

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Formulaire demande de financement : ARED - ISblue - ETABLISSEMENTS - ...

pour dépôt sur le serveur <https://theses.u-bretagne.fr/sml> au format PDF

Identification du projet

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

Intitulé du projet en langue française : Impact de la DYNAMIQUE à petite et moyenne échelles sur le devenir des Particules exportées dans l'Océan Profond

Intitulé du projet en langue anglaise : Impact of the small and meso scales dynamics on the fate of exported particles in the deep ocean

Nom et prénom du directeur de thèse (HDR), porteur du projet : Laurent Memery

- **Laboratoire de recherche du directeur** Laboratoire des sciences de l'environnement marin (LEMAR/UMR6539)

- **e-mail** : laurent.memery@univ-brest.fr

- **Téléphone** : 02 98 49 88 97

Co-directeur-trice de thèse et co-encadrant scientifique : (précisé si HDR) Jonathan Gula

- **Laboratoire de recherche co-encadrant** Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS/UMR6523)

- **e-mail** : Jonathan.gula@univ-brest.fr

- **Téléphone** : 02 90 91 55 39

Le cas échéant, autres collaborations (co-encadrant et laboratoire concerné)

Co-directeur-trice de thèse et co-encadrant scientifique : Adrian Martin, National Oceanography Centre of Southampton (GB)

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

Établissement porteur du projet : Université Bretagne Occidentale

Ecole Doctorale : EDSML (ED156)

Identification du/de la responsable du projet (futur-e directeur-trice de thèse)

Nom du laboratoire d'accueil : Laboratoire des sciences de l'environnement marin (LEMAR)

Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) : UMR6539

Directeur du Laboratoire : Luis Tito de Morais

Nom de l'équipe de recherche : CHIBIDO Chimie Marine, Cycles Biogéochimiques et Dynamique Océanique

Préambule : motivé par des questionnements en biogéochimie marine (pompe biologique de carbone), le sujet, fortement interdisciplinaire, est clairement orienté vers des problématiques de dynamique océanique à petites et moyennes échelles.

Présentation du projet (en langue française ou anglaise, 2 à 3 pages)

Résumé du projet (4000 caractères maxi espaces compris) :

Le climat de la terre dépend d'une manière cruciale de la teneur atmosphérique des gaz à effet de serre, dont le CO₂. Le transfert de ce composé vers l'océan est en partie régulée par l'activité biologique (photosynthèse) : une proportion variable de la matière biogène produite en surface est ensuite exportée sous forme particulaire vers l'océan profond, où elle est majoritairement oxydée. Accompagnée de la production de CO₂ dissous, cette oxydation s'effectue à des profondeurs variables qui vont contraindre le temps pendant lequel le CO₂ reste isolé de l'atmosphère (entre quelques mois et plusieurs dizaines, voire centaines, d'années). Il est donc essentiel de bien décrire les processus de ce transport et de transformation de cette matière biogène exportée dans la colonne d'eau pour mieux quantifier le stockage de carbone dans l'océan. Majoritairement sous forme particulaire, le flux de matière exportée est historiquement estimé à partir d'observations utilisant les pièges à particules mouillés entre 200 et 3000m de profondeur pendant des périodes de plusieurs jours à une/deux années. L'interprétation de ces observations se base très généralement sur une hypothèse sous-jacente extrêmement simplificatrice, à savoir que la matière collectée provient de la verticale des pièges, i.e. que l'océan est uni dimensionnel. Or non seulement l'océan est un fluide tri dimensionnel, variable dans le temps, mais il est intrinsèquement turbulent.

Les nombreux tourbillons de petite et moyenne échelles peuvent transporter les particules sur de longues distances et modifier leur distribution sur l'horizontale et la verticale. Le piège à particules échantillonne de fait une zone de la surface de l'océan plus ou moins vaste et hétérogène. Par ailleurs, ces petites échelles (sous la forme de tourbillons, fronts, et filaments) produisent une très forte hétérogénéité sur la production de particules en surface, et génèrent des vitesses verticales conséquentes, qui contrôlent en grande partie les échanges entre la couche de surface et l'intérieur de l'océan. Cette complexité est exacerbée par le fait que la vitesse de chute des particules peut varier de deux ordres de grandeur (de 10 à 500 m/jour), les plus petites pouvant être transportées sur de grandes distances horizontales avant d'atteindre le piège. En outre, ces vitesses induisent un décalage temporel entre source en surface et océan profond. Enfin, au sein de la colonne d'eau, les particules interagissent (agrégation, fragmentation, etc..), ce qui implique que leur spectre de taille, et donc leur vitesse de chute, varie avec la profondeur.

Basée sur une approche par la modélisation numérique, cette thèse a pour objectif d'explorer et de quantifier la (dé)corrélation du flux particulaire recueillie dans les pièges à particules en profondeur avec la distribution spatiotemporelle des particules en surface, générées par la production biologique. Estimer la représentativité d'une mesure ponctuelle d'un piège à particules constitue le contexte général de ce travail (i.e. quelle est la surface océanique de surface échantillonnée et quel est la distribution du décalage temporel entre production en surface et collecte en profondeur ?). Plusieurs questions plus spécifiques seront abordées : quel est l'impact de l'hétérogénéité à petites échelles de la production en surface et du transport en subsurface sur les flux particulaires en profondeur ? Comment les interactions entre les particules et la physique petite échelle modifient elles la dispersion et le spectre de particules en profondeur, i.e. transforment le signal initial de surface ? Est il possible de régionaliser le (dé)couplage surface intérieur de la distribution des particules en fonction du type de régime de la dynamique océanique et induire des relations entre caractéristiques des régimes de turbulence en surface et dispersion/spectre des particules en profondeur ?

Présentation détaillée du projet :

1 - Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques

Tout piège à particules recueille de la matière particulaire qui provient d'un point de surface à la verticale au piège : telle est l'hypothèse implicitement utilisée pour analyser les observations *in situ* des pièges à particules. Le projet se base sur l'hypothèse inverse, à savoir qu'un piège à particules échantillonne une zone dont l'étendue dépend de l'intensité de la turbulence de la région. En effet, l'océan est intrinsèquement turbulent (fig. 1) et cette turbulence à petite et moyenne échelles produit une forte variabilité des conditions environnementales (lumière, nutriments) qui régulent la production par photosynthèse de matière organique, et donc la distribution de particules biogènes en surface (fig. 2). Cette hétérogénéité spatiale est transférée vers l'océan profond par sédimentation des particules. Cependant, la petite échelle induit aussi des mouvements verticaux qui, en fonction de la direction des vitesses associées, peuvent soit contrecarrer partiellement cette sédimentation, soit la renforcer au niveau des fronts et des filaments océaniques (fig. 3). Par ailleurs, les vitesses horizontales produites par ces petites échelles dynamiques modifient la répartition horizontale des particules lors de leur chute vers l'océan profond.

Comme indiqué précédemment, ce projet cherche à comprendre comment l'hétérogénéité de surface des particules biogènes (fig. 2), particules sédimentant par gravité, est transférée et modifiée en profondeur par l'activité tourbillonnaire et frontale de l'océan. Un point de vue symétrique de la question est d'identifier la région à la surface de l'océan qui est échantillonnée par un piège à particules en profondeur.

Figure 1: Vorticité relative à la surface de l'océan (simulation numérique de l'Atlantique Nord)

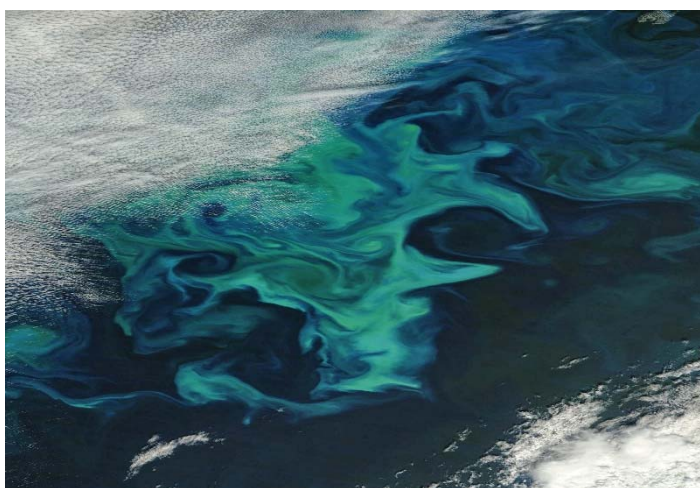
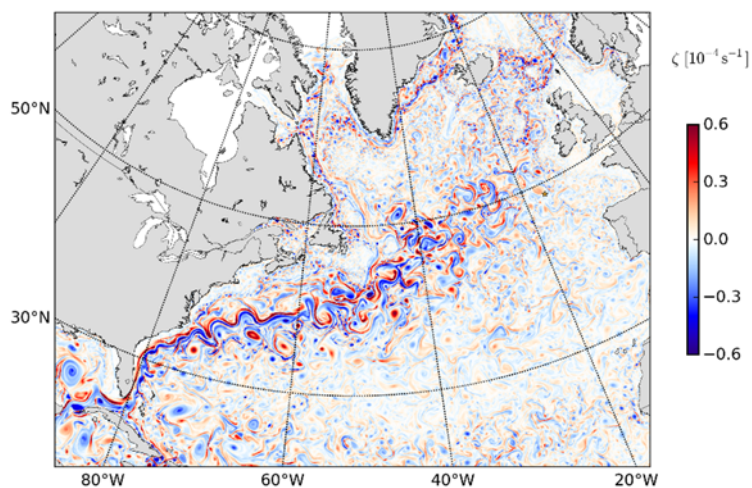
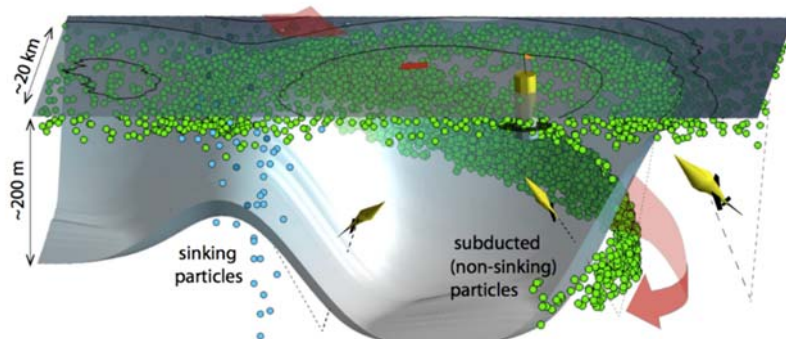


Figure 2: Floraison phytoplanctonique au sud de l'Irlande (données satellitales Terra NASA)

Figure 3: Schéma montrant l'impact de l'advection générée par un tourbillon sur la sédimentation de particules (Denver et al., 2017)



Grâce à l'observation satellitale et aux efforts en modélisation, l'impact des petites échelles sur la variabilité de la production primaire en surface ainsi que de la distribution du phytoplancton et des particules à petites échelles a été intensément étudié depuis les années 2000 : une grande partie des processus dynamiques qui forcent ces distributions est maintenant bien comprise. Par contre, la variabilité en sub surface et dans l'océan profond des champs de particules n'a jamais été réellement abordée jusqu'à maintenant. Cela provient en partie du fait que les moyens d'observation de l'intérieur de l'océan en données biogéochimiques n'étaient pas adaptés. Cependant, ces dernières années, le développement de plateformes autonomes (ou tractées), associées à une instrumentation miniaturisée et haute fréquence permet de commencer à observer ces échelles (instrumentation optique, acoustique ou d'imagerie), en particulier les particules et leurs caractéristiques. En parallèle, l'augmentation continue de puissance des ordinateurs et de capacité de stockage permet aussi de considérer des simulations « coûteuses » avec des résolutions horizontales et verticales adaptées aux échelles des processus physiques et biologiques en jeu. A noter que ces nouveaux développements s'accompagnent d'un effort international (voir 3) inégalé focalisé sur le devenir du carbone (et donc des particules) dans l'océan profond.

2 - Approche méthodologique et techniques envisagées :

Le projet cherche à quantifier l'impact des petites échelles, non prises en compte dans l'interprétation des observations et lors de bilan de carbone océanique, sur la variabilité de l'export de carbone sur la base d'une approche numérique. Il s'appuie sur deux types d'outil déjà existants.

1. Une simulation haute résolution (1 km) de l'Atlantique Nord et des simulations régionales (~ 200 m) résolvant les petites échelles océaniques. La simulation de bassin sera utilisée afin de définir les caractéristiques des régimes dynamiques et de production biologique (Atlantique Nord – Est, upwelling de bord est africain, Mer du Labrador, Gulf Stream, Mer des Sargasses, etc...), régimes pour lesquelles des simulations de distributions de particules à haute résolution sur une zone d'environ 400x400 km seront effectuées

2. Un code de trajectoires lagrangiennes, adapté à des particules, i.e. permettant d'introduire des lois de comportement (sédimentation, dissolution). Pour prendre en compte l'impact des petites échelles sur l'hétérogénéité de la production et du spectre des particules créées en surface, soit des relations empiriques simples reliant spectre de taille et structures hydrologiques seront utilisées, soit un modèle biogéochimique simplifiée (NPD : nutriments – phytoplancton – détritiques/particules) sera couplé au modèle de circulation. Bien que focalisé sur la physique, certains processus biologiques continus sur la colonne d'eau, comme la reminéralisation (i.e. modification de la taille des particules) due à l'activité bactérienne, seront aussi être pris en compte d'une manière simplifiée. Les interactions entre particules (agrégation/désagrégation) seront considérées sur la base de paramétrisations de complexité variable : ceci permettra d'explorer le rôle de la dynamique interne des particules sur la décorrélation entre le signal de surface et la distribution en profondeur.

3 - Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, national et international :

Pour les raisons déjà indiquées, une forte activité internationale sur la pompe biologique du carbone est en cours depuis quelques années. Contrairement aux années 1990-2000, le cœur de cette activité ne se porte pas sur la surface de l'océan (i.e. la production de la matière organique), mais sur le devenir de la matière organique et du carbone dans la colonne d'eau et l'océan profond. Ainsi, la communauté américaine a mis en œuvre le programme EXPORTS, financé par la NASA : une première campagne a eu lieu dans le Pacifique Nord Est à l'été 2018, et une autre campagne aura lieu en 2020 dans l'Atlantique Nord. De même les britanniques, sous le leadership du NOCS (Southampton), sont en train de mener des campagnes dans l'Océan Austral (COMICS) sur la même thématique. Par ailleurs, un consortium international BIARRITZ s'est constitué sur la thématique générale de la pompe biologique de carbone, consortium en grande partie financé par la Grande Bretagne (PI : Adrian Martin, NOCS).

Cette thèse entre dans le cadre de cette collaboration internationale. En effet, porté par Brest (PI : Laurent Memery), la communauté nationale est en train de monter un programme à la mer très ambitieux dans l'Atlantique Nord, programme accompagné d'une approche par la modélisation innovante, couplant physique petites échelles, cycles biogéochimiques et biologie moléculaire (APERRO : Assessing marine biogenic matter Production, Export and Remineralisation : from the surface to the dark Ocean). APERRO fait partie du consortium BIARRITZ et est fortement soutenu par la communauté britannique (d'où Adrian Martin en tant que co-directeur de thèse), avec des équipes du NOCS impliquées directement dans la campagne. Comme EXPORTS, APERRO étant focalisé sur les petites et moyennes échelles, le projet de thèse entre totalement dans la thématique scientifique de ces campagnes à la mer : elle permettra ainsi de quantifier le biais généré par l'hypothèse (erronée) utilisée pour interpréter les observations de pièges à particules (océan 1D vertical), d'aider à la mise en œuvre de campagnes sur le terrain s'intéressant au flux de carbone dans l'océan profond (en estimant par exemple son emprise spatiale) et d'interpréter les observations des pièges (origine en surface des particules). Par suite, cette étude de modélisation, fortement associée aux travaux sur le terrain, est extrêmement pertinente et arrive au bon moment. Couplée aux approches de terrain, elle permet aussi d'investiguer la possibilité d'utiliser des observations satellitales de surface (chlorophylle et charge particulaire par la « couleur de l'eau » et dynamique méso échelle par l'altimétrie) pour contraindre l'océan intérieur, en particulier le stockage du carbone dans l'océan profond. Ces études de

processus participent en outre à une meilleure évaluation et calibration des modèles utilisés dans les simulations du système Terre dans le cadre du Changement Global.

4 - Le cas échéant, précisez le lien du sujet avec les thèmes ISblue

- la régulation du climat par l'océan
- les interactions entre la Terre et l'océan
- la durabilité des systèmes côtiers
- l'océan vivant et les services écosystémiques
- les systèmes d'observation à long terme

Le cas échéant (si financement ISblue demandé): en regard de la formation par la recherche du futur docteur, perspectives d'insertion professionnelle dans le milieu académique et non académique

Ce sujet de thèse a une forte orientation « recherche fondamentale » et aborde des questions difficiles avec des outils numériques performants et complexes. L'intégration internationale de la thèse est avérée. De même, l'interdisciplinarité de la thématique est un atout important dans le cadre de la formation. Par suite, l'insertion professionnelle dans le milieu académique ne devrait pas poser de réels problèmes, en particulier la possibilité d'obtenir une position de post doc devrait être facilitée. La formation en modélisation numérique sur des codes lourds et très variés, associée à la nécessité de la maîtrise de logiciels de traitement de jeux de données (sorties de modèle) volumineux, l'ouverture internationale proposée par la thématique et les collaborations, ainsi que la confrontation incontournable avec les observations induisent une expertise fortement appréciée dans le cadre d'insertion dans le milieu non académique (par exemple, en ingénierie, informatique ou gestion des ressources, environnement)

5 - Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux

Dans le cadre de la collaboration internationale présentée plus haut, une co-direction avec Adrian Martin du NOCS, PI du consortium BIARRITZ, et impliqué dans APERO, est incontournable. Le contexte général de ce partenariat a déjà été présenté.

Au niveau plus local, le projet s'appuie sur plusieurs disciplines, à savoir la dynamique de l'océan et la biogéochimie. Cela induit naturellement une collaboration forte entre le LOPS et le LEMAR, ce qui se traduit par un co – encadrement, essentiel pour le succès de la thèse, avec Jonathan Gula du LOPS. Par ailleurs, la thématique du projet entre tout à fait dans le cadre du thème 1 de l'EUR ISblue.

Le – la candidat.e

Profil souhaité du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :

Ce travail se situe à la frontière entre dynamique océanique et biogéochimie marine, et fait le lien entre observation et modélisation. Aussi, le(a) doctorant(e) devra til (elle) être ouvert (e) à l'interdisciplinarité et au travail en groupe. Il (elle) devra par ailleurs avoir une certaine expertise en calcul scientifique. D'excellentes connaissances en océanographie, avant tout en physique/ dynamique de l'océan, sont absolument nécessaires.