

Ces situations mettent au jour la notion de conflits génétiques qui a souvent cours dans les processus d'adaptation. Les gènes n'ont pas le même succès selon qu'ils sont portés par les mâles ou les femelles et l'évolution est souvent dirigée par ces conflits. Ce type d'argument permet-il d'expliquer le système de reproduction symétrique des espèces gynodioïques, celui des plantes androdioïques où coexistent seulement des mâles et des hermaphrodites? *A priori* non, puisque la voie mâle ne dispose pas de véhicule de gènes qui lui soit propre. Ainsi, le poids des arguments théoriques a même conduit à nier l'existence de telles espèces androdioïques dans la nature. Et pourtant, elles sont certes rares, mais bien réelles!

LE TROISIÈME SEXE

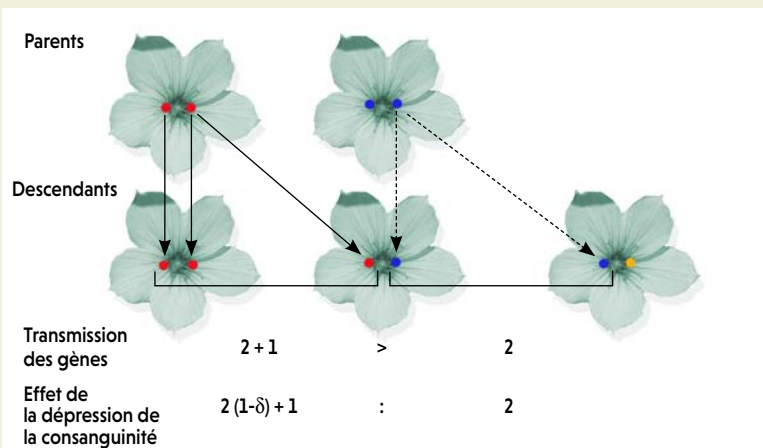
Récemment, Pierre Saumitou-Laprade et ses collègues, des universités de Lille 1 et de Montpellier ont élucidé chez l'espèce *Phillyrea angustifolia* (voir la figure page ci-contre en bas), une espèce proche de l'olivier, un mécanisme original, permettant le maintien des mâles et des hermaphrodites. Ils ont montré que les hermaphrodites sont dotés d'un système d'incompatibilité à deux groupes, les rendant compatibles avec seulement la moitié des hermaphrodites de la population. Les mâles, eux, peuvent féconder tous les hermaphrodites, soit deux fois plus que les hermaphrodites, ce qui leur permet de compenser l'absence de fonction femelle. On a donc une espèce où cohabitent trois sexes !

La grande diversité des formes florales résulte d'une diversification des stratégies de reproduction par la sélection naturelle. Les structures développées par les plantes sur lesquelles agit la sélection naturelle sont très variées (corolles plus ou moins colorées, système d'incompatibilité...), mais toutes peuvent se résumer par les règles de transmission des gènes précédentes.

Au cours de l'évolution, les changements de systèmes de reproduction ont été fréquents. Lorsqu'on reconstitue l'histoire évolutive d'un genre ou d'une famille botanique, on peut montrer que l'apparition de l'autofécondation à partir d'un ancêtre allofécondant chez les hermaphrodites est fréquente (voir la figure page 74). Dans la mesure où les formes allofécondantes sont encore présentes aujourd'hui, on peut supposer que les espèces autofécondantes s'éteignent plus souvent que les espèces allofécondantes, l'autofécondation ne constituerait pas une stratégie viable à l'échelle de la durée de vie des espèces.

Plus récemment, face aux changements planétaires et notamment face au déclin des pollinisateurs qui touche de façon directe les espèces à reproduction croisée, on a constaté que l'évolution vers l'autofécondation est possible, à très court terme. Ainsi, chez la petite

LE POIDS DE LA DÉPRESSION CHEZ LES HERMAPHRODITES



Chez les hermaphrodites, les gènes étant véhiculés à la fois par la voie mâle et la voie femelle, le nombre de gènes transmis est la somme des contributions du pollen et des ovules. Une plante qui acquiert la capacité à s'autoféconder (elle devient allogame) en détournant quelques grains de son pollen possède un avantage de 50 % en termes de nombre de gènes transmis : elle transmet ovule et pollen à sa descendance et continue à féconder d'autres plantes dans la population (flèches noires). Le génotype allogame ne transmet qu'une copie de ses gènes à ses descendants et une autre en pollinisant parmi la population (en pointillés). Cependant les descendants issus d'autofécondation ont une survie plus faible à cause de la dépression de consanguinité (δ). En terme de bilan, la stratégie allogame ou autogame dépend du nombre de gènes transmis, une fois la dépression prise en compte.

BIBLIOGRAPHIE

P. SAUMITOU-LAPRADE ET AL., *A Self-Incompatibility System Explains High Male Frequencies in an Androdioecious Plant*, Science, vol. 327, pp. 1648-1650, 2010.

R. DAWKINS (trad. N. Jones-Gorlin), *Le gène égoïste*, Odile Jacob, 2003.

P.H. GOUYON, J.P. HENRY et J. ARNOULD, *Les avatars du gène*, Belin, 1997.

C. DARWIN, *The different forms of flower on plants of the same species*. London, Murray, 1877.

centaurée *Centaurium erythraea*, une équipe belge a montré que les plants se développant en milieu urbain, appauvri en pollinisateurs, avaient développé la capacité de se reproduire par autofécondation alors même que les spécimens ruraux se reproduisent par fécondation croisée (voir la figure page 75).

Ce type d'évolution a été reproduit en conditions expérimentales chez la mimule *Mimulus guttatus*. Des chercheurs américains en ont cultivé avec ou sans pollinisateurs : en moins de cinq générations, le groupe de plantes sans pollinisateurs avait acquis la capacité à produire des graines sans pollinisateurs ! Ainsi, face aux changements environnementaux, les plantes sont en mesure de s'adapter rapidement. Est-ce une bonne nouvelle ? Pas si sûr... Si les plantes confrontées à la raréfaction des pollinisateurs acquièrent par l'autofécondation la capacité à s'en affranchir, de quelles ressources alimentaires disposeront les pollinisateurs dans le futur ? Assistera-t-on à la disparition d'une chaîne trophique dans les écosystèmes ? Verra-t-on dans nos campagnes des fleurs sans couleurs et sans odeurs ? ■

L'ESSENTIEL

- On a longtemps pensé que la chaîne alimentaire des océans était fondée sur deux groupes supposés majoritaires: le phytoplancton et le zooplancton.
- C'était sans compter les organismes mixotrophes, mi-plante, mi-animaux. Pour se nourrir, ils utilisent

la photosynthèse et chassent également des proies.

- Ces créatures hybrides auraient une influence majeure sur les niveaux globaux de dioxyde de carbone, sur les populations de poissons et les efflorescences d'algues toxiques.

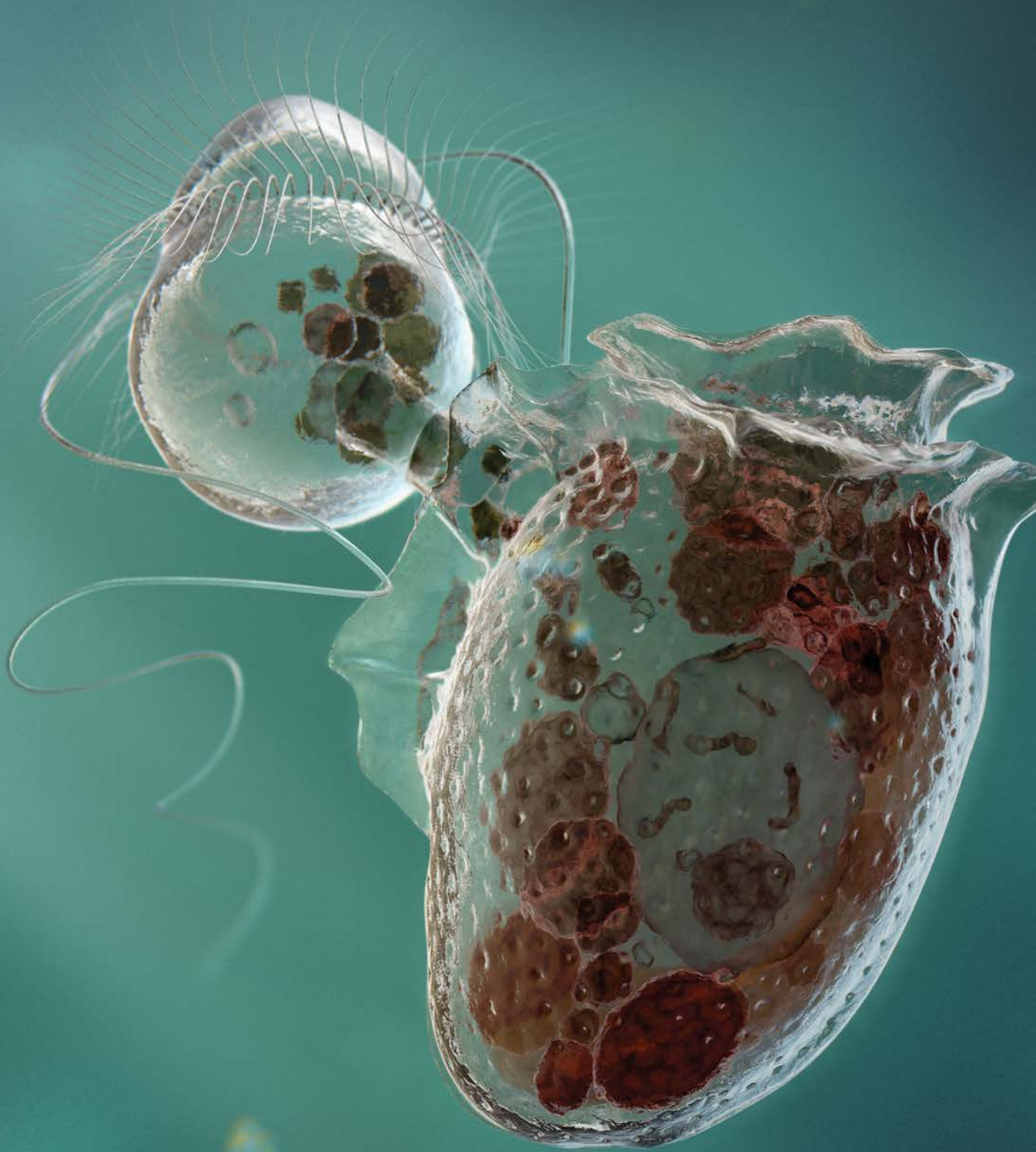
L'AUTEURE



ADITEE MITRA
enseigne les sciences de la vie
à l'université de Swansea,
au Pays de Galles.

Le règne des plantes-garous

De minuscules créatures marines vivent comme des plantes, grâce à la photosynthèse. Cependant, il leur arrive aussi de chasser comme des animaux. Parce qu'ils régendent les populations de poissons, ces mixotrophes seraient les maîtres des océans.



Scène d'horreur sous-marine :
un mixotrophe, *Dinophysis*
(à droite), aspire les organes
d'un autre, *Mesodinium*.

D

rame au large des côtes espagnoles. Les lumières de l'été scintillent à la surface paisible des eaux chaudes. Proche de la surface, un essaim d'organismes, certains d'un rose orangé, d'autres d'un vert sombre, nagent paresseusement. Soudain, une créature apparaît en zigzaguant et se précipite sur le groupe, faisant le plus possible de victimes en les happant goulûment. Fin du premier acte. C'est une hécatombe... qui ne trouble en rien la quiétude de la mer, car elle est invisible à l'œil nu.

Les proies, d'environ trois micromètres de longueur, captaient l'énergie du Soleil pour synthétiser des nutriments par photosynthèse. Le prédateur, du genre *Mesodinium*, atteint avec ses tentacules 22 micromètres, un géant ! Il a été attiré par les sucres et les acides aminés qui s'échappent des petits organismes.

Étonnamment le sort des proies dépend de leur couleur. Les vertes (des nanoflagellés) sont complètement digérées. Les roses (des cryptophytes) ont droit à un « traitement de faveur » : leurs organites responsables de la photosynthèse – les chloroplastes et les nucléosomes – restent intacts et fonctionnels. En quelques minutes, le *Mesodinium*, jusque-là pâle, se pare d'une teinte rouge sombre. Ce faisant, il devient à son tour capable de capter et d'utiliser le dioxyde de carbone. Il joue donc sur deux tableaux et use d'une double stratégie, nommée mixotrophie : il chasse sa nourriture comme un animal et utilise la photosynthèse comme une plante. C'est d'ailleurs aussi le cas du corail, mais il n'est pas planctonique.

LE COMBAT DES VÉGÉTAUX

Deuxième acte. *Mesodinium* ne profite guère de son butin. Un autre mixotrophe s'approche, légèrement plus grand. Ce dino-flagellé *Dinophysis* projette des harpons qui immobilisent le *Mesodinium* et porte le coup de grâce : il perce sa cible grâce à un appendice, appelé pédoncule, par lequel il aspire, comme avec une paille, les entrailles de sa victime, y compris les chloroplastes. Ces petites usines photosynthétiques sont alors assimilées par leur nouvel hôte auquel elles

vont désormais fournir de l'énergie. Et les reliques du *Mesodinium* partent à la dérive.

Ces tueurs unicellulaires ne sont que deux exemples parmi les innombrables organismes planctoniques mixotrophes de nos mers. Où les situer dans le tableau du vivant ? Les océanologues distinguent deux groupes principaux de planctons unicellulaires. Le premier, le phytoplancton, à l'instar des plantes, utilise l'énergie lumineuse et des nutriments inorganiques pour proliférer. L'autre groupe, le zooplancton, se rapproche des animaux : il chasse le phytoplancton. Ils constituent tous les deux les premiers maillons de la chaîne alimentaire qui conduit aux plus grands animaux. À côté de ces deux groupes écrasants, le plancton mixotrophe est longtemps resté cantonné au rang de « curiosités », d'anomalies... Ils ont le même statut que les rares mixotrophes terrestres, telle la plante carnivore dionée attrape-mouche.

Nous pensons que cette conception doit être remise en cause. Des expériences, des observations et des modélisations ont récemment montré que beaucoup d'organismes planctoniques unicellulaires ne sont ni strictement photosynthétiques, ni purement « planctovores ». Une grande part serait en fait mixotrophe. C'est tout le fonctionnement de la chaîne alimentaire qui serait alors à revoir.

Si la majeure partie du plancton est bien mixotrophe, sa prolifération n'est plus nécessairement limitée par la photosynthèse. L'énergie solaire, lorsqu'elle est disponible, devient un bonus. Les conséquences sont nombreuses.

L'ATTAQUE DES TRIFFIDES

Une plus grande activité mixotrophique, par exemple, diminue la vitesse à laquelle les océans absorbent le dioxyde de carbone atmosphérique dû au réchauffement climatique pour le confiner dans les sédiments des fonds marins. Les populations de mixotrophes, moins sensibles aux variations saisonnières de la lumière du Soleil, peuvent nourrir plus de larves de poissons et augmenter les ressources halieutiques. Cependant, certaines espèces mixotrophes peuvent engendrer des efflorescences algales, des « bloom » qui nuisent aux élevages de crustacés, de mollusques, de poissons... À quoi ressemblent ces organismes d'un nouveau genre qui bouleversent ce que l'on croyait savoir de l'écologie marine ?

Les organismes mixotrophes ont l'air de sortir d'un roman de science-fiction. Les

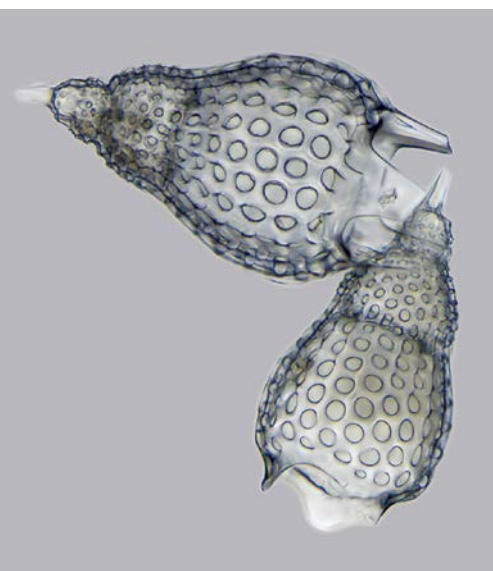
harpons et les pédoncules de *Dinophysis* rappellent les caractéristiques des plantes qui envahissent la Terre dans *Le Jour des Triffides* le roman de science-fiction britannique de John Wyndham, paru en 1951. Dans ce livre, les truffides utilisent leurs racines pour extraire les nutriments du sol et pour se déplacer. Elles sont également pourvues de dards venimeux dont elles se servent comme des fouets pour aveugler ou tuer les hommes afin de se repaître de leurs cadavres.

J'ai découvert le plancton mixotrophe il y a une dizaine d'années pendant mon doctorat consacré au microzooplancton (une catégorie de zooplancton définie par sa taille). À l'époque, les manuels ne s'attar-

vers la photosynthèse. Nos travaux furent publiés dans *Journal of Plankton Research*.

Notre objectif était de montrer qu'un modèle incluant les mixotrophes est plus réaliste que ceux séparant les populations océaniques entre prédateurs et plantes. Nous avons affiné les caractéristiques de nos mixotrophes virtuels jusqu'à ce que nos simulations se rapprochent au plus près des observations réelles des flux de nutriments au sein des chaînes alimentaires et des interactions entre les autres types de planctons comme les bactéries et les copépodes (de minuscules crustacés). Les dynamiques de chaîne alimentaire obtenues différaient notablement des modèles à populations distinctes de planctons.

La galerie des mini-monstres. Les *Karlodinium* (à gauche) sont naturellement photosynthétiques, ce qui ne les empêche pas de capturer des proies. Les *Nassellaria* (à droite) volaient les organes photosynthétiques de leurs victimes planctoniques.



daient guère sur ces mixotrophes, des organismes pourtant redoutablement efficaces avec leur double stratégie de subsistance: la chasse et la photosynthèse.

En enquêtant davantage, j'ai découvert les travaux de Diane Stoecker, du laboratoire Horn Point, à l'université du Maryland, aux États-Unis. Mes échanges avec elle m'ont convaincu que la mixotrophie était plus répandue qu'on ne le pensait. Comment le démontrer?

Ma spécialité consiste à élaborer des modèles mathématiques de chaînes alimentaires pour comprendre le comportement des organismes qui les constituent. En explorant les modèles d'écosystèmes océaniques existants, je n'en ai trouvé aucun capable de simuler en détail la double vie des mixotrophes. Je m'y suis donc attelé, avec l'océanologue Kevin Flynn, et nous avons conçu en 2009 un premier modèle fonctionnel. Notre simulation rendait compte de différentes populations de mixotrophes, certaines davantage tournées vers la chasse, d'autres

Nous devons aller au-delà des simulations virtuelles et rassembler des preuves appuyant notre hypothèse selon laquelle les mixotrophes jouent un rôle clé dans les flux de nutriments à travers tout l'océan et les créatures qui l'habitent. Nous avons pu le faire grâce à l'appui de la fondation *Leverhulme Trust* qui a financé une série de congrès en Europe et aux États-Unis durant lesquels, pour la première fois, les spécialistes des mixotrophes pouvaient partager leurs connaissances.

UN MONDE D'HYBRIDES

Beaucoup avaient, chacun de leur côté identifié des espèces mixotrophes dans tous les systèmes marins, des côtes au plein océan, des pôles jusqu'à l'équateur. Et nombreux sont ceux qui avaient mené des expériences pour comprendre les déterminants comportementaux de ces organismes (abondance de nutriments, proies disponibles, intensité lumineuse...). Tous pensaient n'avoir eu à faire qu'à des phénomènes inhabituels et de petite envergure. Ils se trompaient. ➤

> Au premier congrès, en 2011, nous avons dressé une liste commune de toutes les espèces mixotrophes que nous avons repérées. Force fut de conclure que la mixotrophie est courante dans les mers et qu'elle est essentielle d'un point de vue écologique.

Par exemple, Per Juel Hansen, de l'université de Copenhague, et ses collègues ont montré que sans un nombre suffisant de cryptophytes (les proies roses du drame introductif), la population de *Mesodinium* serait incapable d'acquérir des chloroplastes et finirait par disparaître. L'équipe de Diane Stoecker et celle de Hae Jin Jeong, de l'université natio-

CERTAINS MIXOTROPHES RÉDUISENT EN ESCLAVAGE DES COLONIES ENTIÈRES DE PROIES PHOTOSYNTHÉTIQUES

nale de Séoul, en Corée du Sud, ont révélé que les mixotrophes utilisant activement la photosynthèse se nourrissent davantage de planctons que lorsqu'ils délaissent la photosynthèse. Une synergie des modes de consommation!

Lorsque la lumière et les nutriments sont abondants, ces mêmes mixotrophes croissent bien plus rapidement que les organismes planctoniques n'exploitant qu'une seule ressource.

En 2012, nous avons voulu aller plus loin et classer les mixotrophes. Nous avons ainsi établi quatre groupes distincts, chacun occupant une place spécifique au sein d'un spectre de comportements.

Le premier critère de distinction est la source de leurs capacités photosynthétiques. Sont-elles intrinsèques ou le fruit d'une chasse? Le groupe doté du matériel génétique permettant de produire et de maintenir l'équipement cellulaire nécessaire à la photosynthèse est celui des mixotrophes constitutifs. Ce groupe rassemble des créatures aux rôles

souvent critiques au sein des chaînes alimentaires. Il compte aussi en son sein quelques fauteurs de troubles *via* des efflorescences destructrices. Par exemple, *Karlodinium* est connu pour causer la mort massive de poissons partout dans le monde, de la baie de Chesapeake aux eaux côtières de la Malaisie. *Prymnesium*, un autre mixotrophe constitutif, a causé une hécatombe parmi les poissons au large du Texas et dans les eaux du parc national britannique *The Broads*. Le coupable libère une substance chimique qui dégrade les membranes cellulaires des organismes planctoniques rivaux. Résultat: ils enflent et éclatent, tandis que *Prymnesium* se régale des débris et explose démographiquement.

À L'ATTAQUE DES MOLLUSQUES

Une autre espèce, *Alexandrium*, produit une toxine qui s'introduit dans les mollusques. Des élevages d'huîtres, de moules et de palourdes ont été contraints de fermer en raison du risque d'intoxication encouru par les consommateurs.

Les espèces du second groupe, les mixotrophes non constitutifs sont obligés de se procurer l'arsenal photosynthétique. On supposait que cette photosynthèse n'était qu'un mécanisme de survie complémentaire, employé uniquement en cas de nombre insuffisant de proies. Nous pensons désormais que l'exploitation de l'énergie solaire est bien plus fréquente et cruciale dans leur mode de vie.

Les mixotrophes non constitutifs peuvent être subdivisés en espèces généralistes et spécialistes. Les ciliés, par exemple *Laboea* et *Strombidium*, sont des généralistes et subtilisent les chloroplastes à de nombreux types d'organismes. Ces généralistes ne peuvent toutefois pas maintenir ces pièces rapportées plus de quelques jours et doivent constamment s'attaquer à de nouvelles proies pour les renouveler. Ce sont souvent des mixotrophes utiles qui contribuent au flux de nutriments dans les chaînes alimentaires nécessaires aux élevages de poissons et de fruits de mer. Ils jouent donc un rôle vital dans la sûreté alimentaire globale.

Les mixotrophes spécialistes ne dépendent que d'un type particulier de proie, mais semblent mieux équipés pour intégrer les photosystèmes volés dans leur propre physiologie. Ils les gardent fonctionnels jusqu'à plusieurs mois. Certains, comme *Dinophysis*, peuvent être dangereux pour les humains à travers des fruits de mer contaminés lors d'efflorescences.

D'autres spécialistes peuvent être classés dans un groupe à part caractérisé par un comportement particulier. Ils ne se contentent pas de subtiliser des fragments de leurs proies, ils réduisent à l'esclavage des colonies entières >

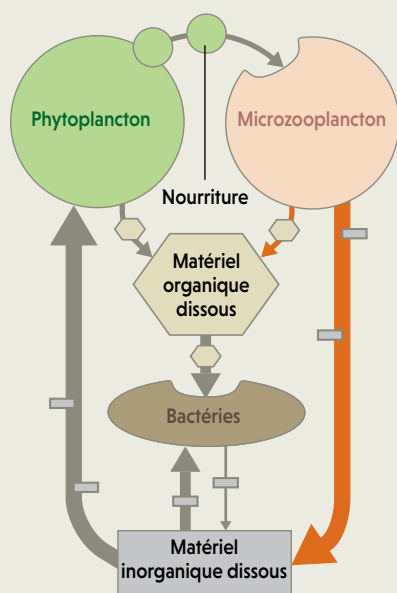
L'EFFET MIXOTROPHE

Lorsqu'on tient compte des mixotrophes, plutôt que de s'en tenir aux seuls phytoplancton et zooplancton, les flux de nutriments au sein de la chaîne alimentaire sont bouleversés. On peut le modéliser en incluant aux modèles des mixotrophes qui volent

les organites photosynthétiques à d'autres organismes (*au centre*) ou des mixotrophes intrinsèquement photosynthétiques (*à droite*). Dans ces deux derniers cas, les résultats correspondent davantage aux observations réelles que les anciens modèles traditionnels (*à gauche*).

SCÉNARIO TRADITIONNEL

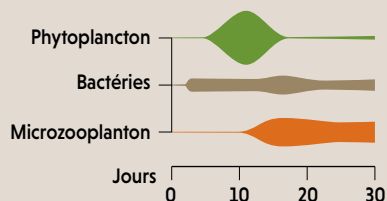
Le phytoplancton utilise l'énergie solaire et les matériaux inorganiques pour se nourrir. Ils se font manger par le microzooplancton. Les bactéries marines décomposent ensuite la matière organique libérée - les déchets - pour les recycler. C'est un cycle contraignant qui limite la taille des populations.



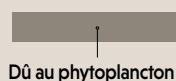
SÉQUENCE CLASSIQUE « UN-DEUX »

Traditionnellement, sur un cycle de trente jours, le phytoplancton (*en vert*) prolifère en premier. C'est seulement après que le microzooplancton prédateur (*en orange*) peut manger suffisamment et accroître sa population. Cette consommation diminue la population de phytoplancton.

Changement dans les populations de plancton

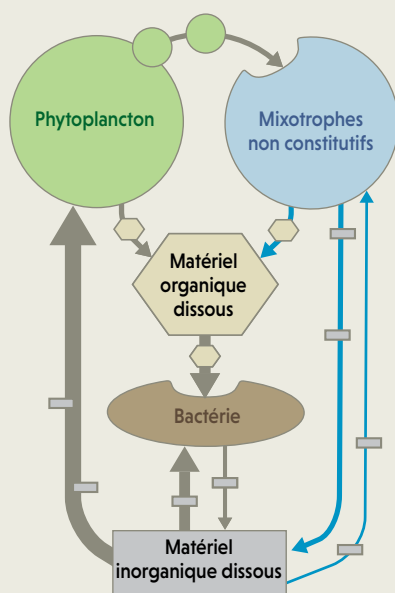


Dioxyde de carbone retiré de l'eau de mer
(Total : 3 grammes de carbone par mètre carré)



DES ANIMAUX PHOTOSYNTHÉTIQUES

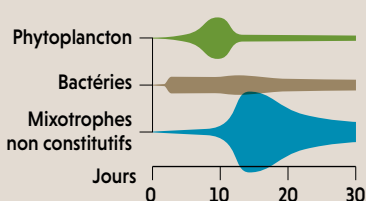
Lorsqu'on remplace le microzooplancton par des mixotrophes non constitutifs, chasseurs et de photosynthétiques, leurs capacités hybrides leur permet de retenir plus de nutriments. La fine flèche bleue qui descend indique une moindre perte de nutriments.



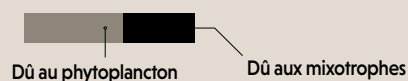
EXPLOSION DE LA POPULATION

Les populations de mixotrophes non constitutifs (*en bleu*) peuvent croître davantage que les prédateurs traditionnels parce qu'elles chassent, mais bénéficient aussi de l'équipement photosynthétique volé à leurs proies. Leur croissance s'interrompt et s'inverse lorsqu'ils ne trouvent plus d'organites à subtiliser.

Changement dans les populations de plancton

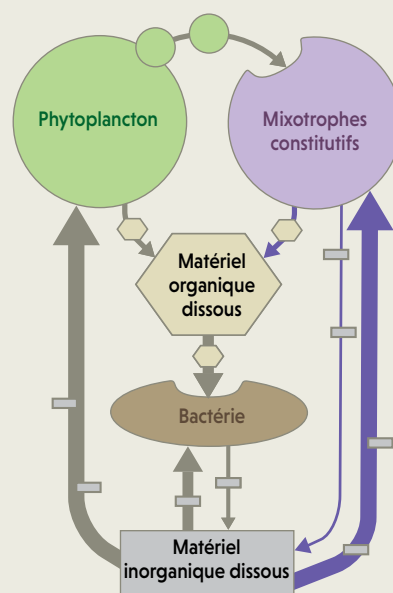


Dioxyde de carbone retiré de l'eau de mer
(Total : 3 grammes de carbone par mètre carré)



DES PLANTES QUI CHASSENT

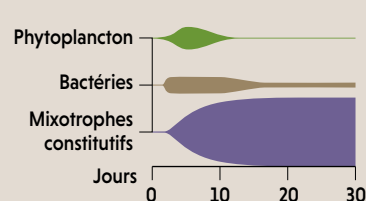
En remplaçant le microzooplancton par des « plantes qui chassent », les mixotrophes constitutifs, le profil de la chaîne alimentaire change. Ces mixotrophes utilisent beaucoup de matériel inorganique (la grosse flèche violette) et sont aussi des prédateurs. Ce groupe survit mieux.



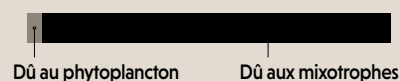
CROISSANCE AUTOSUFFISANTE

Grâce à leurs capacités photosynthétiques innées, les mixotrophes constitutifs (*en violet*) ont juste besoin d'un petit peu d'aide - de la nourriture - de la part du phytoplancton traditionnel pour croître. Leur population augmente rapidement et reste importante.

Changement dans les populations de plancton



Dioxyde de carbone retiré de l'eau de mer
(Total : 3 grammes de carbone par mètre carré)



➤ de proies photosynthétiques. Les colonies vivent et prolifèrent au sein de leur hôte, se nourrissant de nutriments et profitant de la protection contre les autres prédateurs. Des foraminifères et des radiolaires vivent de la sorte, en tant que serres vivantes... pas toujours inoffensives. Une espèce de foraminifères en particulier, *Noctiluca*, peut causer des efflorescences toxiques.

DES RÉGULATEURS GLOBAUX

La mixotrophie concernerait ainsi une grande partie de la vie océanique, des plantes qui chassent aux animaux photosynthétiques, des minuscules organismes de deux micromètres de longueur à ceux de plus d'un millimètre. Pourquoi est-ce important? Parce que ces petits organismes peuvent avoir une influence majeure sur les océans.

Par exemple, une énorme région pauvre en nutriments couvre des milliers de kilomètres carrés au milieu de l'océan Atlantique. Les scientifiques pensaient que, dans cette zone, le phytoplancton entraînait en compétition avec les bactéries marines pour l'obtention des nutriments inorganiques solubles tels le fer et le phosphate, d'où la raréfaction de ces ressources. Mais Mikhail Zubkov, alors biogéochimiste au Centre national d'océanographie, en Angleterre, et ses collègues ont découvert une population importante de mixotrophes constitutifs (ceux naturellement photosynthétiques) dans cette zone, lorsqu'ils ont prélevé des échantillons d'eau lors de leurs voyages de recherches.

À partir de ces observations, deux modèles de chaîne alimentaire ont été développés. Celui prenant en compte la mixotrophie correspondait le mieux aux quantités de nutriments – et à leur cycle de renouvellement – détectés par Mikhail Zubkov. Au lieu d'être en compétition avec le phytoplancton, les bactéries croissent en utilisant des sucres et d'autres nutriments que les mixotrophes libèrent. Les mixotrophes se nourrissent alors des bactéries, qui leur fournissent plus de fer et de phosphate qu'ils n'en sont capables d'extraire de l'océan par eux-mêmes. Par ailleurs, le modèle ne correspondait aux observations que si les mixotrophes en question étaient constitutifs.

Un autre élément clé est la quantité de dioxyde de carbone extraite de l'eau de mer par les organismes. Les niveaux de fixation du carbone augmentent significativement avec les mixotrophes par rapport à ceux du phytoplancton traditionnel. Sans mixotrophes, les quantités globales de carbone marin, qui contribuent à l'acidification des océans, pourraient être bien supérieures.

Les mixotrophes sont particulièrement importants dans les eaux côtières, où leur influence sur la pêche, la pisciculture, la

conchyliculture... est notable. En 2017, nous avons utilisé un modèle de la mer du Nord incluant divers types de mixotrophes et avons découvert que lorsque de petits mixotrophes mangent des bactéries marines, leur population croît suffisamment pour surclasser d'autres types de planctons impliqués dans des efflorescences algales. Ces proliférations ne sont pas directement toxiques, mais en obstruant la surface elles bloquent la lumière du soleil, perturbant ainsi le cycle des nutriments qui nourrissent les minuscules larves de poissons et les aident à croître. Moins d'efflorescences implique donc plus de poissons.

La santé des poissons est aussi dépendante des mixotrophes. Le phytoplancton strict prospère au printemps, mais sa population décline ensuite : les larves de poissons ne peuvent pas donc pas compter sur lui. Les mixotrophes, en revanche, sont présents en permanence et constituent une source de nourriture riche et constante pour les poissons, en particulier en été.

UN AVENIR EN SUSPENS

Les mixotrophes sont au cœur de beaucoup de problématiques dans le domaine des sciences marines : qu'il s'agisse de la gestion du changement climatique ou de la pêche, ou encore de la reconstitution des cycles passés du carbone ou la prédiction de futures efflorescences algales destructrices. Le défi, désormais, est d'associer les observations réelles et nos simulations pour comprendre ce que font les divers groupes de mixotrophes selon leur localisation et les saisons.

Ces thèmes sont importants car, tandis que notre climat change, nous devons savoir quelles conditions environnementales peuvent conduire à la prolifération des *Karlodinium* toxique, des *Noctiluca* dangereux pour les écosystèmes, ou encore des ciliés nocifs aux élevages de poissons et de fruits de mer. Nous avons récemment franchi la première étape vers cet objectif, en cartographiant les différents groupes de mixotrophes à travers les mers du monde. Nous devons ensuite mesurer leurs effectifs au gré des saisons, car les changements de lumière et de température peuvent drastiquement affecter leur croissance et leur prolifération.

Certains océanologues rappellent que nos conclusions se basent autant sur nos simulations que sur nos observations réelles, ce qui est une critique valide. C'est pour cette raison que nous avons besoin que davantage de scientifiques examinent l'activité des mixotrophes en dehors de leurs laboratoires, directement sur les mers. Partir à la rencontre de ces organismes aux allures de plantes qui cachent bien leur jeu. ■

BIBLIOGRAPHIE

DIANE K. STOEKER ET AL., Mixotrophy in the Marine Plankton, *Annual Review of Marine Science*, vol. 9, pp.311–335, 2017.

ADITEE MITRA ET AL., Defining Planktonic Protist Functional Groups on Mechanisms for Energy and Nutrient Acquisition ; Incorporation of Diverse Mixotrophic Strategies, *Protist*, vol. 167(2), pp.106–120, 2016.

KEVIN J. FLYNN AND ADITEE MITRA, Building the «Perfect Beast»: Modelling the Mixotrophic Plankton, *Journal of Plankton Research*, vol. 31(9), pp.965–992, 2009.

POUR LA SCIENCE HORS-SERIE

Édition française de Scientific American

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT!



N° 89 (oct. 15)
réf. DO089



N° 90 (janv. 16)
réf. DO090



N° 91 (avr. 16)
réf. DO091



N° 92 (juil. 16)
réf. DO092



N° 93 (oct. 16)
réf. DO093



N° 94 (janv. 17)
réf. DO094



N° 95 (avr. 17)
réf. DO095



N° 96 (août 17)
réf. DO096



N° 97 (nov. 17)
réf. DO097



N° 98 (févr. 18)
réf. DO098



N° 99 (mai 18)
réf. DO099



N° 100 (août 18)
réf. DO100

RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR/HORS-SERIE.HTML

À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science Hors-série, au tarif unitaire de 10,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ x 10,90 € = _____ €

2^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

3^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

4^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

5^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

6^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Offre valable jusqu'au 31/12/2018 en France Métropolitaine. Pour une livraison à l'étranger, merci de consulter boutique.pourlascience.fr

Les informations que nous collectons dans ce bon de commande nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls> Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

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

Signature obligatoire :

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z



PLUS SIMPLE, PLUS RAPIDE
ABONNEZ-VOUS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR