

**ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT  
D'ILE DE France N° 129**

**Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020**

Nom du Laboratoire d'accueil : LOCEAN

N° UMR : 7159

Nom du Directeur du laboratoire : J.-B. Charrassin

Adresse complète du laboratoire :

Laboratoire d'Océanographie et de Climatologie : Expérimentations et Approches Numériques (LOCEAN), Sorbonne Université, Campus Pierre et Marie Curie, aile 45-55, 4ème étage, case 100, 4 Place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire :  
VOG

Nom du Directeur de thèse **HDR** : Laurent Mortier

Nom du co-directeur de thèse **HDR** :

Téléphone : 0144277275

Téléphone :

Mail : mortier@locean-ipsl.upmc.fr

Mail :

**OU**

Nom du co-encadrant **non HDR** : Pierre Testor

Téléphone : 0144277275

Mail : testor@locean-ipsl.upmc.fr

**• Titre de la thèse en Français :**

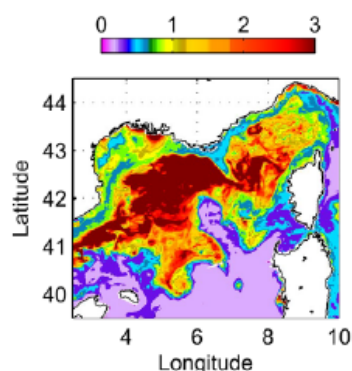
VARIABILITE DU FRONT NORD-BALEARES ET IMPACT A L'ECHELLE DU BASSIN  
EN MER MEDITERRANEE OCCIDENTALE

**• Titre de la thèse en Anglais :**

VARIABILITY OF THE NORTH BALEARIC FRONT AND IMPACT AT BASIN SCALE  
IN THE WESTERN MEDITERANNEAN SEA

## • Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :

Les enjeux sociétaux liés à l'océan sont de plus en plus cruciaux pour les citoyens et sont d'ailleurs à l'origine de l'adoption de la Directive-Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » par le Conseil de l'Union Européenne dont l'objectif est de lutter contre les nombreuses menaces qui pèsent sur le milieu marin. Dans ce cadre, les transferts d'énergie (courants, thermodynamique) et de matière (dissoute/particulaire) dans l'océan doivent être non seulement bien décrits et compris mais aussi bien modélisés pour répondre de manière quantitative aux nombreuses questions sociétales soulevées notamment par le changement climatique, la protection de l'environnement, la gestion des ressources et la sécurité maritime. L'océan est très variable, turbulent et hétérogène. Il est caractérisé par de nombreux fronts qui séparent des provinces océaniques aux propriétés différentes qui évoluent sous des contraintes locales et interagissent entre elles. Ces zones frontales sont associées à de forts courants le long du front et induisent des échanges horizontaux et verticaux au travers du front par le biais de processus turbulents de mésoéchelle (e.g. tourbillons, méandres qui ont une échelle horizontale de l'ordre de 10-100 km) et de submésoéchelle (petits tourbillons et filaments d'échelle horizontale de l'ordre de 1-10km) qui sont encore mal décrits, compris et modélisés.



Nous proposons d'étudier cette dynamique frontale en Méditerranée Nord Occidentale. Cette zone est caractérisée par une circulation de bord tandis qu'une recirculation, appelée Front Nord-Baléares, au sud referme une circulation de gyre cyclonique à l'échelle du bassin. Elle est le siège de phénomènes de formation d'eau profonde au centre du gyre et du plus important bloom phytoplanctonique de la Méditerranée (Fig. 1).

Figure 1 : Image satellite de couleur de l'océan typique de la Méditerranée nord occidentale au printemps. Le Front Nord Baléares est la branche sud du gyre et délimite les zones riches (rouge) et pauvres (violet) en chl-a ( $\text{mg/lmm}^3$ ).

Depuis plus de 10 ans l'usage de plateformes autonomes (mouillages, flotteurs profileurs, gliders) s'est multiplié et le nombre d'observations in situ a considérablement augmenté notamment grâce au SNO MOOSE (Service National d'Observation ; Mediterranean Ocean Observing System for the Environment). L'objectif de cette thèse est de prendre avantage de ce changement radical en termes d'échantillonnage réalisé ces dernières années pour étudier la dynamique du Front Nord-Baléares et l'impact de ses instabilités sur (i) les échanges entre les eaux Atlantiques au sud qui viennent d'entrer en Méditerranée par le détroit de Gibraltar et les eaux au nord qui ont séjourné plus longtemps en Méditerranée (transports « along/across fronts » de matière et d'énergie), (ii) le phénomène de convection profonde en hiver et (iii) la floraison phytoplanctonique qui suit au printemps.

### Méthodologie et outils

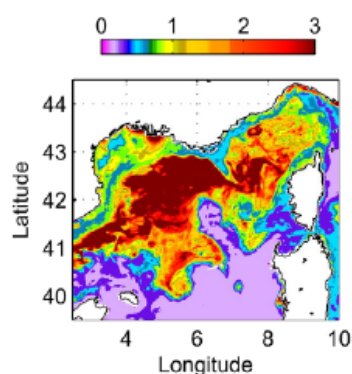
La voie la plus adaptée pour atteindre cet objectif est de bien documenter la dynamique de ce front avec l'ensemble des données qui ont été recoltées et de confronter les résultats à des sorties numériques de modèle de circulation générale qui permettent de quantifier les flux « across front » et « along front » associés au front Nord-Baléares. L'analyse des données in-situ permettra d'appréhender les incertitudes de ces estimations.

**Données** - Nous disposons non seulement de données satellitales mais aussi d'une base de données in-situ unique rassemblée par MOOSE et les programmes de MISTRALS (Mediterranean Integrated STudies at Regional And Local Scales) notamment les données des campagnes, de gliders, de flotteurs profileurs et des différentes stations fixes d'observation, qui offrent une couverture spatio-temporelle unique et un contexte très favorable à cette étude. Le SNO MOOSE est labélisé jusqu'en 2024 et l'effort d'observation va continuer pendant la thèse. Si souhaité, le doctorant pourra participer à nos campagnes océanographiques.

**Modèle de circulation générale** - Depuis plusieurs années, le groupe SiMED (Simulations Méditerranée) coordonne et participe à la production de simulations de la circulation générale en Méditerranée. Ces simulations sont aujourd'hui bien maîtrisées et partagées par une large communauté d'utilisateurs. Elles vont pour NEMO du 8<sup>ème</sup>, 12<sup>ème</sup> et maintenant 36<sup>ème</sup> de degré en résolution spatiale (MED8, MED12 et MED36). Une réanalyse sur NEMO-MED12 de l'ensemble des données in situ a aussi été produite par MERCATOR (MEDRYS, J. Beuvier) sur la période 1992-2013. Des simulations Symphonie à plus haute résolution (1km) sont disponibles mais sur de plus courtes échelles de temps (2010-2014). Ces simulations sont validées avec les bases de données hydrologiques globales, et maintenant avec un détail accru en Méditerranée Nord Occidentale grâce au SNO MOOSE.

## • Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :

The societal challenges linked to the ocean are more and more crucial for the citizens and are moreover at the origin of the adoption of the "Marine Strategy Framework Directive" by the Council of the European Union whose objective is to fight the numerous threats to the marine environment. In this context, the transfers of energy (currents, thermodynamics) and matter (dissolved / particulate) in the ocean must not only be well described and understood but also well modeled to respond quantitatively to the many societal questions raised in particular by climate change, environmental protection, resources management and maritime security. The ocean is very variable, turbulent and heterogeneous. It is characterized by numerous fronts which separate oceanic provinces with different properties which evolve under local constraints and interact with each other. These frontal zones are associated with strong currents along the front and induce horizontal and vertical exchanges through the front through turbulent mesoscale processes (eg vortices, meanders which have a horizontal scale of the order of 10-100 km) and submesoscale (small vortices and filaments with an horizontal scale of the order of 1-10km) which are still poorly described, understood and modeled.



We propose to study these frontal dynamics in the North Western Mediterranean Sea. This area is characterized by boundary circulation while a recirculation, so-called the North-Balearic Front, to the south closes a cyclonic gyre circulation. Deep water formation phenomena and the most important phytoplanktonic bloom in the Mediterranean occur in the center of this gyre (Fig. 1).

Figure 1: Ocean Color satellite image typical of the northwestern Mediterranean in spring. The North Balearic Front is the southern branch of the gyre and delimits the areas rich (red) and poor (purple) in chl-a (mg/mm<sup>3</sup>).

For more than 10 years, the use of autonomous platforms (moorings, profiling floats, gliders) has multiplied and the number of in situ observations has increased considerably, in particular thanks to the SNO MOOSE (Service National d'Observation ; Mediterranean Ocean Observing System for the Environment). The objective of this thesis is to take advantage of this radical change in terms of sampling carried out in recent years to study the dynamics of the North Balearic Front and the impact of its instabilities on (i) exchanges between the Atlantic Waters to the south which have just entered the Mediterranean through the Strait of Gibraltar and the waters to the north which have stayed longer in the Mediterranean, ("along / across fronts" transports of matter and energy), (ii) the phenomenon of deep convection in winter and (iii) the phytoplanktonic bloom which follows in spring.

### **Methodology and tools**

The most suitable way to achieve this objective is to properly document the dynamics of this front with all the data that has been collected and to compare the results with numerical outputs of general circulation models which make it possible to quantify the "across front" and "along front" fluxes associated with the North Balearic front. The analysis of the in-situ data will help to understand the uncertainties of these estimates.

*Data:* We do not only have satellite data but also a unique in-situ database collected by MOOSE and MISTRALS (Mediterranean Integrated STudies at Regional And Local Scales) programs, including data from cruises, gliders, profiling floats and various fixed observation stations, which offer unique spatio-temporal coverage and a very favorable context for this study. The SNO MOOSE is certified until 2024 and the observation effort will continue during the thesis. If desired, the PhD student can participate in our oceanographic cruises.

*General circulation models:* For several years, the SiMED (Simulations Méditerranée) group has coordinated and participated in the production of simulations of the general circulation of the Mediterranean Sea. These simulations are now well mastered and shared by a large community of users. They are for NEMO from 1/8, 1/12 and now 1/36 degree in spatial resolution (MED8, MED12 and MED36). A reanalysis on NEMO-MED12 of all the in situ data was also produced by MERCATOR (MEDRYS, J. Beuvier) for the period 1992-2013. Symphonie simulations at higher resolution (1km) are available but on shorter time scales (2010-2014). These simulations are validated with global hydrological databases, and now with increased detail in the North West Mediterranean thanks to SNO MOOSE.

• **Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :** aucun

• **Encadrement :**

Cette thèse sera encadrée par Laurent Mortier et Pierre Testor. Le laboratoire d'accueil est le LOCEAN et elle bénéficiera de collaborations et d'expertise complémentaires dans la communauté MOOSE-SiMED (LOCEAN, MIO, LOV, LOMIC, CEFREM, LA, CNRM, MERCATOR). Les collaborations existantes avec ces laboratoires seront essentielles pour l'accès aux données in situ et aux simulations et à leur analyse.

Les objectifs de cette thèse s'inscrivent dans le cadre des projets scientifiques suivants :

- H2020 EuroSea (WP7 P. Testor) en cours (projet européen 2019-2023), dont une tâche est l'étude de la capacité à capter du CO<sub>2</sub> du phénomène de convection profonde en Méditerranée nord occidentale ;
- SNO MOOSE (PI L. Coppola et P. Testor) en cours, relabellisé pour 2020-2024 et soutenu par l'INSU, l'IR EMSO et l'IR ILICO, qui a pour objectif de mesure l'impact anthropique sur la variabilité physique, chimique et biologique de la Méditerranée nord occidentale ;
- CALYPSO en cours (2018-2021) qui est un projet international USA (WHOI, SIO, UCSD, Univ. Miami, Univ. Washington), Espagne (IMEDEA, SOCIB), Italie (CNR, OGS, CMRE) et France (LOCEAN, MIO), qui vise à mieux comprendre les chemins verticaux dans l'océan en zone frontale.

Les objectifs de cette thèse sont en bonne adéquation avec les programmes scientifiques de ces projets. Le LOCEAN assure au sein de ces projets le pilotage d'une grande partie de la collecte de données et participe à la composante de modélisation océanique sur la Méditerranée occidentale et sur l'ensemble du bassin dans le cadre du groupe SiMED. Le SNO MOOSE est le système d'observation en Méditerranée Nord-Occidentale, qui coordonne l'ensemble de l'activité d'observation des laboratoires français dans cette région, ainsi qu'avec les systèmes d'observation similaires des autres pays Méditerranéens.

• **Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1<sup>er</sup> janvier 2020**  
(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

Katia Malil, Sorbonne Université,  
en co-encadrement avec Ferial Louanchi (LOCEAN/ENSSMAL).  
Financement : MAE (PHC AmbaFance), ENSSMAL.  
Soutenance prévue en 06/2020.

Georges Baaklini, Sorbonne Université,  
en co-encadrement avec Julien Brajard (LOCEAN).  
Financement : MAE, CNRS Libanais.  
Soutenance prévue en 09/2021.