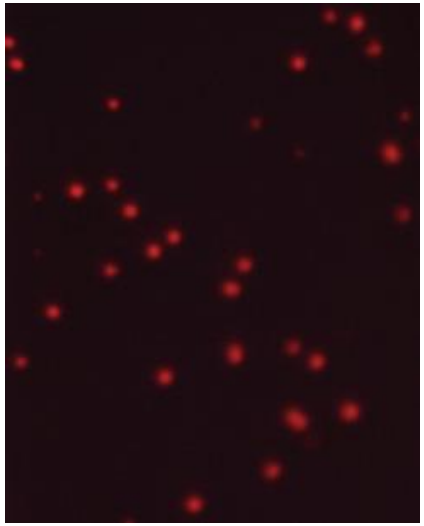
Prochlorococcus ?

Prenez une seringue d'eau de mer provenant de presque tous les océans tropicaux ou subtropicaux et injectez-la dans un cytomètre de flux.



Les plus petites cellules qui émettent une fluorescence de chlorophylle rouge sont les ***Prochlorococcus*** !

- découvertes en Mer des Sargasses en **1986** par Sallie W. Chisholm et Robert J. Olson.

Pourquoi ne pas les avoir découvertes plutôt ?

D'un diamètre inférieur au micron, ils étaient à peine visibles avec les microscopes disponibles.

- Comme la plupart des avancées scientifiques, la découverte des *Prochlorococcus* a impliqué
  - de nouvelles technologies,
  - des approches multidisciplinaires,
  - un travail d'équipe
  - et de la chance.

Pourquoi s'appellent-elles Prochlorococcus ?

Erreur historique !

Prochlorococcus est une **cyanobactérie** (bactéries qui effectuent la photosynthèse).

- Mais contient de la **chlorophylle b**, plutôt que les **phycobilisomes** (typiques des autres cyanobactéries).

Chlorophylle b : caractéristique des algues vertes eucaryotes.

Leur structure ressemble étrangement aux chloroplastes.

Aucun microbe ressemblant à un chloroplaste et contenant la chlorophylle b n'avait été identifié.

Elles ont été appélées *Prochlorococcus* - "petits coccus géniteurs de chloroplastes".

Les auteurs ne tarderont pas à le regretter!

Phylogénie moléculaire au secours des Prochlorococcus ?

Phylogénies moléculaires : a révélée que le *Prochlorococcus* est simplement une variante plus petite et différemment pigmentée de ***Synechococcus*** marin, qui avait été découvert une décennie plus tôt.

Le Prochlorococcus n'est donc pas étroitement apparenté aux autres prochlorophytes,

- le trait chlorophylle-b aurait évolué indépendamment chez chacun d'eux - comme chez l'ancêtre des chloroplastes à cellules eucaryotes.

Pourquoi s'intéresser aux Prochlorococcus ?

C'est la cellule photosynthétique

- la plus petite
- la plus abondante sur Terre.

On estime à 3 x 10^{27} leur nombre dans les océans du monde,

- pesant collectivement deux fois plus que l'ensemble des humains,
- couvrant une surface 100 fois supérieure à celle de la Terre.

Elles constituent

- la moitié de la chlorophylle des écosystèmes océaniques,
- fournissant à elles seules des quantités importantes de carbone organique au reste de la chaîne alimentaire.

Pourquoi s'intéresser aux Prochlorococcus ?

De par la taille des longueurs d'onde de la lumière qu'elles absorbent,

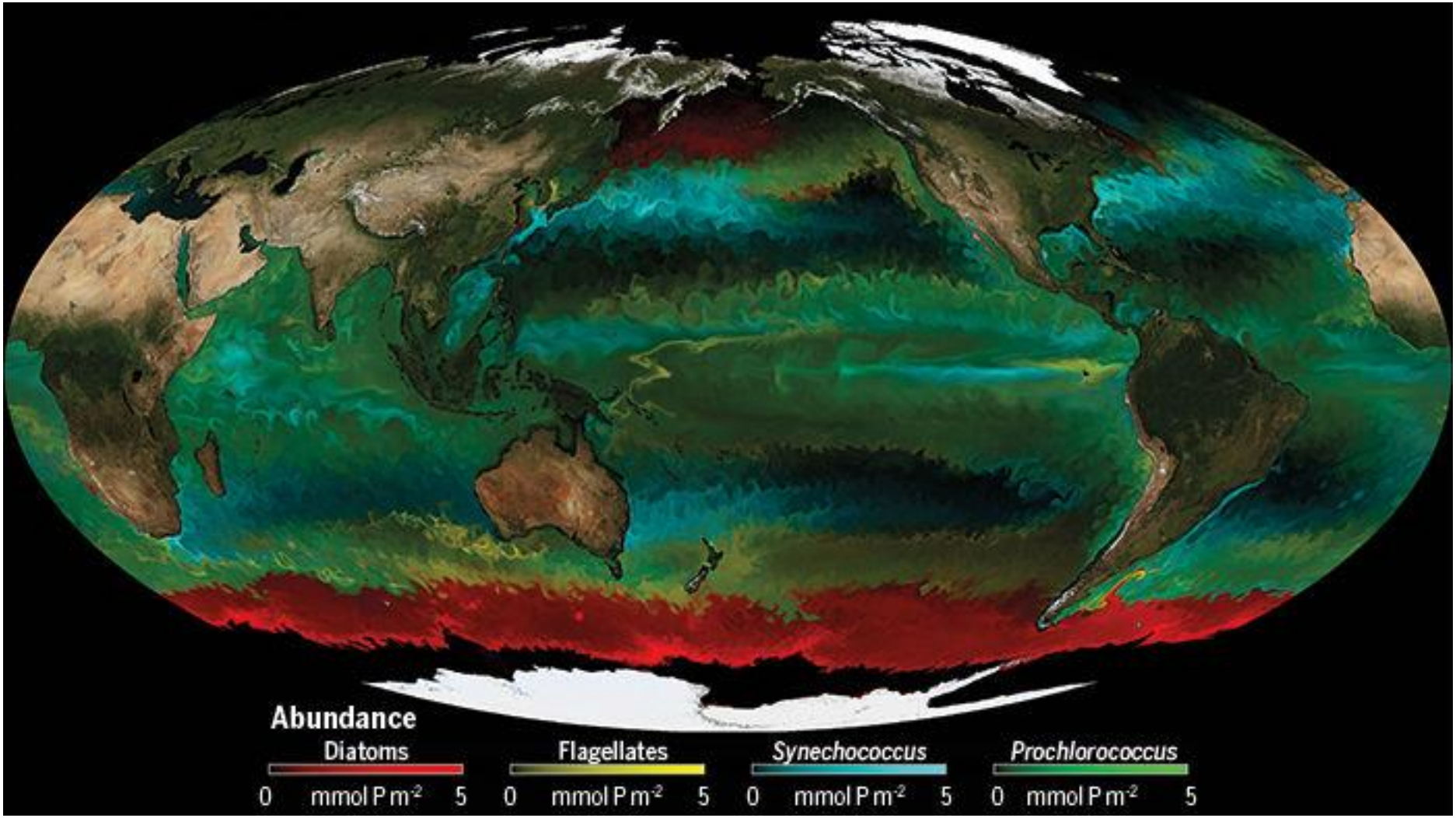
- ce sont des machines photosynthétiques extrêmement efficaces,
- et leurs génomes représentent l'une des organisation les plus performantes pour la vie.

Avec moins de 1800 gènes, elles synthétisent de la biomasse en utilisant uniquement l'énergie solaire, le CO^2 et les composés inorganiques.

C'est la vie minimale.

Prochlorococcus

Drawing on ocean and marine microbe data collected by Massachusetts Institute of Technology researchers, this model depicts the most dominant types of phytoplankton in the world's oceans, with *Prochlorococcus* ruling much of the globe and bigger diatoms dominating nearer the poles.



Une seule espèce peut-elle dominer l'écosystème marin ?

Si l'on utilise la taxonomie bactérienne classique, une divergence de moins de 3 % dans la séquence de l'ARNr 16S -> **une seule espèce**!

Mais l'abondance et la stabilité de la population mondiale de *Prochlorococcus* reposent sur une **extraordinaire diversité génomique**, tant en termes de taille du génome que de contenu génétique.

Chaque cellule compte entre 1800 et 2700 gènes, dont seulement 1000 environ sont partagés par toutes les lignées (**génome cœur**).

Le reste est constitué de **gènes accessoires**, dont certains sont partagés avec un sous-ensemble d'autres lignées, et d'autres sont uniques à une lignée.

Ces gènes accessoires définissent la nano-niche de chaque lignée de *Prochlorococcus*.

Une seule espèce peut-elle dominer l'écosystème marin ?

Evidences : il existe des centaines de populations de *Prochlorococcus* écologiquement distinctes dans chaque millilitre d'eau de mer

- nous commençons tout juste à apprécier l'étendue de sa diversité.

Chaque nouveau génome séquencé permet la découverte de 100 à 200 gènes entièrement nouveaux.

Le génome collectif mondial (le pangénome) des *Prochlorococcus* est estimé à environ **80 000 gènes**, soit quatre fois la taille du génome humain.

C'est quoi la vie d'une Proclorococcus ?

La vie est simple et dans monde dilué !

Vos congénères se trouvent à 100 longueurs de votre corps.
Les atomes de métaux que vous devez acquérir sont à 2-4 longueurs de votre corps.

Lorsque le soleil se lève,

- vous faites de la photosynthèse et vous grandissez.

En fin d'après-midi,

- vous commencez à répliquer votre chromosome et, à la tombée de la nuit,
- vous êtes prêt à vous diviser en deux cellules filles.

Vous vous éloignez passivement de votre sœur et vous vous trouvez à des dizaines de mètres en une heure et à des kilomètres en une semaine.

Il y a de fortes chances que l'un d'entre vous meure dans les deux jours suivant sa naissance, probablement à cause d'une infection de phage ou parce qu'il est devenu le repas d'un petit protiste.

- Ainsi, jour après jour, le nombre total de cellules de *Prochlorococcus* reste à peu près le même, car la reproduction compense les pertes.

Et les phages ?

Les phages peuvent tuer la cellule qu'ils infectent, mais cette cellule a pléthore de clones identiques qui dérivent dans l'océan ; sa disparition ne va pas détruire la lignée.

- Phage :
  - contribuent à maintenir la diversité grâce à leur dynamique d'infection dite "tueuse« ,
  - les gènes portés par les phages peuvent être échangés dans et hors des génomes de l'hôte, évoluant sous différentes pressions sélectives pendant qu'ils sont dans le phage.

➢ Phage : un incubateur pour générer de la diversité génétique et un service de navette pour déplacer les gènes.

Partie intégrante de l’écosystème global.

Ecotypes ?

Premiers spécimens:

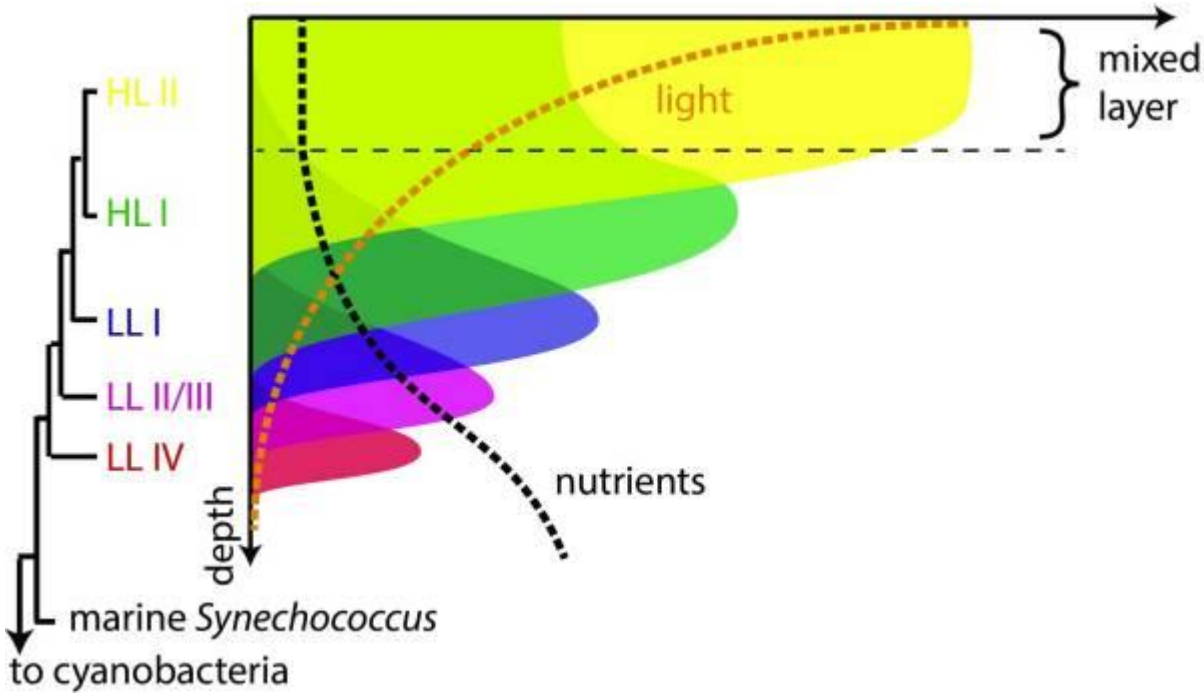
- SS120; profondeur de 120 m dans la mer des Sargasses.
- MED4 : eaux de surface de la mer Méditerranée,

- MED4 peut croître à des intensités lumineuses élevées qui tuent SS120, 1700 gènes,
- SS120 peut croître dans des conditions de lumière extrêmement faibles qui ne peuvent pas soutenir MED4

➢ les cellules sont adaptées aux intensités lumineuses trouvées là où elles ont été capturées.

➢ Ce sont des "**écotypes**" adaptés à la haute et à la basse luminosité.

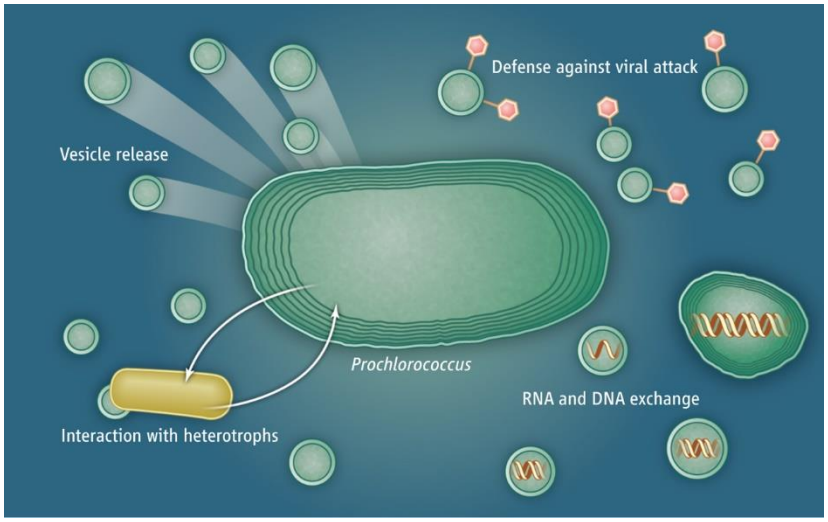
Prochlorococcus



Typical relative abundance distributions of *Prochlorococcus* ecotypes as a function of depth and accompanying light intensity and nutrient concentration profiles in stratified oceanic waters. The deepest branching ecotypes are most abundant at the bottom of the euphotic zone, where nutrient concentrations are high and light energy low. The most recently diverging ecotypes are most abundant near the surface, where the reverse is true. HL, high-light-adapted; LL, low-light-adapted (from Braakman *et al.,* 2017).

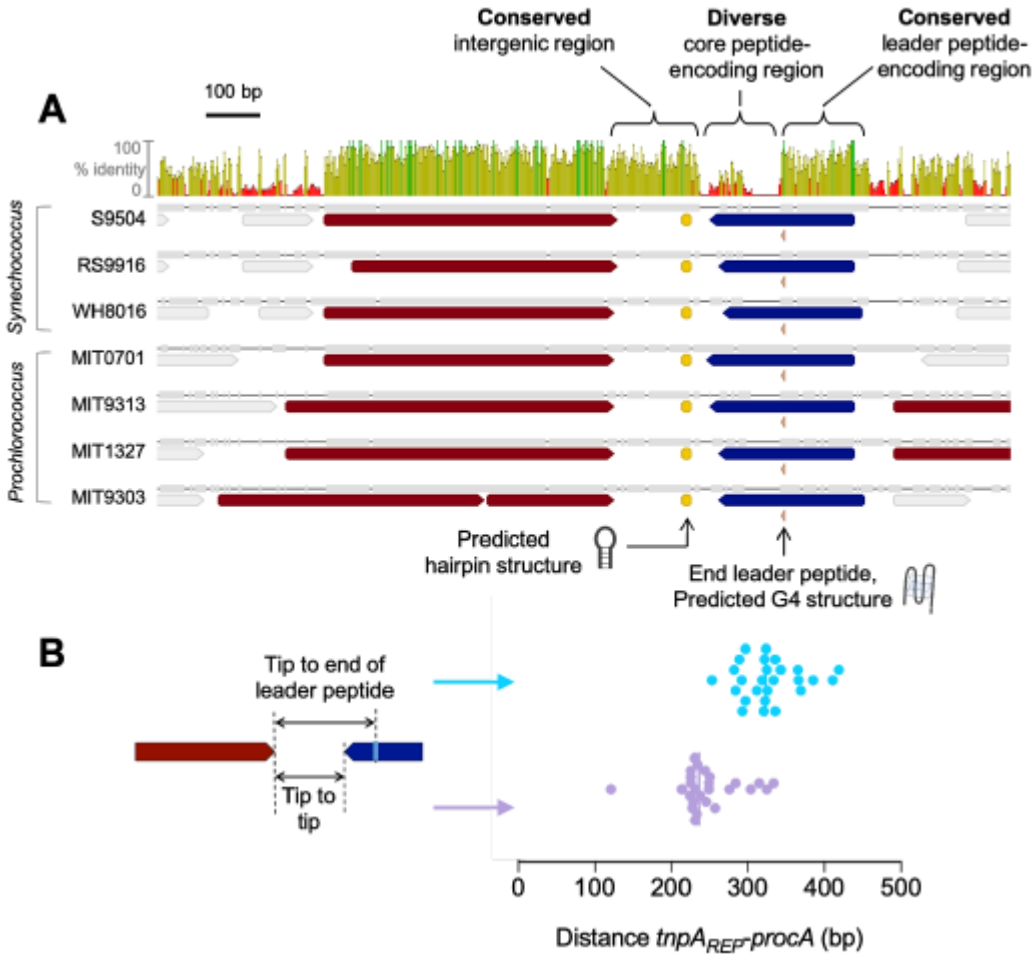
Source de nouveautés

- Elles libèrent dans l'eau de mer des **vésicules** liées aux lipides contenant de l'ADN, de l'ARN et une foule d'autres biomolécules.
  - Cela a conduit à la découverte que de nombreuses autres bactéries marines font la même chose.
- Quelle est la fonction de ces vésicules ?
  - défense contre les virus,
  - transfert de l'information génétique
  - exportation de nutriments.



Lanthipeptides: prochlorosins

- sécrète une grande variété de peptides qui, dans d'autres organismes, ont une activité anti-microbienne ou de signalisation,
- jusqu'à 1500 peptides différents par cellule.,
- Fonctions inconnues

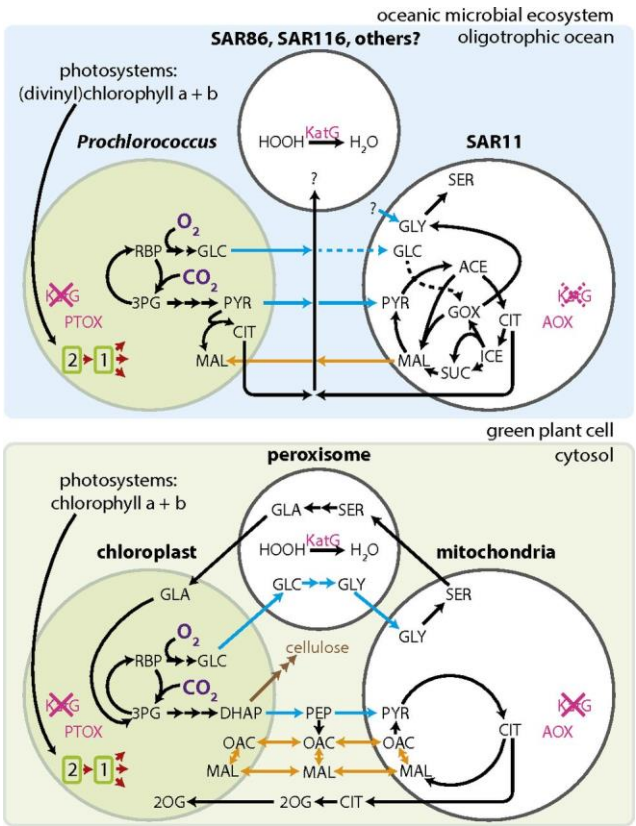


Emergence d'un mutualisme dans les écosystèmes marins

Dans la région de l'océan où vit Prochlorococcus, il y a très peu de carbone et d'autres nutriments, et pourtant le microbe envoie de grandes quantités de nutriments cellulaires dans ces vésicules.

Le carbone et les nutriments des vésicules alimentent des microbes qui ne peuvent pas effectuer de photosynthèse.

Il semble que le Prochlorococcus ait besoin d'autres microbes pour certaines enzymes, la catalase et la catalase peroxydase, qui sont nécessaires pour se protéger contre les dommages causés par l'oxygène très réactif produit lors du processus de photosynthèse.

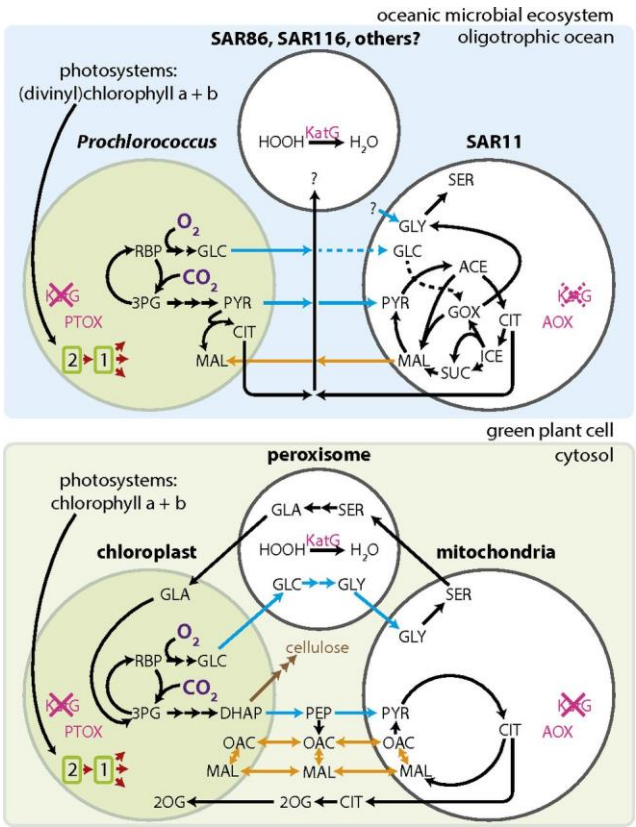


Emergence d'un mutualisme dans les écosystèmes marins

Dans la région de l'océan où vit *Prochlorococcus*, il y a très peu de carbone et d'autres nutriments, et pourtant le microbe envoie de grandes quantités de nutriments cellulaires dans ces vésicules.

Le carbone et les nutriments des vésicules alimentent des microbes qui ne peuvent pas effectuer de photosynthèse.

Il semble que le *Prochlorococcus* ait besoin d'autres microbes pour certaines enzymes, la catalase et la catalase peroxydase, qui sont nécessaires pour se protéger contre les dommages causés par l'oxygène très réactif produit lors du processus de photosynthèse.



Emergence d'un mutualisme dans les écosystèmes marins

La pollution plastique ne menace pas seulement les baleines et les crustavés.

Elle nuit aussi à une bactérie présente dans les écosystèmes marins qui produit une partie de l'oxygène nous permettant de respirer.