

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Identification du projet

Acronyme du projet (8 caractères *maximum*) : **BIODYNPA**

Intitulé du projet en langue française : Dynamique biogéochimique de régions oligotrophes contrastées du Pacifique Sud : une étude menée à partir de flotteurs profileurs Argo BioGéoChimiques

Intitulé du projet en langue anglaise : *BIO*geochemical *DYN*amics in contrasted oligotrophic regions of the south *PAC*ific : a study based on BioGeoChemical-Argo profiling floats

Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

Établissement porteur du projet : UBO

Ecole Doctorale : EDSML

Identification du responsable du projet (futur directeur de thèse)

Nom du laboratoire d'accueil : Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS)

Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) : UMR 6523

Directeur du Laboratoire : Jérôme Paillet

Nom de l'équipe de recherche : Océan & Climat

Nombre HDR dans le laboratoire : 13 Nombre de thèses en cours : 29 Nombre de post-docs en cours : 23

Directrice de thèse: **Elodie Martinez**

Laboratoire de recherche : LOPS UMR 6523

- e-mail : elodie.martinez@ird.fr

Co-encadrant-e scientifique : **Julia Uitz**

Laboratoire de recherche co-encadrant : Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, CNRS, Sorbonne Université, UMR 7093

- e-mail : julia.uitz@imev-mer.fr

Le cas échéant, autres collaborations et laboratoires concernés :

- Takeshi Izumo (UMR Ecosystèmes Insulaires Océaniques, EIO)
- Anne Petrenko (UMR MIO)
- Christophe Maes (UMR LOPS)

Présentation du projet

Résumé du projet

Le phytoplancton, composé de micro-algues peuplant la couche éclairée de surface, joue un rôle essentiel dans la régulation du climat par le biais de la photosynthèse et la chaîne alimentaire marine. Bien que souvent qualifiées de désert océanique, les gyres subtropicaux représentent ~40% de la surface de l'océan mondial et, de ce fait, jouent un rôle important dans le cycle global du carbone. Dans ces zones également qualifiées d'oligotrophes, l'essentiel de l'activité biologique a lieu en subsurface, à une profondeur correspondant au meilleur compromis entre disponibilité en lumière et en nutriments qui ne peut être observée depuis l'espace. Dans le contexte du réchauffement climatique, il est attendu que ces zones s'étendent, avec un impact conséquent sur la séquestration du carbone anthropique et les réseaux trophiques. Cependant à ce jour, dans les gyres oligotrophes et particulièrement celui du Pacifique Sud, les observations *in situ* sont parcellaires et insuffisantes pour suffisamment bien caractériser la dynamique phytoplanctonique dans la colonne d'eau et appréhender son évolution future.

L'objectif du travail de thèse sera donc d'identifier et comprendre la variabilité spatio-temporelle i) de la dynamique phytoplanctonique dans des régions contrastées du gyre oligotrophe du Pacifique Sud à des échelles de temps diurne à interannuelle, ii) en lien avec les mécanismes physiques et biogéochimiques sous-jacents dans la colonne d'eau. Ce travail sera mené à partir d'une base d'observations encore inexploitée à l'échelle du bassin océanique, issues de flotteurs profileurs BioGeoChemical-Argo (BGC-Argo) déployés dans le cadre de plusieurs projets de recherche dans lesquels sont impliqués les encadrantes de thèse. Cette thèse sera effectuée en collaboration étroite entre le Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale à Brest et le Laboratoire de Villefranche sur mer.

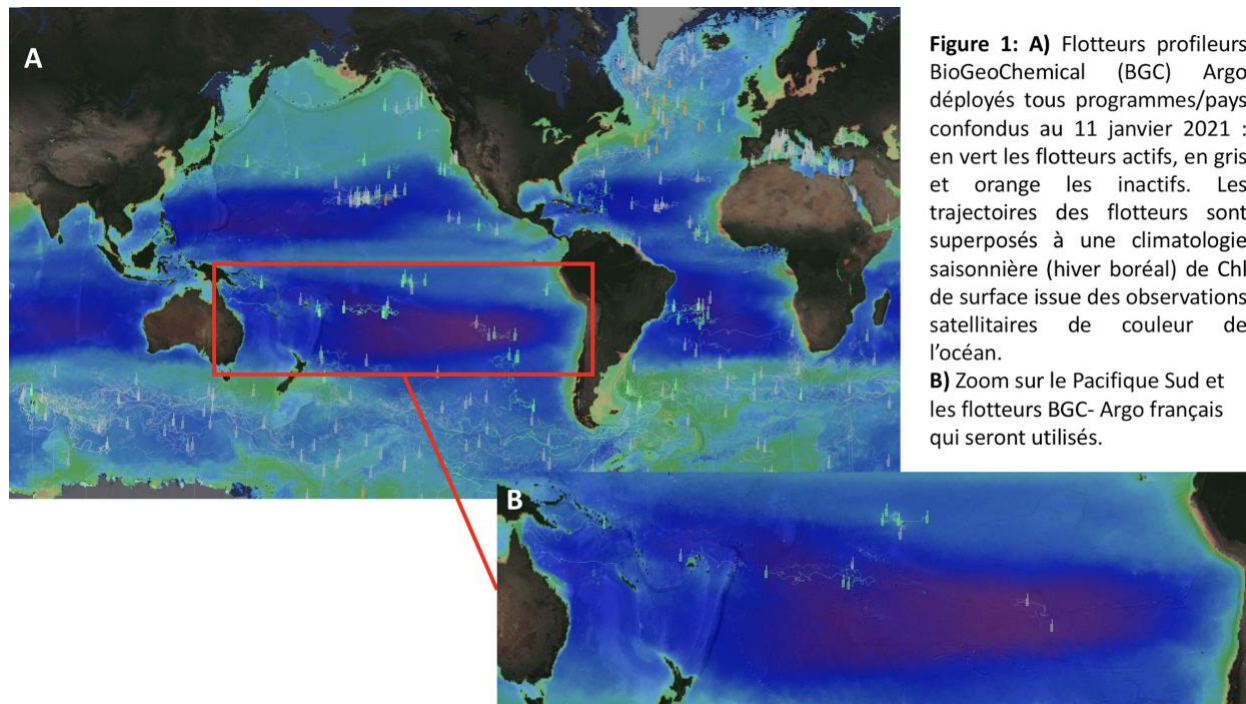
Présentation détaillée du projet :

1. Hypothèse et questions posées, état de l'art, identification des points de blocages scientifiques

Le phytoplancton, composé de micro-algues peuplant la couche éclairée de surface, **joue un rôle essentiel dans la régulation du climat par le biais de la photosynthèse**. Il génère à lui seul **50% de l'oxygène présent dans l'atmosphère, et contribue à réguler le CO₂ atmosphérique**, notamment d'origine anthropique, en séquestrant par sédimentation une partie de la matière organique dans les couches profondes de l'océan. **Premier maillon de la chaîne alimentaire marine**, il conditionne également le développement des réseaux trophiques supérieurs qui constituent l'un des grands enjeux économique et alimentaire tant au niveau mondial que régional. Cela s'applique aux États insulaires du Pacifique Sud, dont la principale source de protéines animales provient du poisson, et dont les revenus qui en résultent sont importants pour les populations locales.

Pour se développer le phytoplancton a besoin de lumière et de sels nutritifs. Dans les gyres subtropicaux, si la lumière n'est pas limitante dans les couches superficielles, les sels nutritifs se situent plus en profondeur et ne sont pas disponibles en surface, limitant ainsi la croissance du phytoplancton. Ces régions, dites oligotrophes, sont détectables depuis l'espace grâce à la radiométrie spatiale par des concentrations en chlorophylle-a (Chl, indicateur de la biomasse phytoplanctonique) de surface inférieures à 0.1 mg/m³ (Figure 1A: zones bleues/violettes). Bien que souvent qualifiées de désert océanique, les gyres

subtropicaux représentent ~40% de la surface de l'océan mondial et, de ce fait, jouent un rôle important dans le cycle global du carbone¹.



Dans le contexte des changements climatiques, il est attendu que les eaux se réchauffent en surface augmentant ainsi la stratification et réduisant l'accès aux sels nutritifs (disponibles depuis les couches profondes), résultant ainsi en un appauvrissement de la biomasse phytoplanctonique², et une extension des zones oligotrophes³. Cette tendance a été observée au cours de la période 1998-2013 pour tous les gyres subtropicaux de la planète à l'exception du gyre subtropical du Pacifique Sud (SPSG pour South Pacific Subtropical Gyre)¹. Il apparaît ainsi **essentiel de mieux comprendre le rôle biogéochimique et appréhender le devenir des gyres subtropicaux, en particulier celui du SPSG. Un tel objectif nécessite de caractériser, à l'aide d'observations adéquates, la variabilité temporelle (diurne à interannuelle) du phytoplancton et les mécanismes physiques et biogéochimiques associés, non seulement à la surface de l'océan mais également dans la colonne d'eau.**

Si la radiométrie spatiale a permis d'améliorer les connaissances de la dynamique phytoplanctonique aux échelles intra- à inter-annuelle, ces observations restent limitées à la surface de l'océan. Dans les zones oligotrophes, l'essentiel de l'activité biologique a lieu en subsurface, à une profondeur correspondant au meilleur compromis entre disponibilité en lumière et en nutriments (DCM pour *Deep Chlorophyll Maximum*), qui ne peut être observée depuis l'espace. L'étendue et l'éloignement à la côte de ces régions rendent extrêmement parcellaires et insuffisantes les observations *in situ* faites lors de campagnes en mer, et sont un frein à la compréhension de la dynamique phytoplanctonique des zones oligotrophes.

L'objectif de ce travail de thèse est d'identifier et comprendre la variabilité spatio-temporelle i) de la dynamique phytoplanctonique dans des régions contrastées de le SPSG à des échelles de temps diurne à interannuelle, ii) en lien avec les mécanismes physiques et biogéochimiques sous-jacents dans la colonne d'eau. Ce travail sera mené à partir d'une base d'observations encore inexploitée, issues de flotteurs profiteurs BioGeoChemical-Argo (BGC-Argo).

2. Approche méthodologique et techniques envisagées :

Au cours des 10 dernières années, le réseau mondial de flotteurs BGC-Argo s'est considérablement renforcé, notamment grâce aux efforts de développements technologiques et de déploiements de la communauté française (e.g. ERC remOcean, Equipex NAOS, LEFE-GMMC/CNES Bio-Argo). Jusqu'alors, les études menées se sont principalement concentrées sur l'Atlantique Nord, la Méditerranée, l'Austral et l'océan global.

Dans ce contexte, et principalement via 4 projets/campagnes en mer*^{bas de page}, 16 flotteurs BGC-Argo ont été déployés dans 3 régions contrastées du SPSG: (i) la zone ultra-oligotrophe au niveau de l'île de Pâques, (ii) la zone oligotrophe hauturière mais proches de certaines îles (Tahiti, Tonga, Fidji) où des enrichissements locaux en nutriments et Chl peuvent être observés, (iii) à la bordure des zones oligotrophe/HNLC (High Nutrient Low Chlorophyll) de l'archipel des Marquises (Figure 1A et B). Enfin un dernier flotteur (américain) déployé dans l'upwelling du Pérou permettra de contraster les résultats obtenus pour le SPSG avec ceux très contrastés d'un upwelling de bord est. Les fréquences d'acquisition des flotteurs sont passées du journalier (permettant de caractériser la variabilité diurne) pendant quelques mois, à des fréquences standards de 5-10j.

D'un point de vue méthodologique, dans un premier temps, le(a) doctorant(e) traitera les observations des différents flotteurs pour avoir une base de données homogène. La réflexion scientifique portera ensuite sur les points suivants:

- La variabilité intra- à inter-annuelle de la Chl sera caractérisée pour les différentes régions du Pacifique Sud. Les mesures d'irradiance et des coefficients d'atténuation (c_p) et de rétrodiffusion (b_{bp}) particulières, indicateurs du stock de carbone organique particulaire et de la composition du pool particulaire, apporteront une information critique sur la nature des DCMs observés, i.e. associés au processus de photoacclimatation ou à une augmentation de biomasse phytoplanctonique carbonée potentiellement productifs⁴⁻⁶. La production biologique associée à ces structures profondes sera estimée à l'aide d'un modèle bio-optique couplée aux mesures collectées par les flotteurs (Chl, T et PAR)⁷. L'étude des paramètres physiques (température, salinité) et biogéochimiques tels que l'oxygène ou les nitrates (dont plusieurs flotteurs ont été équipés en supplément) permettront d'étudier les mécanismes sous-jacents à la dynamique phytoplanctonique⁸.
- Une approche synoptique sera également menée en étudiant en parallèle la variabilité spatio-temporelle à l'échelle du bassin océanique pour les 20 dernières années de la Chl et de variables environnementales telles que la hauteur de la mer ou la température de surface à partir de la télédétection spatiale. Ces observations de surface, comparées à celles *in situ*, fourniront un contexte i) spatial entre les différentes zones d'étude, et ii) temporel par rapport aux cycles saisonniers mais également interannuels en lien avec l'oscillation climatique El Nino Southern Oscillation (ENSO)^{9,10}.

3. Originalité, impact potentiel du projet

Cette thèse permettra de caractériser et comprendre les interactions entre les processus physiques et biogéochimiques i) de zones contrastées du SPSG, ii) pour des échelles de temps diurne à interannuelles, iii) à partir d'une base d'observations *in situ* encore inexploitée à l'échelle du SPSG et présentant une extension spatio-temporelle sans précédent dans ce bassin sous-échantillonné et mal connu.

* projet THOT (*TaHitian Ocean Time-series*), 2 BGC-Argo déployés en 2015 et 1 en 2016

Campagne Outpace (*Oligotrophy to UUltra-oligotrophy PACific Experiment*), 3 flotteurs déployés en 2015

Campagnes Moana Maty (*the Marquesas biOlogicAl eNhAnceMent within the pAcific ocean: from the processes to the interannual variability*), 2 flotteurs déployés en 2018 et 2 en 2019

Campagne TONGA (*shallow hydroThermal sOurces of trace elemeNts: potential impacts on biological productivity and the bioloGicAl carbon pump*), 2 flotteurs déployés en 2019

4. Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux

Le travail de thèse bénéficiera des avancées scientifiques réalisées dans le cadre des projets Moana-Maty, THOT, OUTPACE et TONGA et des données ancillaires collectées lors des campagnes en mer associées (e.g., données de POC, pigments phytoplanctoniques) intéressantes pour assurer la calibration des données de flotteurs ainsi que leur interprétation. Associé à de multiples projets via les flotteurs BGC-Argo sur lesquels il repose, ce sujet de thèse bénéficiera et favorisera les échanges avec les scientifiques impliqués, ce qui sera particulièrement enrichissant pour le(la) futur(e) doctorant(e).

L'approche interdisciplinaire physique/biogéochimique proposée pour ce sujet de thèse repose sur la forte expertise des différents encadrant(e)s et collaborateur(ric)e(s) et leurs domaines de recherche complémentaires: la dynamique océanique et la biogéochimie de l'océan par des observations satellitaires et *in situ* de type flotteur profileur.

Cette thèse sera réalisée au sein du Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS) co-encadrée par Elodie Martinez, océanographe physicienne/bio-géochimiste qui apportera son expertise à l'étudiant(e) sur les interactions physique-biogéochimique en réponse aux cycles climatiques grâce à la télédétection spatiale notamment dans le Pacifique Sud. E. Martinez est également PI des projets THOT et Moana-Maty.

L'étudiant(e) sera co-encadré(e) par Julia Uitz de l'UMR LOV à Villefranche-sur-Mer, spécialiste en biogéochimie marine à partir d'approches couplant les observations *in situ* par flotteurs BGC-Argo et satellitaires couleur de l'océan dans l'océan global ainsi qu'en régime oligotrophe.

L'étudiant(e) passera les premiers mois de sa thèse au LOV, notamment pour mettre en place la base de données et appréhender ses spécificités.

La thèse bénéficiera de plus d'une collaboration étroite avec C. Maes (LOPS) qui apportera son expertise en océanographie physique dans le Pacifique Sud pour aider à l'interprétation des résultats biogéochimique en lien avec la dynamique océanique de même que Takeshi Izumo (IRD, Écosystèmes Insulaires Océaniques, EIO) qui apportera son expertise en océanographie physique en lien avec les cycles climatiques allant de l'intra-saisonnier (Madden-Julian) à l'interannuel (ENSO), et Anne Petrenko au MIO (Marseille), océanographe physicien(ne) qui a collaboré à plusieurs travaux portant sur la dynamique océanique du SPSG notamment à partir des flotteurs OUTPACE¹¹ et THOT¹².

5. Le – la candidat.e (profil souhaité, compétences scientifiques et techniques requises)

Ce sujet s'adresse à un(e) candidat(e) motivé(e), titulaire d'un master en océanographie (par exemple, biogéochimie marine, océanographie physique). De solides compétences en programmation numérique sont requises. En particulier, la connaissance des langages de programmation (e.g, R, Python, matlab) et de l'environnement UNIX/Linux est indispensable. Les compétences de rédaction et de communication en anglais seront appréciées.

6. Références bibliographiques (les noms des co-encadrantes sont indiqués en gras)

¹ Signorini, S. R., Franz, B. A., & McClain, C. R. (2015). Chlorophyll variability in the oligotrophic gyres: mechanisms, seasonality and trends. *Frontiers in Marine Science*, 2, 1.

- ² Doney, S. C. (2006). Plankton in a warmer world. *Nature*, 444(7120), 695-696.
- ³ Polovina, J. J., Howell, E. A., & Abecassis, M. (2008). Ocean's least productive waters are expanding. *Geophysical Research Letters*, 35(3).
- ⁴ Mignot, A., Claustre, H., **Uitz, J.**, Poteau, A., d'Ortenzio, F., & Xing, X. (2014). Understanding the seasonal dynamics of phytoplankton biomass and the deep chlorophyll maximum in oligotrophic environments: A Bio-Argo float investigation. *Global Biogeochemical Cycles*, 28(8), 856-876.
- ⁵ Barbieux, M., **Uitz, J.**, Gentili, B., de Fommervault, O. P., Mignot, A., Poteau, A., ... & Bricaud, A. (2019). Bio-optical characterization of subsurface chlorophyll maxima in the Mediterranean Sea from a Biogeochemical-Argo float database. *Biogeosciences*, 16(6), 1321-1342.
- ⁶ Cornec, M., Claustre, H., Mignot, A., Guidi, L., Poteau, A., D'Ortenzio, F., Gentili, B., Schmechtig, C. Deep chlorophyll maxima in the global ocean: occurrences, drivers and characteristics, *Global Biogeochemical Cycle*, in revision.
- ⁷ **Uitz, J.**, Claustre, H., Gentili, B., Stramski, D. (2010). Phytoplankton class-specific primary production in the world's oceans: Seasonal and interannual variability from satellite observations. *Global Biogeochemical Cycles*, doi: 10.1029/2009GB003680.
- ⁸ Sauzède, R., **Martinez, E.**, **Maes, C.**, de Fommervault, O. P., Poteau, A., Mignot, A., ... & Laurent, V. (2020). Enhancement of phytoplankton biomass leeward of Tahiti as observed by BioGeoChemical-Argo floats. *Journal of Marine Systems*, 204, 103284.
- ⁹ **Martinez, E.**, Raapoto, H., **Maes, C.**, & Maamaatuaiahutapu, K. (2018). Influence of tropical instability waves on phytoplankton biomass near the Marquesas Islands. *Remote Sensing*, 10(4), 640.
- ¹⁰ **Martinez, E.**, Antoine, D., D'Ortenzio, F., & Gentili, B. (2009). Climate-driven basin-scale decadal oscillations of oceanic phytoplankton. *Science*, 326(5957), 1253-1256.
- ¹¹ Fumenia, A., **Petrenko, A.**, Loisel, H., Djaoudi, K., DeVerneil, A., & Moutin, T. (2020). Optical proxy for particulate organic nitrogen from BGC-Argo floats. *Optics Express*, 28(15), 21391-21406.
- ¹² Barbot, S., **Petrenko, A.**, & **Maes, C.** (2018). Intermediate water flows in the western South Pacific: as revealed by individual Argo floats trajectories and a model re-analysis. *Biogeosciences*, 15, 4103-4124.