

> Notre objectif était de montrer qu'un modèle incluant les mixotrophes simulait l'écologie marine de façon plus réaliste que les modèles qui ne distinguaient dans les populations océaniques que des prédateurs ou des plantes. Nous avons donc ajusté les caractéristiques des mixotrophes au sein du modèle jusqu'à ce que nos simulations se rapprochent au plus près des observations réelles des flux de nutriments au sein des chaînes alimentaires, mais aussi des interactions avec d'autres organismes du plancton tels que les bactéries et les copépodes (de minuscules crustacés). Ces dynamiques de la chaîne alimentaire différaient des modèles classiques sans mixotrophes.

Toutefois, nous avons besoin d'aller au-delà des simulations. Nous devons rassembler des preuves permettant d'appuyer notre hypothèse selon laquelle les mixotrophes jouaient un rôle clé dans les flux de nutriments en milieu océanique et au sein de tous les organismes qui y vivent. Suite à ces travaux, plusieurs congrès ont permis aux chercheurs qui travaillaient sur les mixotrophes, sur le terrain et en laboratoire, de partager leurs connaissances.

Lors d'un congrès, en 2011, notre groupe (que nous avions surnommé «l'équipe mixotrophe») a dressé une liste de toutes les espèces planctoniques connues à la fois pour ingérer d'autres organismes et pour pratiquer la photosynthèse.

Au fil des décennies, les scientifiques avaient identifié des espèces mixotrophes dans des échantillons d'eau prélevés dans tous les systèmes marins, des milieux côtiers jusqu'aux zones situées en plein océan, des pôles jusqu'à l'équateur. Ils ont mené des expériences dans des laboratoires embarqués sur des navires de recherche et ont parfois ramené du plancton dans leurs instituts respectifs pour réaliser des études complémentaires. Ils ont exposé les mixotrophes à divers nutriments, proies et intensités lumineuses pour comprendre comment ces organismes se comportent dans différentes conditions.

DES FORMES DE VIE FRÉQUENTES DANS LES OCÉANS

Avant que l'«équipe mixotrophe» ne commence à rassembler ces observations, la plupart des chercheurs pensaient qu'ils avaient affaire à des cas particuliers et non à une forme de vie commune dans tous les océans du globe.

La compilation de toutes ces données nous a fait constater que la mixotrophie est fréquente dans les mers et qu'elle est essentielle sur le plan écologique. Par exemple, Per Juel Hansen, écophysiologiste à l'université de Copenhague, et ses collègues ont montré que sans un nombre suffisant de cryptophytes (les proies roses mentionnées en début d'article), la population de *Mesodinium* serait incapable

d'acquérir des chloroplastes et finirait par disparaître. Diane Stoecker et son équipe, ainsi que Hae Jin Jeong et ses collègues de l'université de Séoul, ont montré que lorsque les mixotrophes ont une activité photosynthétique, ils se nourrissent de davantage de plancton que si la photosynthèse n'est pas active. Ainsi, un processus renforce l'autre. Et lorsque la lumière et les nutriments sont présents en abondance, ces mêmes mixotrophes prolifèrent bien plus rapidement que le plancton ne faisant appel qu'à un seul processus.

En 2012, nous avons voulu aller plus loin que la constatation de la présence de ces orga-

Une grande activité mixotrophe augmente la capacité des océans à capturer le CO₂

nismes dans les écosystèmes marins. Nous avons commencé à identifier divers groupes en fonction de la nature de leur alimentation, de la manière dont ils se nourrissent et de celle dont ils réalisent la photosynthèse. Nous avons ainsi mis en évidence quatre groupes distincts, chacun occupant une place spécifique au sein d'un spectre de comportements.

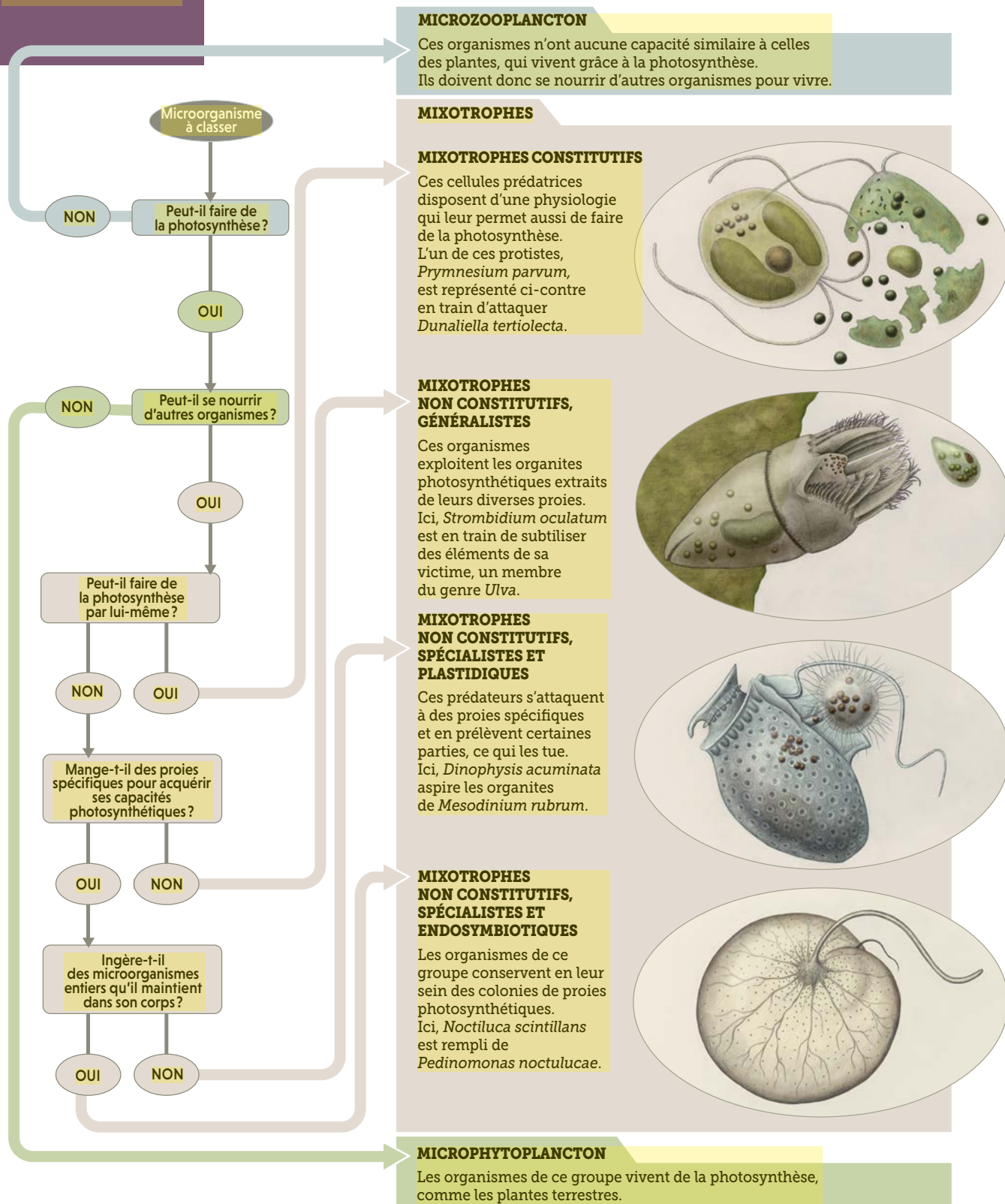
Le premier critère de distinction était l'origine des capacités photosynthétiques (voir l'encadré ci-contre). Celles-ci sont-elles inhérentes, ou l'organisme doit-il se procurer les organites photosynthétiques des proies? Nous avons nommé mixotrophes constitutifs le groupe doté du matériel génétique permettant de produire et maintenir les photosystèmes.

Ce groupe comprend de nombreux membres inoffensifs mais cruciaux au sein des chaînes alimentaires océaniques. Il inclut cependant aussi des fauteurs de troubles capables de produire des efflorescences algales destructrices lorsque leur prolifération devient hors de contrôle. Par exemple, le mixotrophe *Karlodinium* est connu pour tuer fréquemment de grands nombres de poissons partout dans le monde, de la baie de Chesapeake, aux États-Unis, aux eaux côtières de la Malaisie. Un autre mixotrophe constitutif, *Prymnesium*, a provoqué à plusieurs reprises la mort de poissons au large >

QUATRE GROUPES DE MIXOTROPHES

Les scientifiques pensaient que le microplancton, l'ensemble des organismes marins unicellulaires (ou protistes), regroupait seulement deux catégories, ceux qui se nourrissent comme les plantes et ceux qui se nourrissent comme les animaux. De nouvelles études montrent

que la plupart de ces microorganismes sont en fait mixotrophes : ils font de la photosynthèse (comme les plantes), mais ingèrent d'autres microorganismes (comme des animaux), selon des modes variés. Les biologistes les répartissent en quatre grandes familles, indiquées ci-dessous.

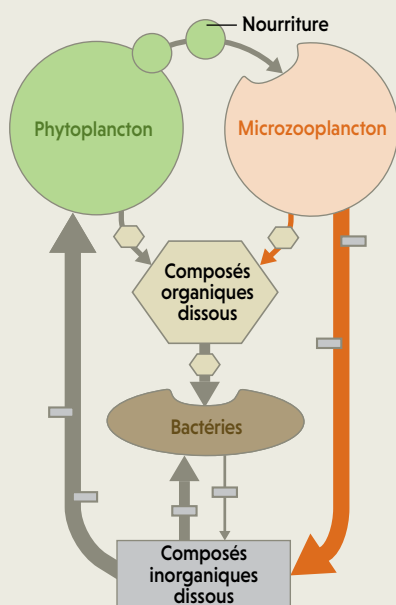


L'EFFET MIXOTROPHE

La prise en compte des microorganismes planctoniques mixotrophes dans les modèles écologiques montre que cette composante du plancton joue un rôle notable. Les flux de nutriments au sein de la chaîne alimentaire et la dynamique des populations sont fortement modifiés. On observe aussi des effets sur le cycle global du carbone. Par ailleurs, les chercheurs ont développé divers modèles de mixotrophes pour les comparer avec les anciens scénarios n'incluant que le phytoplancton et le zooplancton. Ces modèles conduisent à des résultats qui s'accordent mieux avec les observations.

SCÉNARIO SANS MIXOTROPHES

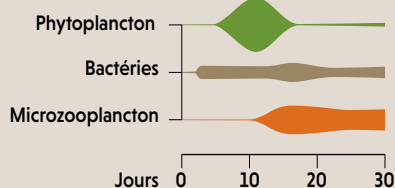
Les organismes du phytoplancton utilisent l'énergie solaire et la matière inorganiques pour se nourrir. Ceux du zooplancton les mangent. Les bactéries marines décomposent les déchets organiques et les recyclent. Les contraintes de ce cycle limitent la taille des populations.



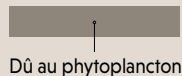
SÉQUENCE CLASSIQUE « UN-DEUX »

Sur un cycle de trente jours, le phytoplancton (en vert) commence par proliférer. C'est seulement ensuite que le microzooplancton (en orange) peut se nourrir suffisamment pour que ses populations augmentent. Cette consommation diminue les populations de phytoplancton.

Populations planctoniques et bactériennes

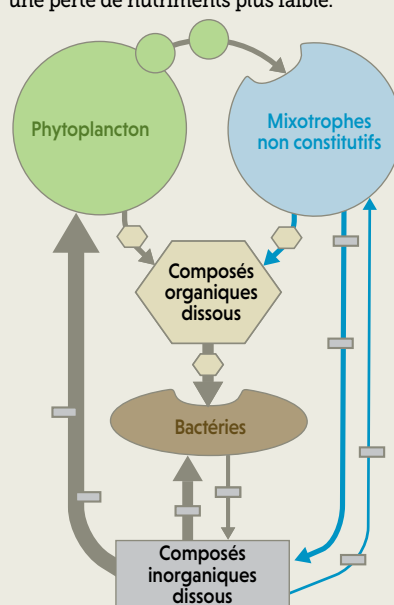


Dioxyde de carbone retiré de l'eau de mer : 30 grammes de carbone par mètre cube



ANIMAUX PHOTOSYNTHÉTIQUES

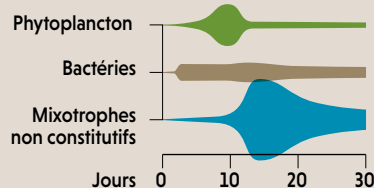
Lorsque les mixotrophes dits non constitutifs remplacent le microzooplancton, davantage de nutriments sont retenus, grâce aux capacités hybrides (photosynthèse et ingestion d'autres microorganismes). Les fines flèches bleues indiquent une perte de nutriments plus faible.



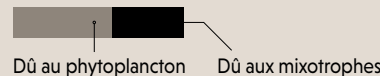
EXPLOSION DE LA POPULATION

Les populations de mixotrophes (en bleu) augmentent plus que celles du microzooplancton, en raison du gain d'énergie donné par les parties photosynthétiques extraites de leurs proies. Toutefois, leur croissance s'interrompt et s'inverse lorsque les mixotrophes ne trouvent plus d'organites à subtiliser.

Populations planctoniques et bactériennes

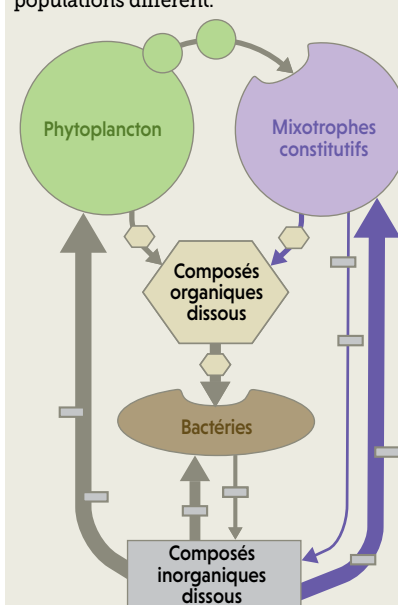


Dioxyde de carbone retiré de l'eau de mer : 30 grammes de carbone par mètre cube



DES PLANTES QUI MANGENT

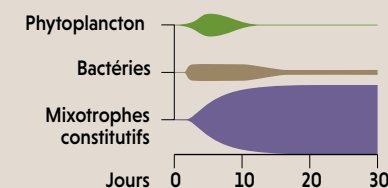
Les mixotrophes dits constitutifs ont des capacités photosynthétiques propres. Ils consomment beaucoup de matière inorganique (grosse flèche violette) et agissent aussi comme des prédateurs. Cela sustente le groupe sur une plus grande durée et on obtient un profil de populations différent.



CROISSANCE AUTOSUFFISANTE

Grâce à leurs capacités photosynthétiques propres, les mixotrophes constitutifs (en violet) dépendent peu du phytoplancton classique pour croître. Leur population augmente rapidement et reste importante pendant trente jours.

Populations planctoniques et bactériennes



Dioxyde de carbone retiré de l'eau de mer : 65 grammes de carbone par mètre cube

