tissus nerveux)
Fe : fer (constituant de l'hémoglobine du sang des vertébrés)

Cu : cuivre (constituant du sang de nombreux mollusques et crustacés)
Si : silicium (constituant des coquilles des diatomées)

Les principaux oligoéléments

Le fluor, l'iode, le chlore, le manganèse, le cobalt, le zinc, le sélénium, le bore, le vanadium et le molybdène.

Les sels minéraux et l'homme

Les sels minéraux représentent 4 % du poids du corps humain. Certains d'entre eux doivent être consommés chaque jour en quantité importante : le sodium (sel), le potassium, le calcium, le fer, le magnésium et le phosphore. D'autres sels minéraux sont nécessaires en faible quantité, c'est pourquoi on les appelle oligoéléments. Les sels minéraux ont un rôle essentiel dans la construction des tissus du corps humain et servent à la protection et à la régulation des fonctions organiques. [...]

[...] Ils participent également à la fabrication de certaines hormones et de nombreuses enzymes, protègent contre certaines substances toxiques, ont une action équilibrante et antioxydante per-

mettant de lutter contre le vieillissement... Actuellement, les sels minéraux constituent un domaine de recherche et de thérapeutique qui intéresse de plus en plus les professionnels. ■

LE PHYTOPLANCTON, POU MON DE LA PLANÈTE

Par la photosynthèse, le phytoplancton produit une grande quantité d'oxygène nécessaire à la vie dans l'eau, mais aussi, grâce aux échanges gazeux à la surface des océans, il fournit les deux tiers de l'oxygène de l'air de notre planète, le dernier tiers provenant des végétaux des continents. Contrairement à une idée reçue, le premier producteur d'oxygène sur Terre n'est pas la forêt, mais le plancton végétal qui apporte à l'atmosphère plus d'oxygène que l'ensemble de toutes les forêts du monde réunies, forêt amazonienne comprise.

L'atmosphère est riche de 21 % d'oxygène. Cet élément vital a été produit essentiellement par le plancton végétal et les bactéries photosynthétiques au début de l'histoire de la Terre grâce à la photosynthèse. Cet oxygène aquatique libéré dans l'air a permis la formation de la couche d'ozone (qui comporte trois atomes d'oxygène) de la haute atmosphère. Sans cette protection contre les rayonnements ultraviolets du Soleil, jamais les plantes vertes n'auraient pu conquérir les continents, il y a 600 millions d'années, suivies de près par les animaux.

LE PHYTOPLANCTON, BASE DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE AQUATIQUE

Le phytoplancton est absorbé par les organismes microscopiques (zooplancton) et les animaux de petite taille. Ceux-ci constituent eux-mêmes la nourriture de consommateurs plus gros qui, à leur tour, sont mangés par d'autres prédateurs. Le phytoplancton est ainsi à la base de la chaîne alimentaire aquatique. Les microalgues ne sont pas appréciées exclusivement par le zooplancton, elles sont un aliment de choix pour des espèces filtreuses de plus grande taille comme les huîtres, les moules, à leur stade larvaire et durant toute leur vie d'adulte. Se nourrissant à tous les étages de la pyramide, y compris au rez-de-chaussée, l'homme consomme également du phytoplancton (spiruline, chlorelle...)³. ■

3. Voir schéma « La chaîne alimentaire marine » p. 97.

LES RÔLES DU PHYTOPLANCTON PAR GENEVIÈVE ARZUL

Parmi les êtres vivant sur notre planète, un grand nombre passe totalement inaperçu : c'est le cas des microalgues, encore appelées "phytoplancton". Elles sont intégrées au monde végétal aquatique du fait de leur parenté avec les grandes algues, leur originalité étant due à une constitution unicellulaire. En effet, chaque individu est formé d'une seule cellule dans laquelle sont réunies toutes les fonctions : respiration et photosynthèse, assimilation, reproduction. Environ 6 000 espèces de microalgues sont identifiées dans le milieu marin, et plus de 14 000 en eau douce.

Si la taille réduite des microalgues ne permet leur observation qu'au microscope, leur présence en grand nombre est parfois détectable par la couleur de l'eau : verte, brune, rouge... En effet, chaque cellule contient des pigments dont la fonction est d'assurer la photosynthèse, laquelle fournit de 60 à 80 % de l'oxygène atmosphérique. Le phytoplancton est également une source de produits intéressants pour notre santé : protéines, vitamines, minéraux qui s'y trouvent concentrés.

À l'instar des végétaux terrestres, les microalgues sont sensibles à leur envi-

ronnement et évoluent selon un rythme saisonnier, avec un maximum de divisions cellulaires au printemps et en fin d'été. La qualité chimique de l'eau est l'un des facteurs déterminants pour le bon développement des populations phytoplanctoniques.

Le phytoplancton constitue la base de l'alimentation chez les herbivores aquatiques, et c'est pourquoi la biodiversité des populations phytoplanctoniques est un facteur important. Le rythme de développement des populations microalgales conditionne ainsi le rythme de vie de leurs consommateurs (consommateurs primaires) et ceux-ci régulent à leur tour celui des carnivores qui les consomment (consommateurs secondaires).

Le phytoplancton est donc la base de l'édifice que constitue l'ensemble des organismes aquatiques.

Le phytoplancton représente un compartiment remarquable par le rôle qu'il joue, non seulement dans le milieu aquatique, mais aussi dans tous les domaines de notre vie : qualité d'environnement (oxygène), alimentation (poissons et fruits de mer), bien-être (santé, beauté), ressource industrielle. ■

CHAPITRE 2

LES ALGUES BLEUES OU CYANOBACTÉRIES

Les cyanobactéries (cyanophycées) se présentent généralement sous forme de fins filaments. Contenant un pigment qui leur confère une couleur bleue (du grec *cyano*, « cyan »), elles peuvent modifier la couleur des eaux où elles prolifèrent.

Ces phytoplanctons sont les algues primitives, nées il y a 3,5 milliards d'années pendant la période de volcanisme à outrance affectant l'ensemble de la planète. La Terre est alors couverte d'une eau boueuse, bouillante, chargée en éléments minéraux et en métaux lourds. C'est dans cette soupe primitive dépourvue d'oxygène que la petite algue bleue microscopique apparaît et se développe, y consommant des composés métalliques et minéraux et du gaz carbonique pour fabriquer sa matière végétale. Cette production génère un déchet : l'oxygène. Premier organisme à réaliser la photosynthèse grâce à la chlorophylle qu'elle contient, la cyanobactérie a offert l'oxygène à la planète. Socle de la vie dans les océans, l'algue bleue est à l'origine de la grande diversité du phytoplancton (diatomées, dinoflagellés...).

Capable de vivre dans les milieux extrêmes, l'algue bleue a survécu à tous les cataclysmes. Elle a su résister aux extinctions, vivre au ralenti pendant des millions d'années, s'adapter et évoluer, assurant ainsi la permanence de la vie sur Terre depuis son origine. Les cyanobactéries existent encore aujourd'hui. On les trouve dans les milieux inhospitaliers comme, par exemple, les résurgences d'eaux chaudes à 60 °C. Seul groupe de phytoplancton résistant aux températures élevées, les cyanobactéries prouvent que la vie est partout. Elles vivent, discrètes, enfouies dans les vases et réapparaissent lorsque la qualité des eaux leur est favorable, c'est-à-dire quand le milieu se dégrade.

GOURMANDES DE POLLUTION

Pouvant se satisfaire d'éclairements faibles et se plaisant dans les milieux riches en phosphates, les cyanobactéries sont un indicateur de la mauvaise qualité de l'eau. En effet, leur prolifération trahit la présence en quantité d'insecticides, de pesticides, de métaux lourds... qui rendent l'eau invivable pour les autres espèces. S'y multipliant

massivement, elles absorbent les excès de nutriments minéraux et métalliques, jouant, comme à leur origine, leur rôle d'épurateur, mais, simultanément, elles peuvent provoquer un déséquilibre du milieu en s'y développant à outrance.

Une telle prolifération d'une sorte de microalgue porte le nom d'efflorescence ou de bloom et change souvent visuellement l'aspect de l'eau : eaux colorées ou mousses en surface. À l'échelle visible, ce phénomène est comparable à celui des algues vertes qui envahissent les plages.

En cas d'efflorescence, une espèce de phytoplancton se multiplie tellement qu'elle finit par occuper tout l'espace. Sa densité rend l'eau opaque et asphyxie le milieu. C'est ce qu'on appelle l'eutrophisation de l'eau : une espèce domine et prive de nourriture et de lumière les autres phytoplanctons qui ne peuvent plus se développer. Cette perte de la diversité est problématique en particulier en ce qui concerne les espèces de plancton végétal « comestibles » comme les diatomées. En effet, on pourrait croire qu'une surabondance de cyanobactéries offrirait un aliment à profusion pour les habitants de la masse d'eau ; malheureusement, leur agglutination en colonies et leur toxicité (pour la plupart d'entre elles) les rendent difficilement consommables par une grande partie du plancton animal. Ainsi, privé de nourriture, le zooplancton s'appauvrit. S'ensuit un déficit pour toute la chaîne alimentaire du milieu.

De plus, l'accumulation de phytoplancton fait écran aux échanges gazeux de surface (atmosphère-eau) et empêche l'oxygénation de l'eau, ce qui perturbe la respiration des animaux aquatiques. Cette purée de microalgues peut aussi encombrer et colmater les branchies des poissons jusqu'à provoquer leur mort. En ce cas, les poissons pélagiques ont la possibilité de s'enfuir, contrairement à ceux d'élevage qui restent retenus dans des enclos et ne peuvent s'échapper. Les conséquences d'un épisode d'eutrophisation s'avèrent souvent lourdes pour les professionnels de l'aquaculture.

Lorsqu'elle arrive à une trop forte concentration, ayant épuré les sels minéraux et se privant elle-même de lumière, l'espèce finit par s'autodétruire : la photosynthèse ne peut plus se faire, les cellules meurent. Cette matière végétale tombe en neige vers le fond de la mer où elle est aussitôt consommée par les bactéries.

Pour décomposer la matière organique morte, les bactéries ont besoin de beaucoup d'oxygène. Elles ponctionnent l'oxygène (O_2) disponible dans l'eau et rejettent, entre autres, du gaz carbonique (CO_2) et de l'hydroxyde de soufre (H_2S). En quantité importante, cet hydrogène sulfuré, tout comme le gaz carbonique, fait diminuer le pH

(potentiel hydrogène) de l'eau qui devient acide et sélective pour les espèces y vivant. En plus de son action d'acidification de l'eau, l'hydrogène sulfuré peut être toxique pour les végétaux et les animaux, que ce soit les microalgues, les poissons ou les êtres humains.

Une autre source de toxicité peut provenir des cyanobactéries elles-mêmes. En effet, beaucoup d'espèces sont toxiques et, dans certains cas, après leur mort, leurs toxines se diffusent dans l'eau où elles peuvent anéantir ou infester les organismes présents dans le milieu. Ainsi, coquillages et poissons sont parfois porteurs de ces toxines qui peuvent être transmises aux humains qui les consomment. Le monde aquatique n'est pas un long fleuve tranquille ! Pourtant, à l'état sauvage, il a su s'adapter pour préserver son équilibre.

L'HYDROGÈNE SULFURÉ, UNE MOLÉCULE QUI SENT MAUVAIS...

L'hydrogène sulfuré (H_2S) est identifiable par son odeur d'œuf pourri que l'on peut parfois sentir en marchant dans la vase ou sur des amas d'algues repoussées sur la côte. Sa toxicité est à l'origine de pollutions donnant lieu à des faits divers graves tels que le décès de chiens ayant inhalé de l'hydrogène sulfuré provenant d'algues

vertes en décomposition sur une plage qui en était couverte. En y gambadant, ils ont ouvert des poches dans la couche d'algues et ont renflé ce gaz toxique. L'homme n'est pas à l'abri de ce genre d'accident et peut souffrir de maux de tête importants simplement pour en avoir respiré.■

UN ÉQUILIBRE NATUREL DANS LES MAINS DE L'HOMME

L'équilibre de la nature tient à la diversité des espèces. Le plancton, patrimoine commun de plus de 3,5 milliards d'années, en est la partie invisible, mais vitale. Son déséquilibre est souvent la conséquence du comportement humain et joue un rôle d'alerte du mauvais état de la planète. Réduisant la variété et le nombre des espèces végétales et animales, l'érosion de la biodiversité est préjudiciable à tous les êtres vivants et peut entraîner des catastrophes en chaîne menant jusqu'à l'homme.

L'eutrophisation existe depuis toujours. Elle est provoquée par l'apport important de phosphore et d'azote dans des eaux peu profondes et à des périodes de fort ensoleillement. C'est un phénomène naturel s'autorégulant et sans réel danger dans un milieu en équilibre. Ses manifestations se sont accélérées depuis un demi-siècle

et les secteurs touchés se sont étendus. Son augmentation est due à l'intensification des activités humaines (rejet d'eaux usées, diffusion d'engrais azotés...) et ses conséquences peuvent représenter un risque pour la santé publique. Plus de la moitié de la population mondiale vit actuellement sur le littoral, lieu d'échanges entre terre et mer. Dans cette zone de concentration intense, la présence excessive de certains phytoplanctons dans les eaux côtières est problématique.

DES MICROALGUES TOXIQUES, UNE EXCEPTION : LA SPIRULINE

Les cyanobactéries peuvent être toxiques pour les mammifères, et pour l'homme en particulier. À la suite de leur prolifération dans des eaux d'alimentation humaine, leur ingestion a été à l'origine d'intoxications graves, par exemple en Angleterre et en Australie. Dans les cas épidémiologiques les plus graves (Brésil), on a recensé plusieurs dizaines de morts. Ces épisodes regrettables ont contribué à mettre en lumière, au niveau mondial, la menace potentielle que représentent les cyanobactéries toxiques. Plus couramment, la toxicité des cyanobactéries peut provoquer des désagréments rendant l'eau impropre à la consommation quotidienne. Par exemple, la présence de la *Microcystis* (une cyanobactérie toxique) dans l'eau du robinet peut provoquer des irritations chez les usagers, les empêchant même d'utiliser celle-ci pour se laver les dents.

Algue bleue d'exception, la spiruline est une algue microscopique d'eau douce, de couleur verte et en forme de ressort, apparue il y a 3 milliards d'années. Elle se développe dans les eaux chaudes, riches en nutriments, peu profondes et ensoleillées, comme celles des zones tropicales et semi-tropicales. La spiruline est l'une des rares cyanobactéries non toxique.

LA SPIRULINE DANS NOS ASSIETTES

Consommée par les Aztèques au XI^e siècle et par les riverains du lac Tchad où elle se développe naturellement, la spiruline est aujourd'hui cultivée dans le monde entier. Commercialisée comme complément alimentaire, elle est vendue au rayon « bien-être » des magasins bio. La spiruline est particulièrement populaire grâce à ses remarquables qualités nutritionnelles : protéines, fer, vitamines et acides aminés, dont les fameux oméga-3. Transformée en pâte ou en poudre, elle devient une sorte de « super-cocktail naturel » parfaitement équilibré en éléments indispensables au bon fonctionnement de l'organisme.

De plus, dans les pays riches, les recherches menées par des grandes entreprises s'orientent vers la mise au point de futurs médicaments et de produits de beauté et diététiques à base de spiruline.

Aujourd'hui, en France, des cuisiniers envisagent d'intégrer le phytoplancton dans l'alimentation quotidienne. De grands chefs effectuent des tests pour associer le plancton végétal aux plats de leurs menus ou aux repas de la cuisine familiale et de la restauration collective. Leur but est d'apporter de façon simple et naturelle les éléments nutritifs contenus dans le phytoplancton en grande concentration : protéines, sels minéraux, oligoéléments et surtout oméga-3. L'originalité de cette cuisine à base de plancton est d'associer plusieurs espèces qui se développent sous des climats différents et qui n'auraient jamais pu se rencontrer naturellement : *Spirulina*, *Odontella* et *Chlorella*. Aujourd'hui, les technologies de l'aquaculture permettent de produire facilement ces microalgues et d'obtenir ce mélange idéal que la nature ne peut pas réaliser.



LES ATOUTS DE LA SPIRULINE

La particularité de la spiruline est sa forte teneur en protéines qui oscille entre 60 et 70 % de son poids sec. Riche en acides gras essentiels, elle est aussi considérée comme l'une des meilleures sources d'oméga-3. Quant aux glucides,

ils constituent 15 à 25 % de sa masse, la plupart étant à assimilation lente. De plus, sa composition présente des taux importants de vitamines A, E et B12 ainsi que de minéraux : fer, magnésium, calcium et potassium. ■

UNE RÉPONSE À LA MALNUTRITION

Autre avantage, cette cyanobactérie requiert des conditions de culture très simples. Il suffit d'une eau chaude et riche en minéraux pour que la spiruline se multiplie. Les microalgues sont ensuite récoltées par filtration, puis nettoyées et séchées. Bénéficiant de cette facilité de production, des fermes de production artisanale comme industrielle apparaissent régulièrement dans le monde entier. Dans le domaine de l'humanitaire, la culture artisanale locale de spiruline est principalement développée sous l'impulsion d'organisations non gouvernementales (ONG) dans des programmes de lutte contre la malnutrition. Malgré certaines réserves dues aux connaissances scientifiques non exhaustives sur l'espèce, cette petite algue est désormais considérée comme l'une des solutions d'avenir pour lutter contre la faim dans le monde.

Le fait que la spiruline se développe naturellement et avec peu d'eau sous un climat chaud est un atout énorme en Afrique, surtout dans la région du Sahara. Ainsi, des organisations humanitaires aident de nombreux villages à créer leurs fermes de culture de spiruline, avec plusieurs objectifs. Au Burkina Faso, par exemple, l'installation d'une ferme a permis à la fois de rééquilibrer l'alimentation des enfants du village et de fournir un travail aux adultes. De plus, le projet s'est avéré rentable, les deux tiers de la production ayant pu être vendus, à un prix abordable, à la population locale. ■

LES BIENFAITS DE LA SPIRULINE EN INDE PAR ISABELLE GOUSSIN-TABUTIN

« En 2001, moi-même, Isabelle Tabutin, professeure en aquaculture, et Pierre-Yves Goussin, chef de projet en aquaculture, avons eu l'opportunité de participer à une mission de coopération en Inde pendant quatre mois. Le site où nous sommes allés est localisé à Maduraï en Inde du Sud. Antenna Trust est une ONG indienne soutenue par l'ONG suisse Antenna Technology. L'aide apportée par Antenna Technology est principalement de caractère financier, car sa position européenne lui offre un contact plus direct avec les donateurs.

« L'une comme l'autre ont pour objectif la lutte contre la malnutrition des populations les plus démunies et contre les inégalités sociales. Pour cela, Antenna Trust produit et distribue de la spiruline, dont les conditions de production naturelle sont réunies en Inde. Après séchage, 5 grammes de spiruline sont mélangés à du riz soufflé et épicé, le tout étant conditionné en sachet individuel. Les enseignantes des différents

villages d'intouchables du district de Maduraï distribuent quotidiennement ces sachets aux enfants, qui apprécient le mélange.

« À un autre niveau, Antenna Trust a également un rôle de formation. En initiant les femmes des milieux ruraux aux techniques de culture de la spiruline, cette ONG mène progressivement les villageois vers une plus grande autonomie sociale et financière. Les femmes ont ainsi une activité et prennent des responsabilités dans les autres centres locaux de production.

« Enfin, grâce à son laboratoire et aux connaissances scientifiques de l'équipe, Antenna Trust vise à faire connaître les bienfaits de la consommation de spiruline pour l'organisme.

« Il existe d'autres sites de production de spiruline en Inde, mais ils sont à but commercial. La spiruline, de par ses vertus et ses conditions de culture, est produite dans de nombreux pays en voie de développement. » ■

LE RETOUR D'UNE ALGUE BLEUE QUI CHANGE LA DONNE

Les modifications de l'environnement font réapparaître une espèce oubliée dans l'océan : les cyanobactéries, qui témoignent de la dégradation de la qualité des eaux côtières.

« La découverte d'un nouveau groupe de cyanobactéries fixatrices d'azote dans l'océan Pacifique, ainsi qu'au large de Marseille chamboule les connaissances sur les écosystèmes océaniques. Très

réactives aux changements de température et aux pollutions, elles devront être prises en compte pour prévoir l'impact des grandes altérations environnementales sur les océans. » ■

Extrait de l'article d'Isabelle Biegala, in *Sciences au Sud*, journal de l'IRD, n° 48, janvier-février-mars 2009. Contact : isabelle.biegala@univ-med.fr

LE NOSTOC, UNE CYANOBACTÉRIE PAS COMME LES AUTRES

Le nostoc est un genre de cyanobactéries vivant en colonies importantes et formant des masses gélatineuses que l'on peut confondre avec des algues, voire du lichen ou certains champignons, compte tenu de l'aspect en thalle ou en bulles de certaines espèces. Discrètes et peu visibles lorsqu'elles sont déshydratées, elles voient leurs structures se gonfler d'eau après la pluie ou en période humide. La rapidité de leur turgescence lorsqu'elles sont exposées à l'humidité, laissant imaginer qu'elles tombent du ciel, leur a valu le nom de « crachat de lune » ou *star jelly* (gelée d'étoile).

Ces cyanobactéries sont des espèces pionnières pouvant vivre dans des milieux pauvres et même extrêmes. Ayant besoin de beaucoup de lumière, les nostocs se développent sur les sols nus ou peu couverts. Ils adorent les trottoirs de graviers, les zones caillouteuses

et les chemins de terre battue. Formant parfois de véritables tapis ou des boules, les colonies de nostocs jouent localement un rôle très important en matière de protection des sols contre l'érosion et la déshydratation.

Cette ancienne cyanobactérie est actuellement redécouverte et mérite un regard particulier. Les nostocs ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique. Diverses espèces produisent des toxines, mais sont pourtant localement traditionnellement consommées, au Pérou ou en Chine notamment. D'autres produisent des acides aminés inhabituels pouvant contribuer à prévenir les dégâts de l'exposition aux UV. Des toxines naturellement produites par certaines souches de nostocs semblent avoir une action pour combattre certaines maladies. L'histoire du nostoc ne fait peut-être que commencer... ■

CHAPITRE 3

LES DIATOMÉES

« Les diatomées (encore appelées bacillariophycées ou diatomophycées) sont des organismes microscopiques de nature végétale, vivant dans l'eau, soit en suspension (plancton), soit sur le fond, libres ou fixés à des supports divers. Ce sont des algues jaunes et brunes unicellulaires dont la taille varie entre deux micromètres (micron, soit un millième de millimètre⁴) et un millimètre⁴. »

Il a fallu attendre l'invention du microscope afin d'apercevoir pour la première fois ces jolies algues unicellulaires jaunes ou brunes, puisque les géantes parmi elles mesurent à peine 1 millimètre. Même si elles sont invisibles à l'œil nu, comme tout le phytoplancton, il nous est cependant possible de les repérer lorsqu'elles sont en grande concentration. Par exemple, le dépôt végétal couleur moutarde que l'on remarque parfois sur les vases et les sables lorsque la mer se retire est en fait un amas de diatomées. Riches de plus de 6000 espèces, les diatomées peuvent représenter jusqu'à 80 % du phytoplancton. Elles seraient le groupe végétal le plus répandu. On les trouve dans tous les milieux, de l'eau douce à l'eau salée, et même dans les gouttières ! Elles vivent partout, à toutes les températures, même extrêmes, puisque la plus grande concentration de diatomées serait sous la calotte glaciaire.

L'APPARITION DES DIATOMÉES

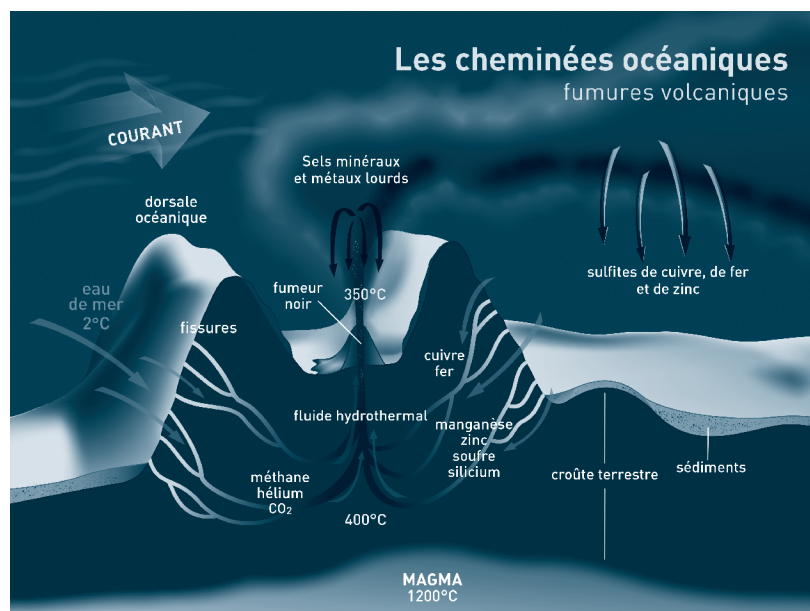
Les cyanobactéries ont eu pour rôle d'inventer la photosynthèse, de transformer le gaz carbonique en oxygène, de consommer les nutriments métalliques et minéraux et ainsi de réduire les pollutions naturelles. Peu à peu, elles ont épuré les eaux qui recouvraient la planète et où ne vivaient que des espèces de milieux extrêmes, la concentration en gaz carbonique étant forte et les températures élevées (80-100 °C). Plusieurs centaines de millions d'années après, grâce aux cyanobactéries, les eaux sont devenues beaucoup plus claires. Parallèlement, les volcans ont réduit leur activité et la température a peu à peu diminué, passant d'une centaine de degrés à la température

4. Extrait du *Guide des diatomées*, Maurice Loir, Delachaux et Niestlé, 2004.

moyenne de la planète aujourd'hui (environ 15 °C). Ce refroidissement provoque alors un phénomène déterminant : la formation des calottes glaciaires. L'eau se solidifie aux pôles, le volume d'eau terrestre diminue, les niveaux baissent sur toute la planète. Des continents apparaissent, des reliefs qui étaient sous l'eau se retrouvent définitivement à l'extérieur. Les parties sous-marines, devenues des estrans, se découvrent et se recouvrent alternativement, provoquant un phénomène nouveau : les marées.

Avant cet événement géologique, les kilomètres de hauteur d'eau étaient hermétiques à la lumière. Avec la diminution des niveaux de l'eau et l'apparition des estrans, les faibles épaisseurs et la clarté de l'eau rendent la mer accessible à la lumière. Pour la première fois, le soleil pénètre dans les océans !

L'ensoleillement se rajoutant à la présence de minéraux et de CO₂ dans l'eau, les éléments de la photosynthèse se trouvent réunis. La machinerie se met alors en place dans des conditions devenues variées, allant de la calotte glaciaire aux tropiques et de l'estran jusqu'au fond des abysses. Ces différences dans les températures et les profondeurs permettent l'apparition d'espèces végétales aux besoins divers : diatomées, chlorophycées, chrysophycées, dinoflagellés... Le voyage vers la grande diversité du phytoplancton commence !



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Lorsque l'eau recouvrait toute la terre, les minéraux et les oligoéléments nécessaires au développement des cyanobactéries venaient des profondeurs, des abysses : par leurs fumures, les cheminées volcaniques remontaient ces nutriments arrachés à la croûte terrestre jusqu'à la surface des eaux. L'émergence des continents provoque une autre révolution : le cycle de l'eau s'installe. Évaporation, nuages, pluie... L'eau coule en ruisseaux, rivières et fleuves, creuse la terre, capte ses nutriments et les charrie jusqu'aux embouchures. Par la formation de ces bassins versants⁵, la terre commence à nourrir la mer !

BELLES

Les premières diatomées apparaissent et se multiplient, rencontrant une multitude de conditions de vie. Au fur et à mesure, elles inventent de nouvelles formes pour s'adapter à leur environnement, aux températures, résister aux courants, etc. Certaines sont plus grandes, comme des parachutes, car elles ont besoin de sédimenter en surface et non de descendre rapidement au fond, d'autres sont filiformes pour se rendre invisibles, étranges, peu attirantes pour les prédateurs... Pendant des millions d'années, les petites algues unicellulaires évoluent en fonction de leur milieu, redoublant d'inventivité pour survivre.

Ainsi, tout au long de l'évolution, les diatomées créent une infinité de formes (rondes, losanges, carrées...) d'une grande diversité de tailles et de couleurs... Cette multitude d'individus variés et magnifiques nous laisse émerveillés devant le génie de la nature. Une incroyable « imagination » qui aujourd'hui inspire certains artistes !

Observées de profil, toutes les diatomées paraissent rectangulaires. De face, la forme de la boîte varie. On parle de diatomées centriques lorsqu'elles ont la forme d'un disque ou d'un cylindre. Les diatomées pennées (pennales) sont allongées, en S, en forme d'aiguille, de plume, de feuille... On dit que toutes les formes des végétaux terrestres auraient leur origine dans les diatomées. Ainsi, par exemple, chaque feuille d'arbre a une diatomée qui lui ressemble.

TOUTES PETITES MAIS TRÈS FORTES

Championnes de l'adaptation au milieu, les diatomées sont les premières à inventer les groupes. Si elles se rassemblent en colonies,

5. Voir schéma « Le bassin versant » p. 179.

adhèrent les unes aux autres et ne se séparent plus, c'est pour mieux flotter et résister à la force des courants. Du haut de leurs 10 microns, elles se donnent ainsi une résistance phénoménale face aux éléments. Prenons l'exemple d'une rivière où le courant est tellement fort qu'il lessive les cailloux, pas une algue n'y pousse, pas un insecte ne peut y vivre. Si l'on passe la main sur un caillou et que l'on examine au microscope ce que les doigts ont recueilli, on y voit des diatomées ! Elles sont unicellulaires, mais possèdent une force fabuleuse !

Ces petites sociétés de diatomées sont visibles à l'œil nu sous forme de cheveux d'ange. On pourrait y voir une minuscule algue filamenteuse ; en fait, c'est un agglomérat de diatomées accrochées les unes aux autres. Ces petites colonies ont l'allure de tubes, pas plus gros qu'un cheveu, que l'on appelle d'ailleurs « chevelus ». Lorsque le tube casse ou qu'une diatomée s'en sépare, celle-ci va reconstituer sa colonie. Si tous les éléments de la photosynthèse sont réunis (ensoleillement, CO₂ et minéraux, en particulier la silice pour les diatomées), les cellules se divisent en permanence et se multiplient rapidement. Et un nouveau chevelu apparaît.

LA RÉSISTANCE DES DIATOMÉES AU COURANT

« La capacité des algues à rester attachées au substrat lors d'une perturbation causée par le débit varie cependant en fonction de leur taille, de leur morphologie et de leur force d'attachement (Peterson et Stevenson, 1990). Selon Stevenson (1984), certaines diatomées sont très difficiles à déloger lorsqu'elles sont attachées à un substrat et même une augmentation de la vitesse du courant de 10 à 120 cm/s ne parvient pas

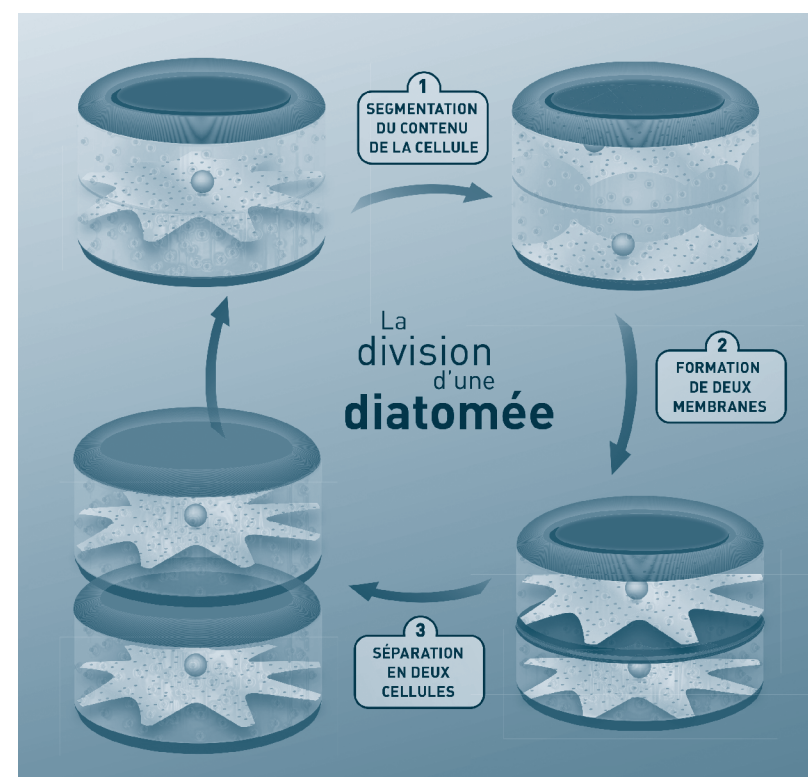
à les arracher. Certaines espèces sont productrices de mucilage, par exemple *Navicula lanceolata* et *Cyclotella meneghiniana*, ce qui est un avantage important pour évoluer dans un système perturbé par de fortes variations de débit (Cox, 1996). » ■

Extrait du *Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est du Canada*, Isabelle Lavoie, Paul B. Hamilton, Stéphane Campeau, Martine Grenier et Peter J. Dillon, Presses de l'Université du Québec, 2008, p. 21.

VIVACES...

Une diatomée, c'est une sorte de capsule contenant une partie végétale. Une structure transparente et rigide entoure totalement l'unique cellule qui la compose. Cette enveloppe se compose de silice, semblable à du verre très solide, perforée de trous minuscules pour assurer les échanges avec le milieu, dessinant des stries, des dentelles... avec une esthétique d'une grande finesse !

La coquille de la diatomée est composée de deux parties symétriques emboîtées l'une dans l'autre, un peu comme une boîte à camembert, avec un couvercle et un fond, le fromage étant la cellule végétale qui est à l'intérieur. Pour se multiplier, cette substance végétale se divise en deux et les deux parties de la boîte se séparent. Puis chacune des moitiés de cellule en reconstitue une entière tandis que le couvercle de la boîte se fabrique un fond et que l'ancien fond se fait un couvercle. Ce qui produit deux diatomées identiques.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

La diatomée ne naît pas, elle apparaît par division cellulaire. La diatomée ne meurt pas « de vieillesse » : si un individu disparaît, c'est qu'il est devenu deux ou qu'un événement extérieur (mécanique, pollution, froid, chaud) est survenu.

La diatomée prend dans son environnement les éléments nécessaires à la fabrication de sa boîte et de son organisme. Elle peut se diviser une fois, deux fois, trois fois par jour, en fonction de l'ensoleillement, des apports minéraux (dont la silice) et de gaz carbonique. Il lui faut toujours les trois éléments de la photosynthèse. Si l'un se fait

plus rare, elle ralentit ses divisions, mais elle continue de se diviser et cela se perpétue à l'infini. Il n'y a aucune raison pour que l'espèce disparaisse, puisqu'une seule cellule suffit pour reconstituer des millions d'exemplaires. Si elle ne se multiplie pas, c'est que l'un des éléments de la photosynthèse fait défaut et donc que les conditions ne permettent pas la division cellulaire.

LA PRODIGIEUSE AVENTURE DES PLANTES

« Mais voici, dans la mer, une grande invention : la reproduction. La première idée, c'est la plus simple : se séparer en deux, comme le font toujours certaines algues unicellulaires. Il est probable que pendant des milliards d'années, dans l'océan, il ne s'est pas passé autre chose. Des cellules qui se divisent en deux et dont les moitiés, à l'occasion, pouvaient se réunir à nouveau, par exemple, par tamponnement. Ce qui, de toute façon, ne pouvait donner qu'un océan de jumeaux... »

« Essayez donc de vous diviser par vous-même : ça donnera vous-même. Remul-

tipliez-vous par vous-même, faites la preuve par neuf, mettez-vous en facteur, additionnez-vous par ordinateur, présentez-vous l'addition, gardez la monnaie, et soustrayez-vous du résultat : qu'est-ce que vous trouvez ? Vous-même.

« Imaginez donc, dans cet océan primitif, l'une de ces cellules, toute pareille aux milliards d'autres, qui vient se diviser en deux : adieu ma moitié, va te faire voir ailleurs. » ■

Extrait de *La prodigieuse aventure des plantes*, Jean-Marie Pelt et Jean-Pierre Cuny, Fayard, 1981.

... ET INTELLIGENTES !

Comme tous les autres phytoplanctons, la diatomée tire sa subsistance des minéraux dissous dans l'eau. Son innovation a été de capter en particulier la silice et d'en faire une délicate et solide enveloppe de verre autour de sa cellule : le frustule. Le verre de silice est résistant et transparent, il constitue une coque qui protège l'organisme vivant tout en laissant passer la lumière nécessaire à la photosynthèse. Chaque espèce de diatomée fabrique une architecture de silice originale, avec une diversité de formes incroyable.

Pour construire sa boîte avec de la silice, la diatomée a eu cette « intelligence », cette opportunité, de la faire en verre. Les hommes, pour fabriquer du verre, doivent chauffer le sable siliceux à une température de 1 550 °C. La diatomée réalise son verre à 10 ou 15 °C et même moins (0 à 10 °C), par exemple sous la calotte glaciaire. Cela semble surprenant, et c'est d'ailleurs une énigme pour les scientifiques : comment un phytoplancton, unicellulaire, peut-il être capable

de fabriquer une carapace en verre à température ambiante ? L'homme cherche à comprendre, la nature le fait depuis des centaines de millions d'années !

Aujourd'hui, les chimistes savent imiter cette méthode de « chimie douce » pour élaborer du bioverre. Ils envisagent aussi des applications innovantes pour ce verre biologique, résistant, bien toléré par l'organisme et dont la porosité est ajustable. Des microbilles de bioverre pourraient être utilisées comme diffuseurs de médicaments dans l'organisme.

L'ORIGINALITÉ DES DIATOMÉES : LE FRUSTULE

« Leur originalité ainsi que leur beauté résident dans le fait que la cellule possède une enveloppe externe, transparente et rigide, souvent délicatement ornementée. Cette enveloppe, ou frustule, est constituée de silice faiblement cristallisée, semblable à du verre, et associée à des composants organiques. « En fonction de la forme de leur frustule, on distingue deux types de diatomées. Chez les diatomées dites centrales ou

centriques (ordre des *Biddulphiales*), le frustule a la forme soit d'un disque plus ou moins épais, soit d'un tube, cylindrique ou non ; sa symétrie est radiale. Chez les diatomées dites pennales ou pennées (ordre des *Bacillariales*), le frustule est plus ou moins allongé et possède généralement une symétrie bilatérale. » ■

Extrait du *Guide des diatomées*, Maurice Loir, Delachaux et Niestlé, 2004.

BAGUETTE MAGIQUE

La silice a vraiment été la baguette magique pour l'évolution du plancton jusqu'aux diatomées. Après l'oxygène, la silice est l'élément le plus abondant sur terre, puisqu'elle est le constituant majoritaire de la croûte terrestre. Mais, à l'origine, elle était prisonnière des roches ou des sédiments. Tant qu'elle y était piégée, les diatomées ne pouvaient apparaître. Pour l'en libérer, il fallait un broyeur de silice : les volcans ont joué ce rôle, dispersant les minéraux de la croûte terrestre dans les océans. Puis l'épuration des eaux et l'apport d'oxygène par les cyanobactéries ont permis, à un moment donné, à une algue de capturer cette silice et, par photosynthèse, de s'en fabriquer une carapace. La diatomée était née !

L'apparition de cette espèce capable de se fabriquer une capsule en verre a été une grande évolution dans l'écologie du phytoplancton. Les cyanobactéries n'ont qu'une membrane souple, un peu élastique, déformable sous la pression, fragile. Le frustule des diatomées est

rigide, en verre très solide. Certains zooplanctons prédateurs reculent devant les diatomées à cause de leur carapace épaisse qu'ils n'arrivent pas à croquer ni à digérer. Certaines espèces (huîtres, copépodes...) les avalent, les trient, mangent ce qu'il y a dans la boîte, puis la rejettent. En laboratoire, si l'on veut extraire la partie végétale d'une diatomée, on doit briser le verre par ultrasons, car même au mixer, on n'y arrive pas. Le frustule peut être indigeste !

Le verre des diatomées résiste au temps. Devenue sédiment, après des centaines de millions d'années et sous des compressions de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, la boîte est intacte. Cela fait l'objet d'études scientifiques très compliquées : comment ces micro-organismes de quelques microns ont-ils réussi à produire du verre aussi résistant ?

UTILES

Rôle physique

La diatomée fabrique en une heure son enveloppe de verre. Lorsque la cellule se dégrade, quelques jours plus tard, ce frustule siliceux coule au fond. Tombé sur la couche sédimentaire et recouvert par les apports ultérieurs, il se fossilise peu à peu. Ainsi, des couches de 10 microns d'épaisseur se superposent au plus profond des océans depuis des centaines de millions d'années.

Ces dépôts de diatomées au fond des lacs ou des océans ont participé à la formation d'une roche « tendre », issue des frustules accumulés et compactés, appelée diatomite. Légère et poreuse, cette roche a de nombreuses applications : cosmétiques, allumettes, peintures, papiers, pneus, isolants, explosifs ou encore... dentifrice !

La légèreté de la roche s'explique par la constitution des diatomées. Sans la cellule vivante, ce sont des boîtes vides et solides. Entassées à l'infini, elles représentent beaucoup de volume, mais peu de densité. Imaginez un amas de boîtes de camembert...

Ces dépôts sédimentaires de fossiles vivants⁶, accumulés dans les fonds sous marins ou dans les grands lacs, ont dessiné des reliefs et participé ainsi à la formation des continents. Une petite contribution à l'histoire géologique de la Terre ! Certains atteignent 1 000 mètres d'altitude au Mexique. Les diatomites exploitées aujourd'hui se sont

le plus souvent formées dans des lacs. C'est le cas de la carrière de Murat dans le Cantal, en France, où l'on trouve du plancton datant de millions d'années.

Rôle chimique

Les millions d'années de dépôts de diatomées mortes ont participé à la formation des gisements d'hydrocarbures que nous utilisons pour faire avancer nos voitures. Le pétrole est le résultat d'une dégradation lente (plus de 100 millions d'années) du plancton, notamment des diatomées, accumulé au fond des océans. Sous l'action des bactéries, de la pression et de la température, la matière organique s'est peu à peu transformée en hydrocarbures. Ce pétrole a ensuite traversé des roches poreuses, expulsé vers la surface sous la pression des gaz. Parfois stoppé par une couche de sédiment étanche, il s'est accumulé dans des roches-réservoirs qui constituent les gisements pétroliers actuels.

Rôle biologique

« Les diatomées sont un des composants majeurs du phytoplancton et, à ce titre, jouent un rôle primordial dans les océans. Elles sont à l'origine de longues et productives chaînes alimentaires qui aboutissent aux grands carnivores, aux cétacés, aux oiseaux » explique Jean Dorst, membre de l'Institut, professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris⁷.

Les diatomées se multiplient très rapidement. Elles assurent une grande part de la production du phytoplancton à l'origine de très nombreux réseaux alimentaires menant à l'alimentation humaine. Appelée algue-fourrage, la diatomée est un composant de l'alimentation des espèces marines supérieures. Tout comme la spiruline, certaines diatomées sont directement consommables par l'homme et représentent une ressource alimentaire non négligeable, mais encore sous-exploitée aujourd'hui.

Le microplancton végétal produit autant de nourriture chaque jour que tous les végétaux terrestres ! Pourtant, la masse mondiale de ce plancton végétal est cinq cents fois moindre : cela vient du fait qu'il se renouvelle complètement, c'est-à-dire naît et disparaît en quelques jours, alors qu'il faut plusieurs années pour le renouvellement des plantes. Le plancton se multiplie vite et en permanence, mais disparaît aussi rapidement. Sa production est massive mais éphémère, tandis que les plantes se développent lentement, mais vivent longtemps.

6. On parle de fossiles « vivants » car les diatomées, nées il y a des centaines de millions d'années, existent encore aujourd'hui, contrairement, par exemple, aux dinosaures qui ont disparu il y a 65 millions d'années et dont on retrouve des fossiles « morts ».

7. In *Guide des diatomées*, Maurice Loir, *op. cit.*

On parle beaucoup des diatomées parce qu'elles sont belles et représentent la grande majorité du phytoplancton. Leur particularité par rapport aux autres planctons, outre la diversité de leurs formes, tient à leurs propriétés antibiotiques et surtout à leurs qualités nutritives : protéines, lipides, vitamines, oméga-3. Chaque espèce ayant sa spécificité, certaines produiraient surtout des protéines, d'autres plutôt des oméga-3.

Les oméga-3 ont un impact bénéfique sur l'organisme humain en contribuant, par exemple, au bon fonctionnement du système cardio-vasculaire. Ils sont présents dans la diatomée *Odontella aurita*, microalgue utilisée dans le secteur des compléments nutritionnels et en cosmétologie. Comportant 22 % d'oméga-3, elle serait, associée à la spiruline, le complément alimentaire idéal.

L'INTÉRÊT DES ACIDES GRAS OMÉGA-3 PAR LE PROFESSEUR BERNARD SCHMITT

La production des acides gras polyinsaturés (oméga-3 et oméga-6) se fait exclusivement dans le monde végétal. En effet, seuls les plantes, le phytoplancton et les algues possèdent les enzymes nécessaires à leur synthèse, et celles-ci sont activées par la photosynthèse sous l'action du soleil. Or ces acides gras sont indispensables au règne animal, et en particulier à l'homme qui peut les consommer par le biais des chaînes alimentaires terrestres et maritimes.

- La chaîne terrestre : l'herbe de printemps, grâce à un fort ensoleillement, est particulièrement riche en oméga-3. Le bétail nourri avec cette herbe, ou avec certains végétaux comme la graine de lin, incorpore les oméga-3 que l'on retrouve dans la viande, le lait, les œufs, etc.

- La chaîne maritime : le point de départ est le phytoplancton, très riche en oméga-3 en raison d'une photosynthèse intense. Ce phytoplancton est consommé par le zooplancton et notamment par les copépodes, le krill, eux-mêmes consommés par les poissons qui s'enrichissent ainsi en oméga-3

dont l'homme peut directement bénéficier par la consommation de poissons gras (saumon, thon, sardines, anchois, maquereaux, etc.).

L'apport suffisant d'oméga-3 permet la prévention de maladies altérant la mémoire, la vision, l'audition, des maladies cardio-vasculaires, du diabète et de l'obésité. Il est susceptible de prévenir de nombreux troubles neurologiques et mentaux (dépression, vieillissement, maladie d'Alzheimer).

Aujourd'hui, on estime que le rapport oméga-6/oméga-3 est idéalement de 5. Or, compte tenu de notre modèle alimentaire actuel, et surtout du modèle agricole où l'alimentation du bétail est à base de maïs et de tourteaux de soja particulièrement riches en oméga-6, notre alimentation contemporaine nous fournit un rapport oméga-6/oméga-3 de 20 ! C'est ce rapport multiplié par 4 qui est responsable de l'augmentation extrêmement préoccupante des maladies cardio-vasculaires, du diabète et de l'obésité dans le monde, et plus particulièrement dans les pays industrialisés. [...]

[...] Les dernières enquêtes nationales sur l'état de la consommation en France montrent un déficit des apports en oméga-3 important, inférieurs à 1 gramme par jour alors que les apports conseillés sont de 2 grammes par jour. Parallèlement, la consommation en oméga-6 est très largement excédentaire.

« Pour inverser cette tendance, on peut privilégier la consommation d'huiles riches en oméga-3 (colza, noix, lin). Dans la filière terrestre, l'enrichissement naturel des produits destinés à

la consommation par la filière "Bleu-Blanc-Cœur" (www.bleu-blanc-coeur.com) permet d'augmenter les oméga-3 et de diminuer les oméga-6. Dans la filière marine, la consommation de poisson gras au moins deux fois par semaine est une bonne réponse. À côté de cette consommation courante, d'autres voies se sont développées, telles que l'utilisation de phytoplanctons riches en oméga-3 (*Chlorella* et *Odontella*) dans l'alimentation quotidienne. » ■

Les microalgues produisent naturellement des molécules utilisées pour des cosmétiques (antirides, soin des cheveux, etc.). Il existe encore des milliers d'espèces d'algues à découvrir, certaines donneront les médicaments de demain. Il a été démontré que certaines diatomées étaient capables de produire des substances antibiotiques et bactéricides concernant directement les activités humaines. Par exemple, la présence des « bonnes diatomées » dans les milieux de production peut assurer la prévention des maladies virales et bactériologiques chez les huîtres et les palourdes d'élevage. La qualité sanitaire des eaux marines est fonction de la qualité et de la diversité du phytoplancton.

MICROALGUES ET BIOTECHNOLOGIES

« Les diatomées tiennent une place importante dans l'équilibre naturel mondial. On en compterait 100 000 espèces décrites, d'une couleur dorée ou brune. Elles sont responsables de 20 % de la fixation carbonée océanique. Cette diversité biologique, répondant à une exceptionnelle adaptabilité, laisse préjuger d'une richesse proportionnelle en molécules originales, et, de fait, les premiers travaux "biotechnologiques" sont à la mesure des estimations.

« Le domaine où ces microalgues ont, en premier, trouvé leur place est celui de l'aquaculture. Le phytoplancton reste

une étape incontournable de l'élevage de mollusques et de poissons. [...] Naturellement, cette alimentation destinée aux animaux a été étendue à l'alimentation humaine avec deux microalgues ayant un agrément national (*Odontella* et *Spirulina*).

« Puis vint le tour de la cosmétique, qui ajoute à ses produits des microalgues entières ou fractionnées. Et c'est maintenant le domaine de l'énergie qui suscite un engouement exceptionnel, avec la (re)découverte du fait que les microalgues produisent 10 à 30 fois plus de biomasse à l'hectare qu'une plante [...]

[...] terrestre et 5 à 10 fois plus d'huile que le meilleur palmier, élan, il faut le dire, encore largement tempéré par les coûts de production. La production d'hydrogène et de biogaz par les microal-

gues est par ailleurs à l'étude dans plusieurs laboratoires hexagonaux. ■

Extraits de l'article « Microalgues et biotechnologies », Jean-Paul Cadoret, revue *Biofutur*, n° 301, juillet-août 2009.

Par ailleurs, le plancton végétal pourrait être à l'origine d'une nouvelle source d'énergie écologique. La culture à grande échelle de certaines microalgues, dont les diatomées, permettrait de fournir le carburant de demain. En effet, ces cellules produisent par photosynthèse jusqu'à 20 % d'huile, soit deux cents fois plus que la graine de tournesol. Elles se reproduisent en continu et leur culture en circuit fermé requiert une surface au sol bien moindre que celle du colza.

DIATOMÉES EN DANGER !

Les diatomées sont là depuis des centaines de millions d'années, belles, solides, capables de résister aux pressions de tonnes de fossiles (1 000 mètres au Mexique) et de traverser tous les cataclysmes géologiques de la planète. Pourtant, elles sont également fragiles et vulnérables aux pollutions imperceptibles qui pourraient les faire disparaître.

Certaines espèces de diatomées ne supportent aucune pollution, alors que d'autres sont très tolérantes et prolifèrent dans les milieux dégradés. Ces algues microscopiques sont particulièrement sensibles et réactives aux variations de concentration en éléments nutritifs dans l'eau (phosphore, azote...) et aux charges organiques et minérales provenant des fertilisants et des engrais qui ruissellent le long des terres agricoles. Les diatomées sont d'ailleurs utilisées par un nombre grandissant de pays pour effectuer le suivi de la qualité des eaux des rivières ou de la mer car elles constituent un très fiable indicateur de pollution aquatique. En cas de pollution, la proportion des espèces de la communauté planctonique change. Les plus sensibles disparaissent, tandis que les plus tolérantes gagnent du terrain. En dressant des listes d'espèces, classées selon leur sensibilité, on peut caractériser chaque endroit par un « indice diatomique ». L'indice biologique diatomique a été mis en place et normalisé en 2000, puis révisé en 2007, dans le cadre de la directive-cadre européenne sur l'eau.

Une trop grande quantité de pesticides, d'insecticides, de nitrates ou de phosphates perturbe les diatomées, au point de diminuer leur

diversité : une espèce tolérante et « gourmande » se développe excessivement et provoque un bloom phytoplanctonique éliminant les autres espèces. C'est le cas, par exemple, de *Cerataulina pelagica* qui dévore les nutriments, les sels minéraux et se multiplie au détriment d'autres espèces ayant besoin d'un équilibre biologique pour s'épanouir. *Cerataulina pelagica* n'est pas toxique, elle joue un rôle normal quand elle est mélangée de façon équilibrée au phytoplancton, mais son abondance étouffe les autres diatomées et, en cas de pollution, elle envahit le milieu jusqu'à représenter 80 à 90 % des algues microscopiques... L'eau devient marron, noire, prend une couleur un peu étrange tant elle est chargée de ce plancton. La lumière ne passant plus dans l'eau, les conditions de vie deviennent néfastes aux autres espèces et la diversité planctonique diminue.

C'est alors que la catastrophe se produit ! La perte de la diversité des diatomées réduit la diversité alimentaire pour les espèces qu'elles nourrissent habituellement, créant un premier déséquilibre. En effet, s'il n'existe plus qu'une forme, qu'une taille de phytoplancton consommable, il ne conviendra qu'à une taille de bouche de zooplancton herbivore. Une seule catégorie de zooplancton sera naturellement sélectionnée, éliminant les autres et ne pouvant servir qu'à une catégorie d'espèce supérieure dans la chaîne alimentaire, etc.

Les algues microscopiques *Cerataulina pelagica* prospèrent rapidement, abondamment, puis, devenues trop nombreuses, elles étouffent, meurent, tombent en neige et s'écroulent sur le fond. Une couche épaisse s'y forme, créant un dépôt sédimentaire énorme. Ces diatomées deviennent un véritable garde-manger pour les bactéries (aérobies, puisqu'il y a de l'oxygène), qui se régalent de ce phytoplancton plus facile pour elles à dégrader que du poisson.

Dans les fonds marins, les bactéries se multiplient tellement qu'elles absorbent tout l'oxygène présent, dont elles sont grandes consommatrices. S'il n'y a plus d'oxygène dans le milieu, les poissons ne peuvent plus y vivre, alors ils s'éloignent. Mais tous les autres animaux sédentaires vivant fixés ou enfouis (faune benthique : vers, coques...) meurent.

Puis, ayant absorbé tout l'oxygène du milieu, les bactéries vont à leur tour mourir, se dégrader, se transformer en sels minéraux qui seront à nouveau en grande quantité à la disposition du phytoplancton.

Le danger d'eutrophisation vient d'un apport soudain de nutriments en trop grande quantité. Comment apparaissent-ils ? Les causes peuvent être multiples :

- pollution organique : matières organiques en suspension dans l'eau (lisiers, station d'épuration) ;

- pollution chimique: produits chimiques (engrais, pesticides...);
- pollution physique: modification du contexte naturel (barrage).

L'EXEMPLE DE LA MALAÏGUE DANS LES ÉTANGS LANGUEDOCIENS

La malaïgue est un phénomène d'eutrophisation des étangs en Méditerranée: étangs de Thau, de l'Or, de Leucate... un chapelet d'étangs sur le littoral. Il arrive parfois que, dans ces étangs, tous les animaux meurent soudainement à cause de la malaïgue, qui veut dire « mauvaise eau ».

La chaleur, l'excès de richesse en nutriments et matières organiques et l'absence de pluies qui ne permet pas un renouvellement suffisant de l'eau de l'étang provoquent un phénomène d'eutrophisation: surdéveloppement de bactéries qui envahissent le milieu et consomment tout l'oxygène disponible. Plus d'oxygène, plus de vie. La faune et la flore de l'étang disparaissent.

Tous les ans, en été, ces étangs sont confrontés à ce problème qui élimine les coquillages ou les rend impropres à la consommation, générant un manque à gagner pour les ostréiculteurs et autres éleveurs. La malaïgue existe partout sur la planète, dans les pays très chauds et les mers un peu fermées: Méditerranée, lac de Tunis...

LES EFFETS D'UN BARRAGE: QUAND L'INVISIBLE DEVIENT VISIBLE

Qu'est-ce qu'un barrage? Une retenue d'eau douce, l'arrêt d'une rivière qui s'écoulerait normalement en continu dans l'océan. Les extraits minéraux et produits chimiques charriés par l'eau, au cours de son trajet dans le lit de la rivière, sont arrêtés par le barrage et s'accumulent dans les sédiments, sables et vases entassés derrière l'édifice, au lieu de se répandre naturellement dans l'eau de mer. Le lien terre-mer est brisé. L'équilibre planctonique de l'estuaire est rompu, l'insuffisance de nutriments créant un déficit de la diversité des espèces à la base de la chaîne alimentaire du milieu.

Le phytoplancton a besoin de ce mélange d'eau de mer et d'eau douce qui, par l'érosion des roches et l'apport des bassins versants, lui fournit les éléments nutritifs nécessaires à son développement. La présence d'un barrage rompt cet équilibre, créant une carence permanente et des excès ponctuels. C'est le cas, lorsque, périodiquement,

les vannes sont ouvertes pour libérer l'eau qui monte jusqu'au trop-plein. Tout à coup, avec l'effet d'une chasse d'eau, est larguée dans l'estuaire une énorme quantité de nutriments qui auraient dû être rejetés au fur et à mesure et digérés tout doucement par le milieu pendant les douze mois de l'année. Cette « pollution » massive provoque un bloom: une espèce de phytoplancton se régale de cette soudaine abondance de sels minéraux et prolifère à outrance, déclenchant un phénomène d'eutrophisation au large du barrage. On parle souvent de l'eutrophisation dans un lac, dans un milieu fermé, mais pas de l'eutrophisation de l'océan car il est tellement grand que l'on pense cela impossible. Pourtant, ce scénario existe...

L'EXEMPLE DU BARRAGE D'ARZAL

L'histoire commence par une baisse subite de la pêche au large de Belle-Île. Les poissons ne sont plus au rendez-vous, pourquoi? Les pêcheurs ne comprennent pas, mais remarquent que l'eau est devenue marron et s'interrogent. Des prélèvements sont effectués et mis en relation avec l'ouverture du barrage d'Arzal trois semaines auparavant. Quel rapport peut-il y avoir entre un barrage et une pénurie de poisson?

Le largage des eaux retenues par le barrage, saturées en sels minéraux, provoque une forte pollution chimique qui entraîne un début d'eutrophisation: une algue microscopique, par exemple *Cerataulina pelagica*, se développe à l'excès, aux dépens des autres espèces, donnant à l'eau une couleur brune qui se répand en panache d'Arzal à Belle-Île et même jusqu'aux Glénan. Puis sa surabondance occultant la lumière, ce phytoplancton finit par mourir et tomber en neige épaisse à 20 ou 50 mètres de profondeur. Au fond de l'océan, les bactéries consomment ce dépôt de *Cerataulina pelagica* et prolifèrent en utilisant l'oxygène du milieu qui étouffe. Ne pouvant plus respirer, les poissons s'enfuient et les animaux benthiques sédentaires meurent. Cette pénurie de la ressource dénoncée par les pêcheurs est le côté visible du phénomène.

POLLUTION PHYSIQUE ET CHIMIQUE

Un barrage est une pollution physique qui entraîne une pollution chimique. L'effet mécanique de « chasse d'eau » organisée par l'homme lorsqu'il ouvre les vannes est artificiel et ne prend pas en compte le calendrier des saisons. Or une rivière fonctionne avec les saisons. Les crues et les périodes de sécheresse sont des événements naturels saisonniers qui permettent la circulation des sédiments et

assurent l'acheminement des nutriments jusqu'à leurs consommateurs à un rythme adapté. Avec la construction d'un barrage, l'intervention de l'homme dérègle l'écosystème installé depuis des millions d'années. C'est ainsi que des baies ou des estuaires voient les espèces qui y vivent se modifier. Avant le barrage, il existait un écosystème équilibré composé de phytoplancton, de zooplancton, de poissons fourrage et de prédateurs un peu plus grands. Soudain, les prédateurs les plus grands quittent la zone... car le poisson fourrage a disparu... parce que le zooplancton a diminué... à la suite de l'appauvrissement du phytoplancton... à cause des bouleversements qualitatifs et quantitatifs des apports nutritionnels. C'est une chaîne, et le déséquilibre biologique provoqué peut engendrer des catastrophes écologiques en cascade, avec des conséquences désastreuses sur les activités économiques (pêche, aquaculture...).

Il en est de même pour certaines initiatives comme la fertilisation artificielle. On peut imaginer que, comme sur les terres agricoles, plus on mettra d'engrais, plus on aura de plancton et plus la chaîne alimentaire sera productive. C'est sur ce principe que se mettent en place certains programmes de fertilisation dans des zones océaniques de la planète pauvres en phytoplancton. Certains ont cru qu'en fournissant artificiellement du fer et des minéraux dans ces milieux le plancton serait plus abondant. Or, on l'a vu, un apport excessif de nutriments déclenche le phénomène d'eutrophisation. La quantité de nourriture n'est pas tout, sa qualité est primordiale, en particulier pour certaines espèces de phytoplancton. Par exemple, pour leur survie, les diatomées ont besoin d'un équilibre d'une finesse que l'homme commence à peine à percevoir.

MARAIS SALANTS, MANGROVES : DES RÉUSSITES ÉCOLOGIQUES

Les marais salants, les marais littoraux, les mangroves, tous les endroits où l'eau douce et l'eau de mer se rencontrent sont des milieux extraordinaires pour le bon développement du phytoplancton. Ces zones humides, lorsqu'elles sont bien entretenues par l'homme, apportent, en quantité et en qualité, des sels minéraux qui favorisent l'équilibre du phytoplancton, puis de la chaîne alimentaire. Leur bonne santé permet une présence permanente de la ressource.

Les marais littoraux sont des microbarrages entretenus pour la production du sel par évaporation. Le paludier piège l'eau, récolte son sel, puis redonne à la nature ce qu'il lui a pris. Là, l'homme a su allier nature et activité humaine sans perturber l'écosystème. Depuis plus de deux mille ans, des femmes et des hommes ont créé ces barrages à échelle humaine. Faits de terre et d'argile, ces réservoirs reconstituent des écosystèmes équilibrés qui deviennent de vrais garde-manger pour l'océan. Sans le vouloir, cherchant à en tirer leur subsistance, les paludiers ont fabriqué les conditions idéales pour sauvegarder le phytoplancton... Quand des marais salants fonctionnent bien, on y trouve tous les planctons végétaux et animaux de l'océan. Un écosystème s'installe, qui est en fait une reproduction de tout ce qui se passe en mer, une reconstitution « en laboratoire » d'écosystèmes un peu complexes que les paludiers ont su reproduire à ciel ouvert! ■

LA SOLUTION : PESTICIDES ZÉRO !

Toute la vie microscopique planctonique peut être mise en danger par les produits chimiques. L'homme n'a pas encore mesuré la réelle ampleur des dégâts que ceux-ci peuvent provoquer sur les micro-organismes marins, et en particulier sur les diatomées, qui représentent 80 % des espèces planctoniques végétales. L'alerte n'est pas encore « scientifique », mais dans vingt ans la responsabilité des

activités humaines sur les déséquilibres de la nature sera démontrée... mais trop tard! Des études sont lancées, à raison, mais, d'ores et déjà, les pressentis, les impressions, les observations et les hypothèses des pêcheurs, conchyliculteurs, enseignants, sont à prendre en compte. Car l'urgence est malheureusement déjà prouvée sur le terrain. ■

CHAPITRE 4

LES COCCOLITHES

Les coccolithes (coccolithophoridés) sont des algues unicellulaires exclusivement marines qui vivent principalement dans les régions froides comme le Canada et l'Atlantique Nord. Ces microalgues aux formes variées mesurent entre 5 et 50 microns. Elles sont visibles au microscope et comptent plusieurs centaines d'espèces répertoriées.

DE MURAT À ÉTRETAT

Les coccolithes se caractérisent par leur squelette externe. Tout comme les diatomées captent de la silice dans l'eau pour construire leur carapace, les coccolithes y puisent du carbonate de calcium pour fabriquer leur enveloppe calcaire. Cette sorte de « coquille », appelée coccosphère, est composée de facettes calcaires : les coccolithes. Lorsque la microalgue meurt, les squelettes tombent rapidement au fond de l'eau et, une dizaine de jours après, s'entassent sur le plancher océanique. Leur accumulation donne naissance à des boues qui sédimentent au fil des millions d'années... et l'aventure de la craie commence ! La craie des falaises d'Étretat et celle utilisée sur les tableaux de l'école sont composées en très grande partie de coccolithophoridés. Si les diatomées ont formé les carrières de Murat, les coccolithes, elles, ont construit les falaises d'Étretat. Entre autres...



LA CRAIE NE S'EST PAS FAITE EN UN JOUR !

La craie est une roche rare issue de l'accumulation de minuscules algues calcaires du plancton (coccolithes) au crétacé (âge de la craie) entre - 90 et - 65 millions d'années, alors qu'une mer tropicale peu profonde recouvrait tout le Bassin parisien. La craie est une roche friable et poreuse qui sert de réservoir d'eau des nappes phréatiques. Une craie pure serait constituée de 100 % de coccolithes. Elle est utilisée dans le bâtiment

(pierres, ciment, chaux) et en agriculture (enrichissement des terres en calcium). Par exemple, la cathédrale de Rouen est construite en craie dure. En dehors du Bassin parisien, elle se cantonne dans le nord de l'Europe, où elle forme de magnifiques falaises comme celles d'Étretat, et dans le Sahara, à l'ouest de l'Égypte, où le désert est éclatant de la blancheur de sa craie. ■

Présente sur Terre depuis plus de 200 millions d'années, cette microalgue calcaire a été à l'origine des couches sédimentaires visibles aujourd'hui dans les sols crayeux. Partout dans le monde où les sols sont constitués de craie, on est à peu près sûr de la présence ancienne des océans, à l'exemple du Bassin parisien. Paris a donc été construite sur du plancton ! En Champagne-Ardenne, on doit la fabrication du champagne aux vignes cultivées sur une terre constituée en grande partie de coccolithes sédimentées. Au Sahara, on trouve également ces sédiments qui ont été recouverts par l'océan au crétacé supérieur. Crétacé vient du mot « craie ».

UNE ALLIÉE CONTRE L'EFFET DE SERRE

Comme tout le phytoplancton, les coccolithes se développent et se multiplient par photosynthèse. Elles ont ce rôle de capter le gaz carbonique dissous dans l'eau pour fabriquer leur matière végétale et d'y libérer de l'oxygène, à l'image des feuilles des arbres qui réalisent cette photosynthèse dans l'air. Durant toute leur vie dans les eaux de surface, les coccolithes piègent le carbone dans leur cellule. Puis elles sombrent sous forme de cadavres et de débris organiques au fond des mers, où elles seront « consommées » par les bactéries. Les coccolithes alimentent ainsi le puits de carbone, entraînant vers le fond des océans une partie du gaz carbonique de l'atmosphère. Elles le font depuis la nuit des temps. Aujourd'hui, en capturant une part du CO₂, principal responsable du réchauffement de la planète, les coccolithes participent à la régulation climatique et contribuent à limiter l'effet de serre imputable aux activités humaines.

POINT TROP N'EN FAUT !

La particularité des coccolithes est de se développer très abondamment et proportionnellement à la quantité de CO₂ dissous dans la couche superficielle des océans. Plus le carbone est présent dans l'air, et donc dans l'eau (à la suite des échanges gazeux), plus les coccolithes se multiplient. Elles se répandent en immenses traînées blanches visibles sur la mer, puis provoquent d'impressionnantes « neiges océaniques » en s'enfonçant dans les profondeurs de l'océan. Lors de ces « poussées » de coccolithes, l'eau prend un aspect laiteux sur de larges zones pouvant s'étaler, par exemple, du nord de l'Angleterre jusqu'au sud de la Bretagne.

On pourrait se féliciter de ce « nettoyage » spectaculaire et remercier les coccolithes de nous débarrasser ainsi de ce CO₂ gênant, mais, puisqu'il n'existe pas de solution miracle, il faut savoir que ce

phytoplancton « envahissant » prolifère au détriment des autres espèces. Or, on le sait, dès que l'on s'éloigne de l'équilibre, il y a danger !

Les coccolithes sont pélagiques et vivent essentiellement à la surface des océans où elles servent d'alimentation à certaines variétés de zooplancton, mais pas à toutes, leur taille (jusqu'à 50 microns) étant trop importante pour une partie du plancton animal. Or les poussées de coccolithes sont très denses, au point d'étouffer le phytoplancton plus petit, comme les diatomées, les chrysophycées ou les chlorophycées, privant ainsi de nourriture la majeure partie du zooplancton qui « broute » en abondance ces microalgues-fourrage.

Les copépodes (zooplancton), par exemple, ont une trop petite bouche pour consommer des coccolithes. Lorsque celles-ci occupent le terrain à la place des diatomées, la quantité de copépodes diminue, provoquant un « manque à manger » pour les larves de morue qui s'en nourrissent. Une invasion de coccolithes dure plusieurs semaines et s'étale sur de larges zones visibles sur les photos satellites. Ainsi, dans l'Atlantique Nord, à la suite des blooms de coccolithes (dus à une augmentation du CO₂ dans l'eau), les copépodes ont peu à peu disparu, ne trouvant plus de microalgues adaptées à leur bouche. Or, sans copépodes, les larves de morue ne peuvent survivre. Elles s'éloignent alors vers des milieux plus riches en nourriture, ce qui peut provoquer la migration des bancs de poissons et donc le déplacement des zones de pêche.

Les coccolithes ont donc leur rôle à jouer, mais dans la limite de l'équilibre. Leur prolifération excessive réduit la diversité du plancton végétal, base de la chaîne alimentaire, et menace la diversité animale (coquillages, crustacés, poissons...) ainsi que tout le réseau trophique qui s'étend jusqu'aux grands mammifères marins. Sans phytoplancton varié, pas de baleines !

LA PLUIE ET LE BEAU TEMPS

Après absorption de gaz carbonique, les coccolithes, comme certaines autres microalgues marines, produisent des composés soufrés (DMS : diméthylsulfure), gaz qui accélèrent l'évaporation de l'eau et, par suite, favorisent la formation des nuages. Les nuages sont un bienfait lorsqu'ils apportent la pluie. De plus, ils font écran au rayonnement solaire et permettent de freiner l'augmentation de la température terrestre, compensant dans une large mesure l'effet des gaz à effet de serre. Cependant, lors de l'augmentation du CO₂ dans l'eau, les fortes poussées de coccolithes, provoquant une diffusion abondante de soufre dans l'air, pourraient contribuer à l'apparition des tempêtes tropicales et des cyclones. Les coccolithes feraient donc le mauvais temps !

COQUILLES MENACÉES

Invisible et mal connu, le phytoplancton permet pourtant à lui seul plus de la moitié de la fixation du carbone de l'atmosphère terrestre. Pourrait-on compter sur le phytoplancton pour faire disparaître nos excès de gaz carbonique ? Une fois de plus, la réponse est dans la mesure. La dissolution du CO_2 de l'air dans l'océan provoque une acidification de l'eau. C'est un phénomène chimique : la présence de CO_2 dans la mer entraîne la formation d'acide carbonique qui acidifie le milieu. Or l'acide rend plus difficile la fabrication de calcaire par les organismes marins et, à un certain niveau de concentration de CO_2 , la coquille peut même se dissoudre.

Ainsi, les coccolithes sont parmi les premières espèces fragilisées par la présence excessive d'acide, à cause de leur squelette externe calcaire ; plus que les diatomées, par exemple, dont le frustule en silice est moins sensible à l'acidité. L'acidification des océans a des effets néfastes sur le plancton, mais également sur tous les animaux à coquille calcaire : coquillages, gastéropodes, crustacés... et même les coraux.

Aujourd'hui, la menace est sérieuse. Au rythme actuel des rejets de CO_2 , cette acidification pourrait atteindre des valeurs de pH (potentiel hydrogène : mesure de l'acidité) telles que l'eau deviendrait corrosive, ce qui supprimerait pour les micro-organismes toute possibilité d'y vivre. Ainsi, les coccolithes, comme de nombreux phytoplanctons, pourraient disparaître... Et dans leur sillage, les moules, huîtres et autres coquillages ! Un déclin de ces espèces aurait des conséquences graves sur la biodiversité des écosystèmes côtiers et sur leur rôle pour les populations humaines littorales. Dans certaines zones géographiques, les conséquences socio-économiques risqueraient d'être très importantes.

L'inquiétude est la plus forte pour les mers les plus froides, celles qui absorbent le plus de CO_2 . Selon des chercheurs étudiant ce phénomène, dès 2017, les eaux de l'Arctique pourraient devenir corrosives et donc inhospitalières. Cela est d'autant plus préoccupant que l'on constate déjà une augmentation du CO_2 nettement supérieure aux prévisions les plus pessimistes...

L'ÉQUILIBRE, TOUJOURS L'ÉQUILIBRE...

Les coccolithes, en participant à l'exportation du carbone vers l'océan profond et en consommant beaucoup de CO_2 , ont un rôle à jouer dans la régulation climatique. Mais il ne faut pas imaginer qu'elles pourraient sauver la planète ! Leur présence est importante et

ce serait une catastrophe si elles disparaissaient, mais ce serait aussi dramatique si elles envahissaient le milieu marin. On doit veiller à ce qu'elles gardent leur place dans l'équilibre biologique des écosystèmes, car il ne faut jamais oublier l'indispensable présence de toute la diversité phytoplanctonique (diatomées, coccolithes, chrysophycées, chlorophycées...) pour la bonne santé des océans et des animaux qui l'habitent et qui représentent une ressource importante pour l'alimentation humaine.

Plus de 70% de la surface de la planète est recouverte d'eau. Les océans jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat et dans la gestion du CO_2 , un des principaux gaz à effet de serre. Au cours des deux cents dernières années, grâce au phytoplancton, ils ont absorbé le tiers du gaz carbonique rejeté par les activités humaines. Or les océans ne sont pas un puits sans fond. Au fil des années, leur capacité d'absorption diminue. Ils ne captent plus aujourd'hui que le quart des rejets de CO_2 et, dans certaines zones, on constate même une inversion du phénomène : la mer commence à rejeter du gaz carbonique vers l'atmosphère. ■

L'OCÉAN, Puits de Carbone de l'Atmosphère

Le gaz carbonique contribue à environ deux tiers du réchauffement de la Terre imputable aux activités humaines. C'est donc le principal responsable du changement climatique global. L'océan joue un rôle important de régulation, puisqu'il absorberait tous les ans 2 gigatonnes de carbone sur les 7 rejetés par l'homme. Ce phénomène résulte de trois processus :

- la dissolution chimique du CO_2 dans les eaux de la surface océanique. Mais la couche de surface (les 100 premiers mètres), en contact permanent avec l'atmosphère, ne représente que 2 % de la masse océanique et donc une capacité de dilution négligeable ;
- la « pompe physique » permet le mélange actif des eaux de surface avec les eaux intermédiaires et profondes. Principal responsable du brassage des océans, ce mécanisme se déroule de la

manière suivante : lorsque les eaux tropicales superficielles sont entraînées vers les hautes latitudes, elles se refroidissent et s'enrichissent en gaz carbonique, la solubilité du CO_2 augmentant quand la température baisse. Une fois les latitudes polaires atteintes, ces eaux refroidies, devenues plus denses, plongent vers les profondeurs et entraînent avec elles d'énormes quantités de carbone ;

- la « pompe biologique » est active principalement au moment des périodes de floraison du plancton végétal dans la zone éclairée de l'océan. D'énormes volumes de phytoplancton se développent, utilisant par photosynthèse les atomes de carbone pour produire leur matière organique, puis coulent vers les eaux profondes sous forme de cadavres ou de déchets. Cette pompe biologique isole ainsi d'importantes quantités du carbone de l'atmosphère. ■

CHAPITRE 5

LES CHRYSOPHYCÉES ET LES CHLOROPHYCÉES

LES CHRYSOPHYCÉES

Les chrysophycées (T-Isochrysis) sont des algues unicellulaires jaunes à brunes, de forme allongée et de petite taille (2 à 3 microns). Elles vivent indépendantes ou en colonies dans les eaux marines et continentales des zones tempérées et chaudes.

La chrysophycée est une microalgue pélagique. Dotée de deux flagelles, elle peut se déplacer, sans toutefois contrer les courants, et occuper tout le volume des eaux de surface, à la différence des diatomées qui tombent rapidement au fond de la mer où elles nourrissent le zooplancton benthique et les filtreurs (huîtres, moules...). C'est un phytoplancton très intéressant pour les réseaux trophiques car il est présent partout.

Et si le flagelle avait permis l'évolution ?

Grâce à leurs deux flagelles, les chrysophycées et les chlorophycées sont les premiers êtres vivants à avoir pu se diriger dans la masse d'eau. Jusqu'alors, les phytoplanctons, comme les diatomées, petites « boîtes » portées par les eaux, ne pouvaient que se laisser emporter au gré des courants, puis couler. En permettant aux microalgues d'acquérir une certaine capacité de mouvement, l'apparition du flagelle a été une révolution dans l'évolution.

Pourquoi le flagelle est-il apparu ? Les microalgues fabriquent les sucres qui constituent leur matière organique par photosynthèse. Au fil du temps géologique, cette production augmentant, l'excès de sucres a conduit ces cellules vers l'obésité. Devenant lourdes, elles commençaient à sombrer au fond des mers. Ayant besoin de lumière pour produire leurs sucres, elles devaient trouver une solution pour se maintenir en surface et rester accessibles aux rayons solaires. Ainsi, pour leur survie, à l'échelle de l'évolution, elles ont inventé le flagelle et ont pu continuer à se multiplier en surface et à nourrir le zooplancton, indispensable à la chaîne alimentaire animale marine. Grâce au flagelle également, un jour, des animaux ont pu se diriger,

sortir de l'eau et investir la Terre. Sans lui, l'évolution des espèces n'aurait peut-être pas pu se poursuivre jusqu'à nous !

L'herbe du zooplancton

La chrysophycée est la microalgue-fourrage par excellence. Elle est particulièrement intéressante pour ses qualités nutritives et sa biomasse importante. Petite, abondante et présente dans tout l'espace, elle est un peu l'« herbe » du zooplancton, comme la prairie pour les vaches...

Dans le milieu naturel, son rôle est l'alimentation des organismes marins à leur stade larvaire, comme les bivalves (moules, huîtres, coquillages), mais aussi des zooplanctons herbivores tout au long de leur vie, comme les copépodes. La chrysophycée est aussi l'une des algues cultivées en éclosérie où elle sert à nourrir les larves de coquillages ou le plancton animal qui sera consommé par les larves de poissons comme le bar, la daurade ou le turbot élevés en aquaculture.

LA CULTURE DE PHYTOPLANCTON EN ÉCLOSERIE

Le phytoplancton constitue le point de départ du réseau trophique marin. Il se compose de milliers d'espèces d'algues microscopiques sauvages dont certaines peuvent être isolées et cultivées en laboratoire.

Nourrir les juvéniles

L'éclosérie est un établissement aquacole dans lequel est réalisé le premier stade de l'élevage, à savoir la production de juvéniles, naissains dans le cas des huîtres, alevins dans le cas des poissons. Autrement dit, c'est l'endroit où se pratiquent la reproduction artificielle, l'éclosion et l'élevage des larves de poissons, de coquillages et de crustacés, qui sont la base de l'aquaculture : conchyliculture, pisciculture. Par exemple, l'ostréiculture compte sur la fécondité de la mer pour ensemercer ses parcs. Or l'acquisition de naissain par captage naturel est hasardeuse : elle est tributaire des aléas de la reproduction, des conditions climatiques et de la

qualité du phytoplancton présent dans le milieu naturel. L'éclosérie offre la possibilité de compenser ces variations. L'alimentation des géniteurs, puis des larves obtenues, nécessite de disposer de phytoplancton et de proies vivantes adaptés à la taille de la bouche des larves. Celles-ci sont généralement nourries avec un mélange contenant plusieurs espèces de microalgues, dont des chrysophycées, chlorophycées et diatomées, et une ou deux espèces de micro-invertébrés (zooplancton). C'est pourquoi une éclosérie comprend une salle de culture de phytoplancton.

Le fonctionnement d'une éclosérie

Schématiquement, on prend de l'eau de mer filtrée, on y ajoute quelques millilitres d'eau contenant l'espèce de phytoplancton choisie, une solution concentrée de sels nutritifs, parfois de vitamines, on diffuse de la lumière pour la photosynthèse, éventuellement on fait circuler dans l'eau de l'air enrichi [...]

[...] en gaz carbonique, là aussi pour accélérer les processus de fabrication de matière organique, et on attend... Une culture d'algues unicellulaires dure de vingt-quatre heures à quarante-huit heures ou même une semaine. Puis on récolte cette solution en suspension de couleur rouge, jaune ou verte ou brune, selon l'espèce cultivée, et on la verse dans les bacs ou bassins d'élevage larvaire. Certaines de ces microalgues ont besoin de beaucoup de sels nutritifs, d'autres moins. La production de phytoplancton peut être stimulée, jusqu'à obtenir un bloom, par addition de sels minéraux (nitrates, phosphates, silicates).

Une culture en voie de développement

Des écloséries, partout dans le monde, cultivent du phytoplancton (chrysophycées, par exemple) pour nourrir les larves qui serviront au repeuplement d'espèces fragilisées dans le milieu naturel. Des projets de ce type sont en cours dans le sud de la France.

La culture des microalgues peut avoir d'autres utilisations : on peut en extraire des molécules, par exemple des pigments, comme le carotène qui sert de colorant dans l'industrie alimentaire. Certaines de ces molécules, acides gras entre autres, ont des propriétés tout à fait bénéfiques pour la santé et représentent d'excellents compléments alimentaires. C'est d'ailleurs pourquoi le phytoplancton est utilisé dans les programmes de lutte contre la malnutrition dans les pays pauvres et qu'aujourd'hui, dans les pays industrialisés, on imagine une nouvelle cuisine intégrant des microalgues telles que la spiruline, la chlorelle et *Ondodella*. Certains boulangers, chefs de restaurant et même certaines collectivités les utilisent déjà au quotidien. Ainsi, la demande augmentant, apparaissent, en France et dans le monde entier, des fermes de culture de phytoplancton pour une production locale ou à plus grande échelle. ■

LES CHLOROPHYCÉES

Les chlorophycées sont des microalgues vertes vivant isolées ou organisées en colonies dans les eaux marines et douces des zones tempérées et chaudes. Unicellulaires ou pluricellulaires, de forme ovoïde, elles mesurent de 1 à 10 microns et peuvent, comme les chrysophycées, posséder deux flagelles qui leur permettent de se maintenir en surface.

Algue-fourrage dans le milieu naturel, la chlorophycée est également cultivée en éclosérie. Par exemple, *Dunaliella tertiolecta* sert à la nutrition des larves d'oursins et des bivalves adultes (huîtres, moules).

La chlorelle, une algue riche

Chlorella est une algue unicellulaire marine ou d'eau douce. Petite boule sphérique ou ovoïde de 1 à 2 microns, la chlorelle est dépourvue de flagelles et n'a donc pas de mobilité propre. Facile à cultiver, d'une vitesse de multiplication et de croissance rapide, *Chlorella* est

une parfaite algue de culture à rendement élevé. Dans de bonnes conditions, chaque culture peut voir son poids multiplié par quatre en vingt-quatre heures.

Très riche en nutriments et en chlorophylle, la chlorelle est pour l'homme un complément alimentaire de premier ordre. Elle contient près de 60% de protéines végétales, mais aussi des vitamines (A, bêta-carotène, B, C, E et K) et des sels minéraux (calcium, fer, phosphore, manganèse et zinc). Elle fournit, par exemple, dix fois plus de vitamine A que le foie de bœuf et quarante fois plus de protéines que le soja, le riz ou le blé. De plus, c'est la plante la plus riche en chlorophylle (quatre fois plus que la spiruline). Connue pour son pouvoir nettoyant et purifiant, la chlorophylle aide à détoxifier notre organisme des agressions liées à la pollution. On attribue à la chlorelle une liste sans fin de propriétés favorables pour la santé ou même curatives : lutte contre la constipation, les ulcères gastriques et duodénaux, cicatrisation, régénération des cellules et protection contre les maladies respiratoires.

LA CHLORELLE (CHLORELLA), STAR DU JAPON

Découverte au XIX^e siècle, c'est au XX^e siècle que l'on prit conscience de ses vertus nutritionnelles extraordinaires. Durant la Première Guerre mondiale, des expériences furent faites pour nourrir les troupes allemandes à l'aide de cette algue. Après la guerre de 1939-1945, le Japon, manquant d'argent et de nourriture, choisit d'utiliser la chlorelle comme source de protéines dans l'alimentation de sa population. Actuellement, elle est utilisée par des millions

de Japonais et a été déclarée d'intérêt national par le gouvernement nippon. À l'état naturel, la chlorelle reste très indigeste et il a fallu attendre les années 1970 pour qu'elle soit rendue assimilable, grâce à un procédé d'éclatement de sa membrane cellulaire. On l'a retenue alors, parmi quelques autres phytoplanctons, pour la lutte contre la faim dans le monde. Puis l'étude de ses vertus médicinales a révélé l'étendue de ses effets bénéfiques. ■

De toutes les couleurs !

Les chlorophycées sont des algues généralement vertes, la chlorophylle y étant très abondante. Cependant, certaines espèces présentent quelques variantes allant jusqu'au franchement rouge. C'est le cas de *Dunaliella salina* qui est très riche en caroténoïdes.

Toutes les microalgues contiennent l'ensemble des pigments végétaux, notamment la chlorophylle (verte) et le carotène (jaune

orangé). Les couleurs du phytoplancton proviennent du mélange de ces pigments, la gamme s'étendant du vert au rouge selon la concentration de celui qui domine. La teinte d'une microalgue n'est pas due au hasard ou à des coquetteries esthétiques ! Elle s'explique par les conditions du milieu et les capacités de l'organisme à s'y adapter. Selon l'endroit où elle se trouve et la quantité de lumière qu'elle reçoit, une microalgue développe en majorité le pigment adapté à sa situation : dans un lieu inondé de soleil, elle produit beaucoup de chlorophylle et elle est donc très verte ; là où la lumière est moins forte, le mélange des pigments donne une teinte marron ; quand la lumière manque, le carotène domine et la microalgue est orangée ou rouge.

La présence des pigments dans les microalgues peut aussi être fonction de la qualité de l'eau où elles vivent. Par exemple, *Dunaliella salina* est une chlorophycée unicellulaire qui croît dans les eaux saumâtres, et en particulier dans les eaux sursalées (jusqu'à 270 ‰) des marais salants. Les organismes pouvant survivre dans de telles conditions de salinité sont peu nombreux. La résistance au sel de cette microalgue vient de sa forte concentration en bêta-carotène qui la protège de la lumière, ainsi que de sa teneur élevée en glycérol. *Dunaliella salina* est responsable, en été, de la coloration rouge si caractéristique de certains bassins des marais salants. Et, en teintant l'eau, cette microalgue donne sa couleur rosée au plumage des flamants roses. Plus le flamant est rougeâtre, plus il est considéré par la femelle comme « bon reproducteur » !

Marais salants et plancton : tout un équilibre

Même dans les milieux à salinité extrême comme les œillets des marais salants, la vie existe, peu diversifiée, mais comprenant les trois planctons fondamentaux qui constituent le socle de la vie marine : phytoplancton (*Dunaliella salina*), zooplancton (*Artemia salina*) et protozoaire (*Fabrea salina*). Chacun a son rôle à jouer dans la chaîne alimentaire et l'équilibre du milieu environnant.

Par son abondance dans ces eaux sursalées, *Dunaliella salina* constitue, avec les diatomées présentes dans les parties plus douces, l'un des principaux éléments de la production primaire des marais salants. Ce phytoplancton est un aliment de choix pour les larves du zooplancton marin, et tout particulièrement pour celles d'*Artemia salina*, qui se développent considérablement dans les salines du fait de l'absence de prédateurs capables de résister aux fortes salures du milieu. *Artemia salina* sert elle-même de nourriture aux alevins de poissons et aux larves de crustacés. En automne, au moment où les paludiers remplissent la saline des eaux marines, les juvéniles de

poissons pénètrent dans les marais et trouvent, avec *Artemia salina*, une alimentation adaptée à leur taille.

Le protozoaire (zooplancton unicellulaire, première forme de vie animale) *Fabrea salina* est le troisième acteur indispensable au développement de la vie dans les marais salants. Il joue le rôle important d'épuration de ces eaux sursalées. La grande teneur en sel de certaines parties de la saline fait mourir de nombreuses espèces animales et végétales. Le zooplancton *Fabrea salina* filtre ces grandes quantités de matières organiques et maintient la qualité de l'eau pour *Dunaliella salina* et *Artemia salina*.

Dans ce milieu extrême à forte salinité que sont les marais, la vie est tout de même possible pour ces trois espèces qui survivent en interaction. Un écosystème équilibré s'installe ainsi pendant toute la période de récolte du sel. Puis, après le travail de l'homme, lorsque les carreaux sont rendus à la mer, la vie redémarre et un vrai vivier s'y développe : le phytoplancton se diversifie et attire le zooplancton et autres organismes marins qui viennent puiser dans ce garde-manger. Ensuite, toute cette « nourriture » se répand dans l'océan au gré des courants, alimentant plancton animal et larves de coquillages, qui nourrissent à leur tour poissons et crustacés de pleine mer ou des parcs de culture. D'année en année, de génération en génération, le paludier entretient un réseau hydraulique fragile et complexe qui favorise la croissance et la diversité du plancton. En offrant cette richesse biologique à la mer, les marais salants jouent le rôle de nurserie naturelle dont profitent les élevages du littoral. Ainsi, par son activité, le paludier apporte sa contribution à la pérennité des métiers de la mer. ■

LES MARAIS SALANTS

Le parcours de l'eau jusqu'au sel

Les marais salants ou salines sont un ensemble de bassins de faible profondeur, appelés carreaux, dans lesquels est récolté le sel, obtenu par évaporation de l'eau de mer. L'eau y circule d'un compartiment à l'autre grâce à une faible pente. À la mi-mai commence la saunerie : arrivant par un canal, l'eau de mer est introduite par une trappe dans un grand bassin, la vasière, où elle se décante. La vase et les impuretés tombent lente-

ment dans le fond. L'eau passe ensuite dans une succession de bassins de moins en moins profonds. Au fil de son cheminement, sous l'action combinée du soleil et du vent, elle s'évapore et sa concentration en sel augmente (de 35 à 280 grammes par litre). En fin de parcours, l'eau sursalée appelée saumure, se répand dans de petits bassins rectangulaires très peu profonds, les aires saunantes, où elle a une couleur rougeâtre. Là, le sel cristallise et se dépose, [...]

[...] puis il est récolté par le paludier à l'aide d'une raclette à long manche et mis en tas pour le séchage. Il est ensuite collecté et entreposé dans des salorges (hangars) avant d'être commercialisé. En fin d'exploitation, le marais est inondé pour être protégé pendant l'hiver. Dès le printemps, il est asséché, nettoyé et remis en état de fonctionnement.

Les marais salants de Guérande, un site exemplaire

Sauvé de haute lutte des dents des pelleteuses et des mains des promoteurs dans les années 1970, l'espace des marais salants de Guérande aurait pu devenir le plus grand port européen de plaisance, une marina destinée au tourisme industriel. À l'époque, 50 % des marais étaient à l'abandon, on comptait alors 180 à 200 paludiers en activité. Aujourd'hui, une grande partie a été remise en état et elle est exploitée par près de 300 paludiers. « Les marais salants ne sont pas un territoire naturel, c'est un territoire qui a été gagné par l'homme sur la mer, comme un polder, c'est un patrimoine qui a plus de 1500 ans d'histoire. Le paludier est le passeur de ce génie que l'humanité a mis au point et qu'il a envie de protéger » (Alain Courtel, paludier de Guérande).

Un parfait exemple d'écosystème en équilibre

Aménagés par l'homme, les marais salants de Guérande sont utiles au bon équilibre de la biodiversité planctonique de l'océan. C'est un milieu très riche : on peut même y voir ici et là des cyanobactéries, les premiers êtres vivants apparus sur Terre il y a 3,5 milliards d'années ! Dans la vasière, on trouve toute

la diversité du plancton végétal, animal et même des petits poissons. Au fur et à mesure que l'eau s'écoule dans les bassins jusqu'au cristalliseur où le paludier tire son sel, la salinité augmente et la diversité planctonique diminue. À 270 grammes de sel par litre d'eau (la mer en contient 34 grammes), on pense que la vie n'est plus possible, mais si ! Y vivent, par exemple, ces petites algues microscopiques que l'on appelle *Dunaliella salina* et qui donnent cette couleur orangée aux marais. Porteuses d'oligoéléments, elles sont présentes dans la fleur de sel qu'elles rendent légèrement rosée.

Lieu de l'interdépendance entre terre et mer

Situés entre l'estuaire de la Vilaine et celui de la Loire, les marais salants de Guérande bénéficient du mélange de l'eau douce et de l'eau salée, propice à la prolifération d'espèces très diversifiées de plancton. Cette richesse planctonique se diffuse dans l'océan et ce n'est pas un hasard si des professionnels de la mer se sont installés à proximité pour y élever moules, palourdes, huîtres, etc. Les conchyliculteurs et autres ostréiculteurs du Traict du Croisic profitent de cette manne de plancton et, à leur tour, libèrent dans la mer des larves qui alimentent crustacés et poissons, capturés ensuite par les pêcheurs de La Turballe. Dans la région de la presqu'île guérandaise, l'interdépendance entre le cycle du plancton et les métiers de la mer n'est plus à démontrer. Au fil des courants marins se promène une richesse cachée que cultivent les gens de mer. ■

CHAPITRE 6

LES DINOFLAGELLÉS

Les dinoflagellés sont des microalgues unicellulaires de couleur rouge-orangé et de taille moyenne ou petite, entre 3 et 50 microns. Leurs deux flagelles leur permettent d'effectuer de relatifs déplacements tournoyants (du grec *dino*, «toupie») et des migrations verticales. On distingue les dinoflagellés «nus» et les dinoflagellés «cuirassés» possédant une thèque de cellulose (enveloppe servant de protection). Aussi connus sous le nom de dinophycées, ils appartiennent à la famille des phytoflagellés et sont apparus il y a plus de 400 millions d'années. Environ 3 000 espèces sont actuellement connues et de nouvelles sont régulièrement découvertes.

Particulièrement abondants dans les régions tempérées et polaires, les dinoflagellés sont présents dans le monde entier et vivent, isolés ou en colonies, dans les eaux marines ou saumâtres. Se développant habituellement du printemps à l'automne, ils apparaissent aujourd'hui également de plus en plus souvent toute l'année. Comme toutes les microalgues, ils se reproduisent par division cellulaire: une cellule mère donne deux cellules filles toutes les douze à trente-six heures. Les dinoflagellés occupent une place importante (après les diatomées) dans la contribution à la production primaire, alimentation de base de la chaîne alimentaire marine qui va jusqu'aux gros poissons et aux grands mammifères marins.



PRODUCTION PRIMAIRE, PRODUCTION SECONDAIRE

Quelle que soit l'origine des aliments dont une espèce animale tire ses ressources énergétiques, se trouve toujours aux premières étapes de la chaîne alimentaire, une plante ou un végétal capables de synthétiser de la matière organique. Ces végétaux chlorophylliens sont appelés producteurs primaires. En mer, il s'agit des microalgues et des algues. Les consommateurs végétariens (zooplancton, petits crustacés, larves de coquillages et de poissons) sont eux-mêmes producteurs secondaires et nourrissent les animaux carnivores (zooplancton carnivore, poissons, mammifères marins).

La production primaire est le résultat de la photosynthèse qui fabrique de la matière organique grâce à la lumière (première énergie primaire): plancton végétal, algues.

La production secondaire provient de la transformation de matière organique existante, végétale ou animale:

- zooplancton filtreur (végétarien), consommateur de phytoplancton: petits crustacés, larves de coquillages...;
- zooplancton chasseur (carnivore), consommateur de zooplancton: larves de poissons, de crustacés... ■

Comme tous les végétaux, ce phytoplancton peut contenir de la chlorophylle et se développer par photosynthèse, produisant sa propre matière végétale (autotrophe). Mais ce n'est pas le cas de tous les dinoflagellés. Certaines espèces sont dépourvues de ce pigment et se nourrissent de matières organiques, comme du plancton, qu'elles attrapent dans leur environnement (hétérotrophes). Les flagelles deviennent alors une arme leur permettant de capturer leur proie. Ces phytoplanctons peuvent vivre jusqu'aux plus grandes profondeurs, la lumière solaire ne leur étant pas indispensable.

UN PEU DE VOCABULAIRE

Autotrophe: capable de produire sa propre matière organique par photosynthèse, grâce à la présence de la chlorophylle, à partir de l'eau, du gaz carbonique, des sels minéraux (azote, phosphore...) et de l'énergie lumineuse. Dans le milieu marin, il s'agit du phytoplancton et des algues.

Hétérotrophe: qui trouve sa matière organique dans l'alimentation. C'est le cas des animaux qui ne contiennent pas de chlorophylle et ne peuvent fabri-

quer eux-mêmes leur propre substance par photosynthèse. Généralement, les végétaux ne sont pas hétérotrophes, sauf les dinoflagellés dont certaines espèces le sont devenues en s'adaptant aux milieux pauvres.

Mixotrophe: capable tantôt de photosynthèse, tantôt de se nourrir de matière organique, tantôt des deux, comme certains dinoflagellés. Il existe même des espèces qui se dévorent entre elles... ■

ATTENTION DANGER !

Plusieurs espèces de dinoflagellés sont présentes dans les eaux du littoral français. Certaines sont considérées comme toxiques, rendant les coquillages impropres à la consommation pour l'homme ou mortels pour la faune marine. Aujourd'hui, les phytoplanctons toxiques semblent de plus en plus nombreux et font l'objet d'une surveillance accrue. À l'af-fût de ces microalgues nuisibles, les scientifiques découvrent tous les jours des espèces de dinoflagellés jusque-là inconnues.

Trois espèces principales de dinoflagellés sont redoutées.

Dinophysis (50 microns) contient des toxines (DSP: Diarrhetic Shellfish Poison) qui s'accumulent dans la chair des coquillages (moules, palourdes, coquilles Saint-Jacques, huîtres...). Même si ces coquillages ne semblent pas perturbés par la présence de cette microalgue toxique, ils sont néanmoins impropres à la consommation, entraînant chez l'homme des troubles gastro-intestinaux. Les symptômes apparaissent

douze heures après ingestion et provoquent diarrhées, douleurs abdominales et parfois vomissements. Cette espèce devient toxique à des densités très faibles (moins d'une cellule/ml d'eau). La cuisson des coquillages ne diminue pas leur toxicité. Cette algue a été mise en cause dans des intoxications diarrhéiques dues à la consommation de coquillages pour la première fois en 1983. En 2004, les coquillages de certains étangs languedociens n'ont pu être commercialisés pour les fêtes de fin d'année en raison de la présence du *Dinophysis*.

Alexandrium (de 20 à 25 microns) produit des toxines paralysantes (PSP: Paralytic Shellfish Poison) qui provoquent chez le consommateur de coquillages contaminés une intoxication dont les effets apparaissent en moins de trente minutes: fourmillements et picotements, engourdissement des extrémités, vertiges et, dans les cas les plus graves, paralysie des muscles respiratoires pouvant conduire à la mort (rare). Actuellement, il n'existe aucun traitement à ces troubles. Les toxines s'attaquent au système nerveux de la personne qui les consomme, mais n'ont pratiquement aucun effet sur les coquillages. Les coquilles Saint-Jacques et les moules en sont le principal vecteur, mais d'autres coquillages, dont les huîtres, peuvent en être porteurs. Lorsque les concentrations sont élevées, l'eau se colore en rouge (toxique à plus de 10 000 cellules par litre). Généralement, *Alexandrium* apparaît dans les baies fermées et les estuaires. En juin 2004, les eaux d'étangs du littoral méditerranéen ont été déclassées à la suite d'analyses révélant leur contamination par cette microalgue.

PARASITES, UNE ARME NATURELLE CONTRE LES MARÉES ROUGES ?

«Le dinoflagellé *Alexandrium minutum* est une microalgue planctonique susceptible de proliférer de façon importante pour former des marées rouges. Lors de ces "blooms", les toxines paralysantes produites par *Alexandrium minutum* s'accumulent dans les coquillages filtreurs à des concentrations telles qu'il peut être dangereux, voire mortel, de les consommer. Apparues soudainement sur les côtes de la Bretagne à la fin des années 1980, les efflorescences toxiques d'*Alexandrium minutum* se sont multipliées jusqu'en 2001. Depuis,

cette microalgue semble régulée. [Des chercheurs viennent] de montrer que la disparition de ces épisodes toxiques résulte de l'action d'un parasite capable de s'adapter spécifiquement à l'espèce *Alexandrium minutum*, l'infecter et la détruire. De plus, il ne s'agit pas de la seule espèce ainsi régulée: toutes les espèces de dinoflagellés observées sont infectées par un parasite différent, le même pathogène revenant infecter la même espèce d'une année sur l'autre.»

Par Laure Guillou, travaux publiés dans la revue *Science* du 21 novembre 2008.

Gymnodinium (entre 20 et 25 microns) libère, quant à lui, des toxines ayant une influence directe sur la faune marine, comme une perte d'appétit. Par exemple, il arrive que les bars ne mordent plus aux hameçons, même bien garnis ! Ces toxines peuvent provoquer des nécroses sur les branchies des poissons (sauvages et d'élevage) et enrayer la calcification des coquillages (coquilles Saint-Jacques et moules), entraînant la mort des uns et des autres. Cette microalgue est également mortifère pour le zooplancton. Apparaissant quasiment tous les ans au large de la côte atlantique, *Gymnodinium* n'est pas dangereux pour l'homme.

Une diatomée peut, elle aussi, être toxique : *Pseudo-nitzschia*.

Depuis 1999, deux espèces de diatomées, du genre *Pseudo-nitzschia*, productrices de toxines dites amnésiantes, prolifèrent épisodiquement sur nos côtes, infestant poissons et coquillages (toxiques à partir de 100 000 cellules par litre). Pour le consommateur, entre deux et vingt-quatre heures après ingestion, apparaissent vomissements et diarrhées, puis surviennent maux de tête et troubles de l'équilibre et de la vue. Plusieurs espèces de *Pseudo-nitzschia* sont observées très régulièrement sur tout le littoral, en particulier au printemps, mais toutes ne sont pas toxiques.

LES MÉFAITS DU PLANCTON SUR LES MAMMIFÈRES MARINS ET SUR LES HOMMES

En Floride, un phytoplancton de la famille des *Alexandrium* provoque des marées rouges toxiques pour les hommes et mortelles pour les animaux, même pour les gros mammifères marins. Cette microalgue libère une toxine qui paralyse peu à peu les lamantins et les dauphins, lesquels meurent d'étouffement. En 1987, une épidémie d'intoxication par

une microalgue aux effets amnésiques a frappé le Canada. Plusieurs patients ont perdu la mémoire immédiate : ils se souvenaient d'adresses ou de numéros de téléphone qu'ils connaissaient depuis longtemps, mais oubliaient les événements proches, par exemple, ce qu'ils venaient de manger. ■

LES « GENTILS » ET LES « MÉCHANTS » !

Les « bons » phytoplanctons sont le premier maillon de la chaîne alimentaire de toute la vie marine, mais ceux-ci ont un sérieux ennemi : les « mauvais » planctons qui peuvent se propager considérablement au point de prendre leur place. Parmi les quelque 5 000 espèces d'algues unicellulaires composant le phytoplancton,

seule une cinquantaine sont indésirables, dont une dizaine sont avérées toxiques. La plupart de ces microalgues toxiques font partie de la famille des dinoflagellés.

Chaque année, le littoral français subit des blooms, ou pullulations massives de microalgues, dus à l'arrivée dans les eaux côtières, via les fleuves et les eaux de ruissellement, d'effluents d'origine agricole, urbaine et industrielle qui déversent dans la mer des nutriments comme l'azote et le phosphore. Au printemps, le soleil apportant à nouveau lumière et chaleur, les conditions hivernales changent, devenant soudain très propices à la production végétale. Des milliards d'algues unicellulaires se mettent subitement à proliférer, donnant parfois à la mer une coloration rouge, noire ou verte en fonction de l'espèce concernée. À ce jour, plus d'une douzaine de microalgues ont été identifiées comme responsables de ces eaux colorées sur le littoral français. Certaines sont toxiques, mais pas toutes ; près de la moitié sont des dinoflagellés. Cependant, en cas d'efflorescence, la couleur de l'eau ne peut constituer un critère de toxicité, certains phytoplanctons dangereux ne la modifiant pas.

TÉMOIGNAGE PAROLE DE PÊCHEUR

« La pollution est de plus en plus importante dans la bande littorale. Pour s'en rendre compte, il suffit simplement de se rappeler de ce qu'il pouvait y avoir dans une flaque d'eau il y a vingt ans : on trouvait quinze, vingt, trente espèces différentes, et tous ces petits poissons-là, ces petits crustacés ont, pour la plupart, disparu. La pollution, on s'en rend compte, nous les pêcheurs, par le développement de certains types de plancton qu'on va trouver en quantité phénoménale. Ce sont des planctons, souvent

des dinoflagellés, qu'on ne rencontrait pas en abondance aussi extrême il y a quelques années de ça. Et, dans un espace comme la bande côtière où il y a beaucoup de juvéniles, si ces juvéniles ne trouvent pas le plancton adapté à la taille de leur bouche, ils périssent de sous-alimentation. Ou alors il peut arriver aussi, suite à des blooms planctoniques, qu'il n'y ait plus suffisamment d'oxygène dans l'eau pour leur permettre de vivre. » ■

Les eaux colorées sont dues le plus souvent à des espèces inoffensives. Elles peuvent malgré tout avoir des conséquences néfastes. En cas de bloom, la surabondance de phytoplancton (les concentrations atteignant plusieurs dizaines de millions de cellules par litre) entraîne la mort d'organismes marins (poissons, coquillages), soit par

des effets mécaniques d'obstruction, soit par asphyxie. En effet, la respiration des microalgues en masse et la dégradation de la matière organique par les bactéries, grandes consommatrices d'oxygène, entraînent une diminution brutale de l'oxygène dans l'eau. La nuit, les microalgues consommant tout oxygène disponible, la faune meurt alors d'asphyxie. Ces efflorescences étouffent également les « bons » phytoplanctons, repas favori du zooplancton, des coquillages et des larves de poissons. Privés de nourriture et d'oxygène, ceux-ci ne peuvent plus que fuir ou mourir.

Les efflorescences d'espèces toxiques provoquent les mêmes effets, auxquels s'ajoute la diffusion dans l'eau de leurs toxines qui peuvent parfois tuer les larves d'huîtres, de moules... et infester les coquillages qui deviennent inconsommables pour l'homme. C'est le cas des dinoflagellés qui, épisodiquement, se multiplient et pullulent au point de rougir la surface de l'océan. Cependant, certains d'entre eux, comme *Dinophysis*, peuvent être toxiques à des concentrations faibles, donc même sans phénomène de bloom.

Ces « méchants » font concurrence aux « bons » phytoplanctons. Une concurrence renforcée, entre autres, par les produits « phytosanitaires » lorsqu'ils sont mal utilisés par les exploitants, les collectivités ou les particuliers. Surdosés, ces produits finissent par s'écouler trop abondamment dans les eaux marines où ils inhibent le développement des bonnes microalgues, ce qui laisse encore plus de place aux indésirables qui, eux, résistent aux pesticides.

Cette rupture dans la qualité et la quantité du plancton végétal provoque un déficit de nourriture néfaste pour le plancton animal, les coquillages ou les larves de poissons, et c'est tout l'équilibre de la production sauvage ou d'élevage qui est en jeu. En plus de l'affaiblissement des ressources occasionné par la mortalité, des interdictions de commercialisation, parfois nécessaires au nom du principe de précaution, provoquent un sérieux manque à gagner pour les professionnels de la pêche, la conchyliculture, la mytiliculture... Ce qui participe à la fragilisation des métiers de la mer.

La menace est réelle. Demain, si la quantité de sels minéraux (nitrates, phosphates...) déversée dans la mer continue d'augmenter, les dinoflagellés se porteront toujours bien, car ils savent s'adapter à la mauvaise qualité de l'eau. Le Roundup ne leur fait pas peur ! En revanche, cette pollution mettra en danger d'autres espèces, comme les diatomées, qui ont besoin d'un milieu en équilibre pour se développer. Or, sans diatomées, pas d'huîtres, pas de moules, etc. Ainsi, la pollution que l'homme provoque aura de lourdes conséquences sur son alimentation.

BLOOMS PHYTOPLANCTONNIQUES : DE NOMBREUX RESPONSABLES... PRESQUE TOUS HUMAINS !

De plus en plus de substances nutritives se déversent dans la mer et provoquent des efflorescences de phytoplancton, ayant de plus en plus d'ampleur à l'échelle locale et mondiale. D'où viennent ces excès de pollution ? Ils sont multiples, mais concernent toujours les activités humaines. Agriculture intensive, utilisation accrue d'engrais, mauvaise épuration des eaux usées, pollution atmosphérique (CO₂), mais aussi trafic maritime international de plus en plus intense : les navires vident en mer leurs eaux de ballast (cuves des cargos), eaux qui contiennent des micro-organismes, parfois toxiques, lâchés ainsi aux quatre coins de la planète. L'Australie a réglé-

ment le déchargement des eaux de ballast dans ses ports nationaux. L'Organisation maritime internationale (Nations unies) prépare une réglementation internationale reprenant cette initiative. Il arrive que l'apport nutritif ait une origine océanique. Certains processus de courants marins, dits upwellings, remontent des eaux profondes et riches en nutriments vers les côtes. Les stocks en sels nutritifs dissous dans ces eaux froides des fonds océaniques sont plus importants que les apports fluviaux, mais il faut qu'une convergence de courants au large crée les conditions favorables pour les transporter jusqu'au littoral, ce qui rend ce phénomène limité. ■

ZONES MORTES

À la fin de leur (brève) vie, les microalgues meurent et sombrent vers le fond des mers. Là, elles sont décomposées par des bactéries qui, pour ce faire, utilisent l'oxygène présent dans l'eau. En cas d'efflorescence, cette consommation devient excessive, et de gigantesques volumes d'eau et de sédiments se trouvent privés d'oxygène, devenant

ainsi des milieux où seules les bactéries anaérobies peuvent survivre. Les autres êtres vivants fuient ou meurent. En cas d'eutrophisations répétées, ces espaces deviennent des zones mortes, sortes de boues noires sans vie. Actuellement, cela concerne plusieurs centaines de sites marins dans le monde. ■

AVIS DE RECHERCHE

En France, depuis 1984, l'Ifremer a mis en place le Rephy, Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines (toxines produites par quelques espèces de phytoplancton). Des prélèvements d'eau et de coquillages sont effectués régulièrement toute l'année sur l'ensemble du littoral et analysés au microscope : observation du phytoplancton, en particulier des espèces toxiques et nuisibles, et des

coquillages afin de détecter les phycotoxines et d'évaluer les risques pour la santé humaine. Les résultats sont rendus publics, en vue d'informer consommateurs et professionnels. En cas de dépassement des normes sanitaires, les mesures nécessaires sont prises par les autorités préfectorales : interdiction de la pêche et de la mise sur le marché des coquillages provenant des zones contaminées.

Cette démarche française a été la première de ce type au monde. Aujourd'hui, la prise de conscience est mondiale. Un programme international GEOHAB (Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms) se met en place, dans le but de favoriser les échanges de connaissances sur les comportements physiologiques des algues toxiques. L'objectif est l'élaboration d'une théorie générale utilisable à des fins de prévention ou de contrôle sur toute la planète.

L'IFREMER (INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER)

Cet établissement public créé en 1984 est placé sous la tutelle conjointe des ministères de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche.

L'Ifremer contribue, par ses travaux et expertises, à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et littoral et au développement durable des activités maritimes. À ces fins, il conçoit et met en œuvre des outils d'observation, d'expérimentation et de surveillance, et gère la flotte océanographique française

pour l'ensemble de la communauté scientifique. Il est la seule structure de ce type en Europe.

L'Ifremer est présent dans vingt-six implantations réparties sur tout le littoral métropolitain et dans les DOM-TOM. L'Institut est structuré en cinq centres (Boulogne, Brest, Nantes, Toulon et Tahiti) et une vingtaine de stations rattachées à ces centres. Il dispose de huit navires (dont quatre hauturiers), d'un sous-marin habité et d'un engin téléopéré pour grande profondeur (- 6 000 mètres).■

Le siège est situé à Paris (Issy-les-Moulineaux).
Site : www.ifremer.fr

LE REPHY (RÉSEAU DE SURVEILLANCE DU PHYTOPLANCTON ET DES PHYCOTOXINES)

Couvrant tout le littoral français métropolitain, ce réseau a été mis en place par l'Ifremer en 1984 pour observer les espèces phytoplanctoniques présentes dans le milieu marin côtier et suivre les épisodes de toxicité dus à certaines de ces espèces. Un programme national

de recherche, associant l'Ifremer, l'INSU (Institut national des sciences de l'univers - CNRS) et des universités depuis 1988, rassemble les différentes disciplines scientifiques nécessaires à cette surveillance. ■

DES SENTINELLES NATURELLES

Le meilleur moyen de contrer les effets néfastes des espèces toxiques est encore de prévoir leur apparition. Il vaut mieux prévenir que guérir ! Pour cela, il faut pouvoir détecter les signes avant-coureurs de leur venue. Les dinoflagellés disposent dans leurs troupes de sentinelles naturelles : *Noctiluca* et *Ceratium*.

Le noctiluque, *Noctiluca scintillans* (du grec *nocti*, « nuit », et *luca*, « lumière »), est le fameux plancton luminescent qui rend la mer phosphorescente, la nuit, dans le sillage des navires. C'est un dinoflagellé en forme de petite bille d'environ 1 millimètre, visible à l'œil nu, capable de diffuser de la lumière. Le noctiluque réagit au moindre mouvement de l'eau en émettant un point lumineux destiné à effrayer ses prédateurs. En été, en cas de pullulation, il peut être responsable du phénomène des eaux rouges, mais il est inoffensif pour l'homme et la faune marine.

Ceratium est un dinoflagellé bien plus petit que le noctiluque car il reste microscopique, mais ses grandes antennes, qui font penser à des ancrs marines, le rendent encombrant et trop difficile à manger pour les coquillages. Il est pourtant non toxique.

Des prélèvements effectués en amont d'épisodes de blooms phytoplanctoniques ont montré que *Noctiluca* et/ou *Ceratium* sont souvent présents dans le milieu avant l'arrivée de *Dinophysis*. Ainsi, on suppose que leur détection systématique permettrait de « prédire » la venue de leur cousin toxique et pourrait devenir un outil de prévention fiable. Mieux connaître ces sentinelles et savoir les détecter aiderait les professionnels à anticiper pour empêcher la contamination de leurs produits et atténuer le manque à gagner que provoquent les interdictions de vente.

Par exemple, dès le repérage d'une sentinelle dans le milieu, les ostréiculteurs pourraient mettre leurs huîtres à l'abri dans des bassins où l'eau serait filtrée, leur évitant ainsi le contact avec le dinoflagellé nocif. Les huîtres resteraient présentes sur les étals des marchés et retrouveraient leurs parcs dès la fin de la contamination. Aujourd'hui, cette méthode n'est pas encore maîtrisée et ne peut être utilisée avec une totale fiabilité. Les coquillages ayant été en contact ou non avec le plancton toxique sont interdits de consommation et de vente jusqu'à l'autorisation de commercialisation donnée par la préfecture à la suite des résultats des analyses de l'Ifremer. Actuellement, des études sont menées par Ifremer pour mettre au point une technique rendant fiables ces clignotants naturels.

En France, les prélèvements de plancton et l'analyse des coquillages sont effectués par l'Ifremer une fois par semaine, d'avril à

octobre, sur les parties de la côte où sont installés des éleveurs et des pêcheurs professionnels. Hors de ces zones, c'est une contamination de coquillages qui déclenche la surveillance. De novembre à mars, les suivis de l'Ifremer sont plus espacés sur tout le littoral.

Aujourd'hui, on se rend compte que les microalgues toxiques comme *Dinophysis* ne respectent plus leur habitude d'apparaître du printemps à l'automne. Par exemple, en 2010, *Pseudo-nitzschia* est apparue dès le mois de mars. Cela s'explique par les dérèglements climatiques qui se répercutent sur les conditions du milieu, conditions devenant propices à leur présence désormais tout au long de l'année. Dans l'idéal, cette évolution devrait amener à une surveillance systématique et permanente. Or, à ce jour, il n'existe pas de protocole commun à la disposition des professionnels, qui réclament pourtant la mise en place de prélèvements plus réguliers et étendus. Pour ce faire, des structures existent déjà, qui seraient en capacité d'accompagner l'Ifremer sur le terrain, à l'image de l'Observatoire du plancton dans le Morbihan. L'idée est reprise ici et là le long du littoral français par des associations citoyennes dans le but de renforcer la prévention et d'aider à lutter contre la fragilisation des métiers de la mer.

L'OBSERVATOIRE DU PLANCTON

L'Observatoire du plancton est une association de loi 1901 créée en 2003, à Port-Louis dans le Morbihan, par un groupe de passionnés du monde marin. Parmi eux, Pierre Mollo, enseignant-chercheur, cinéaste engagé et spécialiste du plancton. Agréé Jeunesse et Sports, l'Observatoire a pour vocation de rendre accessible à tous la connaissance des milieux aquatiques et de favoriser leur protection.

Dans le cadre de sa mission d'éducation à l'environnement et au développement durable, l'Observatoire diversifie ses interventions : sorties nature, conférences, salons, festivals... Autant d'occasions de venir se pencher sur les microscopes et de découvrir avec émerveillement le monde étonnant du « petit

peuple de l'eau ». Ainsi, depuis sa création, plus de 6 000 jeunes ont été sensibilisés au caractère précieux de l'eau et à la fragilité des écosystèmes aquatiques. Par ailleurs, l'Observatoire effectue régulièrement des analyses planctoniques dans les milieux naturels littoraux (ria d'Étel, rade de Lorient, golfe du Morbihan...). Il a ainsi constitué une précieuse banque de données des écosystèmes de Bretagne Sud et travaille en collaboration avec l'Ifremer, les collectivités territoriales, les groupements de professionnels de la mer et les associations régionales.

Aujourd'hui, son expérience le rend exemplaire et de nouveaux Observatoires du plancton apparaissent dans d'autres régions du littoral français. ■

DINOFLAGELLÉS ET CORAUX, VERSION TOXIQUE

Il arrive qu'une espèce de dinoflagellé (*Gambierdiscus toxicus*) se développe dans les récifs coralliens. En cas de pollution ou de fortes chaleurs, les coraux meurent et se couvrent peu à peu d'algues sur lesquelles s'installe *Gambierdiscus toxicus*. Ces algues sont broutées par les poissons herbivores qui ingèrent, du même coup, les microalgues toxiques dont elles sont couvertes. Les poissons herbivores sont ensuite mangés par les carnivores et ceux-ci peuvent se retrouver au menu de l'homme. Les animaux infestés ne paraissent pas affectés par les toxines qu'ils transportent dans leurs graisses, mais le consommateur humain de ces poissons vénéneux peut subir une intoxication alimentaire nommée ciguatera. Les syndromes cliniques sont nombreux (digestifs, cardio-vasculaires, respiratoires, neurologiques et cutanés), les signes caractéristiques et très fréquents de cette maladie étant les inversions de sensation chaud/froid et les démangeaisons (prurit). Ces dernières lui ont valu son surnom de « gratte » dans le Pacifique. *Gambierdiscus toxicus* a été observé pour la première fois en 1977 dans l'archipel des Gambier (Polynésie française) au cours d'une importante poussée de ciguatera.

DINOFLAGELLÉS ET CORAUX, L'EXCEPTION DE LA ZOOXANTHELLE

D'autres espèces de dinoflagellés sont bénéfiques pour les coraux et leur confèrent leurs belles couleurs vives. C'est le cas des zooxanthelles qui vivent en symbiose avec le corail et jouent un rôle très important dans le métabolisme de l'animal. Capables de réaliser la photosynthèse au sein même d'une cellule animale, elles utilisent les déchets azotés et phosphatés du polype (partie animale du corail) comme source d'éléments minéraux, ceux-ci y étant plus concentrés que dans le milieu extérieur. Grâce à ces nutriments et à la lumière, elles élaborent de la matière organique (glucides), dont une partie sert de nourriture au polype. De plus, la photosynthèse produit un dégagement d'oxygène facilitant la respiration de celui-ci, car la concentration en O₂ des eaux chaudes est peu élevée. Cette association entre la microalgue et le corail constitue une vraie symbiose qui profite aux deux partenaires.

Tout en effectuant un recyclage local et rapide de la matière rejetée par les polypes, les zooxanthelles sont les principaux producteurs primaires des écosystèmes coralliens. De plus, lors de la photosynthèse,

elles apportent au polype du gaz carbonique qui entre dans la composition du carbonate de calcium, c'est-à-dire du calcaire, qui lui permet de fabriquer son squelette. C'est pourquoi la symbiose est à l'origine de la réussite des coraux dans les milieux pauvres en éléments nutritifs.

LA SYMBIOSE, UNE BELLE HISTOIRE !

Il était une fois... une microalgue nommée dinoflagellé qui errait entre deux eaux. Un jour, elle se posa par hasard sur le tentacule d'un corail, s'y trouva bien et décida de s'y installer. Elle se débarassa de ses deux flagelles dont elle n'avait plus besoin et se fixa à l'intérieur d'une des cellules de son hôte. Comme sa vie changeait, elle se fit désormais appeler zooxanthelle. La zooxanthelle proposa au corail une association équitable: le jour, grâce à sa chlorophylle, elle fabriquerait par photosynthèse de la matière organique pour les deux associés, puis, quand le manque de lumière l'empêcherait de travailler, le corail

prendrait le relais pour nourrir tout ce petit monde. Marché conclu, la symbiose était signée! C'est ainsi que l'on vit, dès la nuit tombée, le corail déployer ses tentacules pour happer et filtrer les petites particules passant à proximité. Il gesticulait ainsi jusqu'au lever du soleil. Puis la zooxanthelle démarrait sa machine à synthétiser de la matière et se mettait à l'ouvrage pour le reste de la journée. Ainsi, profitant chacun des bienfaits de l'autre, ils vécurent heureux et longtemps... Enfin, tant que la température de l'eau n'augmentait pas trop! Mais cela est une autre histoire... ■

UNE NOTE ACIDE

Mais ce bel équilibre est précaire et pourrait être rompu par une amplification des émissions de CO_2 . Une grande partie du gaz carbonique de l'atmosphère est absorbée par les océans. Sa dissolution dans l'eau provoque une réaction chimique: le CO_2 se combine à une molécule d'eau (H_2O) pour donner du carbonate et de l'hydrogène. De nombreux organismes marins utilisent ce carbonate, associé au calcium dissous dans la mer, pour fabriquer leur carapace, coquille ou squelette externe en carbonate de calcium (calcaire), c'est la calcification. Celle-ci s'accompagne d'une libération d'hydrogène qui modifie le pH (potentiel hydrogène, mesure de l'acidité) de l'eau et rend la mer acide. La quantité d'hydrogène produite résultant de la quantité de CO_2 diffusée dans l'eau, la démonstration est faite: l'excès de CO_2 est à l'origine de l'acidification des océans.

Quand l'eau s'acidifie, elle devient corrosive et agit sur le calcaire des organismes marins, comme le vinaigre décape celui du lavabo... De nombreux végétaux ou animaux à squelette externe (plancton,

gastéropodes, larves d'huîtres, de moules, crustacés, coraux...) risquent de disparaître ou de se transformer. C'est le cas des coccolithes qui, dans certains milieux devenus acides, réussissent encore à construire leur enveloppe calcaire, mais celle-ci est malformée, son ornementation est incomplète, variable et aberrante.

LE pH, POTENTIEL HYDROGÈNE

La mesure de l'acidité de l'eau est le pH: potentiel hydrogène. Pour l'eau douce, le pH neutre est entre 6 et 7; il est plus élevé dans le milieu marin. Le bon équilibre du pH de la mer est en moyenne 8 et peut aller jusqu'à 8,3. Quand le chiffre augmente, c'est que le milieu devient basique (alcalin); s'il diminue, c'est que l'eau est plus acide. Dans la mer, un pH qui descend en dessous de 8 est une catastrophe. Une petite différence de quelques dixièmes est considérable pour les espèces planctoniques, en particulier pour les coquillages à leur stade larvaire, car leur coquille calcaire de quelques microns est très sensible à l'acidité. Par exemple, à 7,7 elle peut être totalement rongée et disparaître.

Tout comme la carapace, encore plus fragile, des larves de crustacés, qui, à ce pH, seraient probablement décimées les premières. Or ce fameux zooplancton permanent est un maillon essentiel de la chaîne alimentaire marine. Il ne peut y avoir de poissons s'il n'y a pas de copépodes à leur disposition. Pour exemple, ils constituent la nourriture quasi exclusive des morues. L'acidification de l'eau, même infime, peut donc, à terme, avoir des conséquences incalculables sur l'alimentation de l'homme. Aujourd'hui, le pH des océans est de 8. Avant la révolution industrielle, il était de 8,1. Certains spécialistes prédisent un pH de 7,6 en 2100... ■

Ces phénomènes chimiques, invisibles à nos yeux, ont pourtant des incidences visibles sur notre environnement. Par exemple, ce sont les squelettes externes en calcaire des coraux qui, au cours des siècles, ont édifié les récifs, atolls et autres constructions monumentales comme la Grande Barrière corallienne d'Australie. Par ailleurs, les récifs coralliens abritent un quart des poissons du monde, particulièrement ceux du grand large, mais ils sont aussi l'habitat d'anguilles, de crabes, d'oursins, etc. Aujourd'hui, ces belles réalisations et ces écosystèmes riches pourraient disparaître: les deux tiers des coraux d'eau profonde sont menacés par l'acidification des océans qui est en augmentation constante depuis vingt-cinq ans.

De plus, depuis une vingtaine d'années, les récifs sont victimes d'un nouveau phénomène qui peut mettre en péril leur survie: le blanchissement des coraux. Il correspond à une décoloration laissant transparaître le squelette blanc du polype. La perte des couleurs est

consécutive soit au départ des zooxanthelles symbiotiques, soit à la disparition des pigments photosynthétiques, ce que l'on n'explique pas encore. Ces réactions seraient provoquées par des températures élevées ou une trop forte augmentation du CO_2 dans l'eau, conséquences directes du réchauffement climatique qui s'amplifie sur notre planète. ■

CHAPITRE 7

OÙ VIT LE PHYTOPLANCTON ?

Comme tous les êtres vivants, les microalgues se développent dans les milieux où elles trouvent ce dont elles ont besoin pour vivre.

À LA SOURCE DU DÉVELOPPEMENT DU PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton vit là où les éléments de la photosynthèse sont réunis :

- **La lumière**

Dans l'océan, les rayons solaires ne pénètrent que jusqu'à une certaine profondeur. C'est pourquoi le phytoplancton est abondant surtout dans les eaux de surface où il reçoit suffisamment de lumière pour réaliser la photosynthèse. Cette zone est la couche euphotique, dont l'épaisseur varie de plusieurs mètres dans les estuaires jusqu'à environ 200 mètres en haute mer. Le plancton végétal est particulièrement foisonnant près des côtes où les hauteurs d'eau sont faibles et où la lumière se diffuse pleinement. C'est le cas des baies, des estuaires, des marais salants...

- **Les sels minéraux**

Les sels minéraux sont présents partout où l'eau douce vient rejoindre la mer, mais pour qu'ils soient accessibles au phytoplancton, ils doivent, comme lui, rester en suspension dans les eaux de surface où se trouvent tous les éléments de la photosynthèse. Pour cela, ils dépendent des vents et des courants qui brassent de l'eau leur évitant de tomber ou de rester sur les fonds où ils s'ajoutent aux sédiments.

- **Le gaz carbonique**

Dissous dans l'eau, il entre dans le processus de la photosynthèse. Le CO_2 vient des échanges gazeux ($\text{CO}_2 - \text{O}_2$) avec l'atmosphère et il est présent partout.

L'HABITAT DU PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton peut vivre partout où il y a de l'eau. On le trouve aussi bien dans les eaux douces, marines que saumâtres (mélange d'eau douce et d'eau salée comme les estuaires).

Les êtres planctoniques ont colonisé tous les milieux : la mer, les fleuves et ruisseaux, les lacs et étangs, les marais, les eaux souterraines, les gouttières, les fossés, les tourbières... Le plancton est également présent dans des endroits plus surprenants tels que les embruns, les mares, les lavoirs et les fontaines, on en trouve même dans les suintements de roches.

Il se développe mieux dans les eaux plutôt calmes et riches en sels nutritifs : rivières, estuaires, marais... Ainsi, la concentration de phytoplancton est jusqu'à dix fois plus forte dans les eaux continentales qu'en haute mer.

LE CYCLE DU PHYTOPLANCTON

Pour vivre, le plancton végétal a besoin d'eau, de lumière, de sels minéraux (nitrate, phosphore, silicate, potassium...), d'oligoéléments (magnésium, fer...) et de CO_2 . Ainsi, son existence est étroitement liée aux conditions régnant dans son milieu : température et turbidité (degré d'opacité) de l'eau, précipitations, ensoleillement, pollution, etc. À l'échelle d'une année, il présente donc une grande variabilité saisonnière.

En théorie, le phytoplancton se développe de préférence au printemps et à l'automne, lorsque les conditions sont optimales. Aujourd'hui, ce rythme annuel est de moins en moins respecté en raison de l'évolution du milieu (excès d'apports en nutriments, réchauffement climatique) et certaines espèces peuvent proliférer tout au long de l'année.

LA LOCALISATION DU PHYTOPLANCTON SUR LA PLANÈTE

Localisée sur une mappemonde, la présence marine du phytoplancton apparaît majoritairement aux abords du littoral des continents où des conditions de vie favorables (lumière, nutriments) sont réunies.

En effet, les lieux propices au développement de la grande diversité du plancton végétal sont :

- les embouchures des fleuves et des rivières, estuaires qui réceptionnent les apports nutritifs véhiculés par les bassins versants ;
- les côtes de certaines zones de la planète enrichies par la circulation d'eaux porteuses de sels minéraux, grâce aux courants et upwellings.

LES CONSÉQUENCES DE LA PRÉSENCE DU PHYTOPLANCTON

Le développement du plancton végétal dans un milieu y permet la vie des animaux marins dont il est l'aliment essentiel. Ces consommateurs sont le plancton animal (dont les larves de poissons, de crustacés et de coquillages) et les coquillages filtreurs. De plus, la production primaire (phytoplancton) puis secondaire (zooplancton) alimente la ressource (poissons, crustacés).

C'est pourquoi les professionnels de la mer installent leurs exploitations ou choisissent leur zone d'activité dans ces endroits stratégiques où la nourriture est naturellement présente dans la mer. Ainsi, les lieux riches en plancton sont favorables aux :

- élevages de coquillages ou de poissons : ostréiculture, mytiliculture, pisciculture... ;
- métiers de la pêche : pêche côtière ou hauturière et pêche à pied professionnelle de coquillages (tellines, coques, palourdes...).

UN RÔLE PRIMORDIAL

Le phytoplancton est appelé « producteur primaire » car il a la capacité de transformer la matière inorganique (CO_2 , sels minéraux, eau) en matière organique qui est consommable ensuite par les autres organismes vivants. Biomasse la plus considérable sur la planète, c'est en quelque sorte le principal « fourrage » des milieux aquatiques. De sa santé va dépendre celle de l'ensemble de l'écosystème. Base de toutes les chaînes alimentaires marines, le phytoplancton nourrit un monde animal qui n'existerait pas sans lui, et en premier lieu le zooplancton. ■

Seconde partie

LE ZOOPLANCTON

CHAPITRE 1

LE ZOOPLANKTON PERMANENT : LIEN ENTRE DEUX MONDES

Il y a 3,5 milliards d'années, les premières microalgues, en inventant la photosynthèse, offrent l'oxygène à la planète et préparent l'arrivée de toute la diversité phytoplanctonique. Pendant 2 à 3 milliards d'années, ce monde végétal microscopique prolifère, évolue, se renouvelle et libère de la matière organique en quantité. Peu à peu, ces microdéchets végétaux s'accumulent dans la mer. C'est alors que la première forme de vie animale entre en scène. Unicellulaire, se nourrissant de cette matière végétale morte en suspension et en décomposition, le protozoaire nettoie l'océan et ouvre la voie au zooplancton et aux futurs animaux marins.

Provenant de la transformation de végétaux unicellulaires, ces organismes animaux unicellulaires se transforment peu à peu en pluricellulaires. Puis, progressivement, la vie s'organise et se développe dans un monde multicellulaire, chaque espèce se perfectionnant pour s'adapter aux lentes modifications ou aux grands bouleversements de la planète. Tout comme les algues ont été phytoplancton avant de devenir goémon ou laminaire, le passage des organismes microscopiques aux grands animaux s'est déroulé sur des millions d'années et par l'intermédiaire de nombreuses espèces. Le zooplancton est l'un des acteurs majeurs de toute cette évolution dans le monde aquatique.

Le zooplancton est composé d'animaux unicellulaires ou pluricellulaires, petits ou microscopiques, issus de nombreux groupes zoologiques. Le plancton animal comprend :

- le zooplancton permanent (holoplancton) qui naît, grandit et meurt plancton ;
- le zooplancton temporaire (méroplancton) constitué d'œufs et de larves qui vivent de quelques heures à plusieurs semaines dans le plancton et le quittent en se métamorphosant en juvéniles puis en adultes.

LE ZOOPLANCTON PERMANENT

Le zooplancton permanent rassemble des animaux unicellulaires (zooflagellés, protozoaires) ou pluricellulaires dont toute la vie est planctonique, de l'œuf à l'adulte. Il inclut une majorité de petits crustacés (copépodes, krill), des petits mollusques et des gélatineux planctoniques (méduses, salpes). Sa taille est variable selon les espèces et peut aller de 1 micron pour les zooflagellés à 6 mètres de long pour les méduses.

Le plancton animal permanent se reproduit par division cellulaire (animaux unicellulaires) ou par accouplement (animaux pluricellulaires), avec un taux de reproduction très important. Il renouvelle sa biomasse rapidement. Par exemple, trois ou quatre jours après sa naissance, le copépode devient adulte, s'accouple et pond une vingtaine d'œufs qui deviennent adultes trois ou quatre jours après, etc. À chaque stade de sa croissance, le zooplancton permanent est une proie facile pour le zooplancton temporaire et les petits poissons (sardines, anchois, sprats, lançons). Sa durée de vie est courte : de quelques jours à quelques semaines, avec un peu de chance !

LE ZOOPLANCTON TEMPORAIRE

De très nombreuses espèces marines ont un début de vie planctonique, en général à leur stade larvaire. Œufs et larves composent le zooplancton temporaire :

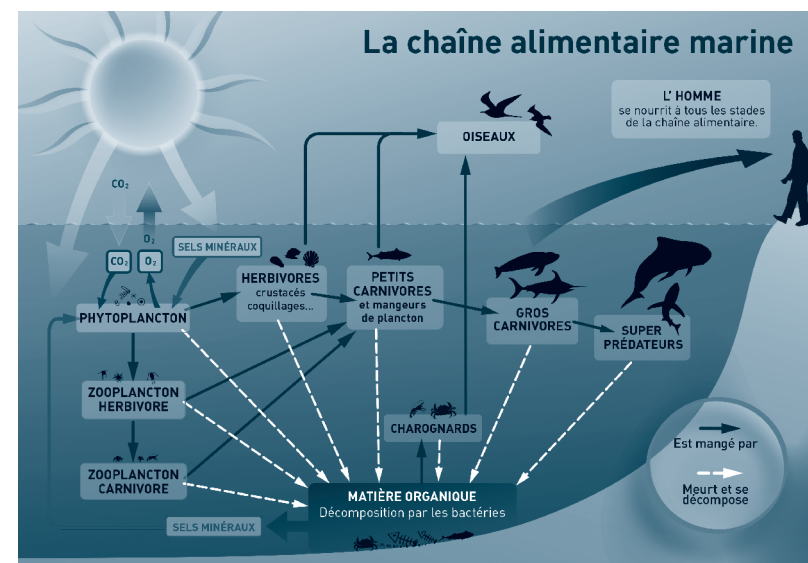
- les larves de crustacés, dont les adultes vivent sur le fond. La larve peut ressembler à un adulte en miniature, comme l'écrevisse, ou avoir une forme très différente et passer par une succession de stades larvaires avant d'atteindre la forme adulte. Par exemple, la crevette japonaise éclôt au stade « nauplius », le crabe au stade « zoé », et le homard au stade « mysis ». La durée de vie larvaire dure de deux à quatre semaines, quinze jours pour le homard, sauf pour la langouste qui reste plancton pendant plusieurs mois ;
- les larves de mollusques tels que les huîtres, les moules ou les palourdes. Issue d'un œuf, la larve de ces coquillages, ciliée et nageuse, se fabrique peu à peu une coquille transparente, puis va se fixer sur les rochers au moment de la métamorphose deux à quatre semaines plus tard ;
- les larves et les œufs de divers invertébrés benthiques comme les vers annélides et les échinodermes (oursins, étoiles de mer) ;

- les œufs et alevins de poissons : bars, turbots, sardines...

Tous ces petits organismes se retrouvent généralement dans le ventre d'espèces plus grandes dont ils composent l'alimentation. Peu de larves atteignent l'âge adulte, de quelques pour cent à quelques pour mille. Par exemple, sur 1 000 larves de homard, un petit nombre seulement d'entre elles deviennent adultes.

AU MENU DU ZOOPLANCTON

Tandis que le phytoplancton fabrique sa substance par photosynthèse, le zooplancton, comme tous les animaux, consomme de la matière vivante existante. Il peut être herbivore, carnivore ou omnivore. Chaque espèce se nourrit de plancton plus petit, végétal ou animal.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

En règle générale, le zooplancton permanent est herbivore et peut manger toutes les catégories de phytoplancton (diatomées, chlorophycées...) qu'il choisit selon leur taille et parfois en fonction de leur valeur nutritive. Il recueille les microalgues en filtrant l'eau, les trie, puis les avale. Il doit consommer 10 grammes de plancton végétal pour accroître sa masse de 1 gramme. Sa population se renouvelle complètement en quelques semaines. Constamment, des individus sont mangés tandis que de nouveaux les remplacent.

Le zooplancton temporaire, majoritairement carnivore, se nourrit de zooplancton permanent. À part quelques exceptions comme les

larves de coquillages et d'échinodermes (oursins, étoiles de mer) qui sont des filtreurs et se nourrissent de phytoplancton, c'est un chasseur qui suit ses proies pour les gober. Il ne récupère lui aussi que le dixième de l'énergie des aliments qu'il consomme.

Schématiquement, consommant du phytoplancton, le zooplancton permanent sert d'aliment au zooplancton temporaire qui sera avalé par les petits poissons, eux-mêmes poissons fourrage pour les espèces supérieures qui seront à leur tour mangées par les gros prédateurs. Chaque production dépend de la précédente, chacune pouvant se retrouver au menu de l'homme. Tout comme le phytoplancton, le zooplancton est un maillon indispensable de la chaîne alimentaire marine.

LE ZOOPLANCTON RICHE DE NOMBREUSES ESPÈCES

Le zooplancton permanent

- Les animaux unicellulaires (ils appartiennent au vaste ensemble des protozoaires) :
 - les zooflagellés, dépourvus de chloroplastes, donc incolores (de 1 à 50 microns);
 - les protozoaires ciliés, équipés de cils vibratiles, qui se nourrissent de bactéries ou de microalgues (de 30 à 500 microns);
 - les radiolaires et les acanthaires (une centaine de microns).
- Les animaux pluricellulaires :
 - les crustacés : les copépodes, élément dominant du zooplancton (de 100 microns à 3 ou 4 millimètres), le krill (euphausiacés, de 10 millimètres à quelques centimètres), les cladocères et les ostracodes, les mysidacés et les décapodes nageurs comme *Artemia salina*, crustacé primitif des eaux saumâtres, et notamment des marais salants;

- les méduses (quelques centimètres ou plus, certaines pouvant atteindre 1 ou 2 mètres de diamètre et déployer des tentacules de 6 mètres de long) et les siphonophores (plusieurs centimètres);
- quelques mollusques;
- les tuniciers (appendiculaires, salpes, doliolles et pyrosomes), parfois sous forme de colonies qui peuvent mesurer plusieurs mètres.

Le zooplancton temporaire

Il regroupe de très nombreuses espèces qui passent par des stades larvaires complexes avant d'atteindre leur vie d'adulte. Il comprend les œufs et larves d'animaux benthiques et du necton : vers annélides, échinodermes (oursins, étoiles de mer), crustacés (crabes, homards, écrevisses, crevettes...), mollusques (huîtres, moules, coques...), poissons, céphalopodes (calmars). ■

« têtes d'affiche » sont représentatives de l'ensemble, comme, du plus petit au plus grand, les protozoaires *Fabrea*, les rotifères, les copépodes, le krill, les *Artemia*, sans oublier les méduses.

Existant grâce au phytoplancton qui compose son alimentation, le zooplancton permanent se trouve sur la deuxième marche de la pyramide alimentaire aquatique et constitue la passerelle entre le monde végétal et le monde animal marin. Son rôle est déterminant et sa diversité conditionne toute la grande variété du zooplancton temporaire qui devient ensuite poissons, homards, crevettes... composant l'alimentation humaine. Car, avant d'arriver adultes dans notre assiette, ces larves, pour se nourrir, doivent trouver des proies correspondant à la taille de leur bouche et d'une valeur nutritive satisfaisante. C'est le rôle du plancton animal permanent de fournir cette qualité et cette diversité, mais il est lui-même dépendant de la richesse du plancton végétal et donc de la bonne santé du milieu environnant (qualité de l'eau, quantité de nutriments). Ainsi, si le phytoplancton ne concerne pas l'homme directement, son appauvrissement peut conduire, par l'intermédiaire du zooplancton permanent, à la chute de la variété des poissons et des fruits de mer composant son menu. Pour conserver l'abondance alimentaire que lui offre l'océan, l'homme doit protéger le zooplancton permanent et donc veiller à la multiplicité du phytoplancton. Pour ce faire, sa vigilance doit se porter sur la qualité des eaux et la prévention des diverses pollutions qui endommagent les mers et menacent toute la chaîne alimentaire marine. ■

UN MAILLON INDISPENSABLE

Le zooplancton permanent regroupe les organismes animaux planctoniques qui restent plancton toute leur vie. Parmi eux, quelques

CHAPITRE 2

LES PROTOZOAIRES

Première forme de vie animale, le protozoaire (*Protozoa*, du grec *proto*, « premier », et *zoe*, « animal ») est un organisme microscopique composé d'une seule cellule généralement recouverte d'une coquille qui prend parfois la forme d'une sphère ou d'une carapace d'escargot. D'une taille variant de quelques microns à quelques centaines de microns, les plus gros approchant le millimètre, les protozoaires peuvent être équipés de cils vibratiles ou de flagelles. Il en existe quelques dizaines de milliers d'espèces différentes que l'on peut trouver partout sur Terre, dans toutes les eaux (océans, rivières, marais, étangs), dans les sols humides ou, pour quelques-uns d'entre eux, à l'intérieur d'organismes animaux ou humains (dans le mucus pulmonaire, l'intestin, la panse de certains animaux...).

Les protozoaires sont hétérotrophes et se nourrissent en ingérant des particules nutritives disponibles dans leur environnement. Leur alimentation se compose de matière organique en suspension, de bactéries, de microalgues ou même d'autres protozoaires. Ils se reproduisent par division cellulaire, un seul individu pouvant reconstituer toute une population.

***FABREA SALINA*, PROTOZAIRE DES MILIEUX SALÉS**

Fabrea salina est un protozoaire cilié très petit (25 microns) vivant dans les marais salants. Il se nourrit de bactéries et de matière organique, très abondantes dans certaines parties de la saline. Pendant la période de récolte du sel, l'eau, venant de la vasière, circule dans le dédale des circuits hydrauliques où, progressivement, sa salinité augmente. Dans les derniers œillets, la concentration en sel atteint jusqu'à 270 grammes par litre d'eau et tue de nombreuses espèces végétales et animales incapables de la supporter. L'accumulation de ces organismes morts en suspension favorise la multiplication des bactéries détritiques qui s'en régaleront. Et le festin est servi pour *Fabrea salina* qui, consommant le tout, épure les eaux devenues trop riches. Dans ces zones « dégradées » des marais salants, sans ce protozoaire « nettoyeur », la vie serait impossible pour *Artemia salina*, qui a besoin d'une eau de qualité pour se développer. Dans les milieux saumâtres, *Fabrea salina* facilite la venue du zooplancton permanent

qui sert de nourriture au zooplancton temporaire, lui-même au menu des animaux plus gros. Il permet ainsi à tout un écosystème équilibré de s'installer.

MAL AIMÉS, MAIS UTILES

Le protozoaire est un animal souvent redouté car il démontre la présence de matière organique et de bactéries en quantité, révélant les perturbations d'un milieu. Il est ainsi un indicateur d'un début d'eutrophisation de l'eau. La plupart des protozoaires ne sont pas nuisibles, mais, absorbant bactéries et matière morte, ils peuvent être porteurs de germes pathogènes, ce qui explique qu'ils n'entrent pas dans l'alimentation des autres espèces, sauf peut-être des oiseaux, par accident. Pourtant, étant très petit, le protozoaire pourrait être intéressant en aquaculture pour servir d'alimentation à certaines espèces difficiles à élever à cause de la taille de leur bouche. Malheureusement, il s'avère compliqué à apprivoiser et à cultiver.

Le monde des protozoaires est un monde à part dans le milieu naturel. Ce zooplancton permanent y a cependant la fonction essentielle de transformer la matière minérale et organique et reste parfois indispensable pour améliorer la qualité de l'eau, à l'exemple de *Fabrea salina*, seul organisme capable d'assainir certaines parties des marais salants. Rendant l'environnement plus productif, le protozoaire est la démonstration que tout est nécessaire dans un milieu, chacun y ayant son rôle et tous étant interdépendants. ■

[...] ou un excès d'eau. Dans son kyste, le protozoaire subit fréquemment une ou plusieurs divisions cellulaires, de sorte qu'au moment de l'ouverture du kyste, quand le milieu redevient favorable, ce n'est pas un mais plusieurs individus qui sont libérés. Le kyste peut être emporté au loin par le vent ou véhiculé dans un autre milieu, participant ainsi à la dis-

sémination de l'espèce. Le protozoaire peut attendre longtemps les bonnes conditions pour en sortir : retour dans l'eau, passage à une température favorable, action des enzymes digestives de l'hôte qui vient de l'ingérer. La propagation des protozoaires parasites s'effectue par ces kystes, ce qui explique la difficulté de l'homme à s'en protéger. ■

LES PROTOZOAIRES, UNE PATIENCE À TOUTE ÉPREUVE

Hétérotrophes, les protozoaires ingèrent des particules nutritives disponibles dans leur environnement comme de la matière organique en suspension, des bactéries, des microalgues ou même d'autres protozoaires. Amateurs de matière morte, ils peuvent transmettre des gènes pathogènes et être responsables de nombreuses maladies telles que la malaria, le paludisme et certaines dysenteries.

Les protozoaires se reproduisent par division cellulaire. En cas de conditions défavorables à l'espèce, le protozoaire secrète une substance qui durcit et l'isole presque totalement du milieu extérieur, c'est l'enkystement. Un kyste a des murs très résistants qui protègent la cellule, lui permettant de survivre dans des conditions environnementales extrêmes comme de grands changements de température et un manque [...]

CHAPITRE 3

LES ROTIFÈRES

Après l'apparition des végétaux unicellulaires puis des animaux unicellulaires (protozoaires), la vie s'organise et se perfectionne peu à peu dans un monde multicellulaire. Résultant de lentes mutations, les rotifères font partie des tout premiers animaux pluricellulaires.

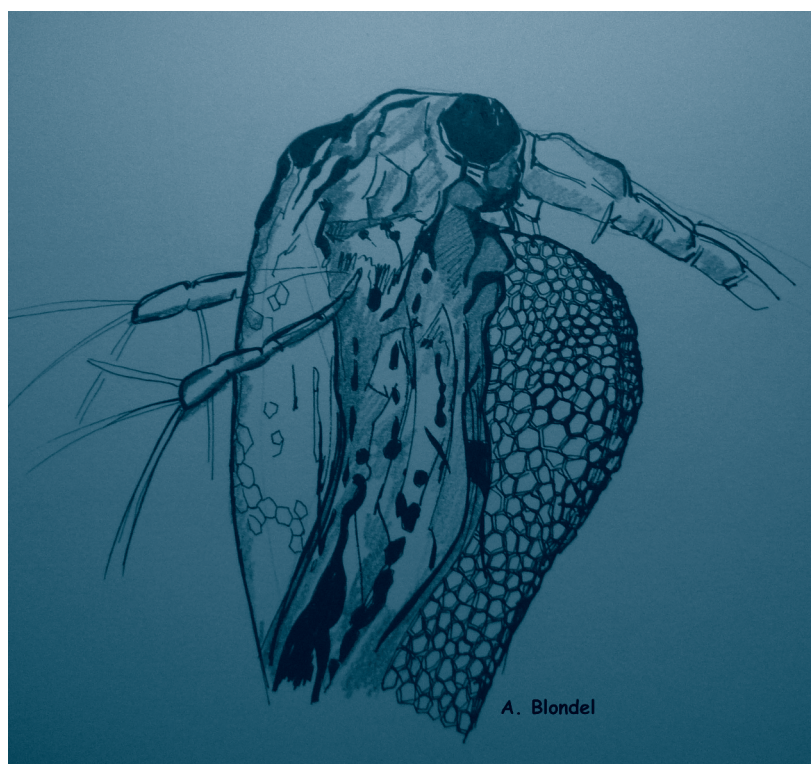
UN PETIT VER INSOLITE

Le rotifère est une sorte de minuscule ver transparent qui reste plancton toute sa vie. Il a souvent une forme de trompette et mesure entre 50 microns et 3 millimètres selon les espèces. Justifiant son nom (du latin *rota*, « roue »), deux couronnes de cils entourent sa bouche et tourbillonnent en sens contraire pour y attirer l'eau et les particules nutritives. Ces « roues » peuvent aussi servir à la locomotion et



Rotifère, plancton marin et d'eau douce.

permettent à certains de se déplacer très rapidement dans l'eau, tandis que d'autres, aux cils moins développés, se meuvent par reptation. Le rotifère peut se fixer à des supports divers, grâce à un « pied » qui contient une glande sécrétant une substance adhésive, et s'en détacher rapidement. Doté d'un appareil cérébral et d'un tube digestif complet, le rotifère est, malgré sa petite taille, un animal « évolué ». Au plan anatomique, c'est un véritable modèle réduit d'organismes plus complexes comme les vertébrés.



Daphnée, zooplancton d'eau douce.

MARIN ET D'EAU DOUCE

Riches d'environ 2 000 espèces, les rotifères prolifèrent dans tous les milieux humides : eaux douces et salées, mousses, champignons, sols humides. Ils sont mobiles ou attachés à divers supports : algues, débris végétaux, carapaces de crustacés... Composant une grande partie du zooplancton d'eau douce, ils constituent une source de nourriture importante dans ces écosystèmes. Ils sont présents dans les ruisseaux, les mares, les fontaines des jardins publics, les bacs des

jardinerie, les aquariums, les vieux bacs à fleurs au fond du jardin... En milieu terrestre, ils interviennent dans la décomposition des sols. Les rotifères d'eau de mer habitent préférentiellement les zones d'estuaires, les zones littorales et les milieux fermés (temporairement ou en permanence) comme les lagunes, les marais salants et les lacs salés. Ils y jouent le rôle de proies nutritives et abondantes pour le zooplancton temporaire : larves de poissons, de crustacés...

Le rotifère a la faculté de survivre même si le milieu s'assèche. Il réagit en s'entourant d'un kyste de protection où il se rétracte et suspend son métabolisme. Il peut ainsi patienter très longtemps et résister à des conditions extrêmes, dont la sécheresse totale. Lorsqu'il est submergé à nouveau, il sort de sa léthargie et reprend son développement. Pratiquement toutes les espèces de rotifères supportent le dessèchement. Cette capacité leur donne la possibilité d'envahir des habitats réellement difficiles, comme les lichens, les fentes dans les écorces des arbres, les sols inhospitaliers et même le sable du désert.

GOURMAND ET NOURRISSANT

Le rotifère est un animal filtreur. Dans l'océan, il se nourrit essentiellement de micro-organismes en suspension. Il est friand de petit phytoplancton comme les chrysophycées et les chlorophycées, la taille de sa bouche lui interdisant les microalgues plus grosses qu'il ne peut mastiquer. Par exemple, si une grande et jolie diatomée s'aventure à ses côtés, elle en ressortira indemne, ne lui laissant que l'eau à la bouche ! Indépendamment de ce critère de taille, il est capable d'effectuer un choix d'ordre qualitatif parmi les particules alimentaires disponibles qu'il sélectionne dans une large gamme d'espèces : cyanophycées, chlorophycées, chrysophycées, diatomées centriques, dinophycées.

Colonisant des lieux très riches en phytoplancton, le rotifère se goinfrer et se reproduit rapidement, rendant parfois l'eau de ces zones tellement verte qu'on dirait de la peinture. Il a une durée de vie assez courte, de deux à neuf jours environ, mais se renouvelle abondamment. Maillon productif de la chaîne alimentaire marine, il est consommé à son tour par les larves d'espèces supérieures comme les crustacés et les poissons sauvages.

Dans les éclosures, le rotifère *Brachionus plicatilis* est considéré comme une « capsule » de nourriture vivante pouvant transmettre aux larves de poissons des macro et des micronutriments, des vitamines et même des antibiotiques. Son élevage en masse est intéressant car il est facile à cultiver, sa reproduction abondante, et sa croissance rapide.

Il est petit, il bouge et sa consistance plaît aux larves. De plus, on peut le nourrir partiellement avec des levures alors que, dans la nature, son menu est composé de microalgues vivantes, dont la culture coûte cher. Le rotifère *Brachionus plicatilis* est l'organisme le plus utilisé en aquaculture pour l'alimentation des espèces larvaires, bien qu'il ne fasse pas toujours partie de leur régime alimentaire naturel. Grâce à sa valeur nutritive, il s'est rapidement imposé comme nourriture pour les larves de bar, de daurade et de turbot.

UN ANIMAL D'EXCEPTION

Chez certaines espèces, chaque individu a la capacité de se reproduire lui-même, sans accouplement, par reproduction asexuée et autonome (parthénogénèse). Ces rotifères ne comptent alors que des femelles qui pondent des œufs à éclosion immédiate donnant naissance à d'autres femelles parthénogénétiques. Atteignant la maturité sexuelle en une journée, chacune d'elles pond une cinquantaine de petits œufs qui se développent et se reproduisent aussitôt. Ainsi, en cas de « catastrophe naturelle » provoquant l'extinction d'une population de rotifères, une « rescapée » peut, à elle seule, reconstituer une communauté.

Cette reproduction parthénogénétique est une exception dans le zooplancton. Hormis le protozoaire *Fabrea salina* qui se multiplie par division cellulaire, les animaux planctoniques s'accouplent, tels les copépodes, le krill, *Artemia salina*, etc. ■

[...] et le processus de reproduction sexuée est entamé. Les œufs ainsi produits sont capables de résister à la sécheresse et aux fortes variations de température. Lorsque la situation ambiante s'améliore, le cycle parthénogénétique reprend.

La survie de nombreuses espèces de rotifères en dépit de l'absence de mâles est une caractéristique assez insolite dans le monde animal. Il semble qu'une classe de rotifères, les bdelloïdes, se reproduise par parthénogénèse depuis

plus de 35 millions d'années, sans qu'aucune trace de l'existence de mâles ait été découverte. La plupart des animaux et des végétaux se reproduisent par voie sexuée au moins de temps en temps, afin d'éviter l'accumulation de mutations nuisibles dans leur génome et d'assurer à leurs espèces une bien meilleure pérennisation que celle des espèces asexuées. Ainsi, la raison pour laquelle les bdelloïdes ont réussi à passer outre à cette règle de la nature depuis aussi longtemps demeure inconnue. ■

UNE VIE (A)SEXUÉE PARTICULIÈRE

La reproduction des rotifères peut être sexuée ou asexuée. Certaines espèces se reproduisent uniquement par parthénogénèse et ne comptent ainsi que des femelles. D'autres produisent deux sortes d'œufs, la première donnant des femelles, et la seconde des mâles dégénérés, très petits, incapables de se nourrir, qui fécondent immédiatement les femelles, puis meurent.

Le choix de la reproduction incombe parfois aux conditions de vie. Lorsque

le milieu est optimal, les femelles parthénogénétiques produisent des œufs donnant naissance à d'autres femelles parthénogénétiques. Dans des circonstances hostiles, ces animaux font appel à une reproduction sexuée. Sous l'action d'un stimulus (condition défavorable), les femelles pondent des œufs d'où naissent des femelles dont les œufs engendrent des mâles. Ces derniers produisent des spermatozoïdes qui vont féconder les ovules femelles, [...]

CHAPITRE 4

LES COPÉPODES

Tout au long de l'évolution, chaque espèce apporte sa transformation au lent rythme des développements, métamorphoses et adaptations aux grands bouleversements de la planète. Avec le copépode, la taille grandit et la morphologie progresse.

UN MINICRUSTACÉ BIEN ÉQUIPÉ

Mesurant de 100 microns à 3-4 millimètres, le copépode n'a encore ni branchies ni carapace solide, mais innove avec une paire d'antennes aussi longues que son corps qui lui permettent une nage saccadée et la fuite à l'approche des prédateurs. Faisant référence à sa racine grecque (*kope*, « rame », et *podos*, « pied »), il est équipé aussi de pattes en forme de rames ayant également un rôle de pièces buccales (mandibules).

Une autre invention du copépode, justifiant son surnom de « cyclope », est un œil unique, dit « œil nauplien », constitué d'une tache oculaire médiane. Cette tache noire est une technique pour être attiré par le soleil et, la nature ne faisant rien par hasard, être attiré par la lumière signifie se rendre dans les zones éclairées de l'océan, là où pullule le plancton végétal. Cette tache oculaire lui permet donc de se diriger jusqu'à son garde-manger.



LA PÊCHE À LA LUMIÈRE

En laboratoire, pour « pêcher » des copépodes, on verse l'eau dans un grand vase en verre. Dans cette eau comme dans la mer, les espèces de plancton sont mélangées et réparties dans tout le volume. Pour ne recueillir que les copépodes, on installe une petite lampe à led dans un

coin et on part boire un café. La tache oculaire fait le reste ! Dix minutes plus tard, les copépodes sont dans la zone lumineuse, collés contre la paroi. Il ne reste plus qu'à plonger un petit tuyau et à siphonner ce dont on a besoin. ■

Selon les espèces, les saisons, les milieux ou encore l'âge de l'individu, le copépode peut être herbivore, carnivore ou omnivore. Herbivore, il utilise ses deux premières pattes pour créer un courant;

les deux suivantes, munies de soies, filtrent l'eau et recueillent les microalgues. Si le phytoplancton est insuffisant, le copépode devient carnivore. À l'aide de ses pattes-mâchoires équipées de soies en forme de faux, il capture ses proies, les lacère, puis les suce et les avale. Ces proies peuvent être des protozoaires, de très petits organismes du zooplancton comme les rotifères, des larves de divers crustacés ou encore d'autres copépodes. Selon les conditions environnementales, le copépode peut devenir omnivore, consommant alors indifféremment phytoplancton, petit zooplancton et débris organiques souvent porteurs de bactéries qui améliorent leur valeur nutritionnelle.

Quel que soit son régime alimentaire, le copépode est capable de sélectionner les particules capturées selon leur taille, leur composition chimique et leur qualité nutritive, ne conservant parfois que certaines espèces très précises. Ce tri lui permet d'éviter les espèces toxiques et d'améliorer le rapport entre le gain d'énergie apporté par la proie et la perte d'énergie nécessaire à son assimilation.

ASCENSEUR PARTICULIER

Licmophora est une petite diatomée sans flagelles lui permettant de planer et qui, s'alourdisant, tombe rapidement au fond. Ayant besoin de lumière pour réaliser la photosynthèse, ce plancton végétal a néanmoins trouvé une stratégie pour se rapprocher du soleil. Comprenant que le copépode, avec sa tache oculaire, est toujours attiré par la lumière, *Licmophora* se fixe sur sa carapace et monte sans effort dans la masse d'eau jusqu'à la couche de surface où elle trouve l'éclairage parfait et les nutriments nécessaires pour se développer. Là, c'est le bonheur. Elle se divise et se multiplie à son aise sur la carapace du copépode et produit un tel amas de diatomées que le pauvre zooplancton se

retrouve tout poilu de *Licmophora* ! Non seulement, cela l'étouffe, mais, surtout, il ne peut plus muer. Or le copépode, pour grandir, est obligé de muer... Ainsi, cette diatomée qui n'est pas toxique, juste un peu parasite, lui pose un problème vital. Quand *Licmophora* envahit un copépode en fin de vie, ce n'est pas si grave. En revanche, si cela se produit en début de vie, celui-ci n'a pas le temps de se reproduire. C'est pourquoi, dans un milieu, une prolifération de *Licmophora* provoque une diminution des populations de copépodes. Mais ce n'est pas perdu pour tout le monde : lorsque les copépodes chargés de *Licmophora* sont mangés par des poissons, ces veinards ont le bifteck et la salade ! ■



© A. Blondel

Copépode parasité par des diatomées *Licmophora*.

UNE ABONDANCE PLANÉTAIRE

Appartenant au monde des crustacés, les copépodes forment un groupe très diversifié de plus de 12 000 espèces, dont environ deux tiers sont marines. Dans l'océan, certaines vivent libres dans la masse d'eau (pélagiques) ou sur le fond (benthiques), d'autres sont des parasites d'organismes variés (en général de poissons), la morphologie des parasites étant très différente de celle des espèces libres. Les copépodes se développent dans tous les milieux aquatiques : océans, mers, lacs, rivières, marais, eaux souterraines, zones humides. Dans l'énorme volume d'eau du globe terrestre, à raison d'une moyenne de plusieurs unités par litre, ils sont les animaux pluricellulaires les plus abondants de la planète, dépassant les insectes qui, comprenant plus d'espèces, comptent cependant moins d'individus.

Les copépodes représentent jusqu'à 80 % du zooplancton et sont les animaux marins les plus nombreux. Sortes de « fourmis des océans », ils sont présents partout, de la surface jusqu'aux grandes profondeurs et à toutes les latitudes : à 4 000 mètres d'altitude dans la cordillère des Andes, dans le lac Tchad en Afrique, sous la calotte glaciaire au pôle Nord... Préférant les lieux où le phytoplancton est abondant et diversifié, les copépodes se concentrent souvent aux abords des côtes, dans les zones d'upwellings et dans les couches éclairées de surface où la concentration peut atteindre plusieurs dizaines de milliers d'individus par mètre cube. C'est le cas de l'espèce la plus

commune, *Calanus finmarchicus*, qui domine le zooplancton de l'Atlantique Nord. Ce gros copépode de 3 à 4 millimètres se nourrit principalement de diatomées *Navicula* et compose le menu, entre autres, des morues, du krill et du requin-pèlerin.

ACTEUR ET TÉMOIN

Dans les couches superficielles des océans vivent des centaines d'espèces de copépodes dont la plupart ne dépassent pas 3 ou 4 millimètres. Ce zooplancton herbivore se réfugie en profondeur le jour pour échapper à ses prédateurs et remonte la nuit vers la surface pour se nourrir en filtrant l'eau garnie de phytoplancton. Ces migrations verticales des populations de copépodes contribuent au brassage des eaux et permettent leur oxygénation ainsi que la circulation des sédiments. De plus, leur consommation abondante de microalgues permet parfois de parer aux pullulations phytoplanctoniques, en cas de bloom par exemple, et d'éviter l'asphyxie du milieu. Enfin, par le biais de la chaîne alimentaire, les copépodes participent à la capture du carbone et de l'azote atmosphériques et à leur transport vers les fonds marins.

Le copépode circule en pleine eau, filtrant ou capturant ses proies avec ses pattes, ou se fixe sur des parois couvertes de « fooling », une couche de phytoplancton, qu'il broute... avant de se faire manger lui-même ! Élément dominant du zooplancton, disponible dans toutes les eaux de la planète, il est un acteur majeur de l'alimentation du monde animal marin. Dans un milieu, sa présence assure en quantité une nourriture de qualité. À l'inverse, son absence inquiète car ne subsistent alors que des larves de vers comme les rotifères, des protozoaires, des ciliés, animaux qui sont beaucoup moins appétissants et nourrissants pour les prédateurs.

Ce petit crustacé est très intéressant car il est transparent. À l'observation au microscope, lorsque le tube digestif du copépode est marron ou vert, c'est qu'il est plein et donc que le milieu est riche en microalgues. Si, en revanche, son estomac est transparent, et donc vide, cela indique un déficit en phytoplancton dans l'environnement. Lors d'un prélèvement, si le copépode est présent en abondance, s'il se reproduit, si les individus sont grainés, remplis d'œufs, c'est que le milieu est en équilibre. Le copépode est un témoin ; l'observer, c'est comprendre l'écosystème qui l'entoure.

Tout comme la diatomée, microalgue très sensible, ne peut se multiplier que dans des conditions favorables, le copépode est très fragile. Une abondante population de copépodes indique la présence

de diatomées et de plancton végétal varié en quantité, preuve que le milieu est en bonne santé. Pour connaître l'état d'une rivière ou d'un océan, nul besoin d'analyse chimique de l'eau, il suffit d'observer le monde des diatomées et le monde des copépodes, la présence de ces deux organismes vulnérables prouvant à elle seule que l'environnement est sain et productif pour l'ensemble des espèces. Ces deux indicateurs, très réactifs, permettent d'évaluer des variations invisibles et constituent ainsi un vrai baromètre du fonctionnement des écosystèmes.

UN BESOIN DE DIVERSITÉ

Le zooplancton herbivore doit consommer 10 grammes de microalgues pour accroître sa masse de 1 gramme. Le copépode phytophage mange de préférence des diatomées et des chlorophycées, mais aussi tout un phytoplancton varié, celui qui lui est proposé à l'endroit où il est. Son choix est limité par la taille de sa bouche qui ne lui permet d'avaler que de petits micro-organismes et le prive des plus gros comme les dinoflagellés. Lorsqu'il a la chance de voir proliférer autour de lui d'alléchantes diatomées, si celles-ci sont trop grandes pour sa bouche, il peut rester le ventre vide. Il est donc important que la diversité phytoplanctonique soit maintenue dans le milieu.

Cette diversité est d'autant plus importante pour le copépode qu'elle lui apporte tous les éléments nutritifs nécessaires à son développement : acides aminés, acides gras, oméga-3, vitamines, qui, à leur tour, enrichissent les individus qui le mangent. Le copépode a une grande responsabilité, car s'il a lui-même des carences (oméga-3, vitamines...), elles se retrouvent chez ses prédateurs. Poissons et crustacés ont besoin d'un très bon équilibre alimentaire pour leur croissance et leur fécondité, et en particulier des acides gras qui sont essentiels au développement et à la survie de leurs stades larvaires et juvéniles. À l'image de notre Caddie, que nous remplissons de produits variés (légumes, poisson, viande, céréales), le copépode doit trouver dans le phytoplancton qu'il filtre tous les éléments qui offriront une grande diversité nutritionnelle aux organismes supérieurs des réseaux trophiques. Ainsi, si les poissons gras, comme les sardines, les sprats et les anchois, qui en sont de gros consommateurs, sont riches en oméga-3, c'est grâce aux copépodes qui se sont préalablement nourris de diatomées contenant des oméga-3.

Le copépode est un « passeur » du monde végétal au monde animal. Ce zooplancton herbivore puise sa substance dans l'un (phytoplancton) et sert de nourriture à l'autre (zooplancton carnivore),

transmettant au second, comme au jeu du relais, l'énorme richesse nutritionnelle du premier. Malgré sa valeur nutritive, ce minuscule crustacé foisonnant est pourtant rarement utilisé en aquaculture, car son élevage est coûteux, réclamant des quantités colossales de phyto-plancton pour le nourrir et d'énormes volumes d'eau. À l'instar de la spiruline et de la chlorelle, on pourrait imaginer une consommation humaine de ce zooplancton, mais, pour les mêmes raisons, la culture du copépode comme source alimentaire directe pour l'homme n'est pas envisagée à grande échelle⁸.

ON A MANGÉ DU PLANCTON !

Alain Bombard a été le premier à montrer que l'on peut manger du plancton. En 1952, ce jeune médecin-navigateur de 27 ans quitte l'archipel des Canaries à bord de *L'Hérétique*, un canot pneumatique équipé d'une voile, sans eau ni nourriture, avec pour tout bagage un sextant, un filet à plancton et quelques lignes pour pêcher. Au bout de cinquante jours de traversée, affaibli, il rédige son testament. Une nourriture composée de poissons volants et autres prises de pêche ne suffisant pas, il récupère régu-

lièrement dans son filet à plancton une petite cuillère à café de copépodes et trouve dans ce petit crustacé, riche en oligoéléments, vitamines et oméga-3, le moyen de suppléer à ses carences alimentaires. Au bout de deux mois, ayant traversé l'océan Atlantique en solitaire, il arrive sain et sauf aux Caraïbes, prouvant qu'il est possible à un naufragé de survivre en mer grâce aux richesses de l'océan. Démonstration est faite de la valeur nutritive exceptionnelle des copépodes. ■

UN GARDE-MANGER BIEN GARNI

Base de la chaîne alimentaire carnivore, le copépode est un personnage clé de tous les écosystèmes marins de la planète. Sans ce maillon, une grande partie de la production primaire (phytoplancton) ne parviendrait pas jusqu'aux échelons trophiques supérieurs et de nombreuses espèces ne pourraient pas se développer. Par exemple, sans copépode herbivore qui transforme l'énergie végétale en énergie carnée, pas de nourriture pour le krill carnivore, ni donc pour la baleine ! Autrement dit, il est tout simplement indispensable à la survie de ses prédateurs : crustacés (crevettes, homards...), poissons (sardines, anchois, morues, certains requins...), méduses... qui, à leur tour, sont

la nourriture de poissons plus gros et des grands mammifères marins. Ainsi, constituant l'élément dominant du zooplancton et la biomasse animale marine la plus abondante, le copépode a un rôle fondamental dans le cycle biologique des mers. Et donc dans la richesse des ressources offertes à l'homme qui vient y faire son marché !

Les copépodes représentent la masse de protéines animales la plus importante de l'océan. Ce minuscule crustacé, peu connu car difficile à voir à l'œil nu, produit chaque année 40 milliards de tonnes de chair de copépode, très loin devant les 260 millions de tonnes de notre production mondiale de viande d'élevage. Pour visualiser son volume, la masse totale des copépodes du golfe du Lion correspondrait à celle d'un troupeau d'environ 50 000 baleines de 20 tonnes chacune...

Reconstituant sa biomasse globale en deux mois, ce fourrage marin représente un apport nutritif majeur, et son renouvellement permanent est essentiel pour le maintien des stocks de nourriture dans les océans. Sa durée de vie étant très courte (de quelques jours à deux ou trois semaines), le copépode doit grandir et se reproduire rapidement pour faire éclore une progéniture qui assure à son tour l'abondance et la reproduction de sa population.

UNE REPRODUCTION MASSIVE, SOUS CONDITIONS

La reproduction du copépode a lieu par accouplement, les sexes étant toujours séparés. Contrairement à de nombreuses espèces aquatiques qui libèrent les gamètes directement dans le milieu, le mâle maintient la femelle grâce à ses antennes préhensibles et dépose un spermatophore à proximité de son orifice génital. Une fois fécondés, les œufs sont, selon les espèces, lâchés dans l'eau ou véhiculés par la mère dans un ou deux sacs ovigères qu'elle porte sous son abdomen. La fécondité des copépodes est généralement de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines d'œufs par femelle et par jour. À l'éclosion, la larve sortant de l'œuf est dite nauplius. En trois ou quatre jours, après une douzaine de stades larvaires et trois ou quatre mues, le jeune copépode devient adulte et peut s'accoupler.

DES PETITES LARVES DIFFICILES À APPRIVOISER

Les copépodes possèdent une larve caractéristique, le nauplius, triangulaire ou ovoïde, possédant trois paires d'appendices et un œil médian. Le nauplius subit plusieurs mues successives avant d'accéder à l'état adulte. [...]

8. Voir encadré « L'intérêt des acides gras Oméga-3 », p. 52.

[...] Chaque stade de développement nécessite une alimentation qualitative-ment différente pour réussir le passage à l'étape suivante. Faute de nourriture adéquate, il arrive que des copépodes n'atteignent pas le stade adulte.

Les copépodes sont donc des animaux très fragiles, difficiles à apprivoiser et à élever en laboratoire. Bien maîtriser

leur élevage serait pourtant le rêve de tous les aquariums publics, comme Océanopolis à Brest, pour alimenter la grande diversité de leurs pensionnaires. Le copépode est vraiment l'animal le plus adapté aux poissons et crustacés en captivité, car, outre sa richesse nutritive et sa reproduction rapide, il est leur nourriture naturelle dans la mer. ■

Selon le contexte environnemental et les espèces, le passage de l'œuf à l'adulte peut prendre de quelques jours dans les zones tempérées à plusieurs mois pour les grands copépodes des zones arctiques ou antarctiques. Lorsque les conditions sont défavorables à l'espèce, il arrive que les femelles produisent des œufs de résistance qui tombent sur le fond, puis éclosent quand le milieu redevient propice.

Le développement des copépodes est fortement influencé par la température et la quantité de nourriture disponible. Ainsi, leur activité suit le rythme saisonnier et les variations climatiques. Sous un climat tempéré, les copépodes présentent un pic d'abondance au printemps grâce à l'élévation des températures et à la multiplication du phytoplancton. Pendant l'été, les ressources s'épuisent et les prédateurs se développent à leur tour, ils connaissent généralement un déclin, puis développent un nouveau pic secondaire plus modeste à l'automne lorsque le stock de nourriture se reconstitue et que les espèces prédatrices deviennent plus rares.

Pour les mêmes raisons, les populations de copépodes sont sensibles aux changements climatiques. Le réchauffement actuel de la planète a une influence grandissante sur les communautés de plancton, et en particulier sur les copépodes, dont une modification, en taille ou en nombre, peut bousculer tout l'écosystème marin.

CHAÎNONS MANQUANTS

L'incidence de la construction du barrage d'Arzal en baie de Vilaine s'est dévoilée trente ans plus tard...

Ce n'est pas un hasard si La Turballe était un port sardinier, installé près de

l'estuaire de la Vilaine. L'abondance des nutriments apportés par cette rivière permettait au phytoplancton de se développer, aux copépodes de se nourrir et aux sardines de se développer. [...]

[...] Jusqu'au jour où le barrage d'Arzal obstrua l'embouchure de la Vilaine et créa ainsi un déséquilibre dans cet écosystème florissant. Pendant trente ans, une boue vaseuse s'est entassée, créant un bouchon. Les nutriments n'arrivant plus, le phytoplancton s'est raréfié ou transformé, créant un déficit de nourriture pour les copépodes qui, disparaissant à leur tour, ont provoqué une

disette pour les sardines et les autres poissons et crustacés... On assista donc à la décroissance de la pêche à la sardine et à la disparition de la production de moules à Tréhiguier qui, avec ses 2000 tonnes, était l'un des grands centres producteurs de moules de la région. Trente ans après, les pieux ont disparu sous 4 mètres de vases accumulées. ■

INCIDENCES EN CASCADE

Depuis la révolution industrielle, les activités de l'homme se sont développées de façon exponentielle: industrialisation, agriculture intensive, multiplication des besoins domestiques, transports locaux et internationaux, mondialisation de l'économie, progrès techniques... Pendant les cinquante dernières années, l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre a provoqué une augmentation des températures de la planète d'environ 1 °C (3 °C dans certaines régions polaires). 84 % de ce réchauffement global a eu lieu dans les océans, qui absorbent également le dioxyde de carbone et l'azote en excès dans l'atmosphère. Un réchauffement des océans de 1 °C peut sembler anodin, mais il s'est réalisé à une vitesse sans précédent et a occasionné des modifications majeures dans les écosystèmes marins.

Pour continuer à se nourrir, à vivre et à se reproduire, le copépode est contraint de s'adapter à ces changements. Il doit parfois quitter des milieux familiers devenus hostiles et se déplacer sur des distances considérables. Rappelons l'exemple des poussées de coccolithes dues aux montées de gaz à effet de serre sur l'océan Atlantique Nord. Lors d'une forte diffusion de CO₂ dans la masse d'eau, ces coccolithes se multiplient massivement, envahissent la zone et réduisent la diversité phytoplanctonique en s'imposant au détriment des autres microalgues, en particulier des diatomées qui sont le plat principal des copépodes. Ces derniers, ayant une bouche trop petite pour avaler des coccolithes, n'ont plus de nourriture équilibrée disponible et ne peuvent que périr ou fuir pour survivre. Aux pôles, sous l'action des vents glacés et de l'évaporation, les eaux de surface refroidissent, deviennent plus denses et plongent en profondeur, constituant l'habitat de repos hivernal des copépodes. Or, depuis 1995, la température des eaux de surface arctiques a légèrement augmenté, au point

de ralentir le flux d'eaux froides vers le fond, réduisant donc cet habitat et obligeant les copépodes à trouver refuge ailleurs. De la même manière, dans certaines zones de l'océan Atlantique Nord, l'eau devenue plus chaude n'est plus propice à la reproduction des copépodes, qui doivent alors migrer vers le nord pour rejoindre des températures aquatiques davantage adaptées à leur développement.

Les migrations forcées des copépodes imposent à leurs prédateurs des déplacements identiques. Dépendant de leur abondance saisonnière pour assurer la nourriture de leur progéniture, des milliers d'espèces de crustacés et de poissons remontent vers le nord à la suite de leur proie de prédilection. C'est le cas des morues qui, déjà surpêchées, voient leur stock de nourriture s'effondrer et n'ont pas d'autre choix que d'effectuer le même déplacement que ce plancton animal alimentant leurs juvéniles. Ces mouvements expliquent la forte diminution des populations de morues en mer du Nord, environ de moitié en vingt ou trente ans, s'accompagnant d'une nette augmentation en mer de Norvège, à quelques centaines de kilomètres au nord. Or ces poissons, consommés et appréciés par l'homme depuis des siècles représentent une véritable manne alimentaire et économique pour les terres alentour. On imagine les préjudices occasionnés par ce déclin des morues, preuve qu'un petit degré de plus dans l'océan peut avoir des conséquences importantes pour la vie humaine sur le continent.

Les réactions en chaîne du plancton face aux modifications climatiques peuvent rajouter au déséquilibre et dérégler momentanément ou définitivement les populations de crustacés, de mollusques et de poissons. En effet, pour ces animaux, les proies ne sont pas toujours interchangeables, tant en raison de leur valeur nutritive que de leur cycle biologique, et certaines peuvent même s'avérer inadaptées. *Calanus finmarchicus* en est une illustration. Depuis 1995, pour survivre dans les nouvelles conditions climatiques, ce copépode migre de l'océan Atlantique Nord vers l'océan Arctique. Arrivant dans les eaux froides du pôle Nord, *Calanus finmarchicus* entre en compétition avec l'espèce autochtone, un copépode plus grand et plus riche en graisse. Les morues, elles-mêmes proies des phoques, ont besoin de cette huile dans leur nourriture et pourraient pâtir de la substitution de l'espèce disponible. Le déséquilibre peut également provenir d'un cycle saisonnier inadapté. Ainsi, en mer du Nord, le copépode préféré des larves de morue, s'étant déplacé vers la mer de Norvège, a été remplacé par une espèce très proche venue du sud. Contrairement au copépode disparu qui pullulait de mars à juin, à la période de reproduction des morues, les nouvelles proies apparaissent de septembre à novembre et ne peuvent donc plus nourrir les bébés morues.

Ce décalage oblige donc ces populations de poissons à migrer à la suite du copépode favori de leurs larves.

Autre réponse aux nouvelles conditions océanographiques : l'évolution morphologique. Effectuant une transformation surprenante par sa rapidité, en vingt ou trente ans, les copépodes de l'océan Atlantique Nord ont réduit leur taille moyenne de 25 à 33 %. Dans les zones proches des régions polaires, certaines espèces sont passées de 3-4 millimètres à 2-3 millimètres. Or les copépodes assurent le transfert du dioxyde de carbone atmosphérique depuis la surface jusqu'au fond des océans à travers la chaîne alimentaire. La diminution de leur taille pourrait induire une réduction, non encore quantifiable, du piégeage du CO₂ dans l'Atlantique Nord, région qui contribue pour un quart au prélèvement total du carbone atmosphérique par l'océan mondial.

CONSÉQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN MILIEU OCÉANIQUE PAR GRÉGORY BEAUGRAND ET ÉRIC GOBERVILLE

Le changement climatique a une influence grandissante sur l'ensemble des composantes du système Terre. Cette contribution présente l'évolution des températures globales et montre que le changement climatique affecte les systèmes biologiques et écologiques de la planète, en particulier ceux de l'océan Atlantique Nord et de ses mers adjacentes. Les changements biologiques attribués au changement climatique concernent le phytoplancton, le zooplancton, les poissons et modifient la dominance de nombreuses espèces ainsi que la structure, le fonctionnement et la diversité des écosystèmes. Les changements sont aussi perçus sur la biogéographie et la phénologie des espèces et ont impliqué, dans certaines régions, des changements écosystémiques abrupts

appelés aussi changements de régime. Ces altérations reflètent un ajustement des systèmes biologiques et écologiques face au réchauffement des températures. Les mécanismes impliqués sont complexes, présentant des points de bifurcation et variant dans le temps et l'espace. La sensibilité des organismes vis-à-vis du réchauffement est forte et de faibles fluctuations des températures peuvent avoir des effets prononcés sur les systèmes biologiques et écologiques. Il est urgent de placer ces systèmes sous surveillance et de développer des indicateurs couplés à des outils statistico-mathématiques adaptés afin de détecter, mieux comprendre et anticiper les modifications des systèmes biologiques et écologiques face au changement climatique global. ■

Dans certaines mers du globe, les populations de copépodes sont exposées à un autre danger : les pullulations de méduses. Les méduses mangent en permanence, de jour comme de nuit, autant de copépodes

que d'œufs et de larves de poissons et de crustacés. Dévastant ce plancton, elles se reproduisent en masse et deviennent énormes. Pouvant atteindre 800 individus par mètre cube d'eau, leur concentration saccage l'écosystème environnant. Le désastre atteint les copépodes de façon radicale : quand les méduses pullulent, ils disparaissent. La pollution, la surpêche et le réchauffement des eaux sont les raisons principales de ces proliférations.

Les exemples de bouleversements locaux sont légion sur la planète et démontrent que les pressions d'origine humaine sur Terre se répercutent avec des effets en chaîne dans les océans. Il est difficile de prévoir de quelle manière et à quelle vitesse réagira le plancton dans le futur. Le danger principal n'est pas pour ces minuscules végétaux et animaux présents depuis des millions d'années et qui savent s'adapter, mais bien plus pour l'homme qui devra s'accommoder des nouvelles situations halieutiques, avec le risque que les futurs écosystèmes marins lui soient moins profitables. ■

CHAPITRE 5

ARTEMIA SALINA

Artemia salina fait partie des crustacés considérés comme les plus primitifs de la faune actuelle. Apparu il y a 100 à 400 millions d'années, ce zooplancton est présent sur tous les continents et à toutes les altitudes, du sommet de la cordillère des Andes à 4 000 mètres jusqu'au niveau de la mer. Il vit dans les eaux saumâtres des lagunes, marais et mares temporaires et surtout dans les eaux à haute salinité comme les lacs salés et les salines. On le trouve, par exemple, dans le Grand Lac Salé de l'Utah (États-Unis), dans les lacs salés du Canada, de la baie de Rio au Brésil ou dans la mer Morte. En Europe, il peuple essentiellement les marais salants. En France, il abonde dans ceux des côtes atlantiques et méditerranéennes, ainsi que dans les salines de Lorraine.

L'INVENTEUR DES PÉDONCULES OCULAIRES

Dans l'ordre d'apparition des espèces, *Artemia salina* fait suite au copépode, dont il garde l'œil nauplien médian, tout en se dotant de deux yeux latéraux externes, une nouveauté qui apporte ainsi sa petite contribution à l'évolution. Sa tête porte également une paire d'antennes prolongées à leur extrémité par trois petites soies. Ces antennes caractérisent le sexe : celles du mâle ont la forme d'une grosse pince courbée servant lors de l'accouplement à maintenir la femelle, chez qui les appendices sont beaucoup plus petits. Dépourvu de carapace, le corps est allongé, constitué d'une vingtaine de segments répartis en un thorax et un abdomen distincts. Sur le thorax, dix paires de pattes à l'allure de feuilles ou de petites ailes oscillent à un rythme régulier dans un mouvement ressemblant à une danse. En plus de leur rôle locomoteur, les pattes servent à la nutrition et à la respiration. Avec leurs soies, elles filtrent la nourriture et l'acheminent vers les deux mandibules. Munies de branchies, elles participent à la fonction respiratoire. Dans sa partie supérieure, l'abdomen possède deux segments génitaux, comprenant pour le mâle deux pénis et pour la femelle une poche en forme de cœur dans laquelle se développent les œufs. À son extrémité se trouve l'anus protégé par de longues soies. Mesurant environ 10 à 15 millimètres, *Artemia salina* peut être pâle, blanc laiteux, verte, transparente, rose ou franchement rouge. Sa couleur varie en fonction de sa nourriture et du milieu environnant.

Malgré la présence de ses yeux, outils des carnivores pour chasser, *Artemia salina* est herbivore. Ce petit crustacé filtre l'eau pour recueillir le phytoplancton ou, quand celui-ci manque, la nourriture disponible dans son environnement, c'est-à-dire des bactéries et de la matière organique. Très efficace pour nettoyer un milieu, il a un rôle de « grand épurateur ». Dans les marais salants, il se gave de *Dunaliella salina*, microalgue riche en carotène qui lui donne sa couleur rose, qu'il transmet à son tour aux flamants roses dont il est le plat préféré. Il est également apprécié de certains oiseaux des marais comme les avocettes. À tous les stades de sa croissance, *Artemia salina* est un aliment idéal pour les larves et juvéniles de crustacés et de poissons.

LES MYSTÈRES DE L'ÉVOLUTION : LA TACHE OCULAIRE

Artemia salina est un cas intéressant dans l'évolution des espèces. Quand il naît, il est cyclope et sa tache oculaire lui permet de se diriger en étant attirée par la lumière. Lorsqu'il devient adulte, deux pédoncules oculaires apparaissent. Une question se pose alors : pourquoi ces deux yeux alors qu'*Artemia salina* est phytophage et n'en a pas besoin pour chasser ? Les biologistes expliquent que, dans l'évolution, les espèces ne sont pas passées directement du cyclope au « deux yeux », il a fallu des intermédiaires. Ainsi, *Artemia salina* est l'animal qui aurait fait ce passage entre le monde des cyclopes herbivores, comme le copépode, et le monde des carnivores avec deux yeux, des chasseurs, comme le krill.

Mais à quoi peut servir cette paire d'yeux, accessoire des carnivores, à *Artemia salina* qui est herbivore ? Et quand bien même ce zooplancton serait-il chasseur, il est le seul à survivre dans ces milieux extrêmes où il n'y a donc pas d'autres animaux à manger ! Le biologiste répond : il mange du phytoplancton, c'est sûr, mais, comme c'est un filtreur, il se nourrit aussi de

bactéries et de matières organiques en suspension dans l'eau, remplissant son rôle d'éboueur. Mais ses deux yeux ne lui servent à rien, dans le milieu où il se trouve, puisqu'il n'a pas de concurrence ! Oui et non, car un petit animal, unicellulaire, vit à ses côtés : *Fabrea salina*, qui est un protozoaire, comme lui détritivore et nettoyeur de matière organique. Alors *Artemia salina* mangerait-elle *Fabrea salina* ? C'est possible... On ne sait peut-être pas tout de la cohabitation de ces minuscules animaux !

Sur l'échelle de l'évolution, après les zooplanctons permanents *Artemia salina* et le krill suivent les poissons et les crustacés (crevettes, homards...) qui font partie du zooplancton temporaire à l'état larvaire. L'observation au microscope des œufs de ces animaux permet de voir la tache oculaire qu'ils ont gardée en mémoire. À la naissance, certains, comme les gambas, n'ont qu'une tache, puis très rapidement, trente-six heures après, apparaissent les deux yeux. D'autres, comme le bouquet ou la langouste, naissent avec les deux yeux, mais la tache est toujours visible, même si elle reste discrète et inutile. [...]

[...] Le même principe existe chez les humains avec la petite protubérance en bas du dos, assortie d'une discrète tache marron chez les enfants, qui est un vestige de queue. Queue qui peu à peu s'est

rétrécie en perdant de son utilité. Cette empreinte est une preuve que l'homme descend du singe et une trace de son ancienne situation de quadrupède. ■

S'IL FAUT UN DERNIER...

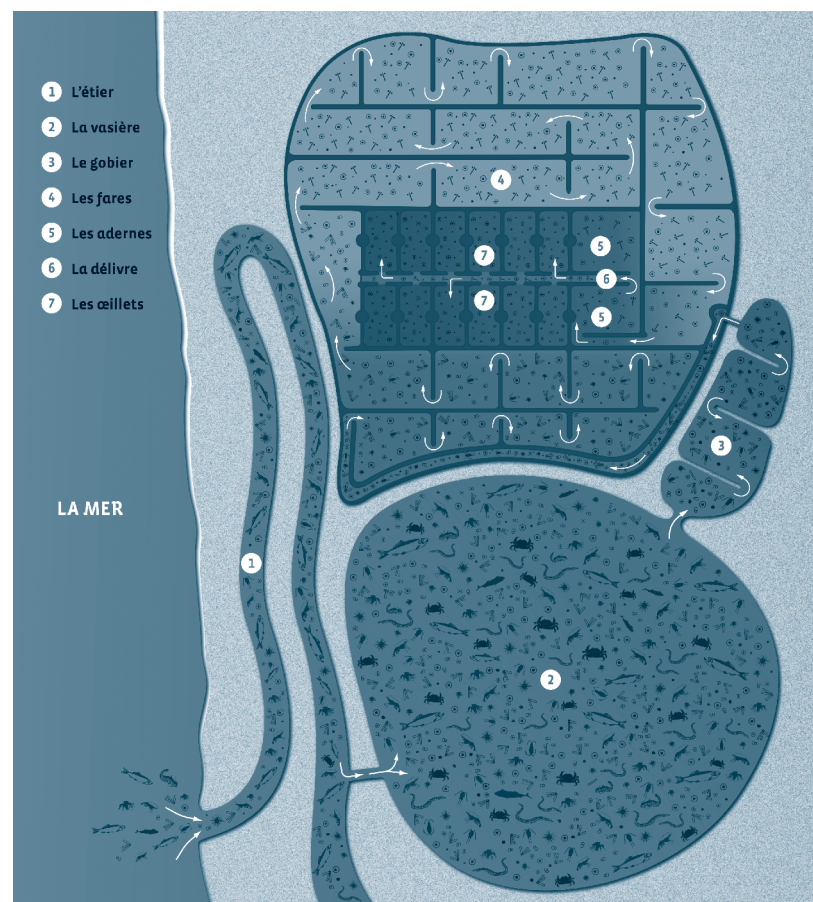
Ce zooplancton très résistant est capable de vivre dans des conditions extrêmes. Grâce à lui, la vie est partout et perdure dans des milieux devenus hostiles, comme les marais salants. Le principe des marais salants est simple : faire évaporer l'eau de mer pour récolter le sel. L'eau, amenée par la marée haute, remplit une suite d'étangs, de réservoirs, puis circule lentement dans des bassins rectangulaires de moins en moins profonds jusqu'au délivre, le petit canal central qui amène l'eau dans les œillets où cristallise le sel.

Au fur et à mesure de ce long parcours d'évaporation, les espèces disparaissent une à une, ne pouvant supporter la salinité qui augmente. Dans le délivre, où la concentration en sel dépasse 200 grammes par litre d'eau, alors que la mer en contient 34 grammes par litre, la diversité a disparu. Plus de diatomées, plus de copépodes... *Artemia salina* est la seule espèce de plancton animal pouvant y subsister. Elle s'y développe d'ailleurs considérablement du fait de l'absence de prédateurs capables de résister aux fortes salures du milieu. Seuls quelques oiseaux viennent la picorer, mais trop peu pour l'empêcher de proliférer. Ce zooplancton prospère dans cette partie de la saline grâce au phytoplancton *Dunaliella salina* et au protozoaire *Fabrea salina*. Ces espèces, étant les seules capables d'y vivre, installent à elles trois un écosystème équilibré pendant toute la période de récolte du sel.

Durant la saison, à la suite de la longue évaporation estivale, les œillets cristallisent à leur tour. Lorsque la concentration atteint 300 grammes par litre, elle devient alors vraiment trop forte pour *Artemia salina* qui meurt à son tour... mais n'a pas dit son dernier mot ! Car avant l'arrivée de cette salinité maximale, ce petit crustacé a eu le temps de se reproduire massivement et de pondre une multitude d'œufs à la coquille tellement épaisse et dure qu'ils peuvent attendre, enfouis dans la vase, le retour de l'eau pour éclore. Ainsi, même asséché, le marais n'est pas un désert. Tout semble mort, mais la vie est bien là : microscopique, le phytoplancton *Dunaliella salina* se développe en quantité dans la couche de sel qui prend une belle

couleur orangée, et, cachés dans la vase, les œufs enkystés d'*Artemia salina* attendent des jours meilleurs...

Du plancton dans les marais salants



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

UNE ALLIANCE ENTRE L'HOMME ET LES MARAIS

Le métier du paludier (ou saunier) ne consiste pas seulement à ramasser le sel, mais d'abord à entretenir toutes les surfaces du parcours de l'eau. À la fin de l'hiver, il doit préparer son marais : nettoyer les fonds, vérifier les pentes, dégraisser les conduites qui amènent

l'eau, remodeler les chemins et les levées qui séparent les bassins. Le marais ne « saune » que s'il a été parfaitement entretenu. À la fin du printemps, les vannes s'ouvrent sur la mer et le circuit d'évaporation de l'eau commence. Après un long parcours dans les réservoirs [...]

[...] puis les différents couloirs et bassins, l'eau arrive sursalée dans l'œillet, ou aire saunante, qui mesure 4 à 5 mètres de côté et 5 centimètres de profondeur. Là, la salinité est telle que, l'eau s'évaporant, le sel cristallise. Et le paludier peut enfin récolter le sel. À l'aide du las, sorte de grande raclette au manche de 5 mètres de long, il recueille les cristaux de sel et les rassemble en petits tas sur les levées d'argile qui séparent les bassins. Le sel s'égoutte quelques jours avant d'être mis dans un tas plus gros, puis transporté au hangar où il est entreposé. En automne, au moment où le paludier rend les marais à la mer, les juvéniles de poissons et crustacés y pénètrent et y trouvent une alimentation foisonnante et adaptée à leur taille, grâce au plancton qui y prospère, et en particulier *Artemia salina*.

Le travail des marais salants est éternuant et aléatoire. Le résultat dépend du temps, surtout sur la côte atlantique où la récolte peut se compter en tonnes ou bien être nulle. Le soleil n'est pas seul en jeu, l'évaporation se faisant aussi avec le

vent. Après une forte concurrence du sel gemme extrait industriellement, qui a provoqué la disparition de nombreuses salines, cette activité reprend son essor avec la demande grandissante de produits « naturels », les marais salants offrant un sel d'une extraordinaire qualité, très riche en oligoéléments. Ils participent également à l'équilibre écologique local tout en créant un paysage magnifique.

Le lieu de travail du paludier comprend :

- la vasière : grand réservoir d'eau de mer alimenté par un canal principal et des étiers ;
- le gobier : réservoir de moindre dimension qui sert à la préparation de l'eau avant de la faire entrer dans la saline ;
- les faras : canaux agencés de manière à obliger l'eau, déjà concentrée, à suivre de nombreux méandres ;
- les adernes : vestibules de la saline ;
- la saline : elle est divisée en de nombreux compartiments réguliers, les œillets, où le sel cristallise. ■

ARTEMIA SALINA, LE RETOUR !

Pendant une partie de l'année, l'activité du paludier réduit la diversité biologique dans les marais salants, mais après la récolte, quand les vannes s'ouvrent pour « noyer la saline », la mer reconquiert ces espaces. Dans les œillets et le délivre, lorsque l'eau revient, la vie planctonique redémarre. À commencer par *Artemia salina* dont les œufs émergent des vases, éclosent et libèrent en masse des larves qui, une fois adultes, se reproduisent à leur tour. La salinité redevenant progressivement normale, crustacés et poissons arrivent de l'océan, réinvestissent ces milieux et y trouvent une manne de nourriture extraordinaire, l'abondance d'*Artemia salina* constituant un vrai garde-manger pour la nurserie de leurs larves et juvéniles.

Ce zooplancton est la face cachée des marais salants, leur partie invisible révélée en été, alors qu'ils semblent totalement appauvris, par la nidification de certains oiseaux qui viennent encore s'y nourrir.

En automne, lorsque l'eau coule de nouveau à flots, *Artemia salina* est l'animal qui redonne vie au monde élaboré des salines, se développant à profusion et offrant ainsi un festin aux espèces venues reconquérir cette zone. Ainsi, malgré leur apparence, les marais salants sont une mine de vie pour l'écosystème environnant. Grâce à l'entretien permanent du réseau hydraulique, phytoplancton et zooplancton y prospèrent et, une fois libérés dans l'eau alentour, se propagent dans l'océan jusqu'aux parcs aquacoles (conchyliculture, pisciculture...) où ils alimentent les pensionnaires. Bien ravitaillés, ces animaux d'élevage pondent des millions de larves qui se diffusent largement dans la mer, nourrissant à leur tour les poissons et crustacés du littoral, au bénéfice des pêcheurs. Ainsi, apportant leur contribution à la richesse des espèces de la chaîne alimentaire du milieu, les marais salants sont un atout pour les activités de pêche et d'aquaculture locales et pour l'économie de la zone côtière.

UNE REPRODUCTION AVANTAGEUSE

La reproduction d'*Artemia salina* est abondante et, semblant vouloir aboutir coûte que coûte, peut prendre plusieurs voies selon l'espèce ou l'environnement. En cas de reproduction sexuée, lors de l'accouplement, le mâle s'accroche à la poche de la femelle à l'aide de ses pattes recourbées et reste enlacé à elle pendant plusieurs jours. Après la fécondation, les femelles peuvent être vivipares et donner naissance à des larves (nauplius) déjà formées (jusqu'à 200 par minute) si le milieu leur est favorable. Dans le cas contraire, elles sont ovipares et pondent des œufs de résistance (cystes), à la coquille très dure et épaisse, capables de patienter dans les vases et de survivre à des conditions hostiles : sécheresse totale, salinité intense, températures extrêmes... L'embryon suspend alors son développement et attend, parfois pendant des années, que le contexte s'améliore pour reprendre les étapes de sa formation jusqu'à l'éclosion. Certaines espèces particulières peuvent aussi se reproduire par parthénogénèse. Dans ce cas, seules les femelles assurent la reproduction, mais elles n'ont pas la faculté de fabriquer d'œufs de résistance. Cependant, lorsque la conjoncture devient critique pour leur survie, des mâles apparaissent et une reproduction sexuée prend place. C'est seulement dans ce cas que des cystes peuvent être produits.

Lorsque l'environnement redevient propice (retour de l'eau...), les cystes se réhydratent et reprennent le cours de leur croissance. Après un temps d'incubation de vingt-quatre à soixante-douze heures, ils éclosent et donnent naissance à une larve nauplius qui reste attachée

à la coquille pendant cinq à six heures, le temps de consommer la réserve de matière nutritive contenue dans son sac vitellin. Mesurant un quart de millimètre (25 microns) au départ, *Artemia salina* passe par un certain nombre de stades larvaires (nauplius, métanauplius et juvénile) avant d'atteindre sa forme définitive et sa taille adulte (10 à 15 millimètres). Son développement, de l'éclosion à la maturité sexuelle, dure environ vingt à vingt-cinq jours. *Artemia salina* vit de quelques jours à quelques semaines.

La capacité d'*Artemia salina* de naître à retardement grâce à ses œufs de résistance en fait une solution idéale pour l'aquaculture, en particulier pour les élevages complets de poissons, c'est-à-dire à partir d'œufs fécondés jusqu'aux adultes. Chaque stade larvaire devant être alimenté avec une nourriture de préférence vivante et de diamètre inférieur à celui de la bouche de la larve, les cystes, grâce à leur rapidité d'incubation, permettent une programmation de leur éclosion seulement deux jours à l'avance. Selon la taille des larves, les nauplius sont distribués dès leur naissance ou après vingt-quatre à quarante-huit heures d'enrichissement en protéines et lipides sous forme de microalgues d'eau douce déshydratées, comme la spiruline, très riche et peu onéreuse. Cette simplicité d'utilisation ainsi que ses qualités nutritionnelles font d'*Artemia salina* un aliment de choix pour la plupart des écloseries et élevages de poissons et de crustacés dans le monde entier. Par ailleurs, la conservation à sec des œufs pendant plusieurs années et leur facilité de stockage et d'expédition présentent également des avantages pour les circuits de vente de l'aquariophilie qui en sont de grands consommateurs. En effet, les aquariophiles utilisent couramment les œufs d'*Artemia* car ils sont avantageux, 1 gramme de cette « poudre » contenant jusqu'à 300 000 œufs et donc jusqu'à 300 000 nauplius. Les producteurs de cystes sont répartis un peu partout dans le monde : États-Unis, Brésil, Asie, Espagne... En France, les lieux de capture sont essentiellement les Salins du Midi et de l'Est.



ARTEMIA SALINA, UN GADGET !

Grâce à sa coquille dure et résistante, *Artemia salina* a connu un moment de popularité à la fin des années 1970 lorsque le magazine Pif Gadget a offert un sachet de ses œufs à faire éclore. Les lecteurs de cette revue pour la jeu-

nesse s'en souviennent sous le nom de Pifises. ■

(Pif Gadget, n° 60, avril 1970 : « Le sachet miracle ! La poudre de vie » ; Pif Gadget n° 1, 2004 : « Donne la vie à tes Pifises » et le Journal de Mickey en 1996 et 2002).

ÉLEVEZ VOS ARTEMIA

Artemia salina est un animal facile à élever. Après avoir acheté des œufs (cystes) dans un magasin animalier aquariophile, il faut préparer l'eau: la porter à une température comprise en 20 et 32 °C et la saler à 33 grammes par litre (4 cuillères à café de sel de mer). Puis il suffit d'y installer les cystes, d'aérer régulièrement l'eau à l'aide d'une paille ou d'un «bulleur» d'aquarium, pour y apporter l'oxygène nécessaire, et d'attendre... Au bout de quelques

jours (un à cinq selon la température), les nauplius naissent. Pour les nourrir, un peu de phytoplancton en poudre fait l'affaire. Pour les récolter, on peut simplement placer le récipient à proximité d'une source de lumière: les nauplius sont attirés vers elle et il n'y a plus qu'à les siphonner. Ces œufs séchés sont un produit très utilisé car ils se conservent longtemps et peuvent éclore selon les besoins de nos petits poissons d'aquarium. ■

LA VIE VOYAGE

Pourquoi des microalgues vertes ou de minuscules animaux investissent soudain une bassine d'eau oubliée dans notre jardin? Comment des espèces apparaissent dans un milieu ou se répandent d'un endroit à un autre? Autrement dit, comment la vie voyage? Le vent et les embruns véhiculent des micro-organismes qui, posés ici ou là, peuvent se reproduire et se multiplier. Les oiseaux sont eux aussi des transporteurs, des passeurs de poussières de vie. Portant sur leurs ailes des microalgues ou des œufs de poissons glanés lors d'un plongeon dans l'océan, les oiseaux, volant d'un lac à l'autre, jouent un rôle

de distribution des espèces et d'enrichissement de la chaîne alimentaire des milieux.

Par exemple, l'eau attire les oiseaux qui viennent picorer dans les marais, puis s'envolent, avec des œufs d'*Artemia salina* dans leurs plumes, vers d'autres étangs où ils pêchent pour se nourrir. Là, les œufs de plancton se répandent dans l'eau et y éclosent, tandis que des œufs de poissons se collent sur les pattes des oiseaux et seront déposés plus tard dans les marais salants à leur prochain passage. Ainsi se fait le réensemencement de la vie dans les marais. ■

RÉSISTANT MAIS PAS INVINCIBLE

Habitant les zones côtières, *Artemia salina* est sensible à la qualité des eaux littorales. Les principaux dangers pour ce zooplancton s'appellent herbicides, pesticides, insecticides... Or ces derniers sont très souvent utilisés pour lutter contre les invasions de moustiques aux abords des marais littoraux et des marais salants, comme par exemple ceux des Salins du Midi en Camargue. Malheureusement, si ces produits

chimiques déciment les insectes, ils tuent aussi les *Artemia*. Et lorsque, dans le meilleur des cas, elles y résistent, leurs œufs n'y échappent pas. Les embryons sont protégés par leur épaisse coquille, mais celle-ci en est imbibée. Ainsi, récoltés puis utilisés en écloserie, ces cystes imprégnés, une fois plongés dans l'eau, diffusent leur insecticide dans les bassins, tuant larves de bar, jeunes crevettes... Dans l'élevage, tout meurt. Les œufs d'*Artemia* sont en vente dans le commerce et produits un peu partout dans le monde (États-Unis, Europe, Chine, Vietnam...). Certains pays les récoltent, les conditionnent et les expédient sans protections sanitaires, avec le risque pour les acheteurs d'une contamination invisible au DDT, pesticide ou autre polluant. Ainsi, en plus d'anéantir les populations d'*Artemia salina* des marais salants et l'équilibre planctonique local, ces produits ont une portée bien plus étendue, puisqu'ils peuvent involontairement se retrouver à l'autre bout du monde!

Dans les marais salants, *Artemia salina* prospère grâce au paludier qui, par son travail, lui apporte les conditions idéales pour son développement et sa reproduction. Mais s'il n'y a plus d'activité économique, lorsque l'homme quitte les marais, l'écosystème change du tout au tout. Les arrivées d'eau de mer étant condamnées, la pluie remplit peu à peu les bassins asséchés. Noyé par l'eau douce, le milieu devient hostile pour *Artemia salina* qui se terre alors dans ses œufs de résistance... Tandis qu'à la surface la flore se déploie et la faune se modifie: flamants roses, avocettes et hérons cèdent la place aux oiseaux d'eau douce, comme les canards et les foulques qui intéressent les chasseurs. Ne se reproduisant pas dans l'eau salée, mais pullulant dans les eaux stagnantes, les moustiques, qui n'intéressent personne, infestent les lieux et les alentours. Quand l'homme change, la nature s'adapte et reprend ses droits. Patiente, *Artemia salina* attend son tour! ■

APRÈS LE SEL... LES MOUSTIQUES!

Dans certaines régions touristiques, en bordure de côte, il arrive que des marais salants cessent leur activité. Lorsqu'ils ne sont plus exploités par le paludier, les vannes sont fermées pour condamner la circulation de l'eau de mer, car le va-et-vient des marées réclame un minimum d'entretien du marais, ce qui a un coût... Ainsi asséchés, les marais se comblent tout doucement, une faune et une flore s'installent, des roseaux poussent...

Apportée par la pluie, l'eau douce investit l'espace et stagne dans les bassins abandonnés qui deviennent un paradis pour les insectes et un nid à prolifération de moustiques. Moustiques et tourisme n'étant pas compatibles, des luttes chimiques s'engagent... Ainsi, une pollution à répétition se propage progressivement dans la zone littorale, avec le risque de déséquilibrer l'écosystème marin: bloom phytoplanctonique, mortalité [...]

[...] dans les élevages aquacoles, contamination des coquillages devenant impropres à la consommation, etc. Pourtant, une autre solution existe. Lorsque les marais salants ne sont plus exploités, la réponse est de les laisser ouverts à l'eau de mer, car les moustiques ne se

reproduisent pas dans l'eau salée. Cette lutte biologique demande effectivement une petite activité économique, mais elle est simple, efficace, naturelle et écologique. Elle évite surtout les conséquences non maîtrisées qui peuvent engendrer bien d'autres frais ! ■

CHAPITRE 6

LE KRILL

Krill est un mot norvégien, inventé par les baleiniers, qui signifie « nourriture des baleines ». Dans le langage courant, il désigne les « crevettes » des eaux froides dont se nourrissent les baleines. Le krill est en réalité le nom générique de 85 espèces de petits crustacés de la famille des euphausiacés, dont *Euphausia superba*, le fameux krill antarctique qui grouille dans l'océan Austral, et *Meganyctiphanes norvegica*, son cousin de l'Arctique et de l'Atlantique Nord, qui constituent la nourriture planctonique des cétacés à fanons ; le krill désigne également les nombreux mysidacés habitant les zones littorales tempérées.

INDISPENSABLE AUX RÉSEAUX TROPHIQUES

Zooplancton des eaux salées ou saumâtres, le krill est présent sous toutes les latitudes et dans toutes les mers du monde. Les euphausiacés les plus grands et les plus abondants, comme *Euphausia superba*, vivent dans les eaux froides près des pôles où ils forment des masses énormes s'étendant parfois sur des centaines de kilomètres carrés. Dans les eaux tempérées et tropicales, à l'image de *Meganyctiphanes norvegica*, ils sont plus petits et peuplent, par exemple, les mangroves en Afrique ou le littoral de Méditerranée et de Bretagne. Les mysidacés, pour la plupart marins, mais aussi d'eau douce, sont surtout concentrés dans les mares, marais et estuaires des régions tempérées. Apparaissant en forte densité, ils font le bonheur des poissons et des oiseaux de ces milieux.

Après le copépode, le krill est, en nombre, l'un des animaux les plus abondants de la planète. Dans l'océan, une dizaine d'espèces d'euphausiacés constituent à elles seules l'une des plus importantes biomasses de protéines animales mondiales, à l'instar d'*Euphausia superba*, l'espèce la plus prospère sur Terre, avec une population qui atteindrait 600 000 milliards d'individus. Ainsi, si les baleines migrent périodiquement vers les pôles, c'est pour profiter de cette ressource saisonnière et filtrer, avec leurs fanons, ces immenses nuées comptant jusqu'à plusieurs dizaines de milliers d'individus par mètre cube. Consommant plusieurs tonnes de krill par jour, ce gigantesque mammifère marin est la preuve de l'impressionnante quantité

de ce zooplancton, abondance rendue possible grâce à la richesse et à la diversité du phytoplancton qui, lui-même, a besoin d'une eau de qualité pour se développer. Ainsi, par sa présence, la baleine raconte la vie sous la surface. Elle est la partie visible de l'iceberg d'un océan en bonne santé.

Si le krill est vital pour de nombreux animaux marins à fanons (baleines franches, rorquals...), il constitue également une source de nourriture essentielle pour les calmars, manchots, oiseaux de mer, phoques et autres mammifères marins (dauphins, orques, cachalots...) et fait le régal des gros poissons (thon, espadon, saumon...). En Antarctique, l'espèce *Euphausia superba* joue un rôle majeur dans l'écosystème marin. Ce petit crustacé est indispensable aux cétacés qui en avalent des dizaines de millions de tonnes par an, mais aussi aux phoques dont certaines espèces en dépendent pour leur survie, comme le phoque crabier qui a une alimentation composée à près de 98% d'*Euphausia superba*. Il constitue également la majeure partie du régime alimentaire de nombreux oiseaux marins de l'Antarctique, comme, par exemple, les 36 millions de couples d'oiseaux qui nichent sur la seule île de Géorgie du Sud. Ainsi, à l'instar d'*Artemia salina* dans les fortes salinités des marais salants, le krill est l'espèce clé des régions froides. Tous deux semblent avoir pour mission de se développer pour être mangés et permettre la vie dans ces milieux extrêmes.

Le krill est consommé à tous les étages de la pyramide alimentaire marine : du plus gros mammifère marin au saumon et autres poissons, en passant par le phoque, le dauphin, le manchot, le requin, la raie manta... Ainsi, bien qu'il soit très petit, de quelques millimètres à quelques centimètres selon les espèces, sa quantité considérable en fait un maillon prédominant des réseaux trophiques marins. Se nourrissant principalement de phytoplancton (diatomées), ce zooplancton herbivore transforme la matière végétale en matière animale qui sert d'aliment aux prédateurs carnivores. Ainsi, le krill est, tout comme le copépode, un élément indispensable pour réaliser le passage du monde végétal au monde animal dans le milieu océanique et a donc un rôle primordial dans la chaîne alimentaire marine.

UNE ÉTAPE DANS L'ÉVOLUTION

Ce petit crustacé à l'allure de crevette n'en est pas une. Le krill est un plancton animal permanent, considéré comme dérivant passivement dans la masse d'eau, bien qu'il s'y meuve sensiblement, avec des pointes de vitesse jusqu'à 60 centimètres par seconde, contrairement à la crevette dont seuls les œufs et les larves font partie du plancton

animal (temporaire), puis le quittent en devenant adultes et capables de contrer les courants. Semblant s'être arrêté de grandir au stade larvaire mysis (d'où l'appellation « mysidacé »), il est l'un des derniers paliers d'évolution des crustacés dans le zooplancton permanent. Chacun apportant sa contribution pour que les suivants, à l'échelon supérieur, puissent apparaître et évoluer à leur tour, le krill fournit les derniers atouts qui permettent le passage au zooplancton temporaire et aux grands crustacés.

Faisant suite au copépode, l'inventeur de l'œil nauplien médian, et à *Artemia salina* qui y a ajouté les deux yeux, le krill a eu pour rôle principal de créer une carapace rigide. Composé de chitine, cet exosquelette protecteur recouvre la tête et les premiers segments thoraciques, laissant les branchies visibles. Petit animal très élaboré, le krill possède des antennes et deux grands yeux noirs, la trace d'une tache oculaire subsistant bien qu'elle soit devenue inutile. Au niveau du thorax, ses nombreuses antennules munies de soies s'agitent en permanence pour filtrer la nourriture. Son abdomen allongé porte cinq paires de pattes sans pinces, ce qui le différencie de la crevette. Celles-ci bougent constamment avec un mouvement joliment coordonné. En effet, plus lourd que l'eau, il dépense ainsi 40% de son énergie simplement pour se maintenir à flot. Son corps est translucide, majoritairement bioluminescent et pigmenté de petits points rouges, l'ensemble étant d'une beauté motivant le nom d'*Euphausia superba*. Son appareil digestif, visible par transparence, est coloré en vert, rouge ou brun selon le phytoplancton en cours de digestion. D'un poids moyen de 2 grammes, le krill peut vivre plusieurs années, à la différence des copépodes dont la durée de vie ne dure que quelques semaines.

Selon la zone géographique, la morphologie et la taille des espèces varient. Dans l'océan Atlantique Nord, par exemple, l'euphausiacé *Meganyctiphanes norvegica* mesure 6 à 7 millimètres avec une silhouette légèrement « cassée », en forme de S, et une carapace souple, tandis que son cousin du pôle Sud *Euphausia superba* atteint 5 à 7 centimètres et possède un exosquelette rigide ne présentant pas de courbure dorsale à l'état adulte. Les mysidacés, eux, se distinguent des euphausiacés par leur taille plus petite et leur carapace molle. De plus, ils vivent généralement près du fond et, selon les espèces, peuvent s'enfouir dans les sédiments ou remonter vers la surface la nuit.

La couleur du krill, elle aussi, dépend de la région où il se trouve. Dans les eaux froides des océans Arctique et Antarctique, ce zooplancton est plutôt rouge car il se nourrit de la forte concentration de diatomées, riches en caroténoïdes, ainsi que de copépodes qui en font

eux-mêmes une grosse consommation. Mangé à son tour, le krill est à l'origine de la coloration rose-orange de la chair des poissons comme le saumon sauvage. Dans les eaux littorales tempérées ou les mangroves tropicales, le plancton végétal est plus diversifié (diatomées, chlorophycées...) et souvent plus riche en chlorophylle au détriment du carotène. Selon le mélange des pigments, les microalgues ont une teinte plus ou moins prononcée, transmise ensuite aux copépodes et au krill.

À LA POURSUITE DES DIATOMÉES

Le krill est herbivore, carnivore ou omnivore, selon l'espèce, l'âge et l'environnement. Pendant sa croissance, la larve est d'abord phytophage et se nourrit de microalgues, de préférence des diatomées, puis, sa bouche devient rapidement assez grande pour dévorer des copépodes. S'adaptant à la nourriture de saison, l'adulte, lui, mange, selon la disponibilité, phytoplancton ou copépodes et, si besoin, de la matière organique.

En été, le krill s'alimente majoritairement de plancton végétal présent en abondance dans les océans. Il se déplace en bancs gigantesques de milliards d'animaux nageant à contre-courant pour filtrer avec leurs soies les particules en suspension. Associant une nage active à la dérive par les courants, ces essaims migrent en permanence, parfois sur de longues distances, à la recherche de leur menu préféré : les diatomées. En Antarctique, les nuages d'*Euphausia superba* se déploient sur plusieurs centaines de kilomètres carrés. Le jour, ils sont visibles sous forme de taches rouges immenses s'étalant à la surface de la mer. La nuit, ils sont fluorescents et brillent dans l'obscurité. Avalant plusieurs tonnes de krill par jour, les baleines suivent le mouvement, le minuscule crustacé imposant ses migrations au géant des mers ! Fuyant les fanons de ces grands mammifères, les «troupeaux» de krill plongent vers les fonds le jour et remontent vers la surface la nuit pour se nourrir de la vie planctonique foisonnant à la lumière pendant la journée. Grouillant de milliards d'individus qui brassent l'eau de leurs petites pattes, cette masse descend dans les profondeurs, puis revient vers le haut en mouvements journaliers, réguliers et incessants, comme ceux du yo-yo. Volumineuses, ces «transhumances» verticales participent au mélange des couches thermiques des océans.

En hiver, lorsque les algues planctoniques se font rares, le krill modifie son régime alimentaire. Il consomme alors des œufs, des larves et des détritiques organiques. Pour survivre, il peut même manger

sa progéniture. Pendant cette période de disette, ce petit crustacé se réfugie sous la banquise à la recherche de phytoplancton. En cas de pénurie, il brosse le dessous de la glace à l'aide de ses pattes thoraciques pour collecter les microalgues accumulées. À cette saison, le krill perd généralement du poids et son corps rapetisse. Certaines espèces peuvent alors muer pour réduire la dimension de leur carapace. La grosseur des yeux ne diminuant pas, leur taille relative par rapport à l'ensemble est donc un indicateur du manque de nourriture. Au retour de la période estivale, le krill se régale du plancton végétal qui pullule à nouveau. Son corps regrossit et il doit alors réaliser une nouvelle mue pour réajuster sa carapace. L'abondance nutritionnelle revenue, le krill retrouve son plein développement. La saison de reproduction peut commencer.

UN COMPORTEMENT GRÉGAIRE

Quelle que soit l'espèce, le krill a partout un comportement grégaire dicté par l'abondance du plancton végétal dont il se nourrit. Vivant en bancs dans les eaux froides, *Euphausia superba* se déplace en fonction des fortes proliférations printanières et estivales de microalgues. En Antarctique, repérés dans le détroit de Gerlache notamment, ces essaims de milliards d'animaux peuvent atteindre 2 millions de tonnes, s'étendre sur 450 km² et se maintenir compacts plusieurs jours avant de se dissoudre. Ces bancs évoluent tout autour du pôle Sud et constituent un festin pour les espèces qui y vivent. Dans les eaux du Saint-Laurent au Canada, le krill se concentre en nuages, pouvant atteindre

plusieurs kilomètres de longueur et jusqu'à 100 mètres d'épaisseur, qui dérivent dans le chenal Laurentien et remontent jusqu'à Tadoussac, le rendez-vous annuel des rorquals et des bélugas. En mer Méditerranée, le déplacement du krill est également dicté par les pululations de phytoplancton. Ainsi, en baie de Calvi, l'espèce *Meganyctiphanes norvegica* s'approche de la surface au mois de mars pendant quelques jours à la suite de la poussée de diatomées qu'elle consomme quasi complètement. Une grande partie de ces nuées de krill échoue sur les plages, mais celui-ci est aussitôt consommé par les oiseaux et les petits rorquals qui s'approchent des côtes à cette époque. ■

LA REPRODUCTION D'*EUPHAUSIA SUPERBA*

Le krill antarctique commence à se reproduire à sa maturité sexuelle, à partir de 2 ans. La saison de ponte s'étend généralement de la fin du printemps au milieu de l'été. Le krill pond tant que la nourriture abonde, jusqu'à sept fois par année dans les meilleures conditions. Lors de la reproduction, le mâle attache un sac contenant du sperme

(spermatophore) à l'ouverture de l'appareil génital de la femelle qui, lorsqu'elle est prête, lâche dans l'eau de 6 000 à 10 000 œufs aussitôt fertilisés par le sperme libéré par le spermatophore. Mesurant 0,6 millimètre (60 microns), les œufs sont pondus et fécondés près de la surface, puis descendent doucement vers le fond océanique, tandis que l'embryon se développe dans sa coquille. Cette chute peut durer une dizaine de jours, jusqu'à une profondeur de 500 à 3 000 mètres selon le lieu de la ponte, au-dessus du plateau océanique ou des grands fonds. Après l'éclosion des œufs, les larves (nauplius) commencent à migrer vers la surface à l'aide de leurs trois paires de pattes. Pendant les trois premières semaines, correspondant aux deux premiers stades de développement (nauplius et métanauplius), elles s'alimentent du contenu de leur sac vitellin. Leur croissance suit ensuite différentes étapes (zoé, mysis) qui se caractérisent par l'apparition de pattes additionnelles, des yeux et des soies. À 15 millimètres de longueur, le juvénile ressemble beaucoup à l'adulte. Après trois étapes supplémentaires, il atteint la maturité sexuelle et sa taille définitive (environ 5 centimètres) entre 2 et 3 ans.

Comme la plupart des crustacés, le krill mue tout au long de sa croissance. Toutes les deux ou trois semaines, il se fabrique un nouvel exosquelette de chitine plus grand, laissant derrière lui l'exuvie. Comme on l'a vu, certaines espèces peuvent également développer un processus inverse et muer pour réduire leur taille, s'adaptant ainsi aux variations saisonnières des ressources en nourriture. Par ailleurs, lorsqu'il est menacé, le krill peut parfois muer instantanément, laissant derrière lui un squelette vide en guise de leurre.

Lors de l'été austral, une multitude de ces petits crustacés atteignent les couches supérieures de l'océan Antarctique et rejoignent les essaims gigantesques d'*Euphausia superba* pour y terminer leur croissance. Vers la fin de l'hiver, les baleines effectuent une migration de 6 000 à 8 000 kilomètres vers ces eaux froides à la recherche de ces millions de tonnes de nourriture formant des nuages s'étendant parfois sur des centaines de kilomètres carrés, une baleine bleue pouvant en absorber à elle seule jusqu'à 5 tonnes par jour. Mais cette abondance n'intéresse pas que les baleines...

UN CONCENTRÉ DE VERTUS

L'espèce *Euphausia superba* possède d'exceptionnelles qualités nutritionnelles. Outre sa richesse en protéines et une forte teneur en acides gras oméga-3, elle contient un antioxydant puissant (l'astaxanthine) et un cocktail de vitamines (B, E et D), de minéraux (fer,

cuivre...) et d'oligoéléments (iode...). De plus, la chitine contenue dans sa carapace est une substance organique proche de la cellulose utilisée en médecine pour reconstituer la peau des grands brûlés. Un autre atout de ce minuscule crustacé est sa place en début de chaîne alimentaire, car il est ainsi moins chargé en métaux lourds que les poissons gras de grande taille (saumon, thon) qui, en tant que prédateurs, accumulent les matières nocives contenues dans leurs proies.

DES TRÉSORS MÉCONNUS

Le krill, crustacé tout petit, a proportionnellement beaucoup de carapace et donc un taux de chitine important. La chitine est un élément entrant dans la composition des exosquelettes des animaux marins, mais également dans celle de la peau humaine. Les Japonais l'utilisent pour fabriquer des feuilles très fines de peau artificielle servant à la cicatrisation des plaies des grands brûlés. Ce soin à base de chitine est souvent utilisé en chirurgie réparatrice. Ainsi, les carapaces du krill ou des crevettes peuvent avoir un intérêt économique, souvent méconnu. Une entreprise bretonne a eu l'idée de recycler les carapaces des crabes verts et des crevettes décortiquées, qui sont jetées une fois la

chair extraite, pour produire de la chitine. En Afrique et en Asie, quantité de crustacés sont pêchés, puis décortiqués par des femmes qui jettent les carapaces, ignorant qu'elles mettent de la chitine pure à la poubelle. Potentiellement, elles pourraient gagner plus d'argent avec la carapace qu'avec la chair des crevettes ! De la même manière, dans certains ports d'Asie, les poubelles regorgent d'un autre trésor : les *Anomia*. Ces petits coquillages nacrés que l'on appelle « nacre » et que l'on trouve occasionnellement sur nos plages sont, là-bas, énormes et abondants. Les *Anomia* sont constituées de nacre pure qui peut servir en chirurgie pour la réparation osseuse... ■

Le krill fait partie des nouveaux ingrédients reconnus par la Communauté européenne. L'huile de krill est aujourd'hui vendue en pharmacie et en magasin bio, sous forme de gélules, comme complément alimentaire aux multiples propriétés (action anti-inflammatoire, prévention des maladies cardio-vasculaires, réduction des effets du syndrome prémenstruel...), avec un succès grandissant. La prochaine étape sera sans doute la production de préparations culinaires permettant au krill, au goût proche de celui de la crevette, d'entrer dans l'alimentation humaine. Depuis quelques années, ce petit crustacé sert déjà de nourriture à de nombreux poissons d'élevage comme le saumon, les farines de krill, riches en caroténoïdes, étant très prisées par les aquaculteurs pour donner une belle couleur orangée à leurs produits.

L'HUILE DE KRILL, RICHESSSE NUTRITIONNELLE ET PROPRIÉTÉS

Le krill est une source naturelle incomparable de protéines, d'acides gras oméga-3 (DHA et EPA), d'antioxydants puissants, de phospholipides, d'enzymes digestives actives, d'acides aminés essentiels, de fibres, de glucosamines, de phytostérols, de vitamines, de minéraux et d'oligoéléments.

L'antioxydant principal de l'huile de krill est l'astaxanthine, un composé de la famille des caroténoïdes, pigments qui confèrent aux carapaces des crustacés et à la chair du saumon ou de la truite leur coloration rougeâtre typique. L'astaxanthine est un puissant antioxydant qui pourrait notamment avoir un effet protecteur contre les effets nocifs des

rayons ultraviolets et jouer un rôle dans le processus anti-inflammatoire.

De multiples bienfaits sont attribués à l'huile de krill : elle protège les membranes cellulaires, augmente l'énergie du corps, stimule le système immunitaire et le système digestif, aide à la concentration et à la mémoire, offre une protection contre les UV, prévient les maladies cardio-vasculaires, diminue le mauvais cholestérol, réduit les douleurs arthritiques, soulage le syndrome de préménopause et la dysménorrhée (règles douloureuses), protège de certains cancers (bouche, gorge, œsophage) et préserve les fonctions intellectuelles chez les personnes âgées. ■

Autre avantage, le comportement alimentaire du krill en fait un acteur de la capture du carbone et de son transfert vers les fonds marins. Se nourrissant de phytoplancton, qui absorbe le CO₂ de l'atmosphère dissous dans l'eau, le krill produit des excréments qui, chutant vers les fonds marins, permettent de séquestrer d'énormes quantités de dioxyde de carbone et de les entraîner à des profondeurs atteignant 2000 à 4000 mètres en Antarctique. Il participe ainsi à la pompe biologique qui joue un rôle primordial dans la purification de l'atmosphère et la limitation du réchauffement climatique.

UN ENJEU PLANÉTAIRE

Euphausia superba est, en masse, l'espèce la plus abondante sur Terre et l'une des dernières grandes ressources sauvages de la planète. Le krill antarctique représente une biomasse de plus de 500 millions de tonnes de matière vivante, c'est-à-dire environ cinq fois le volume total des poissons pêchés et élevés chaque année dans le monde. Clé de voûte de l'écosystème austral, sa quantité, associée à ses qualités, fait d'*Euphausia superba* une nouvelle source potentielle de protéines animales pour l'homme, qui devra répondre aux besoins alimentaires de sa population mondiale en forte augmentation. De quoi susciter bien des convoitises...

Les premiers essais de pêche au krill réalisés par les Russes et les Japonais dans les années 1970 se sont heurtés à des problèmes techniques la rendant peu rentable, ce crustacé de petite taille exigeant des filets fins, compliqués d'utilisation et coûteux en énergie. De plus, sa fragilité provoque l'écrasement des organismes, et sa carapace, qui contient des protéines légèrement toxiques, doit être rapidement retirée pour que la chair soit consommable par l'homme, ce qui requiert une manutention supplémentaire délicate et onéreuse. Pendant cette période, le krill a tout de même été pêché en complément de la pêche à la baleine. Utilisé broyé et mélangé à la pâte de poisson composant le surimi, il a ainsi fait une brève apparition dans l'alimentation humaine.

Aujourd'hui, les progrès technologiques permettent à l'industrie de la pêche d'armer des bateaux capables de capturer des proies de plus en plus petites, en vue de compenser la diminution de la ressource des grands prédateurs qui se raréfient les uns après les autres. Plusieurs navires ont été ainsi convertis en pêcheurs de krill, à l'image d'un chalutier norvégien de 135 mètres de longueur qui peut prélever et transformer jusqu'à 250 tonnes de krill par jour ! Cette flotte, norvégienne mais aussi chinoise, polonaise, russe, ukrainienne, coréenne et japonaise, sillonne l'océan Antarctique dans l'objectif d'une pêche estimée à 400 000 tonnes d'*Euphausia superba* pour la campagne 2011-2012.

Le krill était jusqu'à présent épargné, protégé des filets grâce au manque de rentabilité de sa pêche. À l'heure actuelle il laisse au contraire envisager de très substantiels profits et motive de considérables investissements... pour un prélèvement espéré considérable ! Mais aucune ressource n'est inépuisable et le risque serait un pillage incontrôlé, comme l'ont connu certains gros poissons aujourd'hui menacés de disparition. La particularité d'*Euphausia superba* est sa position centrale dans l'écosystème antarctique, sa place à la base de la chaîne alimentaire rendant ce zooplancton indispensable non seulement aux baleines, mais aussi à la majeure partie des animaux de l'océan Austral. Contrairement aux grands prédateurs, la raréfaction du krill provoquerait un « manque à manger » pour de nombreuses espèces supérieures susceptibles de disparaître à leur tour. Et l'on assisterait alors au saccage du pôle Sud, l'une des dernières régions de la planète où l'équilibre naturel semble encore préservé.

Une autre voie est possible, qui, loin d'interdire, choisit la bonne mesure, avantageuse pour tous. L'enjeu n'est pas seulement écologique. L'intérêt d'un prélèvement raisonné est aussi économique

et les industriels de la pêche l'ont sans doute compris, investissant dans cette activité avec des objectifs à long terme. Une pêche respectueuse des capacités de reproduction naturelle de l'espèce pourrait assurer son renouvellement et donc son exploitation dans la durée. La masse de krill est telle qu'elle pourrait être ponctionnée sans conséquences dans une certaine limite estimée par les scientifiques. À condition que le plafond, une fois déterminé, soit respecté par l'ensemble de la flotte. Dans ce cas, et dans ce cas seulement, cette ultime manne de protéines animales disponible en abondance dans l'océan pourrait être une nouvelle source de nourriture providentielle pour la population mondiale. Bien gérée, la pêche au krill pourrait compenser les déficits dus à la surexploitation des ressources halieutiques et représenter l'une des solutions pour relever le défi humain des besoins alimentaires planétaires. Car, sans rêver, dans une démarche au service de l'homme, il sera possible demain de nourrir l'humanité entière avec les protéines de la mer.

Le krill pourrait être l'un des premiers acteurs de ce projet, car son avantage est de se situer près de la base de la chaîne alimentaire. De nombreux scientifiques expliquent que si l'on veut ponctionner des protéines animales dans un écosystème marin, mieux vaut les prendre chez les espèces les plus proches possible du plancton végétal, plutôt que parmi les grands poissons prédateurs dont les proies, et les proies des proies, en ont consommé beaucoup plus. C'est le cas d'*Euphausia superba* qui se nourrit directement de phytoplancton et fournit de la matière vivante en abondance. Ainsi, extraire un faible pourcentage de cette masse gigantesque représenterait une énorme quantité, avec peu d'incidences sur les réseaux trophiques supérieurs. Il serait donc possible de profiter de cette manne de krill grâce à une gestion intelligente qui consisterait tout simplement à prélever avec mesure, sans déséquilibrer l'ensemble.

DANGERS POUR LE KRILL

Bien qu'il paraisse se compter à l'infini, le krill n'est pas à l'abri des menaces qui pèsent sur toutes les espèces vivant dans l'océan. Aujourd'hui, la surexploitation représente le principal danger pour ce petit crustacé à forte valeur ajoutée qui intéresse de plus en plus de pays. L'hypothèse d'un épuisement des stocks à long terme est bien réelle, si l'on n'évite pas la répétition des erreurs passées d'une pêche prélevant sans limites chaque nouvelle ressource rencontrée. Le risque est encore plus plausible si l'on y ajoute les effets

du réchauffement climatique. L'Antarctique a connu ces dernières décennies une augmentation significative et préoccupante de ses températures, qui a entraîné une fonte partielle des glaciers. Or, en hiver, le krill tire sa subsistance des microalgues accumulées sous la glace et, au printemps, sa reproduction ne peut se produire que dans une eau très froide. D'autre part, le réchauffement dérègle les proliférations de phytoplancton (diatomées) et de zooplancton (copépodes) qui se déplacent progressivement. Pour sa survie, l'espèce *Euphausia superba* sera peut-être obligée de suivre sa nourriture, s'éloignant ainsi de ses prédateurs. Les conséquences pourraient être d'autant plus dramatiques pour l'écosystème austral que la majeure partie de ses habitants en dépend directement ou indirectement.

Conséquence directe de l'effet de serre, l'acidification des océans est due à l'absorption par les eaux de surface de la surcharge en carbone de l'atmosphère. Cette hausse du CO₂ modifie le pH (potentiel hydrogène) de la mer qui devient acide. Cette acidité attaque le calcaire des carapaces des crustacés et des coquillages, mais aussi du plancton végétal (coccolithes) et animal (ptéropodes, copépodes, krill). L'exosquelette du homard est épais et résistant, tandis que celui du krill est très fin et peut se dissoudre rapidement, en particulier dans le cas des larves qui sont les plus fragiles et les plus sensibles aux modifications chimiques de l'eau.

Comme le reste de la planète, le pôle Sud peut être touché par la pollution. L'exploitation envisagée des hydrocarbures sous la calotte glaciaire serait dans l'immédiat le principal facteur de risque pour les espèces qui y vivent. L'inquiétude pourrait devenir sérieuse pour le krill si le plancton végétal était touché. Dans un premier temps, c'est donc en priorité le phytoplancton qu'il faut protéger contre les effets des hydrocarbures et des pollutions pour éviter une chute de la diversité, en premier lieu des diatomées, et, par suite, une raréfaction du krill.

Aujourd'hui, bien que l'on commence à percevoir les premiers signes de vulnérabilité des populations d'*Euphausia superba*, il est encore possible de les protéger. Certains militent pour une gouvernance mondiale visant à réglementer la pêche ou encore prônent la délimitation de zones protégées où le krill pourrait se renouveler en toute tranquillité. D'autres multiplient les initiatives pour tenter d'écarter les diverses sources de pollution du pôle Sud. Puisqu'il vaut mieux prévenir que guérir, la vigilance est de mise face aux dérèglements redoutés, pour éviter qu'ils n'affectent cette partie du globe qui a encore l'allure d'un monde à découvrir! ■

UTOPIE OU INTELLIGENCE ?

Il n'est pas interdit de rêver à... des solutions réalistes ! D'après d'éminents économistes, la planète comporterait suffisamment de richesses pour nourrir toute sa population. Stéphane Hessel, par exemple, affirme qu'un enfant qui meurt de faim est assassiné. En effet, en théorie, les ressources potentielles existent et, si l'on remplace l'objectif de la quête de profit par celui du bien-être de l'humanité, les possibilités d'y répondre sont nombreuses. L'une d'elles est l'extraordinaire quantité de plancton disponible dans toutes les eaux du monde.

Outre le phytoplancton, dont certaines espèces riches en protéines (spiruline, chlorelle...) peuvent être cultivées de façon simple par tous les habitants du globe disposant d'une eau propre et de soleil, le zooplancton apparaît également comme une source alimentaire majeure d'avenir, à condition d'être investi par une gestion raisonnée et respectueuse. Selon les scientifiques, la gigantesque abondance de krill pourrait être ponctionnée de 10 % sans entraver son renouvellement, ni gêner son rôle nourricier pour les baleines et nombre d'autres animaux.

L'idée serait d'armer des bateaux pour une pêche destinée non pas à enrichir des investisseurs particuliers, mais à nourrir l'humanité. Les pêcheurs pourraient être bretons, asiatiques, africains... Cette pêche rassemblerait des hommes du monde entier sur des

bateaux internationaux et, pourquoi pas, financés par l'ONU. Cette vision est, en pratique, absolument applicable. Ce point de vue est malheureusement très éloigné de la logique de marché régnant actuellement à la surface des océans.

Ce projet magnifique, pour se concrétiser, ne pourra qu'être le fruit d'une initiative citoyenne. Pour résoudre le problème mondial de la faim, qui dépasse les pays eux-mêmes, il faudra la détermination des peuples qui, eux seuls, peuvent faire entendre leur volonté par une pression résolue sur leurs gouvernants. À l'exemple du commandant Jacques-Yves Cousteau, qui a réussi à faire signer un moratoire interdisant l'exploitation des hydrocarbures sous la calotte glaciaire pendant cinquante ans (qui expire malheureusement en 2020), ou des Canadiens qui ont fait de même pour protéger la morue surpêchée, il est possible d'agir dans le but d'obtenir un engagement international pour une gestion intelligente du krill et une organisation de sa pêche empêchant sa disparition dans les cales des investisseurs industriels privés. La notion de gouvernance mondiale réglementant la pêche devient une nécessité. L'urgence aujourd'hui est de privilégier une vision à long terme pour éviter un sabotage des richesses naturelles encore disponibles. Le plancton est partout et appartient à tous. Certains voudraient même le voir considéré comme un patrimoine de l'humanité. ■

CHAPITRE 7 LES MÉDUSES

Le monde des gélatineux est un monde à part rassemblant des organismes de groupes zoologiques variés ayant en commun leur transparence, due à une forte teneur en eau (toujours plus de 95 % de leur poids), et leur grande fragilité qui les oblige à se maintenir en pleine eau pour survivre, tout contact avec le fond, un rocher, la plage ou un filet de pêche pouvant leur être fatal. Leur corps ressemble à un sac constitué de deux couches de cellules, l'une externe, l'autre interne, rempli par une sorte de gelée. Selon les espèces, ils peuvent avoir des formes très diversifiées, posséder ou non des tentacules, être urticants ou pas.

Les gélatineux appartiennent à plusieurs groupes. Les cnidaires rassemblent les animaux dont la bouche est entourée de tentacules urticants, comme les coraux ou les anémones de mer qui sont fixés (polypes) et des gélatineux libres dont les méduses, les plus communément connues car visibles sur nos plages lorsqu'elles s'échouent, les hydraires flottants qui vivent en surface, certains étant munis d'une petite voile qui leur permet de se déplacer sur de longues distances, et les siphonophores qui sont des petits organismes porteurs de siphons, au corps souvent allongé et transparent en forme de cloche. Les gélatineux non urticants sont les cténophores (groseille de mer, ceinture de Vénus, béroé), certains mollusques gastéropodes et les tuniciers, plus évolués, comme les appendiculaires, petits mais très abondants, ou les salpes, mesurant quelques centimètres et qui s'accrochent les unes aux autres pour former des chaînes de plusieurs centaines de mètres de long. Dans le langage courant, lorsque l'on parle de méduses, il arrive que l'on englobe certains de ces organismes gélatineux qui leur ressemblent, mais qui n'en sont pas vraiment.

MYSTÉRIEUSES MÉDUSES

Qui n'a jamais côtoyé lors d'un bain de mer ces étranges animaux ou n'a jamais subi leur piquûre ? Leur allure primitive, tout à la fois belle et repoussante, fait des méduses des créatures hostiles. Elles sont surtout mal connues. Observées dans toutes les mers et les océans du monde, en eaux chaudes comme en eaux froides, elles sont présentes de la surface au fond et se concentrent souvent dans les zones littorales, bien que certaines vivent aussi au grand large.

Les méduses rassemblent de nombreuses espèces variées qui vivent généralement en colonies dérivant au gré des courants.

Apparues il y a plus de 500 millions d'années et ayant survécu à toutes les extinctions, les méduses sont les plus grands organismes planctoniques. Les moins grosses d'entre elles font environ la taille d'un ongle et les géantes peuvent mesurer jusqu'à 2 mètres de diamètre avec des tentacules de 28 mètres de long (*Cyanea capillata*), ou même 6 mètres de large pour des tentacules de 18 mètres (*Chrysaora*). Elles se répartissent en deux groupes : les hydroméduses, les plus petites, qui montrent une grande diversité de formes, et les scyphoméduses, souvent de grande taille, comme *Pelagica nocticula*, lumineuse et aux tentacules très urticants étendus sur plus de 1 mètre pour un corps de 6 à 10 centimètres, ou *Aurelia aurita* qui atteint 40 centimètres de diamètre et fréquente de nombreuses mers du globe. Cette dernière est couramment présentée dans les aquariums publics comme celui de La Rochelle ou Océanopolis à Brest.

Constituée à 98 % d'eau, avec une densité voisine de celle de l'eau de mer, la méduse a un corps mou, en forme d'ombrelle. À l'intérieur, au centre, se trouvent la bouche, composée, selon les espèces, d'une simple ouverture circulaire ou de quatre lèvres ou bras oraux qui pendent sous l'ombrelle, et l'estomac prolongé de canaux rayonnant dans l'épaisseur gélatineuse. La bordure du corps est ornée de tentacules aux cellules urticantes, chaque cellule renfermant un filament barbelé enroulé en spirale et imprégné d'un liquide toxique. Lorsqu'un tentacule atteint une proie, les cellules urticantes éclatent, libérant leur filament barbelé qui se détend comme un ressort, s'accroche à sa prise et lui inocule la toxine paralysante. Pour l'homme, la piqûre provoque des brûlures ou des œdèmes, mais reste généralement peu dangereuse, bien qu'elle puisse être sérieuse pour les personnes allergiques. Cependant, certaines espèces ont un venin mortel, comme *Chironex fleckeri* qui fait une victime humaine par an en Australie et plus de vingt aux Philippines.

LA MÉDUSE LA PLUS DANGEREUSE

Son nom *Chironex fleckeri* signifie « la main qui tue » ! Cette méduse du nord de l'Australie est considérée comme l'animal le plus venimeux de la Terre. Son venin s'attaque simultanément au système nerveux, au cœur et à la peau.

Ses piqûres provoquent une douleur insupportable et leur effet est fulgurant, la mort survenant en trois ou quatre minutes, sans l'action immédiate d'un antivenin. Une seule méduse contient assez de poison pour tuer 60 personnes. ■

LES PRINCIPALES MÉDUSES ATLANTIQUES

Chrysaora hysoscella

Surnommée « méduse boussole » à cause des marques brunes décorant son ombrelle, cette méduse se rencontre souvent dans les eaux de surface en Bretagne. Son diamètre est de 30 centimètres et ses tentacules peuvent s'étirer sur 2 mètres de long.

Aurelia aurita

Cette jolie méduse transparente est reconnaissable à ses quatre anneaux pourpres qui se voient par transparence à l'intérieur de son corps bordé de nombreux tentacules courts et très fins. C'est l'une des méduses les plus connues, car on peut l'admirer dans les bassins de nombreux aquariums comme Océanopolis à Brest.

Cyanea capillata

Cette méduse « crinière de lion » bleu et

jaune est l'une des plus grandes avec les 3 mètres de diamètre de son ombrelle, ses 20 kilogrammes et ses longs tentacules transparents qui traînent jusqu'à 30 mètres derrière elle.

Rhizostoma octopus

Cette grande méduse bleutée, de 1 mètre de diamètre et 20 kilogrammes, est inoffensive car elle ne possède pas de tentacules, n'ayant pas de bouche pour avaler de grosses proies. Pour se nourrir, elle sécrète un mucus où s'agglutinent les micro-organismes.

Aequorea vitrina

Mesurant 5 à 17 centimètres de diamètre, l'ombrelle de cette petite méduse translucide est rayée de canaux radiaires blancs ou bleus et porte de longs et fins tentacules. Elle vit en surface et jusqu'à quelques mètres de profondeur. ■

Les méduses se meuvent grâce aux contractions rythmées de leur corps qui leur permettent de se maintenir en suspension dans la masse d'eau et de circuler à la recherche de nourriture. Cette nage par saccades participe également à la respiration en permettant la fixation de l'oxygène à travers la peau de l'ombrelle. Comme pour tout plancton, leur mobilité est limitée. Piégées dans le volume d'eau où elles évoluent, les méduses voyagent entraînées par les courants. Elles parcourent parfois de longues distances, emportées, par exemple, par le Gulf Stream ou El Niño. Certaines, dépassant de la surface, sont en plus poussées par le vent, à l'image de l'espèce *Vellela* dont le corps est surmonté d'une petite voile émergeant de 2 ou 3 centimètres qui lui permet de traverser l'océan Atlantique. Leur destination n'étant pas maîtrisée, il arrive que les méduses se retrouvent malgré elles dans des endroits inattendus et parfois hostiles. Dans certaines zones du globe, les courants combinés produisent un tourbillon provoquant un vortex qui aspire et concentre les organismes marins, mais aussi les déchets plastiques. Apportées par les courants, les méduses s'y retrouvent bloquées et mélangées aux détritiques, ce qui, souvent, cause leur mort.

UNE MÉDUSE À VOILE

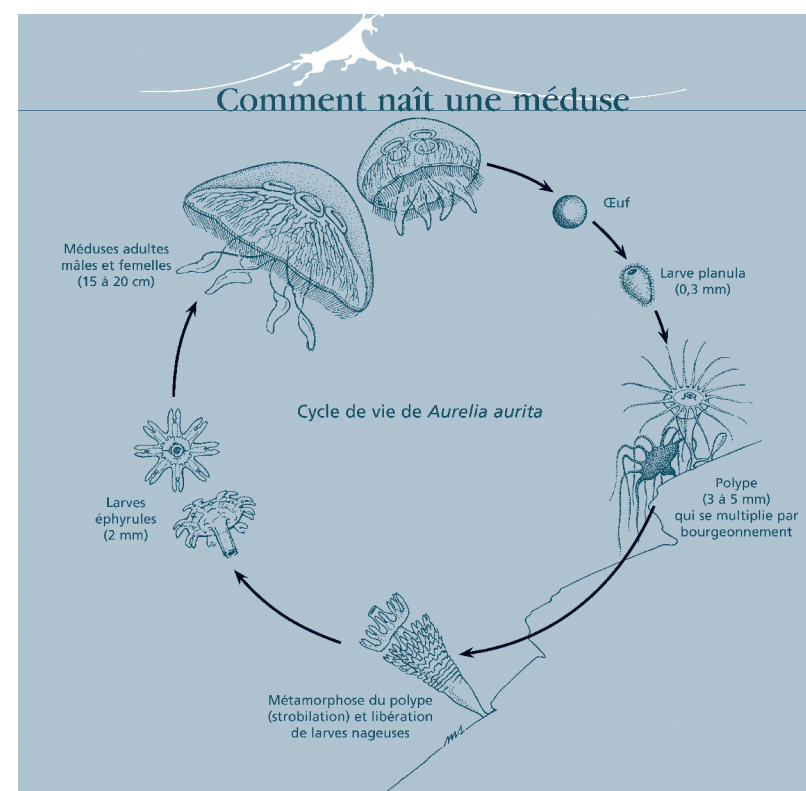
Aujourd'hui, régulièrement, de drôles de petites méduses viennent s'échouer sur nos plages. Très urticantes, ces véelles (*Vellela*) sont surmontées d'une petite voile d'un très beau bleu, dépassant à la surface de l'eau et prenant le vent comme un minnavire terminant sa transat. Venant du Mexique, elles ont traversé l'océan Atlantique, menées par les courants et poussées par les vents. Lorsqu'elles arrivent sur les côtes européennes, elles sont le signe de vents favorables et de courants constants depuis trois semaines ou un mois, le temps qu'il leur faut pour faire ce voyage. Tout comme les navigateurs vont chercher les alizés pour optimiser

leur traversée, ces petites méduses à voile profitent des mêmes vents porteurs pour franchir l'océan. Certaines années, lorsqu'elles inondent notre littoral, elles nous indiquent la permanence de vents et de courants installés durablement, assez longtemps pour les amener jusqu'à nos côtes. Ces conditions météo idéales sont rares. Vents et courants étant souvent perturbés et changeants, la répartition des méduses est variable. C'est la raison pour laquelle elles sont présentes une année, mais pas la suivante. Ainsi, malgré elles, ces petites véelles sont un bon indicateur de courantologie! ■

MANGER ET SE REPRODUIRE

Les déplacements de la méduse lui servent à déambuler dans l'eau en quête de nourriture. Selon sa morphologie, elle peut utiliser ses tentacules urticants pour capturer ses prises ou, munie de cils vibratiles, générer des courants continus qui attirent sous son ombrelle les proies passant dans son rayon d'action. Son menu est composé en priorité de copépodes, dont elle est une grosse consommatrice, d'œufs et de larves de poissons et de crustacés, de vers marins, mais aussi d'alevins ou de petits poissons qui peuvent faire jusqu'à trois fois sa taille. Dans ce cas, obligée de neutraliser sa prise à distance pour ne pas s'abîmer, elle l'emprisonne dans ses tentacules urticants et la paralyse avant de l'amener à sa bouche. Les enzymes digestives sont très puissantes et la digestion est rapide. Les aliments digérés sont évacués par les canaux radiaires et distribués dans tout l'organisme. Les excréments sont recrachés sous forme de pelote. La méduse mange et digère tout ce qu'elle parvient à capturer. Certaines espèces dévorent constamment, nuit et jour, jamais rassasiées, car leur organisme ne comporte aucun système bloquant leur appétit; d'autres font un gros repas qu'elles digèrent, avant de se remettre aussitôt à table. Pendant la nuit, les méduses bioluminescentes, comme *Pelagica nocticula*, produisent de la lumière pour attirer leurs proies.

Un autre mode de nutrition existe chez un groupe de petites méduses parasites, les narcoméduses. Leurs larves se développent sous l'ombrelle d'une autre méduse qu'elles dévorent peu à peu avant de la quitter pour continuer leur croissance en pleine eau. La méduse parasitée peut régénérer ses tissus si elle n'est pas trop entamée, sinon elle meurt assez vite car la protection épidermique n'est plus assurée. Chez certaines espèces, en cas de disette, la méduse peut « consommer » ses propres cellules reproductrices et les reconstituer quand la nourriture redevient abondante. D'autres sont tout simplement cannibales. L'objectif étant de manger et de se reproduire, quoi qu'il arrive!



© S. Cadiou, Océanopolis (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Tant que la nourriture est présente, ce plancton animal prolifère. Pendant toute la durée de sa vie, de quelques semaines à quelques mois selon les espèces, la méduse se reproduit en permanence, jusqu'à l'évacuation de ses dernières cellules sexuelles, cette ultime expulsion détruisant ses organes vitaux et provoquant sa mort. Les modes de reproduction sont très variés, à l'image de la diversité de

ces surprenantes créatures. Pour une majorité de méduses, les mâles et les femelles libèrent dans la mer leurs cellules sexuelles pour une fécondation dans l'eau ou à l'intérieur de la femelle qui pond alors des œufs. À l'éclosion, dans la mer, la minuscule larve nageuse appelée planula mesure moins de 1 millimètre de longueur. Son évolution peut prendre plusieurs voies. La plus simple est sa croissance en pleine eau, la petite *planula* devenant directement une jeune méduse, puis un adulte mâle ou femelle. Chez de nombreuses espèces, hydroméduses en général, son développement peut comporter deux phases, l'une pélagique, l'autre benthique. Lors de la phase pélagique, la reproduction est sexuée : mâles et femelles nagent librement et émettent spermatozoïdes et ovules dans la mer. La fécondation se passe dans l'eau où l'œuf éclôt. La petite larve planula, ciliée à la naissance, perd très vite ses cils et se pose sur le fond ou se fixe à un support : rocher, objet, morceau de bois, coquille vide ou habitée, carapace de crustacé... Et la phase benthique commence. La larve se développe en une sorte de bouche entourée de petits tentacules, puis devient un polype qui grandit et se multiplie en produisant d'autres polypes. Formant une colonie, appelée hydraire, ces polypes reproducteurs bourgeonnent. Chaque bourgeon croît et produit en quelques jours une petite méduse qui se détache pour vivre en pleine eau. Un hydraire génère ainsi par bourgeonnement de nombreuses méduses libres, mâles et femelles, qui redémarrent le même cycle de reproduction. Une autre solution est encore possible, comme chez l'hydroméduse *Lizzia blondina* qui se reproduit par bourgeonnement sans passer par un polype. Des bourgeons se forment sur la paroi de son estomac, y poussent et se transforment en petites méduses, identiques à la méduse mère, qui se décrochent et nagent directement en pleine eau.

EN SYMBIOSE POUR SURVIVRE

Mastigias, une exception qui confirme la règle...

« Dans le lac Jellyfish (ce qui veut dire méduse en anglais : tiens, tiens...), dans l'archipel des Palaos situé à 800 kilomètres à l'est des îles Philippines, vivent les méduses *Mastigias* cf. *papua etpisoni*. Ces méduses, dont les ancêtres vivaient dans l'océan Pacifique, se sont retrouvées prisonnières d'un lac il y a des millions d'années, privées ainsi d'oxygène régulier et de nourriture abondante.

Elles se sont alors associées à des algues vertes planctoniques qu'elles promènent toute la journée en suivant la course du soleil. Ce sont les algues, dorénavant, qui fournissent aux méduses les sucres et l'oxygène. En échange, les méduses les protègent et les promènent en surface le jour, à la lumière du soleil, et en profondeur la nuit, à la recherche des nutriments les plus lourds... » ■

D'après *L'Hermine vagabonde*, revue de Bretagne vivante.

UNE ESPÈCE OPPORTUNISTE

Les méduses profitent au maximum des conditions qui leur sont offertes et se multiplient tant que les circonstances leur sont favorables. Outre une nourriture abondante, en particulier des copépodes, d'autres éléments sont déterminants. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la pollution n'est pas, à elle seule, une cause de prolifération, sinon indirectement lorsqu'elle apporte des nutriments (nitrates, phosphates) en supplément, provoquant un bloom phytoplanctonique modéré qui profite au zooplancton et garnit ainsi le garde-manger du milieu. Cependant, l'apparition des méduses dans une baie ou une mer fermée n'est pas due à la pollution, mais bien plus aux courants qui les y ont poussées. Les courants sous-marins jouent en effet un rôle primordial sur leur dispersion et leur pullulation. Comme tout bon plancton, les méduses sont incapables de se diriger par elles-mêmes et subissent les conditions physiques de l'environnement. L'effet mécanique des courants est le moteur de leur mobilité. Subissant leur répartition géographique, les méduses peuvent être entraînées dans des masses d'eau où elles convergent, comme dans les vortex, ou dans des culs-de-sac, telles les mers fermées, où elles se concentrent. Or une grosse concentration d'individus favorise leur reproduction et permet leur prolifération. Il arrive ainsi qu'une espèce venant des côtes américaines traverse l'océan Atlantique grâce aux grands courants, débarque et colonise les côtes européennes, puis, dirigée par les courants locaux vers une impasse, s'y installe et s'y multiplie à outrance ; à condition qu'elle y trouve du plancton animal en quantité. Ainsi, paradoxalement, la présence de méduses est un signe de bonne santé d'un milieu, et leur prolifération le témoin d'une grande abondance de copépodes.

Une autre opportunité qu'utilisent les méduses comme moyen de transport est le ballast des navires. En ce qui concerne les individus adultes, très fragiles, on les imagine mal être aspirés par les pompes de remplissage, rentrer dans les cales et être déversés après le trajet, sans dommage mortel pour eux. Cependant, ce voyage n'est sans doute pas impossible pour les petites larves qui peuvent, à l'arrivée, investir de nouveaux milieux.

ENVAHISSANTES MÉDUSES !

Les méduses se reproduisent continuellement, la nourriture étant leur principal facteur de développement. Redoutables carnivores, elles deviennent de plus en plus voraces en grossissant et consomment de

plus en plus de nourriture à mesure qu'elles se multiplient. Dans un milieu, leur prolifération fait rapidement chuter la quantité de plancton animal disponible et provoque souvent l'épuisement complet des copépodes, ce qui crée une rupture dans l'alimentation des autres carnivores. Les essaims de méduses s'imposent ainsi au détriment des poissons fourrage (sardines, sprats, anchois) qui disparaissent peu à peu par manque de nourriture, leur absence engendrant des carences vitales pour leurs prédateurs plus gros. Les méduses peuvent également s'attaquer directement aux bancs de jeunes alevins et les décimer totalement, comme en mer Baltique où la concentration d'*Aurelia aurita* menace de remplacer les populations de harengs. Dans cette compétition alimentaire, la méduse dévoreuse gagne souvent.

C'est ainsi que, dans certaines mers semi-fermées de la planète, la gloutonnerie et la pullulation des méduses conduisent à l'extinction totale des populations marines et à l'apparition de zones mortes où ne vivent plus que des gélatineux. Ce bouleversement écologique s'est produit par exemple en mer Noire dans les années 1980. Arrivée de l'Atlantique Nord par la Méditerranée, une sorte de jolie petite méduse bioluminescente de 10 centimètres de haut (*Mnemiopsis*) s'y est reproduite en masse et a englouti tout le stock disponible de copépodes. Or, sans copépodes, plus de sprats, sardines, anchois, et, sans ces poissons fourrage, plus de turbots. La disparition des poissons de la mer Noire, qui était très riche en turbots, a provoqué une catastrophe économique majeure pour cette région. Ce désastre a aussi touché les dauphins qui y vivaient très nombreux et ont tous péri par manque de nourriture. En moins de dix ans, l'écosystème de ce milieu s'est totalement appauvri ; il est devenu une véritable soupe de méduses comptant jusqu'à 800 individus par mètre cube d'eau.

DES VOYAGEUSES PEU EXIGEANTES

Les courants dominants, comme le Gulf Stream et El Niño, mais aussi d'autres courants installés depuis des millénaires participent à la répartition des méduses sur la planète. Sous l'effet du changement de température des océans, tous ces courants se modifient peu à peu et risquent, si ces dérèglements s'installent durablement, de créer de nouveaux itinéraires favorisant la dissémination planétaire des méduses et produisant des concentrations propices à leurs proliférations. Le réchauffement climatique en est la cause principale. Initié par les activités de l'homme (échappement de gaz carbonique...), l'effet de serre produit une augmentation des températures qui provoque la fonte des glaces aux pôles. Les masses d'eau libérées par les

glaciers intensifient ou contrent les courants existants et participent à la modification physique de l'océan. En outre, plus la température des océans monte, plus les méduses, qui raffolent de l'eau chaude, se reproduisent vite et étendent leur territoire.

Par son activité halieutique excessive, l'homme se transforme involontairement en allié de la méduse. En éliminant les poissons en masse, la surpêche a rendu disponibles des quantités de zooplankton, et en particulier des copépodes, pour d'autres espèces de prédateurs. Les méduses, les premières, profitent de cette surabondance, se goinfrent et prospèrent. Au fur et à mesure que leur population augmente, les poissons trouvent de moins en moins de nourriture et disparaissent peu à peu. Ainsi, faute de concurrents, les méduses se multiplient jusqu'à transformer certaines aires marines en soupes de méduses. En Méditerranée, par exemple, la surpêche du thon rouge, mangeur, entre autres, de méduses, les a débarrassées d'un prédateur et leur a permis de pulluler. Au grand désarroi des touristes voyant les plages envahies par ces créatures urticantes qui les privent de baignade.

La responsabilité humaine ne s'arrête pas là. On a longtemps cru que la mer était capable d'absorber les déchets qui y échouaient, mais, dans certains endroits, cette négligence l'a peu à peu saturée. Aujourd'hui, des sacs plastique apparaissent dans tous les milieux, dérivant ici et là avec des allures de méduses. Attirées par ces trompe-l'œil, les tortues les avalent et meurent étouffées. Ainsi, ces grands animaux, qui vivent longtemps mais se reproduisent difficilement, sont menacés d'extinction. D'autant plus qu'ils subissent également les effets du réchauffement climatique responsable de l'acidification des océans, l'acidité de l'eau empêchant les jeunes tortues de se fabriquer une carapace. Ainsi, si les populations de tortues déclinent, ces prédateurs naturels de la méduse ne pourront plus remplir leur rôle de régulation des invasions de méduses.

UNE MENACE SÉRIEUSE

Changements climatiques, perturbations des courants, pollutions indirectes, surpêche font prédire aux scientifiques une entrée prochaine dans « l'ère des méduses ». Dans 400 régions océaniques considérées comme biologiquement mortes, pour cause de pollutions diverses, plus grand-chose ne vit... à part les méduses ! La mer Rouge et la Baltique, dans leurs parties les plus polluées, ressemblent déjà à des soupes de méduses. Certains annoncent que, si la tendance actuelle se confirme, dans vingt ans, l'océan peut devenir un monde

de gélatineux. En effet, les prévisions pessimistes voient des invasions de méduses ruiner le stock de copépodes, principale biomasse des océans, entraîner la diminution des poissons et, à terme, générer une carence grave pour l'alimentation humaine.

Hormis cette menace sérieuse concernant les copépodes, les proliférations de méduses, parfois saisonnières et normales, parfois phénoménales, posent d'ores et déjà de nombreux problèmes. Ainsi, de plus en plus présentes dans les zones de baignade, elles augmentent les probabilités de contact urticant, parfois mortel, pour l'homme, avec les désagréments que l'on peut imaginer pour les habitants du littoral et les activités touristiques. Par ailleurs, des pullulations de gélatineux bouchent ponctuellement des canalisations de centrales nucléaires. Attirées par l'eau tiède qui sort des circuits de refroidissement, les méduses s'agglutinent jusqu'à obstruer les filtres, ce qui représente un vrai danger. Ces promeneuses ont déjà provoqué de sérieux incidents en Suède et au Japon. En France, la centrale de Gravelines a fait appel aux biologistes marins pour tenter de les éloigner. Certaines méduses représentent également une inquiétude pour les pêcheurs, en particulier les espèces géantes, comme *Chrysaora*, la plus grande, qui mesure 6 mètres de diamètre avec des tentacules de 18 mètres de long, ou *Cyanea capillata* au Japon, dont les essaims prolifèrent et s'engouffrent en masse gélatineuse dans les filets de pêche qu'ils déchirent sous leur poids, forçant les bateaux à rentrer vides au port. Les aquaculteurs ne sont pas épargnés. En effet, il arrive que des élevages de saumons ou de crevettes subissent l'invasion de méduses qui se collent aux cages, injectent leur venin aux jeunes poissons ou crustacés et les amènent à leur bouche grâce à leurs tentacules... Elles sont ainsi capables d'anéantir un élevage aquacole, comme par exemple en Irlande où, en une nuit, un banc de méduses de 5 kilomètres de long sur 13 mètres de profondeur a « attaqué » deux élevages, décimant 100 000 saumons adultes et 140 000 juvéniles de 1 an. Sans opter pour un scénario catastrophe, si les proliférations de méduses se multiplient, elles peuvent devenir une réelle menace pour l'homme. Partie visible des effets du réchauffement climatique, elles entrent d'ores et déjà dans son quotidien. Par exemple, la météo estivale présente désormais, en plus des températures des plages, une carte précisant les lieux où sont constatées des invasions de méduses...

QUELQUES ATOUTS

Comme tout être vivant, les méduses ont leur rôle à jouer. Composées à 98 % d'eau, semblant apporter bien peu d'énergie à leurs

prédateurs, elles sont pourtant mangées par de nombreux animaux et ont leur place dans la chaîne alimentaire marine. À l'état larvaire, comme tout le plancton, elles font partie du menu des espèces plus grandes. Adultes, elles sont vitales pour les tortues qui sont capables de repérer des essaims de gélatineux et de s'installer au milieu pour faire un bon repas. Les tortues peuvent ainsi décimer des bancs de vélelles (*Velella*) flottant à la surface de l'océan ou s'attaquer aux méduses toxiques comme *Chironex fleckeri* sans être atteintes par leur venin. Des oiseaux de mer, comme les goélands, les pétrels et les fulmars boréaux, s'en régaleront également, ainsi que de nombreux poissons, tel le thon rouge qui en consomme beaucoup. Les étoiles de mer en sont friandes, ainsi que des coquillages (*Calliostoma*), des crustacés dont les larves se développent sous les ombrelles qu'elles consomment, mais aussi des limaces de mer qui les broutent à l'état de polype. Les méduses se dévorent aussi entre espèces, certaines étant même cannibales.

Au Japon et en Chine, les méduses font partie de l'alimentation humaine. Desséchées et présentées comme des crêpes ou coupées en lamelles et servies en salade, elles sont un produit à valeur culturelle plutôt que nutritive. Treize tonnes de méduses séchées sont tout de même consommées chaque année par les Japonais. Considérant la masse de l'ensemble des méduses dans l'océan, on se prend à imaginer qu'elles pourraient représenter, comme la spiruline, une solution contre la faim dans le monde. Malheureusement, rares sont les méduses comestibles, il n'y en a aucune, par exemple, sur les côtes européennes, et les espèces non toxiques sont très souvent urticantes. De plus, leur pêche demande une sélection compliquée, et, 98 % de leur poids étant constitué d'eau, leur transport et leur transformation s'avèrent très coûteux. Les méduses restent donc aujourd'hui un produit alimentaire de luxe.

Ce gélatineux intéresse aussi les fabricants de cosmétiques car il contient un collagène élastique et super-résistant qui aurait un effet contre les rides. C'est ainsi qu'une grosse méduse de l'Atlantique de 80 kilogrammes, *Rhizostoma*, se retrouve dans des crèmes antiâge. Certains industriels réfléchissent à l'utilisation de la méduse pour la production de colles ou d'autres substances. Cet être encore méconnu n'ayant pas révélé tous ses secrets, on lui trouvera peut-être, demain, de nouvelles applications ou des vertus médicales, à l'image de la nacre des coquillages qui sert à la réparation osseuse. Si un jour la méduse entre dans la transformation de produits industriels, sa pêche à grande échelle pourrait peut-être alors participer à limiter sa prolifération.

NUL N'EST À NÉGLIGER

Comme l'ortie chez les végétaux, les loups chez les animaux, les moustiques chez les insectes et les dinoflagellés chez le phytoplancton, les méduses sont les mal-aimées du zooplancton. Pourtant, malgré ses éventuels défauts, chaque espèce a un rôle à jouer dans la nature et toute disparition est l'indication d'un déséquilibre ou même d'une catastrophe.

Les « mauvaises » herbes, par exemple, sont éradiquées par les pesticides, mais certaines peuvent avoir un rôle très important pour les abeilles. Les moustiques aussi sont nécessaires, à condition d'éviter leur prolifération. Les loups, malgré la peur qu'ils suscitent, sont

utiles pour manger les animaux affaiblis, malades, dont les cadavres pourraient transmettre des maladies. Les orties sont intéressantes pour leur aspect urticant ou abrasif qui indique qu'elles contiennent de la silice ou aussi pour leurs propriétés phytothérapeutiques.

C'est pourquoi elles entrent dans la composition de certains shampoings ou sont consommées en tisanes ou en huiles essentielles. Les méduses également ont leur utilité, ne serait-ce que pour nourrir et préserver les tortues.

Et, dans l'avenir, il n'est pas impossible qu'on leur découvre des trésors cachés! ■

DANGERS POUR LA MÉDUSE

Comme tous les animaux, les méduses craignent en premier lieu le manque de nourriture. Si, un jour, la mer devenait un désert, habité exclusivement par des gélatineux, elles n'auraient d'autre solution que de se manger entre elles, puis s'épuiserait à leur tour. Bien avant cette étape ultime, une autre menace existe déjà pour elles. En effet, d'énormes quantités de débris de différentes matières flottent et errent aujourd'hui dans les océans. Exposés au brassage des eaux et à la chaleur du soleil qui les dessèche et les craquelle, les déchets en plastique se décomposent en microparticules qui se mélangent au zooplancton, risquant, par endroits, de le remplacer. Cette « nourriture » sans valeur nutritive représente un réel danger pour les méduses si elle devient son menu principal. Par ailleurs, comme pour beaucoup d'organismes vivants, les marées noires constituent un piège pour les méduses qui, engluées dans les hydrocarbures, ne peuvent que mourir.

Résistantes malgré la fragilité de leur morphologie, les méduses ont traversé toutes les périodes glaciaires et les extinctions, tandis que de nombreuses espèces ont disparu. Aujourd'hui encore, elles semblent tirer leur épingle du jeu, profitant pour un temps des dérèglements dus au réchauffement climatique. ■

CHAPITRE 8 DU ZOOPLANCTON PERMANENT AU ZOOPLANCTON TEMPORAIRE

Constitué d'organismes qui restent infiniment petits toute leur vie (hormis les méduses), le zooplancton permanent est destiné à nourrir le zooplancton temporaire, ces animaux qui naissent et grandissent plancton, puis le quittent en devenant adultes (poissons, crustacés et coquillages), mais également d'autres espèces carnivores plus grandes, dont la baleine. Malgré leur très petite taille et grâce à leur nombre considérable, les copépodes et autres espèces minuscules représentent la majeure partie de la biomasse marine et sont tout simplement indispensables à la vie animale dans les océans.

Tandis que le zooplancton permanent (holoplancton) naît, grandit et meurt plancton, le zooplancton temporaire (méroplancton) n'est plancton que pendant la vie larvaire. Il comprend des œufs et des larves d'animaux :

- benthiques, qui vivent sur les roches, sur ou dans les vases, les sables et dans les zones lagunaires : vers annélides, échinodermes (oursins, étoiles de mer), crustacés (crevettes, crabes), mollusques (huîtres, praires) et poissons plats ;
- pélagiques, qui nagent en pleine eau : poissons, céphalopodes...

LE TEMPS DE LA VIE LARVAIRE

Le zooplancton temporaire est une sorte de « nurserie » accueillant les œufs et les larves de très nombreux animaux tels que les homards, les crevettes, les huîtres, les moules, les bars, les turbots... qui, au début de leur vie, passent par des stades larvaires très complexes avant de devenir adultes. Les étapes de la croissance varient selon les espèces. Chez certaines d'entre elles, les femelles pondent de gros œufs, très peu nombreux et riches en réserves vitellines qui permettent un

développement interne. L'éclosion donne alors directement naissance à un juvénile ayant la même constitution que l'adulte, hormis sa taille plus petite et l'absence de caractères sexuels. C'est le cas de quelques crustacés d'eau douce, des eaux froides ou des grandes profondeurs. Pour la majorité des espèces, chaque ponte produit de grandes quantités d'œufs de petite taille qui éclosent rapidement. De chaque œuf naît une larve plus ou moins développée, à la morphologie généralement simplifiée et très différente de celle de l'adulte. Progressivement, la larve se fabrique de nouveaux organes, passant par une succession de stades larvaires plus ou moins nombreux, chacun nécessitant une ou plusieurs mues. Pour les crustacés, par exemple, la phase larvaire comprend trois principaux stades : nauplius, zoé, mysis. Certaines petites larves, comme celles des gambas, sortent de l'œuf au stade nauplius et grandissent, évoluant en zoé puis en mysis. Pour d'autres, comme le crabe ou le bouquet, le stade nauplius se déroule à l'intérieur de l'œuf. À l'éclosion, la larve naît directement zoé. La naissance peut même se faire au stade mysis, ce qui est le cas du homard. À la fin de la vie larvaire, après le stade mysis, les larves se métamorphosent, devenant post-larves, et quittent le plancton. Les espèces benthiques tombent alors sur le fond et les poissons de pleine eau, ayant acquis leur morphologie définitive, peuvent désormais contrer les courants. La dernière étape du développement de l'animal est le passage à l'état adulte qui se fait lors de la formation des cellules sexuelles.

UN PEU D'HISTOIRE

« Les études sur le plancton remontent aux années 1820, quand J. Vaughan Thompson, servant en Irlande comme médecin militaire, jeta un filet dans la mer au large de Cork. Ses prises comprenaient certaines formes curieuses que l'on pensait être des adultes, mais Thompson montra que celles-ci – en particulier les zoés des crabes et les nauplius et cypris des balanes – étaient en réalité des stades larvaires. Il montra

que le plancton consistait non seulement en petites créatures perpétuellement flottantes, mais aussi en jeunes stades larvaires de nombreux animaux vivant sur le fond.

« Mais c'est vers les années 1880 que Victor Hensen inventa le nom de plancton pour désigner ces organismes dérivant dans la mer. » ■

Extrait d'*Et la matière reprend vie*, Institut océanographique de Paris, 1981.

La vie larvaire dure généralement une à plusieurs semaines, quelques mois pour la langouste et même quelques années pour l'anguille. Dépourvus de mobilité propre, ces œufs et ces larves errent

dans les eaux de surface et parcourent parfois des milliers de kilomètres, entraînés avec la masse d'eau par les courants. Rythmées par les pontes, leurs apparitions sont subites et massives, et la mortalité par prédation très élevée, atteignant souvent 99 % de perte. Les larves qui, par chance, en réchappent et poursuivent leur développement jusqu'à son terme gravissent un palier de la pyramide alimentaire en devenant poissons, mollusques ou crustacés, animaux qui sont eux-mêmes dévorés par de plus gros prédateurs ou qui se retrouvent dans l'assiette de l'homme ! Ainsi, à l'instar du zooplancton permanent, le zooplancton temporaire joue son rôle en étant mangé par plus grand que lui. Sa particularité est que, devenu adulte, il consomme lui aussi les plus petits et sert lui-même de nourriture aux espèces supérieures. Donnant une suite au plancton, ces animaux sont disponibles à deux échelons de la chaîne alimentaire marine.

STADES LARVAIRES

Les stades larvaires planctoniques sont divisés selon le mode de déplacement et l'évolution de la morphologie. Les larves nauplius, non segmentées au début, portent un œil médian, une bouche ventrale et trois paires d'appendices natatoires articulés qui donneront par la suite antennes, antennules et mandibules de l'adulte. Ces nauplius utilisent les trois premières paires d'appendices céphaliques comme moyen de déplacement. De nouveaux appendices apparaissent quand le corps se segmente. On appelle zoé toutes les larves qui,

possédant thorax et abdomen segmentés, une carapace dorsale, deux gros yeux pédonculés et souvent de longues épines, se propulsent à l'aide des appendices thoraciques, les appendices abdominaux étant absents ou rudimentaires. Les larves mysis (mégalo) sont celles qui se déplacent au moyen de leurs appendices ciliés situés sur les segments abdominaux, leur morphologie approchant celle de l'adulte. ■

D'après *Le Plancton*, Gérard Seguin, Jean-Claude Braconnier et Bernard Ekhaïm, coll. « Que sais-je ? », n° 1241, PUF, 1997.

BESOIN DE PLUS PETIT QUE SOI

Le zooplancton temporaire est principalement carnivore, à part les larves d'oursins et de coquillages (huîtres, moules) qui filtrent exclusivement des microalgues, ainsi que quelques espèces comme le bouquet (crevette rose) qui se nourrit de zooplancton, mais se régale également de débris d'animaux, jouant un rôle de charognard. Les larves changent d'habitudes alimentaires au fur et à mesure de leur croissance. Petites, elles mangent généralement du zooplancton

permanent, des copépodes de préférence, puis elles intègrent à leur menu du zooplancton temporaire, dont leurs propres larves plus jeunes qu'elles ne distinguent pas de celles des autres espèces. Ainsi, l'abondance de zooplancton permanent est indispensable pour éviter le cannibalisme du zooplancton temporaire qui peut, à terme, provoquer sa propre pénurie. Chacun ayant sa place et son importance dans la chaîne alimentaire, toute rupture dans la vie larvaire a aussitôt des conséquences sur les autres espèces et sur l'ensemble de l'écosystème. Ainsi, du maintien de l'équilibre du zooplancton dépendent l'alimentation et la survie des poissons et crustacés, et donc la consommation humaine de produits de la mer. ■

CHAPITRE 9

LES LARVES DE CRUSTACÉS

Crevettes, galathées, homards, crabes, étrilles, langoustines, langoustes... Tous ces animaux, avant de devenir adultes, ont une vie larvaire plus ou moins longue selon les espèces. Parmi eux, la crevette japonaise est représentative de tous, car sa phase larvaire comprend la succession de l'ensemble des stades larvaires du zooplancton temporaire : nauplius, métanauplius, protozoé, zoé, mysis, mégaloïde, chacun d'eux nécessitant généralement une ou plusieurs mues. De plus, pour cette crevette, toutes les étapes se déroulent en pleine eau et sont visibles, contrairement à d'autres crustacés qui vivent leurs premiers stades larvaires à l'intérieur de l'œuf et donc cachés.

LA CREVETTE JAPONAISE, UNE CROISSANCE EXEMPLAIRE

La crevette japonaise, plus connue sous le nom de gambas, est également appelée pénéide. Elle vit en eaux chaudes, dans toutes les mers tropicales du monde, tandis que sa cousine, la crevette rose ou bouquet, dite palaémone, est plus petite et répandue dans les zones tempérées à froides, comme les côtes atlantiques européennes, de l'Espagne jusqu'à la mer du Nord.

Lors de la reproduction, le mâle attend une mue de la femelle pour éviter que sa semence ne soit expulsée avec la carapace. Après la mue, il patiente encore quelques jours, le temps que le nouvel exosquelette soit formé, mais pas durci, puis dépose ses spermatozoïdes à l'intérieur de la femelle dans le réceptacle séminal (le thélycum), situé à l'intersection de la tête et de l'abdomen. Sa mission accomplie, le mâle s'en va à la rencontre d'une autre crevette. Munie de ce stock de spermatozoïdes et de ses ovocytes, réunis dans le corail à l'intérieur du céphalothorax (la tête), la femelle gère elle-même la fécondation. À la maturité de ses gonades, elle expulse ses ovocytes par un petit canal qui longe l'abdomen et lâche jusqu'à 700 000 œufs dans la mer. Au moment de la ponte, la femelle nage et disperse ses œufs à l'aide du battement de ses pattes. Les œufs passent à proximité de l'orifice du thélycum où les spermatozoïdes sont entraînés par les ovules. La fécondation a lieu dans l'eau.

Dès qu'un spermatozoïde pénètre dans un ovocyte, la division cellulaire commence et produit rapidement un amas ressemblant à une petite mûre, chaque cellule étant à l'origine d'un futur organe : une bouche, un cœur, un estomac, des pattes, des yeux... Peu à peu, l'embryon se forme et se développe dans l'œuf. Quatorze heures après la fécondation naît une larve nauplius de petite taille, transparente et reconnaissable à sa tache oculaire. Se nourrissant grâce aux réserves de son sac vitellin, le nauplius évolue peu à peu : des soies poussent sur ses appendices qui se déploient, la carapace se forme... tandis qu'il circule lentement dans l'eau, propulsé par ses trois paires d'appendices. À la fin du stade nauplius, la larve mue et devient zoé. À ce stade, son comportement change. La larve devient très active et rapide dans son déplacement arrière. Deux yeux apparaissent, puis le rostre et les épines sur le céphalothorax, les pattes se développent, l'abdomen s'allonge... Ces transformations lui imposent des mues successives. La petite zoé s'alimente de microalgues, en particulier des diatomées dont elle est une grosse consommatrice, puis elle ajoute du zooplancton à son menu, de préférence des copépodes. Au septième jour de vie, la crevette entame le stade mysis. Se nourrissant de zooplancton, la larve mysis grandit, se perfectionne et s'allonge en muant à plusieurs reprises. Comme son aînée, elle se déplace par des coups d'abdomen. Au bout de trois jours, la mysis subit une évolution morphologique importante : certains organes disparaissent, d'autres apparaissent, ceux dont la fonction persiste se transforment. Par cette métamorphose, après dix jours de vie larvaire, la larve quitte le plancton en devenant une post-larve qui possède tous les organes nécessaires pour évoluer en juvénile, puis en adulte.

Tous les stades larvaires de la crevette japonaise ont été inventés par le zooplancton permanent. Avant elle, le copépode est né nauplius, et *Artemia salina* puis le krill ont expérimenté les stades zoé et mysis. Résultant de toute l'évolution réalisée par le zooplancton permanent au fur et à mesure de l'apparition de ses espèces, le zooplancton temporaire a continué à innover et a permis de prolonger le développement des larves jusqu'à ce qu'elles deviennent des animaux plus grands. Ainsi, au fil des temps, grâce aux apports du zooplancton permanent avant lui, le zooplancton temporaire a pu créer une suite à la vie planctonique et générer des groupes zoologiques variés, toute cette faune aquatique composant les réseaux trophiques qui représentent une grande richesse alimentaire pour l'homme. Ressource qu'il a su recueillir, mais aussi parfois apprivoiser.

AQUACULTURES

« Si nous voulons multiplier la vie, il faut acquérir d'abord le pouvoir de diriger cette multiplication », prévient Anita Conti dans son livre *L'Océan*. Dès les années 1960, les Japonais ont été les premiers à étudier la crevette japonaise (*Pénéus japonicus*) et à l'élever industriellement. Leurs longs travaux pour trouver les meilleures solutions d'élevage à partir des œufs, de façon à se rapprocher de plus en plus des conditions du milieu naturel (nourriture, température...), ainsi que leurs expérimentations réussies ont permis un développement de l'aquaculture de cette crevette dans de nombreux pays.

L'AQUACULTURE EN UN MOT

À la différence de la pêche ou de la récolte (varech...) qui est le résultat du cycle naturel, en aquaculture, l'homme organise et intervient dans le déroulement du cycle de production. Aujourd'hui, l'aquaculture est orientée vers les élevages de poissons, de crustacés et de mollusques et la culture des algues, microscopiques ou non. Selon les

espèces, elle se déroule en eau douce, saumâtre ou salée. Principalement destinées à l'alimentation humaine, les activités aquacoles (conchyliculture, mytiliculture, ostréiculture, pisciculture, culture d'algues et de microalgues) se pratiquent à toutes les échelles et dans le monde entier. ■

Aujourd'hui, l'exploitation industrielle des gambas répond à une demande alimentaire grandissante et garantit de fructueux bénéfices. Ainsi, la crevette japonaise fait l'objet d'une aquaculture intensive qui peut poser de nombreux problèmes de pollution. Car, au risque de se répéter, tout excès provoque un déséquilibre toujours néfaste pour l'environnement et ses habitants. En effet, la destruction de zones humides, pour construire ces grands parcs d'élevage, supprime une faune, une flore et leur interaction naturelle prolifique, désorganisant l'écosystème alentour et créant une carence alimentaire pour les espèces de la zone. Par ailleurs, les déchets produits et rejetés par ces élevages peuvent favoriser les blooms phytoplanctoniques aboutissant à un appauvrissement des microalgues nourrissant les larves et autres herbivores du secteur qui risquent alors de disparaître, interrompant ainsi toute la chaîne alimentaire du milieu, au détriment des autres activités marines environnantes.

Heureusement, d'autres solutions existent et les idées ne manquent pas pour les professionnels soucieux de préserver l'équilibre de la

nature, qui est aussi leur outil de production. Par exemple, des parcs ostréicoles de Charente-Maritime en France ont expérimenté une aquaculture extensive en introduisant des larves de crevettes japonaises dans quelques bassins d'affinage d'huîtres en claires. Gourmandes de zooplancton, ces petites pénéides s'y nourrissent de copépodes, de larves de vers et de micro-organismes disponibles, tandis que les huîtres filtrent le phytoplancton, en particulier les diatomées. Remuant l'eau avec leurs petites pattes, les jeunes gambas créent un mouvement qui favorise la circulation des microalgues dans tout le bassin. Les diatomées, qui naturellement se déposent sur le fond, sont ainsi remises en suspension dans l'eau, à la disposition des huîtres qui trouvent donc à manger en permanence, elles qui, sans mobilité, ne peuvent que filtrer la nourriture disponible dans leur entourage. Les résultats de cette expérience sont clairs : dans les bassins où cohabitent ces deux espèces, les huîtres sont plus grosses et plus belles, car elles sont mieux nourries. Cet élevage combiné permet non seulement une amélioration de la production ostréicole, la crevette pénéide se révélant une auxiliaire de la bonne santé de l'huître, mais aussi la création d'une seconde activité ne nécessitant aucun apport supplémentaire en aliment. De plus, la qualité compensant ici la quantité, ces crevettes peuvent être vendues à bon prix et donnent par surplus une belle image de marque à l'exploitation. Moins productive, cette aquaculture extensive est cependant une solution d'avenir, si l'on prend en compte non pas un objectif de profit immédiat, mais la qualité et la pérennité de la production alimentaire destinée à l'homme.

LE HOMARD, UNE CHRONOLOGIE BIEN RÉGLÉE

Caractéristique commune à de nombreux crustacés, l'accouplement du homard se fait quand la femelle est molle, c'est-à-dire lorsqu'elle vient de muer. Le sperme est stocké dans le réceptacle séminal en attente de la ponte pendant une durée pouvant atteindre quinze mois. Lorsque les œufs sont pondus, ces ovaires transitent par le réceptacle séminal, où ils sont automatiquement fécondés, puis sont attachés sous la queue. La femelle les porte ainsi pendant dix à douze mois, le temps de l'incubation puis du stade nauplius qui se déroule dans l'œuf. Chaque femelle est ainsi « grainée » tous les deux ans, produisant de 2 000 à 5 000 œufs par ponte. Le homard naît au stade mysis et sa vie larvaire a la particularité d'être très courte, n'excédant pas deux semaines, tandis que celle du bouquet (crevette rose), par exemple, dure un mois. Cet avantage donne aux larves une chance supplémentaire de devenir adultes, car plus le temps larvaire est court, moins elles ont de risque

de se faire manger. Pourtant, malgré cet atout, leur taux de survie est faible. En effet, elles ont la mauvaise idée d'éclore aux mois de juin ou de juillet, période propice à l'arrivée des poissons fourrage qui s'alimentent de toutes ces larves et bien connue des pêcheurs comme la saison de la pêche aux sprats et aux sardines.

En effet, la nature ne laissant rien au hasard, le calendrier annuel d'apparition du plancton végétal puis animal correspond parfaitement à la saisonnalité de la reproduction des espèces plus grandes : juin et juillet pour le homard, janvier, février et mars pour le bouquet, etc. À chaque animal, son zooplancton permanent de saison ! Malheureusement, le réchauffement climatique peut dérégler cette organisation immémoriale. La modification des températures créant un décalage dans l'arrivée du plancton végétal, qui guide la venue du plancton animal permanent (copépodes...), leurs prédateurs (crevettes, homards, langoustes), incapables de s'adapter immédiatement à ce changement, continuent de se reproduire à la même période de l'année et se retrouvent parfois devant un vide alimentaire qui met leurs populations larvaires en péril. Aujourd'hui, le manque de concordance entre le développement du zooplancton permanent et l'apparition du zooplancton temporaire est une cause de disparition de certaines espèces. Évoluant au rythme de l'horloge biologique, les animaux ont parfois besoin de centaines d'années pour s'adapter à de nouvelles situations écologiques. Ainsi, l'effondrement des stocks de la ressource de l'océan, que l'on attribue parfois à la « surpêche », peut être également le fait de ces rendez-vous biologiques ratés à cause des bouleversements climatiques planétaires engendrés par la « suractivité » humaine.

PLANCTON ET POLLEN, MÊME COMBAT

Aujourd'hui, les calendriers de développement de certaines espèces sont désorganisés par les effets de la pollution ou du réchauffement climatique. Le décalage constaté dans l'arrivée du phytoplancton puis du zooplancton permanent peut porter préjudice à la vie larvaire d'animaux marins qui, ne pouvant s'adapter à ces changements trop soudains, risquent de disparaître. De la même manière, si une déconnexion se produit entre le moment où l'ensoleille-

ment et la température permettent aux fleurs de se développer et la prolifération des insectes qui assurent leur pollinisation, ces derniers ne pourront plus jouer leur rôle au moment opportun. Dans ce cas, les plantes ne seront plus fécondées et disparaîtront. Cette désorganisation récente des rythmes biologiques, potentiellement dangereuse, est la conséquence des modifications infligées à la nature par les effets trop intenses des activités humaines. ■

UNE INTERACTION PROLIFIQUE MENACÉE

Le homard vit au large. Contrairement aux crevettes qui évoluent entre les rochers, il a besoin de grands espaces pour se développer. Comme un lion dans la forêt, il règne en redoutable prédateur sur son vaste territoire de chasse, décimant des quantités énormes de zooplancton permanent, mais aussi temporaire, y compris ses propres œufs et larves aux périodes de reproduction de son espèce. Une telle profusion de plancton ne peut exister que grâce à une abondance de zooplancton permanent et au préalable de phytoplancton. Or toute cette richesse de l'océan a pour origine les estuaires. Dans ces lieux de rencontre entre les eaux douces et les eaux salées, une alchimie complexe favorise le développement du plancton végétal, puis du plancton animal qui se répand ensuite en partie dans la mer. Ainsi, de la santé des écosystèmes littoraux dépend celle des milieux et des espèces plus éloignés du continent. Sans un bon équilibre phytoplanctonique et zooplanctonique côtier, la vie du plancton temporaire puis des animaux marins du large est menacée. Toute dégradation de la qualité des eaux des estuaires, due à une pollution ou au réchauffement climatique, a des répercussions immédiates sur les réseaux trophiques du littoral et de pleine mer qui vivent en interaction permanente. Et dans ce cas, la ressource halieutique est directement touchée.

LE VA-ET-VIENT DU BOUQUET

Au large du golfe du Morbihan, autour des îles d'Houat et d'Hoëdic, les eaux sont peuplées de crevettes roses (bouquet) adultes, mâles et femelles, qui vivent et se reproduisent à 20 mètres de fond. Dans ces profondeurs, les femelles pondent et portent leurs œufs jusqu'à l'éclosion, au stade larvaire zoé. La vie larvaire dure un mois et se déroule en hiver, entre janvier et mars. Pendant leur croissance, les larves se déplacent jusqu'au bord des côtes pour se nourrir

des chaînes alimentaires estuariennes. C'est pourquoi, dans le golfe du Morbihan, on peut observer des quantités de bouquets de petite taille, larves, post-larves et juvéniles, qui, devenant adultes, regagnent les profondeurs pour se reproduire à leur tour. Par ce va-et-vient entre le large et le littoral, le bouquet à la fois profite de cette abondance planctonique et participe à la richesse alimentaire de ces écosystèmes. ■

COUP DE POUCE HUMAIN

Lorsque les déséquilibres s'installent durablement et appauvrissent les populations de certaines espèces, l'homme a parfois la possibilité d'intervenir et d'agir en collaboration avec la nature.

Une telle initiative a été menée dans les années 1970 en Bretagne en réaction au dépeuplement en homards des fonds marins autour des îles d'Houat, d'Hoëdic et de Belle-Île. Le Groupement des pêcheurs houatais, groupement local particulièrement dynamique et novateur, constitué de bénévoles, découvre alors dans l'aquaculture et l'élevage en mer une solution d'avenir pour enrichir le capital biologique des fonds, ou du moins pour le préserver et en assurer le renouvellement. Un projet d'écloserie est ainsi réalisé dans le but de produire des bébés homards qui seront ensuite immergés et se développeront sur les terrains de pêche traditionnels du homard.



MOBILISATION DES PROFESSIONNELS DE LA PÊCHE

« Certains professionnels de la pêche ont réfléchi aux perspectives de la pêche, de l'aquaculture et de la préservation de la ressource, notamment les pêcheurs houatais (de l'île d'Houat, au large du golfe du Morbihan). « Déjà, en 1972, ils dénonçaient un "appauvrissement des fonds", mais proposaient des mesures, posant ainsi les bases du développement durable : comment rendre compatibles préservation de la ressource, tourisme, pression immobilière (conflit d'usage entre pêcheurs et résidents temporaires) et activités économiques sur le littoral ?

Ils suggéraient de mettre en place une concertation entre tous les usagers du littoral pour répondre aux besoins des consommateurs et anticiper le dépeuplement des fonds.

« Ils souhaitaient un débat sur un aménagement du littoral où ils participeraient à l'enrichissement de la nature tout en gardant leurs droits historiques. Ils le firent sous forme d'une lettre ouverte. » ■

Extrait de *L'enjeu plancton*, Maëlle Thomas-Bourgneuf et Pierre Mollo, Éditions Charles-Léopold Mayer, 2009.

Des femelles « grainées » sont donc capturées dans le milieu naturel, puis déposées dans les eaux de ces bassins où sont cultivées des diatomées qui alimentent les *Artemia* destinées à nourrir les larves. Dans ces bassins, durant trois semaines, se déroulent la ponte des œufs, leur éclosion et la croissance des larves jusqu'à leur métamorphose en post-larves. Les juvéniles, encore minuscules mais dotés de pinces pour se défendre contre les carnassiers, sont ensuite immergés

à 20 mètres de fond où de mini-abris artificiels sont installés pour les accueillir jusqu'à ce qu'ils deviennent adultes. Lors de cette première expérience, 32 500 homards en herbe remplissent leur mission. Les années suivantes, les pêcheurs plongent de la même manière jusqu'à 100 000 à 150 000 juvéniles par an. Cette expérience, parmi d'autres, prouve que des alternatives existent. ■

EXTRAITS DE LA LETTRE OUVERTE « UNE CEINTURE BLEUE BRETONNE, POURQUOI PAS ?... »

Le Groupement des pêcheurs houatais, janvier 1973.

« Pour la pêche côtière, en effet, la situation empire d'année en année, l'appauvrissement des fonds est un fait flagrant pour tous et l'augmentation des moyens de pêche et des heures de pont n'arrive plus à compenser la diminution des apports. [...] »

« Nous estimons que la pêche a un avenir durable car :

« - naguère nos fonds ont été riches ;

« - la demande des produits de la mer ne fait qu'augmenter.

« Nous pensons que la mer peut et doit être repeuplée, mais pas au profit de n'importe qui, n'importe comment, et que l'aquaculture qu'on nous dit rentable dans un avenir proche doit être contrôlée par les organisations de pêcheurs artisans côtiers actuellement en place. [...] »

« Les fonds y seraient repeuplés avec un niveau élevé du stock, aussi bien en quantité qu'en variété des espèces. La zone serait réservée à une culture océanique ou mariculture de type extensif. Elle devrait constituer en même temps un ensemble écologique d'une grande richesse : sites protégés, eaux non polluées, réserves d'oiseaux, enfin, harmonie avec une population habituée de tout temps à y travailler. [...] »

« Nous avons une source de richesses sous la quille, il faut que nous la gardions en comprenant que le temps de racler les fonds est révolu et l'heure venue de semer tout en gardant notre droit à la mer.

« Ainsi, nous pourrions offrir en héritage à nos enfants un métier, un avenir, une vie saine et humaine. » ■

CHAPITRE 10 LES LARVES DE POISSONS

On appelle poissons fourrage les sardines, les anchois, les sprats... tous ces petits poissons, aux populations très denses, qui constituent une source importante de nourriture pour les espèces plus grandes, car leur reproduction est rapide et massive. Comme pour les autres poissons, mâles et femelles émettent spermatozoïdes et ovocytes dans l'eau où se fait la fécondation. L'œuf contient une réserve vitelline ainsi qu'une ou plusieurs gouttes d'huile qui lui permettent de flotter. L'embryon s'y développe en quelques jours. À l'éclosion naît une larve transparente, à l'allure d'une larve d'insecte, longue de quelques millimètres et munie d'une première nageoire encore fragile. La larve consomme le reste du vitellus, puis doit rapidement ingérer sa première proie pour survivre. Tandis qu'elle grandit, sa nageoire caudale se développe, ainsi que les autres, réparties en différents points de son corps. La métamorphose intervient avec la calcification du squelette et la pigmentation définitive des tissus, la post-larve quittant alors le monde du plancton pour celui des poissons.

LES POISSONS FOURRAGE : UNE NOURRITURE INDISPENSABLE

Qu'ils soient larves, alevins ou adultes, ces petits poissons subissent une forte prédation. Adultes, ces anchois, sardines, sprats... évoluent en bancs compacts où leurs prédateurs n'ont qu'à se servir. Constituant une réserve alimentaire majeure pour les espèces supérieures, ces poissons fourrage représentent le quatrième palier de la pyramide alimentaire marine et se nourrissent aux deuxième et troisième étages (cf. schéma pyramide alimentaire) : zooplancton permanent, mais aussi tous les œufs et larves du zooplancton temporaire dont ils font eux-mêmes partie au début de leur vie. En effet, leurs larves sont généralement zoophages et se déplacent à la poursuite des copépodes ou de larves plus ou moins grosses, selon leur taille. Cependant, certaines espèces sédentaires, comme le lançon, avant de vivre sur les fonds où ils consomment du zooplancton benthique, sont phytophages à l'état larvaire. Ce qui les rend aujourd'hui plus vulnérables.

POURQUOI LES LANÇONS ONT-ILS DISPARU ?

Pendant sa phase de développement, le lançon fait partie du zooplancton temporaire pélagique: l'œuf éclôt en pleine eau et la larve nage librement en consommant des microalgues. La métamorphose achevée, le lançon juvénile se pose sur le fond et s'enfouit dans les sables ou les vases où il s'alimente de zooplancton. Lors de dérèglements climatiques ou de pollutions des eaux marines (pesticides...), le plancton végétal est toujours le premier touché. Quand l'abondance ou/et la diversité des microalgues diminuent, les larves de lançon, herbivores, subissent ces carences de plein fouet et n'ont pas d'échappatoire, contrairement aux larves carnivores, de sardines par exemple, qui trouvent toujours quelques micro-organismes en suspension à grignoter. C'est pourquoi, parmi les poissons fourrage, le lançon, qui à l'état larvaire doit sa survie au phytoplancton, fait partie, comme lui, des premières victimes des changements climatiques et des pollutions.

La nature a toujours su évoluer pour s'adapter aux bouleversements de la planète. Mais aujourd'hui, les changements du milieu sont souvent trop brutaux pour de nombreuses espèces. Les animaux ont besoin de temps pour accomplir les modifications morphologiques et physiologiques permettant leur survie dans de nouvelles conditions d'habitat. Ces ajustements biologiques se déroulent au minimum sur des centaines d'années. Le décalage chronologique entre les « besoins » actuels de l'homme et ceux des autres espèces animales est l'une des raisons de la disparition de certaines d'entre elles.

L'ÉLEVAGE DU BAR

Le bar, également appelé loup en Méditerranée, est l'une des espèces pionnières de l'aquaculture. Les premiers essais d'élevage larvaire, réalisés en France dans les années 1970, ont été l'occasion de recherches sur la valeur nutritive des zooplanctons permanent et temporaire et ont permis de comprendre la complexité et la fragilité des chaînes alimentaires marines. À la suite de la mise au point des techniques d'élevage, la production de bar s'est développée très rapidement en Europe, puis dans le monde entier. Elle est aujourd'hui l'aquaculture marine la mieux maîtrisée. Cette pisciculture est pratiquée en écloserie pour la naissance et le développement des larves et en cages de mer ou en bassins à terre avec des systèmes de circulation de l'eau de mer par pompage pour la croissance des alevins.

Les femelles atteignent leur maturité sexuelle à trois ans et peuvent pondre spontanément en captivité. En ajustant artificiellement la

température de l'eau et la durée du jour par une lumière permanente, il est possible d'obtenir des pontes pendant toute l'année. Chaque ponte est constituée de milliers d'œufs d'environ 1 millimètre de diamètre. À l'éclosion, les larves, aveugles et sans bouche, s'alimentent de leur réserve vitelline, elles ont ensuite quelques jours pour acquies un comportement de chasse efficace qui leur permette de capturer des proies vivantes, c'est-à-dire généralement des rotifères puis des nauplius d'*Artemia* élevés dans les mêmes bassins. Depuis peu, les larves de bar consomment aussi des microgranulés spécialement mis au point pour cette espèce. En écloserie, ces deux options alimentaires sont choisies pour leur côté pratique, les expériences en laboratoire ayant cependant prouvé la supériorité nutritionnelle des copépodes qui constituent leur menu de prédilection en milieu naturel. Les larves de poissons marins ont une croissance extrêmement rapide. Après la métamorphose, les alevins quittent l'écloserie pour des élevages où ils grossiront jusqu'à leur taille commerciale.

PRÉLEVER POUR ÉLEVER

Dans l'océan, le bar est un grand prédateur. À l'état larvaire, il se nourrit de zooplancton permanent (copépodes) et de zooplancton temporaire, dont les larves de sprats, sardines, anchois... Adulte, il dévore des quantités de ces poissons fourrage. Le bar est lui-même plancton temporaire à la naissance et sert lui aussi de nourriture aux larves des diverses espèces présentes dans le milieu. Ainsi, dans la nature, chacun étant prédateur et proie à son tour, le cycle perpétuel des réseaux trophiques permet le développement et le renouvellement de toutes les espèces. En aquaculture, cette interaction est brisée. Le poisson élevé en captivité ne nourrit plus les autres espèces, mais ponctionne tout de même sa part dans la mer. Et cette part n'est pas négligeable, car la production intensive de bar requiert une quantité énorme d'aliments, assurée aujourd'hui par la capture massive de poissons fourrage. En effet, pour obtenir 1 kg de bar, il faut 1 kg de granulés, la fabrication de ce kilogramme de granulés nécessitant jusqu'à 5 kg de sprats, anchois, sardines... De ce fait, l'aquaculture de ce gros poisson carnivore encourage les pêcheries industrielles de poissons fourrage. Malheureusement, cette surpêche de petits poissons au service de l'aquaculture intensive, en ponctionnant le quatrième étage de la pyramide marine, pourrait conduire à une rupture dans la chaîne alimentaire de l'océan et générer un « manque à manger » pour les poissons plus gros qui font partie de la ressource halieutique consommée par l'homme. Ainsi, le poisson d'élevage entrerait

en concurrence avec le poisson sauvage, tous deux destinés à l'alimentation humaine...

Les sardines, sprats, anchois... ne font pas l'objet d'élevages, mais se multiplient en abondance dans le milieu naturel. Actuellement, le développement de la pisciculture industrielle de poissons carnivores raréfie les stocks de ces petites espèces pélagiques pêchées pour une consommation directe dans certaines régions de la planète où elles font partie des habitudes et des besoins alimentaires des populations locales, essentiellement les plus pauvres. Participant à l'effondrement des réserves de ces petits poissons, la production de gros poissons à haute valeur ajoutée au bénéfice d'un nombre relativement faible de consommateurs aisés est loin de l'objectif initial de l'aquaculture énoncé par la FAO dans les années 1970, qui visait à fournir des protéines au monde entier et à supprimer la faim dans le monde.

En outre, l'appauvrissement des stocks par cette «surpêche» pourrait atteindre le seuil où l'abondance des espèces devient trop faible pour que leurs populations puissent se régénérer. Persévérer dans cette surexploitation dangereuse serait entamer le capital marin et prendre le risque que les ressources marines ne soient plus renouvelables, ce qui reviendrait à choisir de scier la branche qui nous porte. De plus, ces poissons fourrage sont indispensables à tout l'écosystème marin car ils nourrissent de nombreuses espèces de poissons, d'oiseaux et de mammifères marins.

UN MENU VÉGÉTARIEN

Aujourd'hui, la filière aquacole axe sa recherche sur l'élaboration d'aliments d'origine végétale. Entrant d'ores et déjà dans la composition des granulés avec les farines et les huiles de poissons et des compléments en vitamines et minéraux, tourteaux de soja, blé, colza et maïs apportent des protéines végétales, mais malheureusement pas les acides gras, tels que les oméga-3, que ni les poissons ni les hommes ne sont capables de synthétiser. Or, sans eux, le taux de mortalité des poissons d'élevage augmente et les consommateurs sont privés de ces qualités nutritives essentielles à la santé humaine.

Pourtant, si à l'avenir l'aquaculture devait doubler sa production pour compenser la chute de la ressource halieutique et l'augmentation de la population mondiale, où trouverait-elle les farines et huiles supplémentaires nécessaires pour nourrir les poissons d'élevage comme les bars? La solution végétale s'imposerait, obligeant les poissons carnivores à devenir végétariens! Dans ce cas, farine et huiles végétales étant pauvres en acides gras, le déficit en oméga-3 diminuerait

la qualité nutritive des poissons et créerait une carence irremplaçable pour l'homme. De plus, il faudrait trouver de nouvelles terres pour produire ces céréales supplémentaires, culture qui réclame beaucoup d'eau. Sans compter la probable utilisation de produits chimiques par cette agriculture intensive... Cette solution ne ferait peut-être que déplacer le problème de la mer à la terre.

PÊCHER POUR MANGER

L'objectif de l'aquaculture n'étant pas de remplacer la pêche, mais de compléter ses apports, une autre voie s'ouvre à ces professions pour assurer leur avenir tout en respectant les contraintes écologiques et alimentaires. Tout d'abord, elles pourraient réajuster leurs pratiques pour évoluer vers des formes d'aquaculture extensives où les poissons s'alimentent directement dans la mer sans désorganiser le milieu naturel. Ce choix permettrait de diminuer l'utilisation des farines de poissons, farines qui pourraient par ailleurs provenir des déchets de la transformation des poissons, par exemple du filetage (prélèvement des filets), qui produit des rejets énormes. Car aujourd'hui, si l'on veut maintenir la quantité actuelle de poissons fourrage dans l'océan et sauvegarder ces espèces pour leur utilisation future, il est indispensable de stopper la pêche minotière qui ponctionne, par millions de tonnes, le stock de ces petits poissons, dans le but de fabriquer des farines pour élever d'autres poissons ou des cochons..., 5 tonnes de poissons fourrage étant nécessaires pour produire 1 tonne de bar d'élevage. Pour éviter ce gâchis irréversible, au lieu de transformer des millions de tonnes de poissons en cinq fois moins de poissons, il suffirait de réduire de moitié le prélèvement et de le rendre directement disponible à la consommation humaine. Car l'homme a besoin de ces protéines animales à haute valeur nutritive pour nourrir une population mondiale en constante augmentation.

Ainsi, «pêcher pour manger» semble être la devise d'avenir, celle qui permettrait d'augmenter la quantité de protéines directement disponibles pour les hommes tout en garantissant le renouvellement des populations de sprats, sardines, anchois... qui sont également indispensables aux autres poissons et crustacés, ainsi qu'à tous les oiseaux et mammifères marins, c'est-à-dire à l'ensemble des écosystèmes de l'océan. Aujourd'hui, il est urgent de repenser cette pêche des poissons fourrage et d'en faire une activité responsable par rapport à la ressource et à l'alimentation humaine. Cela pourrait être le rôle d'une organisation mondiale qui régulerait ces pêcheries, au bénéfice de tous. Car si l'aquaculture intensive paraît aujourd'hui assurer une

rentabilité économique à court terme pour ses investisseurs et pour les activités qui en découlent (construction des élevages, chantiers navals, transformation du poisson...), à moyen et long terme, elle n'est certainement pas profitable pour l'homme.

L'HOMME AUSSI DOIT S'ADAPTER

Les effets du réchauffement climatique se manifestent ici et là sur la planète avec des conséquences souvent irréversibles. Sur le continent, par exemple, la hausse des températures modifie peu à peu les zones de culture. Si, dans dix, quinze ou vingt ans, les vignes ou les oliviers peuvent être cultivés en Bretagne, il est préférable de les planter dès maintenant ou au moins de préparer certains coteaux à les accueillir. Et s'il faut imaginer l'avenir de l'agriculture, on doit aussi repenser la pêche de demain. En effet, les constats actuels engagent les professionnels à anticiper pour se mettre en harmonie avec les prévisions annoncées concernant la « mer de demain ». Comment compenser la diminution de la ressource ? Quel poisson pêchera-t-on dans dix ou vingt ans ? Comment adapter les stratégies et les méthodes de pêche ? Quels seront les nouveaux métiers ? Comment former les futurs professionnels aux pratiques de la pêche de demain ? Faut-il repenser les programmes des écoles maritimes ? Comment imaginer le bateau du futur ? Etc.

Se projeter dans les années à venir permet d'élaborer une nouvelle conception des métiers de la mer. Puisqu'elle diminue, le pêcheur prélèvera moins de ressource, ce qui sera bon pour elle, mais le marin, lui, sera donc plus à terre. Pour éviter une reconversion totale, comme un travail de gardien de port de plaisance, le pêcheur pourrait en partie continuer à exercer sa profession, puis la compléter par une activité proche de son métier initial. Ainsi, lorsqu'il ne serait pas en mer, il pourrait pratiquer un second métier en lien avec son savoir-faire, par exemple dans les élevages marins, mais, comme on l'a vu, l'aquaculture ne peut à elle seule compenser la chute de la ressource, ni tous ses effets. D'autres emplois existent déjà dans de nouvelles activités telles que l'algoculture et la culture de microalgues (spiruline, chlorelle...), qui, comme la pêche, concernent des produits de la mer et l'alimentation humaine. Ainsi, comme toutes les espèces de la planète, l'homme devra s'adapter aux nouvelles conditions environnementales... qu'il a lui-même créées par un mode de vie trop souvent éloigné des réalités de son milieu naturel. ■

CHAPITRE 11 LES LARVES DE MOLLUSQUES

Les mollusques sont des animaux invertébrés au corps mou souvent protégé par une coquille robuste. Contrairement aux gastéropodes (bigorneaux) qui ont une coquille, une tête et un pied leur servant de moyen de déplacement, les bivalves sont acéphales, c'est-à-dire dépourvus de tête, possèdent une coquille constituée de deux parties distinctes, jointes par un muscle charnière, et n'ont pas de capacité de locomotion. Moules, huîtres, coques, palourdes ou encore coquilles Saint-Jacques sont des bivalves dits « lamellibranches », car leurs branchies, organes respiratoires, sont disposées en séries de petites lamelles. Parmi les lamellibranches, certains sont filtreurs, comme l'huître et la moule, d'autres sont munis de siphons tubiformes, c'est-à-dire de deux tuyaux, l'un inhalant, qui aspire l'eau et le plancton, et l'autre exhalant, qui expulse les matières organiques après digestion ; c'est le cas de la palourde.

LA REPRODUCTION DES HUÎTRES

Parmi les bivalves filtreurs, l'huître creuse (*Crassostrea gigas*), allongée et à la coquille rugueuse, et l'huître plate (*Ostrea edulis*), arrondie et à la coquille feuilletée, sont deux espèces tout à la fois proches et différentes, en particulier pour la reproduction. L'huître est hermaphrodite successive, c'est-à-dire qu'elle peut changer de sexe d'une saison de reproduction à l'autre (huître creuse), voire au cours de la même année (huître plate). Au printemps, dès que la température dépasse 10 °C, commence la fabrication massive des cellules sexuelles, ovules ou spermatozoïdes. L'organe reproducteur épaissit et prend une couleur blanc crème. Les huîtres plates sont alors dites « très grasses », et les huîtres creuses « laiteuses ». Une même huître fraie plusieurs fois par an. La saison de reproduction s'étend de juin à septembre. Les pontes les plus importantes se font en juin et juillet et sont si denses que la mer devient parfois blanc argenté.

L'huître creuse (*Crassostrea gigas*) est ovipare. L'huître libère ses gamètes arrivés à maturité lorsque les conditions sont favorables, c'est-à-dire dans une eau à bonne température (au-dessus de 20 °C)

et à faible salinité, d'où la nécessité de la proximité des rivières. Lorsqu'elle pond, la femelle effectue des battements de valves pour expulser ses ovules par millions, tandis que le mâle entrouvre ses coquilles et laisse échapper un mince filet continu de spermatozoïdes. Une seule huître émet jusqu'à 100 millions de gamètes femelles et encore plus de gamètes mâles. La fécondation a lieu dans l'eau, puis commence la division cellulaire. Au bout de vingt-quatre heures, l'œuf transparent éclôt et donne naissance à une petite larve qui mesure environ 60 microns. Cette première larve d'huître est ciliée et se déplace en tournoyant sur elle-même.

L'huître plate (*Ostrea edulis*) est vivipare. L'huître femelle pond ses œufs en interne dans sa cavité palléale, tandis que le mâle répand sa laitance dans l'eau. Les œufs sont fécondés au sein de la femelle au fur et à mesure que les spermatozoïdes y pénètrent par filtration. À l'éclosion, les petites larves restent dans l'huître mère et s'y développent pendant huit à dix jours jusqu'à la formation de la première coquille. À ce stade, l'huître femelle est dite « ardoisée » en raison de la couleur grise des centaines de milliers de larves contenues dans sa poche incubatrice. Ces larves de 160 microns environ sont ensuite émises dans l'eau pour une vie pélagique.

LA VIE LARVAIRE

Pour les deux espèces, creuse et plate, la larve a au départ la forme d'un D et présente un bord rectiligne qui est l'amorce de la future charnière. La petite larve est ciliée et transparente, laissant visibles ses organes internes. En plus des cils vibratoires, peu à peu apparaît le velum, sorte de petit voile qui se déploie hors de la fine coquille pour permettre à la larve de nager et de capter la nourriture, c'est-à-dire du phytoplancton. Lorsque le velum est totalement formé, la larve est dite véligère. Les valves se développent, ainsi que le muscle de jonction qui permettra au coquillage de s'ouvrir et se fermer. La larve véligère nage entre deux eaux, se déplaçant au gré des courants, pendant dix jours ou trois semaines suivant l'espèce, plus longtemps pour *Crassostrea gigas* (creuse) que pour *Ostrea edulis* (plate) qui a déjà nourri ses larves à l'intérieur de sa coquille, dans sa partie ardoisée, pendant une huitaine de jours. Sa durée de vie pélagique est aussi fonction des conditions environnementales : température, vents, courants, quantité et qualité de nourriture. La véligère consomme des microalgues, petites puis de plus en plus grosses à mesure qu'elle grandit et que la taille de sa bouche augmente.

Arrive le moment où la larve d'huître doit impérativement se fixer à un support quelconque pour se métamorphoser. Pour ce faire, le velum fabrique un pédoncule mobile, le pied, qui palpe l'environnement à la recherche d'un objet solide pour s'y accrocher. La larve, devenue pédivéligère, mesure environ 300 microns et présente une tache noire, appelée œil, qui est un organe sensoriel et le signe que la larve est prête pour la fixation. Grâce à son pied, la pédivéligère rampe et fait plusieurs tentatives avant de choisir son support définitif, puis fabrique un ciment et s'y fixe. Là, elle se métamorphose et devient juvénile, ne faisant plus partie du plancton. On l'appelle alors naissain.



SE FIXER COÛTE QUE COÛTE

« Le problème principal pour les larves âgées, proches de la métamorphose, est de se trouver à proximité d'un substrat convenable au bon moment pour ne pas être entraînées par un courant ou tout autre raison vers le large ou dans des lieux sans conditions correctes. Des études expérimentales ont montré que les larves prêtes à se métamorphoser sont capables de reconnaître les conditions physiques et biologiques du substrat adéquat. Des substances chimiques attractives originaires du substrat ont été mises en évidence pour diverses espèces d'animaux, tels que les vers,

les huîtres, les cirripèdes, qui sont ainsi capables de sélectionner leur localisation pour devenir adultes. On connaît le problème des ostréiculteurs qui doivent récolter les larves d'huîtres au moment où les petites véligères, totalement libres dans l'eau, sont prêtes à se fixer : il faut leur fournir un substrat adéquat juste au bon moment sinon on risque de voir s'échapper le naissain pour toujours vers le large ou vers l'exploitant concurrent ! » ■

Extrait du *Plancton*, Gérard Seguin, Jean-Claude Braconnier et Bernard Ekhaïm, coll. « Que sais-je ? », n° 1241, PUF, 1997.

QUELQUES PRINCIPES D'OSTRÉICULTURE

Dans le milieu naturel, le support où se fixent les larves est souvent un rocher. En ostréiculture, on lui substitue des collecteurs : du matériel en plastique, des barres de fer ou d'autres objets plus naturels comme les coquilles vides de moules ou de coquilles Saint-Jacques. Car une fois cimentés au rocher, les juvéniles ne s'en décollent plus. Or l'ostréiculteur a besoin de les prélever pour les amener dans ses parcs. C'est ce qu'on appelle le captage. Il installe des supports dans les lieux de reproduction des huîtres, puis, quand les juvéniles y sont fixés, il recueille les collecteurs couverts de naissain et les éparpille dans sa zone de culture sur le littoral. Une fois les petites huîtres de 1 millimètre agglutinées sur leur support, une seule coquille Saint-Jacques

par exemple pouvant en porter plusieurs centaines, elles sont facilement manipulables et transportables. Certains ostréiculteurs de Charente Maritime, lieu de captage de l'huître creuse, récoltent ainsi le naissain pour l'expédier ailleurs en France (Normandie, Bretagne, Méditerranée) ou à l'étranger, chez d'autres professionnels qui les élèveront jusqu'à leur taille adulte.

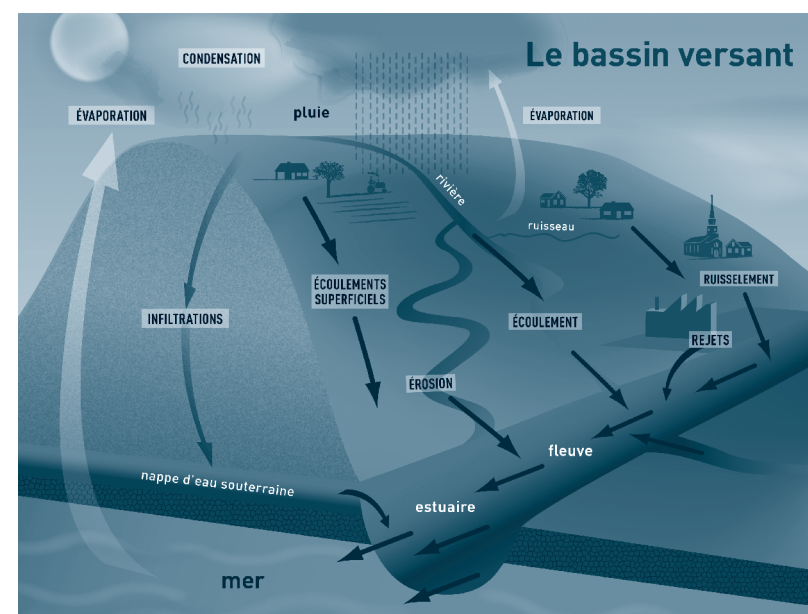
Les parcs ostréicoles sont installés dans des endroits facilement accessibles, mais également riches en plancton, c'est-à-dire, en général, dans les estuaires, où le mélange des eaux douces et des eaux salées permet une alchimie complexe idéale pour le développement du phytoplancton. Dans ce milieu de sables et de vases, l'abondance et la diversité des microalgues favorisent la croissance des juvéniles qui, naturellement, n'auraient pu y vivre, sans rochers pour se métamorphoser. Les petites huîtres passent ainsi plusieurs mois attachées à leur support, jusqu'à ce qu'elles atteignent une taille d'environ 3 centimètres. Elles sont alors assez solides pour être « détachées », c'est-à-dire décollées du collecteur. Ainsi libérées, elles sont rassemblées dans des poches ostréicoles, sortes de grands sacs grillagés que l'ostréiculteur dépose à même le sol ou sur des structures, dans des parcs aménagés où, pendant deux à trois ans, les huîtres grossissent peu à peu, se nourrissant de la grande diversité du phytoplancton : diatomées, chlorophycées, chrysophycées. Puis, arrivées à maturité, les huîtres sont commercialisées et rejoignent les étals des marchés.

LES ENNEMIS DE L'HUÎTRE

Dans la mer, les prédateurs majeurs de l'huître sont certaines espèces de bigorneaux perceurs qui perforent sa coquille pour consommer sa chair, ainsi que l'étoile de mer qui rampe sur le fond, repère et saisit le coquillage, glisse son estomac et ses puissants sucs digestifs entre les valves écartées, puis en digère le contenu. Hormis ces animaux qui peuvent faire de gros dégâts dans les élevages, les principaux dangers pour l'huître sont biologiques. Certaines espèces de phytoplancton, en particulier des dinoflagellés, produisent des toxines puissantes qui peuvent se concentrer dans la chair de ces filtreurs, les rendant impropres à la consommation. Par ailleurs, quelques bactéries pathogènes infestent les coquillages, mettant en danger la santé de tout l'écosystème et des consommateurs humains. De plus, provenant des excès agricoles, industriels ou domestiques, une trop grande disponibilité d'éléments nutritifs provoque parfois un phénomène d'eutrophisation qui peut priver les huîtres de nourriture adaptée et fragiliser l'équilibre du milieu par une diminution de

l'oxygène disponible. Enfin, certaines disparitions d'huîtres restent inexpliquées, comme celles que l'on connaît aujourd'hui. De telles mortalités incompréhensibles existent depuis les années 1860, c'est-à-dire depuis le début de l'élevage des huîtres.

Ainsi, l'huître étant très vulnérable aux facteurs biologiques, l'ostréiculture dépend principalement de la bonne qualité des eaux marines. Ces coquillages sont des animaux que l'on vend et que l'on mange vivants ; ils sont donc très surveillés, leur élevage étant réglementé par des normes draconiennes. Leur qualité sanitaire du plus haut niveau est le résultat de la bonne santé du milieu : propreté de l'eau et diversité du phytoplancton. C'est pourquoi le métier d'ostréiculture est un bon indicateur de l'état de l'environnement. Lorsqu'elle est prospère, cette profession témoigne d'une population planctonique riche et donc d'une eau bien équilibrée. C'est le cas lorsque le bassin versant est respectueux des écosystèmes fragiles du littoral.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

LARVES À FOISON

Comme les crustacés, les mollusques passent leur vie larvaire dans le plancton et participent abondamment aux chaînes alimentaires. Pendant la période de reproduction, chaque espèce de coquillage fournit des millions d'œufs et de larves, dont quelques dizaines

seulement arrivent à maturité, tant la prédation est importante. À elle seule, une huître peut en produire jusqu'à plusieurs dizaines de millions qui, pendant les quinze jours ou trois semaines de leur vie larvaire, enrichissent le garde-manger des espèces pélagiques comme les crustacés et les poissons. Ainsi, même si 1 % seulement de ces larves survivent, leur grand nombre permet de produire tout de même beaucoup d'adultes.

LA PALOURDE

Contrairement à l'huître qui, dans le milieu naturel, vit fixée aux rochers, la palourde a besoin de sable et de sédiments pour s'enfouir. Comme elle n'a pas le même lieu de vie, sa nourriture est différente, la palourde consommant uniquement du phytoplancton benthique, tandis que l'huître y ajoute des microalgues pélagiques en filtrant l'eau. De plus, munie d'un organe locomoteur

appelé pied, la palourde a la particularité de pouvoir se déplacer. Elle subit également les mouvements naturels des sables et des sédiments qui bougent sous l'action des courants, des vents et des tempêtes, l'entraînant malgré elle. Bien que la palourde soit benthique, ses larves vivent en pleine eau au sein du zooplancton, contribuant elles aussi à son abondance. ■

Les coquillages se reproduisent à des périodes différentes selon les espèces, par exemple, en juin et juillet pour les huîtres, de février à juillet pour les moules, de juin à septembre pour les coquilles Saint-Jacques et du printemps à l'automne pour les palourdes. Parmi les gastéropodes, les bigorneaux ont la capacité de se reproduire à peu près toute l'année, d'où leur abondance, avec une vie larvaire s'étendant sur cinq semaines. Ainsi, chaque année, entre Pâques et la Toussaint, en permanence, une ou plusieurs espèces de mollusques libèrent dans l'eau des millions de larves qui composent la nourriture de tous les poissons et crustacés se développant justement à cette époque de l'année. Ces cycles d'apparition du zooplancton temporaire, naturellement coordonnés, répondent aux besoins alimentaires de toutes les espèces qui vivent en interdépendance au sein des réseaux trophiques, chacune ayant sa place dans la chaîne alimentaire et son rôle dans le maintien de la biodiversité marine.

INDICATEUR DE SANTÉ

Comme pour le zooplancton permanent (rotifères, copépodes, krill...) et le zooplancton temporaire, la variété des bivalves (huîtres,

coques, moules, palourdes, coquilles Saint-Jacques...) dépend de la diversité du phytoplancton. Les estuaires sont souvent riches en coquillages, car ces lieux de rencontre des eaux douces et des eaux salées sont propices au développement de nombreuses espèces de microalgues. Cet éventail offre un large choix aux larves de toutes sortes et permet à chacune de trouver une nourriture adaptée à la taille de sa bouche à chaque stade de son développement, ce qui est indispensable à sa croissance jusqu'à l'état adulte. En cas de bloom excessif d'une seule espèce de phytoplancton, dû à diverses pollutions de l'eau, le menu des larves se réduit à une seule grosseur de nourriture et ne correspond plus qu'à certaines larves, créant une pénurie pour toutes les autres et diminuant la diversité du zooplancton temporaire. Ainsi, la qualité des eaux, indispensable à la richesse du phytoplancton, est déterminante pour la survie d'une multitude d'espèces marines, et en particulier pour les animaux filtreurs comme les mollusques. C'est pourquoi, sur le littoral, la diversité des coquillages est un très bon indicateur de la qualité des eaux. Nul besoin d'analyses, le cortège des espèces présentes suffit à la démontrer. Dans une eau côtière, tant qu'y vivent les huîtres et les palourdes, c'est que le phytoplancton y est varié et que le milieu est en bonne santé.

À l'inverse, la présence d'une seule espèce de bivalve pourrait constituer une alerte, et sa prolifération être dangereuse. Il s'agirait probablement des moules qui, contrairement aux huîtres qui filtrent et éliminent tout ce qui leur est indésirable, peuvent se contenter d'une seule sorte de microalgue ou même de matière organique et ne constituent donc pas, à elles seules, un indice de qualité. Ainsi, la variété des coquillages et des crustacés est la conséquence directe de la grande diversité du phytoplancton, qui est un peu le chef d'orchestre de la biodiversité du littoral. ■

CHAPITRE 12

LES LARVES D'ECHINODERMES

Les échinodermes (du grec *ekhinós*, «hérisson», et *derma*, «peau») sont des animaux marins au corps presque toujours protégé par des plaques calcaires parfois munies d'aiguillons fixes ou articulés. L'étoile de mer, l'oursin, l'ophiure ou encore l'holothurie (concombre de mer) sont des échinodermes. Au début de leur existence, ces animaux benthiques ont une vie larvaire pélagique.

En effet, leurs larves se développent en pleine eau, où elles enrichissent le zooplancton et contribuent à l'alimentation des espèces supérieures. Puis les juvéniles se posent sur le fond et y restent toute leur vie d'adulte.

L'OURSIN, UN ANIMAL ORIGINAL

En France vivent trois à cinq espèces d'oursins, dont trois sont comestibles : l'oursin vert, l'oursin violet et l'oursin des îles des Glénan. Reconnaisable à son allure de bogue de châtaigne, l'oursin est un animal complexe et original. En effet, son corps présente une symétrie rayonnée en cinq parties, contrairement à la majorité des animaux chez qui cette symétrie est bilatérale. Son squelette interne, appelé test, est une structure sphérique composée de petites plaques calcaires, fines et fragiles, disposées en rayons. Il est recouvert d'épines, mobiles comme des échasses, et porte des pieds, ou podias, sortes de tubes pouvant s'allonger ou se rétracter, qui sortent du test par de petits orifices et se terminent par une ventouse permettant à l'animal de se fixer sur différents supports. Piquants et podias sont à la fois des organes de locomotion, de prédation et des armes défensives. L'oursin possède également de minuscules appendices prolongés par une pince constituée de trois branches : les pédicellaires, qui lui servent à nettoyer sa carapace, à capturer des proies et, munis de glandes à venin, à se défendre des agressions extérieures. Lorsque l'animal est fixé sur un rocher, l'anus se trouve sur sa face supérieure. La bouche est à l'opposé de l'anus, sur la face intérieure, située au centre d'une zone molle, dépourvue de piquants, qui constitue le point faible de l'animal face à ses prédateurs. Elle comporte un appareil masticateur

élaboré et puissant, composé de cinq dents (la lanterne d'Aristote), et se prolonge par le tube digestif enroulé à l'intérieur du test.

Comme pour la plupart des échinodermes, les sexes sont séparés et la fécondation est externe. L'appareil génital, interne, de l'oursin est constitué de cinq gonades formant des grappes disposées en rayons. Ces glandes sexuelles représentent la partie comestible de l'animal. Les semences mâles et femelles sont libérées grâce à des canaux débouchant près de l'anus. Le sexe de l'oursin n'est pas visible extérieurement. Cependant, lorsque les cellules sexuelles sont expulsées, elles sont facilement discernables à leur texture et à leur couleur. En effet, les ovocytes ont une teinte orangée et, lors de la ponte, sont émis sous forme de petits amas, tandis que les spermatozoïdes sont blanchâtres et ont un aspect plus fluide.

LA REPRODUCTION DE L'OURSIN

Mâles et femelles vivent sur le fond et diffusent leur semence dans l'eau où se fait la fécondation. Les spermatozoïdes sont attirés par les ovules et y pénètrent. Aussitôt débute la segmentation qui consiste en une succession de divisions cellulaires à l'intérieur de l'œuf. Au bout de cinq heures, l'œuf ressemble à une petite mûre, appelée morula, qui, progressivement, se transforme en une véritable larve. Huit heures après la fécondation se forment les cils vibratiles qui sont les premiers organes externes visibles. Nommée blastula, la larve ciliée, devenue nageuse, peut se déplacer dans la masse d'eau, tandis que, petit à petit, ses organes vitaux se mettent en place, de la bouche à l'anus. Disposant alors d'un appareil digestif, la larve, dite gastrula, commence à se nourrir d'algues microscopiques en suspension dans l'eau. Trente-six heures après la fécondation, la larve a l'allure d'une tour Eiffel, qui est la forme caractéristique du stade pluteus. Le pluteus grandit, modifie peu à peu sa morphologie pyramidale, se munit de bras qui régressent ensuite, s'arrondit, puis devient échinopluteus vers le treizième jour.

À partir du quatorzième jour débute la métamorphose qui s'étale sur plusieurs jours, marquant la fin de la vie planctonique et le passage à la vie benthique. La larve s'épaissit, bouche et anus se déplacent, les podias et les premiers pédicellaires apparaissent, les piquants calcaires pointent, tandis que le corps prend la forme d'une minuscule pomme de terre. Alourdi, le juvénile tombe sur le fond et commence à ramper. Il mesure alors environ 1 millimètre. Jour après jour, le jeune oursin poursuit sa croissance jusqu'à sa taille définitive. Puis, avec la formation des organes sexuels, il devient adulte et peut à son tour se reproduire.

VORACES ET UTILES

La vie larvaire de l'oursin dure trois ou quatre semaines, selon l'espèce, et se déroule en pleine eau. Grâce à leur bouche assez grosse (20 à 30 microns), les larves avalent toutes les microalgues passant à proximité, en particulier des chlorophycées (*Dunaliella*, *Tetraselmis*...). Au terme de cette période, après la métamorphose, les juvéniles vivent sur le fond. Les jeunes oursins se cachent dans les creux des rochers et croquent des diatomées benthiques. Au fur et à mesure qu'ils grandissent, leur nourriture évolue. De brouteurs de phytoplancton, ils deviennent brouteurs d'algues filamenteuses, puis de laminaires, d'algues rouges et de toute la variété des algues poussant dans leur lieu de vie, c'est-à-dire la zone à mi-parcours de l'estran, qui correspond à la partie couverte puis découverte lors des marées à petits coefficients. Les algues ne lui suffisant pas, l'oursin est également détritivore. Sur ses podias, il se déplace à la recherche d'animaux morts. Pour dévorer une moule, par exemple, il s'installe dans sa coquille et en mâche la chair. Il se régale également de détritus et de matières organiques, jouant ainsi un rôle de nettoyeur du milieu.

L'oursin partage cette mission avec d'autres échinodermes, l'étoile de mer étant la plus vorace. En effet, l'étoile de mer ne se contente pas des cadavres, mais capture également des animaux vivants, mollusques, éponges, coraux, crustacés et poissons constituant ses proies favorites. Pour dévorer une huître, par exemple, l'étoile de mer ouvre la coquille au moyen de ses ventouses, y introduit son propre estomac qu'elle a auparavant fait sortir de sa bouche, puis absorbe la chair de sa victime et la digère grâce à ses puissants sucs gastriques. C'est pourquoi, si une étoile de mer s'introduit dans un élevage ostréicole, ou rencontre un banc d'huîtres fixées sur des rochers, elle peut provoquer un vrai carnage.

Assurant le nettoyage des fonds marins et la destruction des espèces envahissantes, les oursins et les étoiles de mer jouent un rôle important dans l'équilibre de leur milieu. À l'image des loups qui mangent les bêtes fatiguées ou malades, ces échinodermes évitent l'accumulation des matières organiques et le développement des bactéries, parfois pathogènes. Ils préviennent ainsi la prolifération des maladies et permettent aux autres animaux de se développer dans un environnement sain. Par ailleurs, chaque échinoderme pond des millions de larves qui enrichissent le zooplancton et contribuent à l'alimentation des larves et juvéniles d'animaux plus gros. De plus, l'adulte, posé sur le sable ou les rochers, est une proie facile pour de nombreux prédateurs tels que les oiseaux, les poissons, les crustacés

ou les anémones de mer. Ainsi, semblant de prime abord presque inutiles, les échinodermes sont nécessaires à leurs voisins et participent donc au maintien de la biodiversité, prouvant encore une fois que, dans un milieu, chaque espèce est importante, car toutes sont interdépendantes. Il s'agit donc de sauvegarder chacune pour préserver l'ensemble. ■

LUIDIA CILIARIS, UNE ÉTOILE FRAGILE

Faisant partie des plus beaux échinodermes, les étoiles de mer comptent plus de 1500 espèces. D'une espèce à l'autre, la forme diffère, certaines ayant des branches en pointes, d'autres arrondies, quelques-unes en étant dépourvues, et la taille varie de 1 à 70 centimètres de diamètre. La majorité d'entre elles possède cinq branches. *Luidia ciliaris* est une étoile à sept bras, très grande, mais aussi l'une des plus fragiles. On la trouve, par exemple, autour de l'île de

Groix, en Bretagne. Habituellement, les étoiles de mer ont la faculté de reformer leur corps entier à partir d'un seul bras mutilé. Or, si l'on coupe une branche à *Luidia ciliaris*, elle meurt aussitôt, car elle est hémophile. Pour compenser sa fragilité, la chance de survie de cette espèce est de pondre beaucoup, jusqu'à 50 millions d'œufs à chaque ponte. Pourtant, malgré cette grande quantité d'œufs et de larves produits, *Luidia ciliaris* reste peu abondante. ■

CONCLUSION

OUVRIR LES YEUX SUR L'INVISIBLE

Une goutte d'eau de mer est peuplée d'une foule d'animaux et de végétaux invisibles à l'œil nu. En découvrant cette multitude d'êtres minuscules grouillant dans l'objectif d'un microscope, on se prend à imaginer l'ampleur du monde planctonique foisonnant dans l'immensité des océans de la planète. Cette vie dense et éphémère (quelques heures, jours ou semaines) se renouvelle en permanence. La masse du phytoplancton mondial peut se régénérer complètement en quelques jours. Cette production incessante est à l'origine de tous les réseaux trophiques marins, par le biais de la chaîne alimentaire. À sa base, le plancton végétal crée de la matière organique à partir des substances minérales qui proviennent de la terre par l'intermédiaire des rivières. La terre nourrit la mer. Et la mer nourrit l'homme, qui, depuis des millénaires, profite de toute cette richesse biologique.

La riche variété végétale et animale marine, des grands fonds jusqu'aux oiseaux, découle de la diversité du plancton. Sans lui, la baleine ne peut vivre, et vouloir la protéger sans se soucier du plancton serait comme essayer de sauvegarder l'orang-outan sans sa forêt. Le plancton, forêt invisible, est à la fois un poumon pour notre planète et un vivier pour l'alimentation humaine. Sous la surface, l'océan est bouillonnant de vie. Observer le plancton, comme on observe les oiseaux, permet de s'émerveiller de ses formes extraordinaires, mais aussi de surveiller sa santé et de comprendre sa fragilité face aux agressions multiples qui menacent les équilibres sensibles des écosystèmes marins et planctoniques en particulier. L'enjeu se situe à l'articulation entre la terre et la mer, réceptacle des résidus des activités terrestres et lieu où la qualité de l'eau est déterminante, cette qualité ne signifiant pas seulement l'absence de pollution, mais surtout la présence de la diversité du phytoplancton et du zooplancton. Aujourd'hui, il est urgent de porter notre regard sur l'invisible pour voir l'océan d'un nouvel œil et comprendre l'abondance et la vulnérabilité de sa vie microscopique.

« Là où il y a du thon, il y a de l'anchois, car le thon va sur l'anchois », explique un ancien pêcheur. Et si l'on rajoute que l'anchois « va sur » le plancton, on a résumé toute la chaîne alimentaire. Ces observations de terrain combinées avec les données scientifiques apportent une connaissance précise des interactions à l'œuvre au sein des réseaux trophiques et permettent d'affirmer que le plancton d'aujourd'hui représente les protéines de demain. Vital pour les populations actuelles et futures, ce « petit peuple de la mer » devrait faire l'objet d'une protection à la mesure de son importance. Le plancton

pourrait être déclaré patrimoine de l'humanité et l'on pourrait imaginer une gouvernance mondiale chargée de maintenir une relation optimale entre l'homme et la nature. Pour ce faire, une prise de conscience citoyenne est indispensable et toutes les initiatives sont les bienvenues pour transmettre ce savoir au plus grand nombre, et en particulier aux enfants, pour que les générations à venir sachent préserver cette ressource naturelle née avec l'océan. ■

BIBLIOGRAPHIE

Livres

- › *Atlas de biologie*, édition française, Librairie Stock, 1970.
- › *Tout l'univers*, encyclopédie, Hachette, 1961-1970.
- › Gilbert Barnabé, *Aquaculture*, vol. 1 et 2, Tec & Doc Lavoisier, 1989.
- › Anita Conti, *L'Océan, les Bêtes et l'Homme, ou l'ivresse du risque*, Éditions André Bonne, 1971.
- › Paul Duvigneaud, *La Synthèse écologique*, Doin, 1980.
- › Christine Ferra (dir.), *Aquaculture*, Vuibert, 2008.
- › Bernard Fischesser et Marie-France Dupuis-Tate, *Guide illustré de l'écologie*, La Martinière / Cemagref Éditions, 1996.
- › Jacqueline Goy, *Les Miroirs de Méduse. Biologie et mythologie*, Apogée, 2002.
- › Michel Grelon, *Saintonge. Pays des huîtres vertes*, Rupella, 1978.
- › Guy Jacques, *Écologie du plancton*, Tec & Doc Lavoisier, 2006.
- › Dorothée Koechlin-Schwartz et Michel Boyenval, *Petit guide des rivages*, Fleurus, 1974.
- › Maurice Loir, *Guide des diatomées*, Delachaux et Niestlé, 2004.
- › Pierre Mollo, *Aquaculture. 1969 à 1986*, Cempama, 1991.
- › Jean-Marie Pelt et Jean-Pierre Cuny, *La Prodigueuse Aventure des plantes*, Fayard, 1981.
- › Jeanne Poisbeau-Hémery, *Marais salants*, Société des sciences naturelles de l'ouest de la France, Nantes, 1980.
- › Gilbert Ranson, *Les Huîtres*, Éditions Paul Lechevalier, 1951.
- › Gérard Seguin, Jean-Claude Braconnier et Bernard Ekhaïm, *Le Plancton*, « Que sais-je ? », n° 1241, PUF, 1997.
- › Éric Seinandre, *La terre m'a souri. Marais salants de la presqu'île guérandaise*, photographies de Pascal François, Terre de sel, 2007.
- › Maëlle Thomas-Bourgneuf et Pierre Mollo, *L'Enjeu plancton*, Éditions Charles Léopold Mayer, 2009.
- › Valérie Tracqui, Françoise Claro, Christian Heinrich et Pascal Robin, *Copain des mers*, Éditions Milan, 1982.

Revues

- › *Baies et rias*, revue de la SRC Bretagne Sud, n° 30, juin 2009.
- › *Eaux et rivières de Bretagne*, spécial « Littoral », n° 145, automne 2008.
- › *L'Encre de mer*, avec la coopération du Collectif Pêche et Développement, n° 22-23, n° 28-29.
- › *Et la matière reprend vie. Écologie du plancton*, Institut océanographique de Paris, 1981.
- › *Petit guide du plancton*, Cap vers la nature, février 2010.
- › *Pour la science*, n° 371, septembre 2008.
- › *La Recherche*, spécial « La mer », n° 355, juillet-août 2002.
- › *Science et Vie*, hors-série n° 257, décembre 2011.

Films

- › *Climate Change and Marine Ecosystems*, Eur-Oceans Films, 2005-2006.
- › *La Cuisine au plancton*, Jean-Yves Collet et Pierre Mollo, Com On Planet / Océanopolis / FPH / Plancton et Innovations, 2010.
- › *La Mer féconde*, Geneviève Delbos et Pierre Mollo, 1981.
- › *Origine océan*, Gérald Calderon, La Géode, 2001.
- › *Planète plancton. Au service des hommes* et *Planète plancton. L'impact de l'homme*, Jean-Yves Collet, Arte, 2010.
- › *Une mer en ses terres*, Geneviève Delbos et Pierre Mollo, 1983.
- › *Plancton du monde*, Philippe Coyault, Océanopolis, VO français et anglais, 2012.
- › *Océans*, Jacques Perrin et Jacques Cluzaud, Galatée Films, 2010.

Sites Internet

- › Anne Blondel : www.lavieduplancton.over-blog.com
- › CAP 2000 : www.jimdo.com
- › Cap vers la nature : www.cap-vers-la-nature.org
- › Centre scientifique de Monaco : www.centrescientifique.mc/csmfr
- › L'Encre de mer : www.l-encre-de-mer.fr
- › Expédition Tara Océans : www.oceans.taraexpedition.org/fr
- › Jean-Yves Collet : www.comonplanet.org – www.jeanyvescollet.com
- › Maurice Loir : www.diatomloir.eu
- › Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer / université Pierre-et-Marie-Curie : www.obs-vlfr.fr

- › Observatoire du plancton, Port-Louis : www.observatoire-plancton.fr
- › Océanopolis/FPH : www.plancton-du-monde.org
- › Yann Trelu : www.touldour.sitew.com

GLOSSAIRE

Aérobie

Se dit des micro-organismes, telles certaines bactéries, qui ont besoin d'oxygène pour vivre.

Anaérobie

Se dit des micro-organismes qui n'ont pas besoin d'oxygène pour se développer, c'est le cas de certaines bactéries ou cellules qui ne peuvent vivre au contact de l'air.

Aquaculture

Activité professionnelle d'élevage de poissons, coquillages, crustacés.

Autotrophe

Qualifie un organisme capable de synthétiser de la matière organique à partir de matière minérale en utilisant l'énergie lumineuse et la chlorophylle (photosynthèse).

Azote

L'azote, élément chimique (N), désigne dans le langage courant le gaz diatomique diazote (N₂), constituant majoritaire de l'atmosphère terrestre (78 %, l'oxygène représentant 21 %). L'azote est le 34^e élément composant la croûte terrestre par ordre d'importance. Les minéraux contenant de l'azote sont essentiellement les nitrates, comme le nitrate de potassium (constituant du salpêtre), qui servait autrefois à faire des poudres explosives, ou le nitrate de sodium.

Bactérie

Être vivant unicellulaire de très petite taille (de l'ordre du micron).

Bassin versant

Territoire associé à une rivière et regroupant tous les terrains sur lesquels ruissellent, s'infiltrant et courent les eaux qui alimentent cette rivière.

Biodiversité

Diversité naturelle des organismes vivants. La biodiversité s'apprécie en considérant la diversité des écosystèmes, des espèces et des populations dans l'espace et dans le temps.

Biomasse

Quantité de matière vivante présente à un instant donné dans un espace ou un volume donnés.

Cellule

Le plus petit élément organisé de tout être vivant.

Chlorophylle

Molécule permettant aux végétaux de capter l'énergie lumineuse et de la transformer en énergie chimique pour fabriquer des molécules organiques.

Diatomite

Roche de couleur claire formée entièrement ou presque de « squelettes » de diatomées. La diatomite est extrêmement légère et friable.

Division cellulaire

Mode de multiplication de toute cellule. Lors du processus de division cellulaire, une cellule mère se divise en plusieurs cellules filles (deux le plus souvent). C'est un processus fondamental dans le monde vivant, puisqu'il est nécessaire au développement de tout organisme.

Écloserie

Établissement aquacole dans lequel est réalisé le premier stade de l'élevage, à savoir la production de juvéniles, naissains dans le cas des huîtres, alevins dans le cas des poissons. C'est l'endroit où se pratiquent la reproduction artificielle, l'éclosion et l'élevage des larves de poissons, de coquillages et de crustacés, qui sont la base de l'aquaculture : conchyliculture, pisciculture, algoculture.

Écosystème

Ensemble formé par une communauté d'organismes vivant en interaction avec leur environnement (le biotope).

Effet de serre

Mécanisme naturel par lequel la surface d'une planète est réchauffée grâce à l'absorption des radiations solaires infrarouges par les gaz de son atmosphère.

Efflorescence ou bloom

Développement important et rapide de la concentration d'une espèce (ou de quelques espèces) de phytoplancton dans un milieu aquatique,

qui se traduit généralement par une coloration de l'eau (rouge, brun-jaune ou verte). Cette prolifération, végétale puis bactérienne, provoque une asphyxie du milieu. Ce phénomène peut concerner des eaux douces ou marines. On considère généralement le seuil de l'efflorescence algale à 10 000 cellules par millilitre; dans certains cas, la concentration peut atteindre plusieurs millions de cellules par millilitre.

Estran

Partie du littoral qui se découvre au rythme des marées.

Eutrophisation

Déséquilibre d'un écosystème, dû à un excès de nutriments, qui se traduit par une croissance excessive d'algues et/ou de microalgues et une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau.

Flagelle

Filament mobile et organe locomoteur.

Fossile vivant

On parle de fossiles « vivants » car les diatomées, nées il y a des centaines de millions d'années, existent encore aujourd'hui, contrairement, par exemple, aux dinosaures qui ont disparu il y a 65 millions d'années et dont on retrouve des fossiles « morts ».

Gaz à effet de serre

Gaz qui, dans l'atmosphère d'une planète, absorbent les radiations solaires infrarouges et les redirigent vers la surface, contribuant ainsi à augmenter la température de surface de cette planète. Dans l'atmosphère terrestre, l'un des principaux gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone (CO₂).

Gulf Stream

Puissant courant océanique de surface né dans le golfe du Mexique qui traverse l'océan Atlantique et assure à l'Europe de l'Ouest un climat doux.

Hétérotrophe

Se dit d'un organisme qui a besoin de substances biochimiques, qu'il trouve dans son milieu, pour assurer l'édification de sa propre substance vivante.

Hydrogène sulfuré

Corps composé gazeux, incolore, à l'odeur d'œuf pourri, soluble dans l'eau et toxique, dont la molécule (H_2S) est formée d'un atome de soufre et de deux atomes d'hydrogène.

Juvénile

Jeune poisson.

Marée

La marée est le mouvement montant (flux) puis descendant (reflux) des eaux des mers et des océans causé par l'effet conjugué des forces de gravitation de la Lune.

Matière organique

Matière carbonée composée d'organismes vivants, de résidus de végétaux et d'animaux et de produits en décomposition.

Molécule

Groupement stable constitué d'un nombre fini d'atomes liés entre eux et ayant une individualité propre.

Nutriments

Divers éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes. Les phosphates (contenant du phosphore), les nitrates (contenant de l'azote), les sels de potassium, de calcium et la silice sont des nutriments majeurs pour le phytoplancton. Les phosphates et les nitrates sont utilisés dans de nombreux produits de synthèse tels que les engrais, les détergents et les insecticides.

Oligoélément

Substance présente en très faible quantité (quelques microgrammes) dans l'organisme humain, mais néanmoins indispensable à celui-ci. Les principaux oligoéléments sont le cobalt, le cuivre, le fer, le fluor, l'iode, le manganèse, le molybdène et le zinc.

Phosphore

Corps simple, solide, constitué d'atomes de phosphore (P). Dans la nature, le phosphore est combiné à d'autres substances, les composés les plus répandus étant les phosphates. L'atome de phosphore entre dans la composition de certains engrais, détergents et insecticides (le plus souvent sous la forme de phosphates).

Photosynthèse

Processus au cours duquel les végétaux convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique. Ils utilisent l'énergie solaire, le CO_2 , des sels minéraux et l'eau pour élaborer, dans leurs tissus, les matières organiques nécessaires à leur métabolisme et à leur croissance.

Potentiel hydrogène (pH)

Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C, une solution avec un pH inférieur à 7 est acide ; avec un pH supérieur à 7, elle est basique ; avec un pH égal à 7, elle est neutre.

Sédiments

Particules en suspension dans l'eau qui se déposent au fond des océans.

Sels minéraux

Substances provenant des roches (érosion) ou de la décomposition de la matière organique par les bactéries. Indispensables à la vie, ils entrent dans la composition des organismes et sont présents dans l'alimentation animale et végétale.

Silice

La silice est un composé chimique minéral (dioxyde de silicium SiO_2) qui entre dans la composition de nombreux minéraux, comme le quartz ou l'opale. La silice est le constituant principal de la croûte terrestre. Elle sert de matière première pour la fabrication du verre.

Unicellulaire

Un organisme unicellulaire est un organisme de nature végétale ou animale constitué d'une unique cellule capable d'assurer ses multiples fonctions vitales. Le phytoplancton marin se compose de plus de 6 000 espèces d'algues unicellulaires.

Zone morte

Secteur sans vie à la suite d'eutrophisations répétées ayant privé le milieu de son oxygène.

