

L'océan : un tondo planétaire peint par le phytoplancton

The Ocean: A Planetary Tondo Painted by Phytoplankton

Fabrizio D'Ortenzio¹ & Julia Uitz¹

¹ Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-Mer, Sorbonne Université CNRS UMR 7093, 06230 Villefranche-sur-Mer; fabrizio.dortenzio@imev-mer.fr; julia.uitz@imev-mer.fr

RÉSUMÉ. Dans l'océan, des organismes microscopiques sont à la fois les peintres et la teinte d'un grand tondo¹ planétaire. Ces organismes, le phytoplancton, de couleur verte, sous des conditions marines favorables, colorent d'énormes zones de l'océan. Tellement énormes que leur extension ne peut être observée que depuis l'espace. Nous présentons ici quelques images de la Méditerranée nord-occidentale, prises par un satellite scientifique, qui nous montrent la beauté de ce tondo visible seulement depuis une altitude de 700 km.

ABSTRACT. In the ocean, microscopic organisms are both the painters and the pigments of a large planetary tondo. These organisms, phytoplankton, green in color, under favorable marine conditions, color enormous areas of the ocean. So enormous that the extent, trully global, can only be observed from space. Here we present some images of the northwestern Mediterranean Sea, taken by a scientific satellite, which show us the beauty of this tondo visible only from an altitude of 700 km.

MOTS-CLÉS. Vert, satellite, phytoplancton, tondo.

KEYWORDS. Green Satellite, phytoplankton, tondo.

L'océan a toujours émerveillé les hommes par la richesse de ses couleurs. Depuis des siècles, des générations de peintres se sont efforcées de reproduire sa palette de teintes : Monet, Gauguin, Picasso, Tintoretto pour n'en citer que quelques uns. Plus récemment, avec l'avènement du cinéma et de la photographie, des artistes talentueux ont fait montre d'imagination pour explorer la gamme chromatique de la mer. Ils ont à la fois exploité l'imaginaire visuel de l'océan, et profité de la valeur esthétique intrinsèque de la richesse de ses couleurs pour améliorer leurs œuvres.

La couleur de l'océan, telle que nous l'apprécions à l'œil nu, est déterminée par les lois physiques de propagation de la lumière et influencée par la nature des substances qui se trouvent dans l'eau (Mobley et al. 2022). Lorsque les rayons du soleil atteignent l'océan, une partie de la lumière se trouve absorbée par les molécules d'eau elle-même ainsi que par les particules et micro-organismes présents dans l'eau. L'autre partie est comme réfléchi (en fait « diffusée ») par ces mêmes molécules. C'est cette partie diffusée que l'œil humain « capte ». Mais le chemin de la lumière ne s'arrête pas là. La lumière du soleil est « blanche », au sens où elle contient toutes les couleurs (longueurs d'onde) du spectre lumineux visible par l'œil humain. Cependant, les substances présentes dans l'eau de mer, rencontrées par la lumière solaire, ont un pouvoir d'absorption ou de diffusion plus ou moins fortes à certaines longueurs d'onde. Les molécules d'eau, par exemple, ont tendance à absorber plus fortement les rayons rouges et diffuser les bleus, ce qui donne à l'océan sa couleur bleue prépondérante. Mais l'océan peut prendre des teintes très variées, en fait presque la totalité de la palette de couleurs appréciable par l'œil humain. La couleur bleu est certainement dominante, mais dans certains conditions, l'eau de mer peut devenir rougeâtre, violette, jaunâtre, et, souvent, verte.

Mais qui colore l'océan en vert? Principalement des plantes, ou plus précisément, du phytoplancton. Il s'agit d'organismes microscopiques qui utilisent la lumière du soleil pour croître et prospérer grâce au même processus qui permet aux végétaux terrestres d'exister : la photosynthèse. Ce processus

¹ « Tondo » : Tableau de forme circulaire. (Peinture de la Renaissance italienne (Larousse))

biologique permet aux plantes de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique, de la stocker et de l'utiliser pour leurs besoins physiologiques, dont le plus important est la reproduction.

La photosynthèse caractérise le règne végétal, sur terre et dans les océans (Falkowski and Raven, 2013). Malgré les énormes différences entre les organismes et les environnements, il existe une molécule « universelle » qui est au centre de la photosynthèse : la chlorophylle a. Elle se trouve presque partout dans les végétaux et c'est grâce à elle (ou plus précisément à son centre) que l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique, utile pour la cellule². Des milliards de générations de végétaux, soumises à une pression évolutive impitoyable, ont affiné le fonctionnement et la structure atomique de la chlorophylle. Elle s'est adaptée au spectre lumineux solaire, qui, bien qu'il contienne toutes les couleurs, est plus énergétique dans le rouge et le bleu, et moins dans le vert. La chlorophylle absorbe donc principalement dans le rouge et le bleu et réfléchit le vert, ce qui lui donne sa couleur verte, visible dans les arbres, les salades, les pelouses, et aussi dans le phytoplancton. C'est le phytoplancton qui colore de manière si spectaculaire et esthétique certaines plages du littoral atlantique ou des petites criques méditerranéennes, inspirant des centaines d'artistes.

Aucun de ces artistes, toutefois, n'aurait jamais imaginé que le phytoplancton ne se limite pas à colorier de petites criques, mais que sa toile est l'océan dans son ensemble (70,8 % de la surface de notre planète).

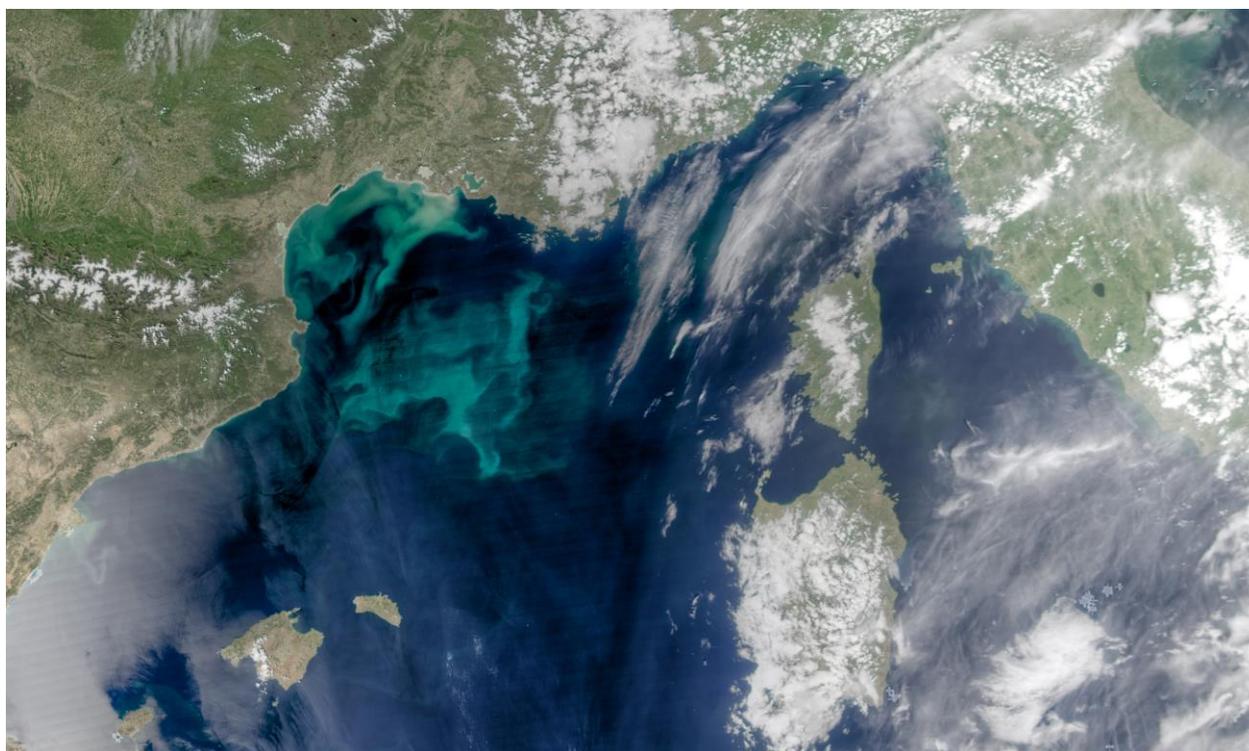


Figure 1. Image « True color » de la région Nord Occidentale le Mer Méditerranée, obtenue par le capteur MODIS le 3 Avril 2024.

La figure 1 représente une image prise le 3 avril 2024 par le capteur « MODIS » (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, Spectroradiometre à imagerie de résolution moyenne, en anglais), porté sur le satellite artificiel « AQUA » de l'agence spatiale américaine NASA. Mis en orbite en 2002 dans le cadre du programme d'observation des océans, il est le dernier d'une longue série de satellites succédant à la première mission pionnière de ce type, le « CZCS » (Coastal Zone Color Scanner) monté sur le satellite « Nimbus-7 », opérationnel de 1978 à 1986. MODIS (ainsi que tous les capteurs du même type) fonctionne comme un œil humain : la lumière réfléchiée par l'océan et ce qu'il

² Accessoirement, la photosynthèse permet aux végétaux d'absorber du carbone et de relâcher de l'oxygène, ce qui a une importance critique pour la vie sur terre. Mais ça c'est une autre histoire.

contient est captée à 700 km d'altitude par différents capteurs, chacun calibré pour observer une certaine couleur³. Lors de son passage journalier sur chaque région du globe⁴, il génère des images de l'énergie lumineuse réfléchiée par la surface dans différentes couleurs. Ces images, recombinaées, donnent une image finale très similaire à ce qu'un œil humain (ou un appareil photographique) verrait en regardant la Terre depuis 700 km d'altitude (pour plus des details, McClain et al. 2022).

L'image en figure 1 montre le secteur Nord Occidentale de la Mer Méditerranée : on y reconnaît la côte Méditerranéenne de la France, les îles Baléares ainsi que la Corse et la Sardaigne. La botte italienne est couverte par les nuages. Mais la beauté de l'image se trouve surtout dans l'eau : toute la région océanique observée depuis l'espace est caractérisée par une couleur verte, avec différentes nuances. Le vert reflète la richesse en chlorophylle a et donc en phytoplancton, qui, dans des conditions printanières favorables, se multiplie à une vitesse exponentielle remplissant et coloriant la surface océanique. Les teintes marron signalent les panaches au niveau de l'embouchure des fleuves, avec leur charge en sédiments qui colore l'eau d'un marron/vert. La turbulence océanique produit aussi des filaments, des tourbillons ou des zones frontales : l'ensemble des ces processus dynamiques module la distribution et la concentration du phytoplancton dans l'eau et génère une palette de couleurs remarquable. Enfin, vers le bas de l'image, où le phytoplancton est absent ou peu présent, l'eau retrouve son bleu Méditerranéen.

Le phytoplancton, comme mentionné précédemment, est composé de micro-organismes végétaux. Comme l'indique son nom (du grec "phyto" signifiant végétal, et "plankton" signifiant "qui dérive"), le phytoplancton est dépourvu de capacités de déplacement autonomes et donc transporté par les courants marins. Il ne peut donc pas « chercher » ses ressources et est soumis à la dynamique physique de l'océan. En effet, à l'instar de tous les végétaux, il nécessite plusieurs ressources essentielles pour réaliser sa photosynthèse et ainsi convertir le carbone inorganique (dioxyde de carbone) en carbone organique : de l'eau (qui est abondante dans l'océan) et des nutriments, principalement du silicium (pour les diatomées), de l'azote, du phosphore, ainsi que des oligo-éléments comme le fer, le magnésium, le calcium, le potassium, le manganèse et le zinc. Comme pour les plantes terrestres, le phytoplancton nécessite également la lumière du soleil, qui fournit l'énergie nécessaire à l'ensemble des processus de croissance. Ces conditions (c'est-à-dire lumière et nutriments disponibles) doivent être réunies simultanément. Lorsque cela se produit, nous observons depuis l'espace ces impressionnantes floraisons phytoplanctoniques qui teintent l'océan de vert (Williams and Follows, 2011).

Cependant, les conditions ne sont pas toujours favorables : la lumière ne peut pénétrer que sur les premières dizaines de mètres sous la surface océanique, et ce n'est donc que sur quelques dizaines de mètres de profondeur que le phytoplancton peut se développer. Parallèlement, l'océan est la plupart du temps « stratifié », car la lumière réchauffe les couches superficielles de la colonne d'eau qui, étant moins denses, ne se mélangent pas avec les couches plus profondes. La conséquence de cette stratification quasi permanente est que, une fois les nutriments de surface consommés, le phytoplancton ne peut plus se développer et sa croissance s'achève. Il faut alors attendre que la dynamique océanique, en mélangeant à nouveau la colonne d'eau, recharge la couche éclairée en nutriments.

Dans les zones tempérées, la dynamique phytoplanctonique suit donc le cycle des saisons : en hiver, les vents et l'atmosphère refroidissent l'océan, et le mélange qui en résulte enrichit les couches de surface en nutriments. Le phytoplancton ne se développe pas cependant, car le mélange ne permet pas une utilisation efficace des nutriments et la lumière solaire est à son niveau le plus bas. L'océan apparaît alors vide, comme le montre la figure 2, obtenue par le capteur MODIS encore dans le nord-ouest de la Méditerranée en hiver (le 12 janvier 2023). L'océan est complètement bleu, presque noir.

³ D'ailleurs, la branche de l'optique qui étudie ces processus est dite « Ocean Color » (en anglais, la couleur de l'océan).

⁴ Les satellites à orbite dite polaire observent chaque jour la totalité de la surface de la terre.

Le phytoplancton est dispersé dans une couche mélangée⁵ de plusieurs centaines de mètres de profondeur, et la couleur verte a presque disparu.



Figure 2. Image « True color » de la région Nord Occidentale le Mer Méditerranée, obtenue par le capteur MODIS le 12 Janvier 2023.

Le printemps amène les conditions favorables à la croissance : lumière, nutriments, stabilité de la colonne d'eau. Le phytoplancton se développe et colore toute la zone d'un vert intense (voir un autre exemple obtenue par le capteur MODIS en figure 3 en mars 2023).

⁵ La couche mélangée océanique désigne la zone de l'océan qui, en contact constant avec l'atmosphère, subit un brassage continu en raison des échanges d'énergie avec celle-ci. La profondeur de cette couche varie en fonction de l'intensité et de la nature des processus en jeu, tels que le réchauffement ou le refroidissement, pouvant aller de quelques mètres à plusieurs kilomètres.

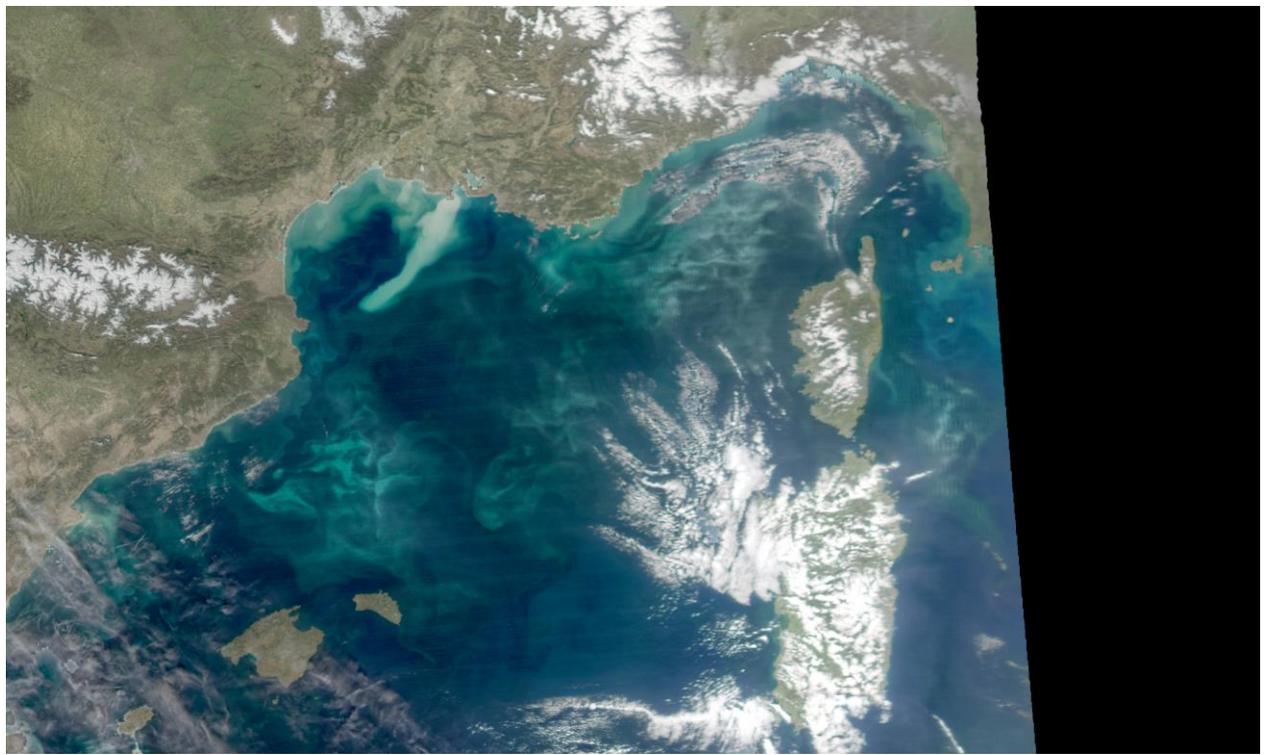


Figure 3. Image « True color » de la région Nord Occidentale le Mer Méditerranée, obtenue par le capteur MODIS le 13 Mars 2023.

L'été apporte la chaleur, qui re-stratifie la colonne d'eau. Le phytoplancton ne se développe plus, au contraire, il meurt et se dégrade. L'eau perd sa couleur verte, mais ne redevient pas pour autant d'un bleu foncé : les composantes dégradées du phytoplancton donnent une légère teinte jaune à l'océan qui reste toutefois en prévalence bleu (figure 4, obtenue par MODIS le 10 Juin 2024)



Figure 4. Image « True color » de la région Nord Occidentale le Mer Méditerranée, obtenue par le capteur MODIS le 10 Juin 2024.

Depuis le lancement des premiers satellites dédiés à l'observation de la distribution de la chlorophylle océanique, des milliers d'images comme celle-ci ont contribué à monitorer et faire

comprendre les écosystèmes océaniques⁶. Il s'agit de la plus importante base de données (en terme de nombre d'observations et de couverture spatio-temporelle) sur la biologie océanique qui existe actuellement.

Et toutefois, le spectacle offert par le phytoplancton au cours de saisons et qui ne peut être apprécié que depuis 700Km d'altitude, reste toujours jubilatoire.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement le NASA Ocean Biology Distributed Active Archive Center (OB.DAAC) pour la mise à disposition des données, des images et des ressources Web utilisées dans cet article.

References

- Falkowski, Paul G., and John A. Raven. Aquatic photosynthesis. Princeton University Press, 2013.
- McClain, C. R., Franz, B. A., & Werdell, P. J. (2022). Genesis and evolution of NASA's satellite ocean color program. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 938006.
- Mobley, C. D. (Editor), 2022. *The Oceanic Optics Book*, International Ocean Colour Coordinating Group (IOCCG), Dartmouth, NS, Canada, 924pp. DOI: 10.25607/OBP-1710
- Williams, R. G., & Follows, M. J. (2011). *Ocean dynamics and the carbon cycle: Principles and mechanisms*. Cambridge University Press.

Ressources Web

<https://truecolors.imev-mer.fr>

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>

<https://www.oceancolour.org>

⁶ Sans rentrer dans les détails, l'utilisation scientifique de ces images passe plutôt par l'application d'algorithmes qui permettent d'obtenir des cartes de la concentration de la chlorophylle de surface.