

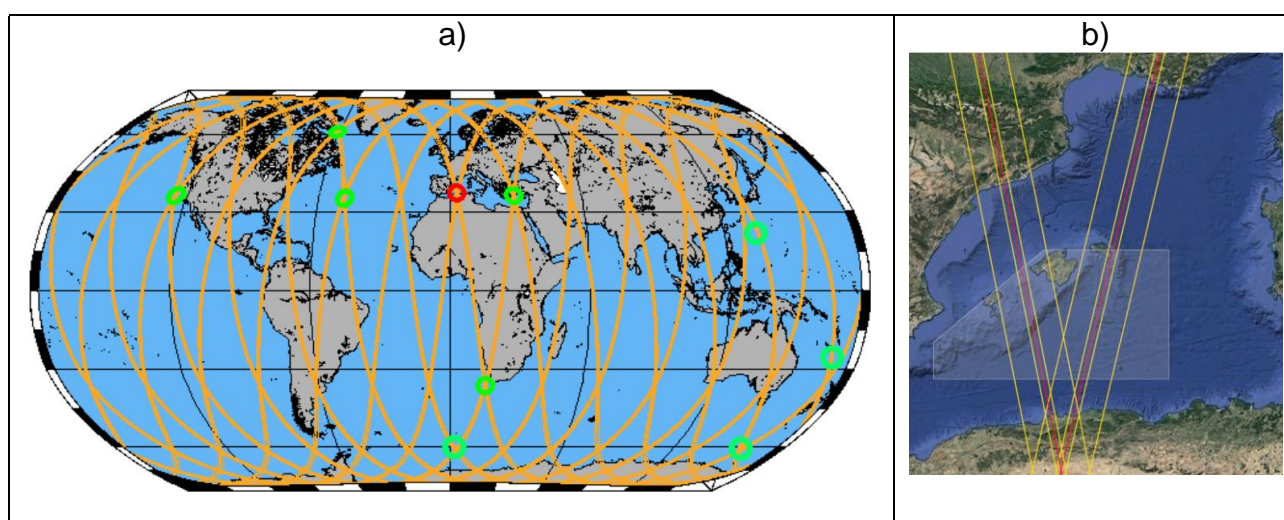
Étude lagrangienne du couplage entre physique et biologie à petites échelles

1. Introduction

Les échelles fines océaniques (1-100 km) ont des durées de vie relativement courtes (jours/semaines à mois) mais affectent de manière cruciale la physique et l'écologie des océans jusqu'à l'échelle climatique, en raison des forts gradients créés par leur dynamique énergétique. L'échelle temporelle associée à cette dynamique horizontale et verticale à fine échelle est la même que celle de nombreuses caractéristiques océaniques importantes, notamment les cycles biogéochimiques (Mahadevan, 2016 ; McGillicuddy, 2014), l'organisation spatiale des modèles de biodiversité (Lévy et al. 2015 ; d' Ovidio al. 2010), la répartition des poissons (Godø et al. 2012) ou encore les stratégies de recherche de nourriture de la mégafaune (Della Penna et al. 2015).

Soutenue par la communauté internationale qui étudie les processus à petite échelle, SWOT-Surface Water Ocean Topography est la mission satellitaire la plus révolutionnaire pour les sciences océaniques dans un avenir proche. En effet, par rapport aux mesures actuelles unidimensionnelles de type nadir, l'altimètre SWOT produira des images bidimensionnelles, comme pour les satellites mesurant la température de surface de la mer et la couleur de l'océan, mais sans être affecté par les nuages. De plus, lors de sa phase initiale dite « phase d'échantillonnage rapide », sur des régions océaniques de ~150 km de large, la haute résolution spatiale sera associée à une répétitivité d'un jour, jamais atteinte dans le passé, et non attendue dans un avenir proche pour d'autres missions (d'Ovidio et al., 2019). Dans le cadres des nouvelles perspectives que s'ouvrent avec SWOT, un consortium international (SWOT-AdAC, « Adopt A Crossover », <https://www.swot-adac.org/>, Figure 1) a été créé en 2019 pour fédérer des campagnes d'envergure en différentes régions océaniques, et de construire une image cohérente du rôle de la fine échelle pour l'océan mondial.

La Méditerranée avec sa forte biodiversité associée à des conditions d'oligotrophie, est un site idéal pour explorer le rôle de la dynamique à petite échelle sur la vie marine dans des conditions modérément énergétiques, représentatives d'une grande partie de l'océan mondial. Dans ce projet de thèse, nous nous concentrerons sur le rôle de la dynamique à petite échelle dans le maintien de la diversité du phytoplancton et, en particulier, nous aborderons la question du rôle relatif du transport horizontal par rapport à la dynamique verticale dans la structuration de la communauté planctonique.



2. Objectifs

Les données biophysiques des campagnes PROTEVSMED-SWOT (2018) et BIOSWOT-Med (prévue en 2023) seront analysées en développant une nouvelle technique de modélisation, spécifiquement conçue pour les questions à fine échelle. Contrairement aux modèles classiques de circulation océanique et d'écologie marine qui simulent l'environnement marin comme un ensemble de points de grille, les modèles lagrangiens suivent dans le temps les particules d'eau, présentant les avantages suivants : (i) ils permettent de simuler facilement l'histoire d'une communauté phytoplanctonique le long de son transport, fournissant des informations sur l'évolution et les mécanismes des changements dans la structure de la communauté, qui peuvent être comparées directement aux données in situ ; (ii) ils sont spécifiquement conçus pour identifier l'effet du transport horizontal, permettant d'estimer par différence le rôle des processus verticaux.

La précédente campagne PROTEVSMED_SWOT ainsi que les futures campagnes se déroulant pendant la phase d'échantillonnage rapide SWOT suivront une stratégie d'échantillonnage lagrangienne dite adaptative (c'est-à-dire qu'elles ajusteront les stations d'échantillonnage aux observations en temps quasi réel des caractéristiques physiques océaniques). L'approche lagrangienne que nous proposons ici s'est déjà révélée particulièrement adaptée à ce type de campagnes (Messié et al. 2020).

3. Méthodologie

Une nouvelle méthode a été récemment proposée, basée sur des méthodes lagrangiennes combinant croissance et advection (Messié et Chavez 2017). Les trajectoires lagrangiennes seront calculées à partir de différents produits de courants de surface (altimétrie et modèles avec assimilation) du Copernicus Marine Service utilisant Ariane (Blanke et Reynaud, 1997) pour la période et la région de la campagne PROTEVSMED_SWOT (mai 2018, au sud des Baléares).

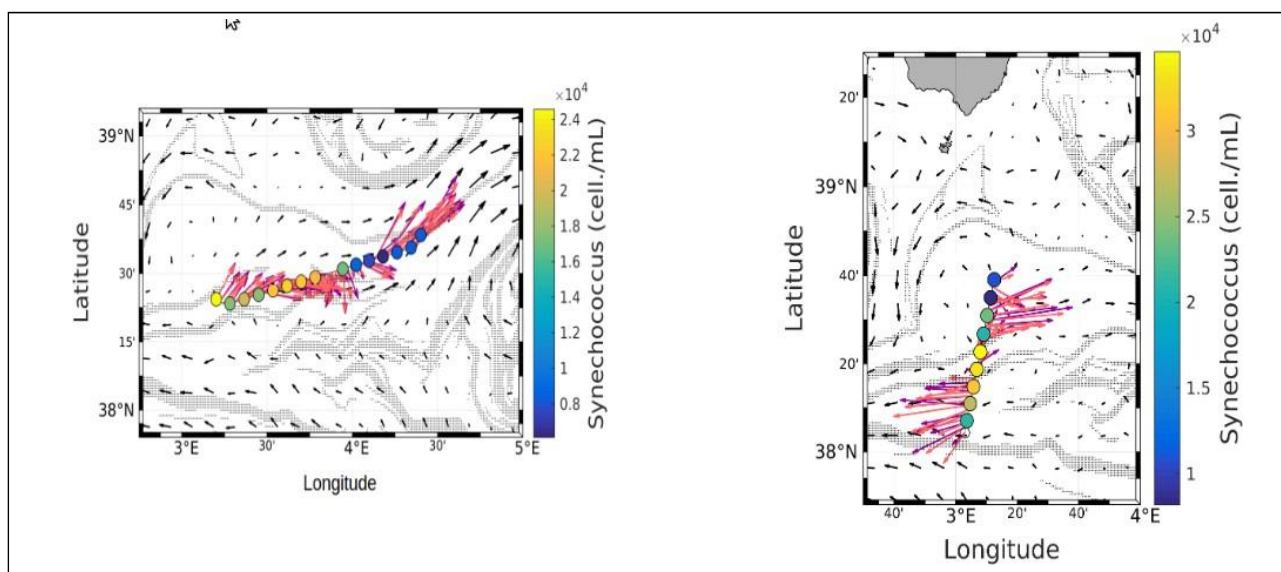


Figure 2 : Deux exemples d'abondances du microbe phytoplanctonique *Synechococcus* déterminées par cytométrie en flux automatisée au cours de la campagne PROTEVSMED_SWOT 2018 superposées aux vecteurs de vitesse horizontale issus de l'ADCP du navire océanographique et des mesure satellite d'altimétrie AVISO (noir) avec la détection des fronts associés par FSLE (gris). Tirée de Doglioli et al. (2020) et Tzortiz et al (2021).

Les communautés phytoplanctoniques seront identifiées à partir des observations satellitaires (PHYSAT : Alvain et al., 2005) et des observations in situ (cytométrie en flux : Marrec et al., 2018 ; Tzortzis et al, 2021). Un modèle simple représentant l'évolution temporelle spécifique des espèces de phytoplancton sera paramétré à l'aide des taux de croissance observés dérivés de la cytométrie et cartographié sur les trajectoires numériques. Nous utiliserons la méthode d'advection de croissance développée par Messié et Chavez (2017) et Messié et al. (2020). Les cartes résultantes de la composition des communautés phytoplanctoniques seront comparées aux abondances mesurées. Étant donné que seuls les processus horizontaux (advection) sont représentés dans le modèle lagrangien, le degré de similitude entre les communautés modélisées et observées fournira des informations sur la quantité d'advection horizontale par rapport aux flux verticaux qui contrôlent la composition de la communauté phytoplanctonique dans les zones frontales.

4. Résultats attendus

Les microbes marins sont présents en grande quantité presque partout dans l'océan et se trouvent à la base du réseau trophique des poissons et des grands mammifères. La vision traditionnelle d'une distribution de phytoplancton homogénéisée par la turbulence, avec des cellules organisées de manière aléatoire et interagissant seulement entre elles, est en train d'être abandonnée. La compréhension croissante des processus microscopiques dans l'océan révèle un monde à micro- échelle résultant des comportements cellulaires et des interactions fluide-cellule.

Cette thèse propose de combler le fossé entre circulation océanique et biodiversité marine, en explorant l'impact de la dynamique océanique à fine échelle sur la structure des communautés phytoplanctoniques. Les données biophysiques de la campagne PROTEVSMED_SWOT 2018 et de la future campagne BIOSWOT-Med 2023 seront analysées en développant une nouvelle technique de modélisation biophysique (Messié et al. 2020), spécifiquement conçue pour répondre à des questions à fine échelle.

PROJET THESE

Ce travail fournira également le cadre de modélisation qui sera nécessaire à l'exploitation des futures observations de BIOSWOT-Med et éventuellement d'autres campagnes (voir www.swot-adac.org) lors de la phase d'échantillonnage rapide 2023 de la mission satellite SWOT.

Ce projet doctoral a reçu le soutien financier du CNES et de l'Institut des Sciences de l'Océan afin de développer dans le cadre d'un travail de recherche fondamentale une approche multidisciplinaire.

A travers ce projet de nouveaux modèles numériques pour la validation et l'exploitation des nouvelles données SWOT seront développés, et cela apportera des connaissances nouvelles dans l'étude des courants océaniques et leur influence sur la biodiversité du phytoplancton.

Bibliographie

- Alvain, S., Moulin C., Dandonneau Y. and Bréon F.M., Remote sensing of phytoplankton groups in case 1 waters from global SeaWiFS imagery, *Deep Sea Res. I*, 52, 1989-2004, (2005).
- Blanke, B., and S. Raynaud, 1997: Kinematics of the Pacific Equatorial Undercurrent: a Eulerian and Lagrangian approach from GCM results. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 1038-1053.
- d'Ovidio, F., Pascual, A., Wang, J., Doglioli, A., Jing, Z., Moreau, S., ... & Legresy, B. (2019). Frontiers in fine scale in-situ studies: opportunities during the SWOT fast sampling phase. *Front. Mar. Sci.*, 6, 168.
- d'Ovidio, F., De Monte, S., Alvain, S., Dandonneau, Y., and Lévy, M. (2010). Fluid dynamical niches of phytoplankton types. *Proc Natl Acad Sci US A* 107, 18366–18370.
- Della Penna, A., Koubbi, P., Cotté, C., Bon, C., Bost, C. A., & d'Ovidio, F. (2017). Lagrangian analysis of multi-satellite data in support of open ocean Marine Protected Area design. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 140, 212-221.
- Godø, O.R., Samuelsen, A., Macaulay, G.J., Patel, R., Hjøllø, S.S., Horne, J., Kaartvedt, S., and Johannessen, J.A. (2012). Mesoscale eddies are oases for higher trophic marine life. *PLoS One* 7, e30161.
- Lévy, M., Jahn, O., Dutkiewicz, S., Follows, M.J., and d' Ovidio, F. (2015). The dynamical landscape of marine phytoplankton diversity. *J. R. Soc. Interface*.12,20150481, DOI: 10.1098/rsif.2015.048112.
- Mahadevan, A. (2016). The Impact of Submesoscale Physics on Primary Productivity of Plankton. *Ann Rev Mar Sci* 8, 161–184.
- Marrec, P., Grégori, G., Doglioli, A.M., Dugenne, M., Della Penna, A., Bhairy, N., Cariou, T., Hélias Nunige, S., Lahbib, S., Rougier, G., Wagener, T., Thyssen M. (2018). Coupling physics and biogeochemistry thanks to high resolution observations of the phytoplankton community structure in the North-Western Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, 15, 1579-1606, doi:10.5194/bg-15-1579-2018.
- McGillicuddy Jr., D.J. (2014). Mechanisms of Physical-Biological-Biogeochemical Interaction at the Oceanic Mesoscale. *Ann Rev Mar Sci* 8.
- Messié, M., & Chavez, F. P. (2017). Nutrient supply, surface currents, and plankton dynamics predict zooplankton hotspots in coastal upwelling systems. *Geophysical Research Letters*, 44(17), 8979–8986. <https://doi.org/10.1002/2017GL074322>
- Messié, M., Petrenko, A.A., Doglioli, A.M., Aldebert, C., Martinez, E., Koenig, G., Bonnet, S., Moutin, T. (2020). The Delayed Island Mass Effect: how islands can remotely trigger blooms in the oligotrophic ocean., *Geophys.Res.Lett.*, 46, doi:10.1029/2019GL085282.
- Tzortzis, R., Doglioli, A. M., Barrillon, S., Petrenko, A. A., d'Ovidio, F., Iazard, L., Thyssen, M., Pascual, A., Barceló-Llull, B., Cyr, F., Tedetti, M., Bhairy, N., Garreau, P., Dumas, F., and Grégori, G. (2021). Impact of moderately energetic fine-scale dynamics on the phytoplankton community structure in the western Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, 18, 6455-6477, doi: 10.5194/bg-18-6455-2021.