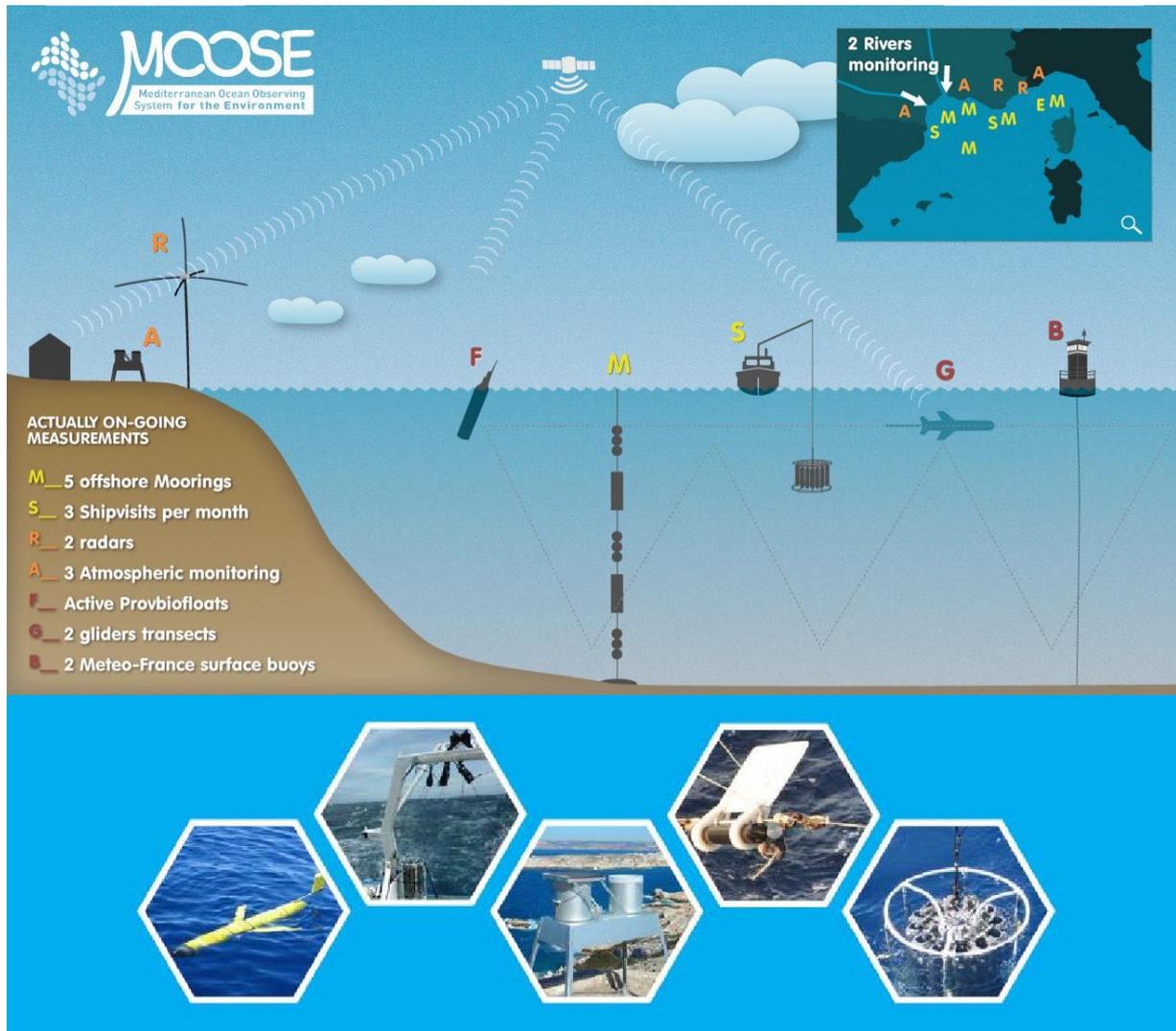




« TAKING THE PULSE OF THE MEDITERRANEAN SEA »



DOSSIER DE LABELLISATION OUTIL COMMUNAUTAIRE DOMAINE OA 2025-2029



Dossier à remplir pour le bilan et la labellisation 2025-2029 d'un **Service National d'Observation (SNO) Océan-Atmosphère**

Nota : Ce dossier ne doit pas excéder **30 pages (hors annexes)**, avec une police de caractère et un interligne raisonnable. La liste exhaustive des publications de rang A et des thèses soutenues ou en cours au cours de la période (2019-2023) sont à fournir sur une adresse URL pérenne ouverte. Les lettres de soutien au service sont à fournir en annexe.

Les porteurs de projet sont invités à lire très attentivement la définition des services labellisés du domaine OA de cet appel à labellisation 2024 qui présente des nouveautés importantes.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU SERVICE (5 PAGES MAXIMUM)

A1- Nom du service : **Mediterranean Ocean Observing System for the Environment (MOOSE)**

A2- Adresse URL du site web du service : <https://www.moose-network.fr/> (en cours de mise à jour)

A3- Résumé du service (1/2 page maximum) :

Actuellement, les eaux méditerranéennes subissent des transformations importantes et irréversibles. Ces changements comprennent l'augmentation thermique et haline des eaux profondes, la diminution des teneurs en O₂ dissous dans les eaux intermédiaires, une acidification des masses d'eau et un changement de la biodiversité. Ces phénomènes impactent l'hydrologie des eaux intermédiaires et profondes, causant des dommages considérables aux écosystèmes marins dans leur ensemble. Cette convergence de problèmes sur une zone relativement restreinte fait de la Méditerranée nord-occidentale un point crucial pour l'étude de la réaction des milieux marins aux changements climatiques et aux activités humaines.

Pour appréhender cette problématique, un système d'observation pluridisciplinaire de l'environnement (MOOSE) a été mis en place en 2010 le long de la façade nord-occidentale de la Méditerranée. Son objectif est d'observer et d'analyser les anomalies environnementales sur le long terme à l'échelle régionale, en prenant en compte les variations saisonnières et interannuelles ainsi que l'impact des événements extrêmes sur les propriétés physiques et biogéochimiques et sur la biodiversité marine.

Cette stratégie repose sur des observations multi-plateformes intégrées et multidisciplinaires, allant des zones côtières jusqu'aux eaux profondes au large. Le réseau intègre des sites équipés à terre pour surveiller les apports atmosphériques et fluviaux en mer, ainsi qu'un ensemble de plateformes fixes (mouillages, navires) et mobiles (planeurs, flotteurs profileurs) pour collecter des données essentielles.

En créant ce système d'observation régional intégré, MOOSE offre un service continu et durable de données et d'informations marines de haute qualité. Ancré dans des infrastructures de recherche pertinentes et des réseaux nationaux et internationaux (ILICO et JERICO-RI), le SNO MOOSE aspire à contribuer à la structuration d'un système européen d'observation de l'océan (EOOS).

A4- Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) : **Laurent Coppola, Physicien CNAP,**
laurent.coppola@imev-mer.fr

A5- Laboratoire : **LOV, UMR 7093**

A6- OSU ou établissement/organisme de rattachement : **OSU STAMAR, UAR2017**

A7- Autres organismes associés : : CNRS, Sorbonne Université, Université d'Aix-Marseille, Université de Perpignan, Météo France, OFB

A8- Signature du responsable :



A9- Signature du directeur OSU gestionnaire (ou établissement/organisme de rattachement) :



A10- Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer le nom et l'adresse électronique du responsable, et donner en deux lignes maximum, la nature de l'implication dans le service, hors exploitation scientifique) :

- **LOV/IMEV/OSU STAMAR : Laurent Coppola, laurent.coppola@imev-mer.fr**

Suivis mensuels DYFAMED, organisation campagne annuelle MOOSE-GE, dépôts atmosphériques au Cap Ferrat, suivi zooplancton par imagerie, pilotage glider T00, traitement QC données, coordination SNO

- **M.I.O./OSU PYTHEAS : Anthony Bosse, anthony.bosse@mio.osupytheas.fr**

Suivis du Rhône, dépôts atmosphériques au site du Frioul, suivis mensuels ANTARES, participation MOOSE-GE (chimie CO₂-pH, ADCP), pilotage glider T02, traitement QC données

- **LOMIC/OSU STAMAR : Pascal Conan, pascal.conan@obs-banyuls.fr**

Suivi hauturier MOLA, analyses DOC

- **LOCEAN/OSU ECCETERRA: Pierre Testor, pierre.testor@locean.ipsl.fr**

Organisation campagne MOOSE-GE, mesures ADCP, analyse salinité

- **CEFREM/OSU OMP : Dominique Aubert, dominique.aubert@univ-perp.fr**

Suivi de la Têt, dépôts atmosphériques au site du Cap Béar, gestion mouillages Lacaze et Planier, analyse métaux traces.

A11- Le service proposé consiste-t-il en une demande

- **de labellisation dans la continuité d'une labellisation existante (oui/non) ? OUI**

Le cas échéant, décrire l'évolution du service (si pertinent, sinon indiquer 'pas d'évolution'):

Les objectifs et la stratégie proposés pour cette labellisation sont les mêmes que ceux présentés à l'origine de MOOSE. Néanmoins, pour cette vague de labellisation, le SNO MOOSE propose des évolutions dans le WP1 avec l'intégration du site JULIO en place depuis 2012, l'intégration des variables pH et DOC dans le WP2 et de la génomique pour les mesures de l'ADN environnemental dans le WP3. Un rapprochement vers la zone côtière lors des campagnes annuelles est aussi proposé. Les anciens WP4 (apports par les fleuves) et WP5 (apports atmosphériques) fusionnent en un seul nouveau WP4 intitulé « les apports aux interfaces ». Enfin, il est important de souligner que les mouillages profonds DYFAMED, LION et ALBATROSS sont intégrés dans l'IR EMSO-France et reconnus dans l'ERIC EMSO comme une contribution française du CNRS.

A12- Lien avec une IR ou IR* (oui/non) : OUI

Si oui, préciser la (les) IR/IR* (inclure une lettre de soutien de la ou des IR/IR* en annexe au dossier) :

Si non, préciser les raisons :

Le SNO MOOSE est intégré dans l'IR ILICO. Il est en lien étroit avec l'IR EMSO-France pour la gestion des mouillages profonds (DYFAMED, LION) lors des campagnes annuelles MOOSE_GE, avec l'IR* EURO-ARGO pour l'ensemencement et la récupération des flotteurs Argo en Méditerranée Nord-Ouest. Enfin, MOOSE s'appuie également sur l'IR* de la FOF pour les campagnes mensuelles (CNFC) et annuelles (CNFH) et interagit avec l'IR DataTerra et le pôle ODATIS pour son expertise sur les données O₂ et CO₂

A13- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial ? : NON

Se reporter à l'annexe 'lien avec le domaine spatial et les activités du CNES'

Le cas échéant, préciser la (les) mission(s) :

(et intégrer les réponses aux questions listées dans l'Annexe D dans les différentes rubriques du document de réponse à l'appel à proposition de labellisation)

A14- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire ? : NON

Se reporter à l'annexe 'lien avec le domaine polaire et les activités de l'IPEV'

Le cas échéant, préciser les moyens mobilisés :

(et remplir l'Annexe E)

A15- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour l'IRD (oui/non) : NON

Si oui, préciser les moyens mobilisés :

(et remplir l'Annexe F)

A16- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour Météo-France (oui/non) : NON

Si oui, préciser la (les) moyens mobilisés :

(et remplir l'Annexe G)

A17- Le service proposé relève-t-il

- d'autres domaines de l'INSU ? : SIC TS ou AA
- d'autres instituts du CNRS ? : INEE INC INSIS ou autre préciser :

A18- Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) : OUI

Si oui, préciser le(s)quel(s) (inclure une preuve d'appartenance ou d'adhésion en annexe au dossier) :

Si non, préciser les raisons :

Le SNO MOOSE est impliqué dans le pôle ODATIS de l'IR DataTerra pour la gestion et fourniture des données océan aux centres de données CORIOLIS, SISMER et SEANOE. Les données atmosphériques et fleuves sont bancarisées au centre SEDOO de l'OMP

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU SERVICE (25 PAGES MAXIMUM)

B1. Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Avec environ 160 millions de personnes vivant le long de ses côtes, la mer Méditerranée est soumise à une pression humaine, regroupant une concentration touristique très élevée et une activité maritime très intense (30% du trafic mondial). En même temps, elle est considérée comme un "hotspot" du changement climatique à l'échelle mondiale (Cramer et al. 2018, MedECC, 2020, IPCC, 2022), avec des impacts significatifs sur sa température moyenne, ce qui devrait probablement entraîner une intensification des vagues de chaleur, des sécheresses et des tempêtes extrêmes, etc...La mer Méditerranée peut être considérée comme un bassin laboratoire pour l'étude de processus équivalents à ceux observés dans l'océan mondial (convection profonde, circulation thermohaline...), réagissant plus rapidement aux changements du climat du fait de sa taille réduite. Avec un temps de renouvellement de ses masses d'eau profondes de l'ordre de quelques décennies, contre plusieurs siècles dans l'océan global, des changements physico-chimiques sont observés à l'échelle d'une vie humaine (Schroeder et al., 2016). Cette circulation thermohaline est intimement liée au phénomène de convection profonde dont l'intensité est prévue de diminuer fortement dans les décennies à venir, voire même de disparaître (Somot et al., 2008; Parras-Berrocal et al., 2022). En outre, la masse d'eau salée sortant de la Méditerranée par le détroit de Gibraltar est connue pour influencer la circulation de retournement de l'océan Atlantique Nord (Ivanovic et al., 2014), avec des impacts directs sur les propriétés des masses d'eau et la circulation associée. Ainsi, la mer Méditerranée est une mer semi-fermée dont les changements de la circulation peuvent avoir une influence directe sur l'océan mondial.

En raison de ces fortes pressions, un réchauffement et une salinisation des masses d'eau profondes et intermédiaires ont été observées au cours des dernières années (Schroeder et al., 2016, 2017 ; Houpert et al., 2016 ; Margirier et al., 2020) avec un impact important sur la diminution du contenu en oxygène dissous (Coppola et al., 2018), sur les concentrations en nutriments (Belgacem et al., 2021) et sur la chimie des carbonates (Wimart-Rousseau et al., 2023). La mer Méditerranée est un système oligotrophe avec des régions de floraison intermittente (D'Ortenzio et d'Alcala, 2009; Mayot et al., 2017) pour lequel la réponse biologique au changement climatique et aux pressions anthropiques (ex. apports accrus de nutriments) n'est pas claire. De plus, des études ont mis en évidence la contribution significative des apports continentaux via l'atmosphère et les rivières, fortement impactés par l'activité anthropique, sur les cycles biogéochimiques de la côte jusqu'au large (Cossarini et al., 2015, Pasqueron de Fommervault et al., 2015, Moon et al., 2016).

Tous ces aspects requièrent une base scientifique solide pour observer, comprendre et modéliser l'environnement marin. Les implications anticipées du changement climatique et de l'impact humain en mer Méditerranée justifient pleinement le maintien d'une observation pluridisciplinaire holistique par les pays riverains, avec l'objectif de mettre en place à long terme une stratégie européenne pour l'observation de la Méditerranée. Dans ce contexte, le système d'observation pluridisciplinaire de l'environnement MOOSE a été instauré en 2010 sous la forme d'un réseau régional intégré couvrant la façade nord-occidentale de la Méditerranée. Son objectif est d'observer et d'identifier les anomalies environnementales sur le long terme, en prenant en considération les variations saisonnières et interannuelles, ainsi que l'impact des événements extrêmes sur les processus physiques et biogéochimiques sur la biodiversité marine. Il s'appuie sur un ensemble de sites et de plateformes autonomes permettant de couvrir diverses échelles de temps et d'espace essentielles à la compréhension des processus affectant la colonne d'eau, de la surface aux profondeurs, ainsi que des interactions entre les zones côtières et hauturières, et entre l'océan, l'atmosphère et les fleuves. Le SNO MOOSE s'articule autour de 4 WPs qui traitent de la circulation mésoéchelle du gyre nord (WP1), des évolutions des cycles biogéochimiques et de l'acidification (WP2), de la biodiversité et des ressources biologiques (WP3) ainsi que les apports aux interfaces continentales et atmosphériques (WP4). Les objectifs scientifiques de chaque WP déterminent la nature et la fréquence des observations ainsi que les plateformes utilisées (Fig. 1). Le réseau s'est principalement concentré sur la collecte continue de variables océaniques essentielles (EOV) et de descripteurs fiables, en s'appuyant sur des techniques et procédures éprouvées pour assurer une homogénéité d'observation sur tous les sites, encourager les analyses partagées et élaborer des protocoles de collecte et d'analyse communs (bonnes pratiques).

WP1 – Circulation méso-échelle du gyre Nord

Une augmentation de température des eaux profondes de l'ordre de 0.3°C a déjà été observée depuis les années 1950 (Bethoux et al., 1990 ; Krahnmann, 1998), et des projections à l'horizon 2100 prédisent une augmentation des températures de surface de 2 à 3°C (Adloff et al., 2015), ce qui pourrait notamment perturber les cycles de reproduction

de nombreuses espèces marines (Lejeusne, 2010). Cette évolution est intimement liée au phénomène de convection hivernale induit par les vents froids et secs (Mistral et Tramontane) canalisés par les reliefs montagneux autour du Golfe du Lion. La convection ventile les eaux intermédiaires et profondes et fait évoluer leurs propriétés. Le mélange vertical induit peut atteindre de grandes profondeurs au large du Golfe du Lion qui est une zone préconditionnée par la circulation océanique. Ainsi des épisodes de mélange jusqu'au fond (2500m) ont été observés en février lors des hivers 2009 à 2013 (Houpert et al., 2016). Depuis, le mélange hivernal atteint des profondeurs bien inférieures (300 à 500m en moyenne, hormis deux années 2015 et 2018 où le mélange a été plus actif jusqu'à environ 1500m, Margirier et al., 2020). La convection hivernale peut être suivie par satellite sur les images de couleur de l'eau (Herrmann et al., 2017) avant l'efflorescence printanière, la plus importante de la Méditerranée, observée en moyenne en avril alors que la colonne d'eau se restratifie.

L'objectif du SNO MOOSE concernant la partie physique est de **suivre à long terme l'évolution des masses d'eau et des échanges côte-large induits** par des instabilités hydrodynamiques et des circulations tourbillonnaires impactant fortement la biogéochimie et la biologie. Les données de profil CTD sur toute la colonne d'eau de la campagne annuelle MOOSE-GE et sur les stations mensuelles (**ANTARES, DYFAMED, MOLA**) permettent un suivi des masses de surface (Atlantic Water), intermédiaires (« Levantine Intermediate Waters », dont l'origine se situe en Méditerranée Orientale) et profondes (« Western Mediterranean Deep Waters », qui se transforment lors des épisodes de convection profonde). Pour comprendre ces évolutions, des mesures (**gliders, flotteurs et mouillages**) à haute fréquence temporelle permettent de **caractériser l'approfondissement saisonnier de la couche de mélange lors des épisodes de convection profonde en hiver**, ainsi que **l'export, au niveau de canyons le long du talus, d'eaux denses** qui peuvent se former sur le plateau du Golfe du Lion. Le suivi à haute fréquence sur les bouées ODAS Météo-France (LION et AZUR) de la température de 0 à 200m permet également de caractériser en été l'intensité des canicules marines qui semblent être de plus en plus marquées (Guinaldo et al. 2023). Enfin, MOOSE déploie des systèmes de mesure à haute résolution spatiale (gliders, **radar HF**) permettant de **caractériser la circulation à (sous)mésoéchelle du Courant Nord et la dynamique des tourbillons et fronts** présents dans le bassin.

Variabilité de la convection profonde et des masses d'eau

La compilation de données historiques et obtenues dans le cadre du SNO MOOSE a permis d'établir une climatologie mensuelle de la profondeur de la couche mélangée et de quantifier des bilans thermiques à l'échelle de la Méditerranée (Houpert et al., 2016). Les évolutions saisonnières et interannuelles de la convection profonde océanique ont pu être caractérisées finement (Testor et al., 2018 ; Somot et al., 2016, Margirier et al., 2020) (Fig. 1) et montrent des changements de régime. Les années 2007-2008 étaient marquées par une faible convection profonde tandis qu'elle a atteint le fond les hivers suivants de 2009 à 2013. Depuis 2014, le mélange hivernal a connu une décennie de faible intensité du fait du forçage atmosphérique et de la stratification de la colonne d'eau qui a augmenté.

Ces changements de régimes ont des impacts sur les masses d'eaux intermédiaires et profondes. Les eaux entre 200 et 600m se sont réchauffées d'environ 0.5°C en l'espace d'une décennie (Figure 1). De plus, cette augmentation à profondeur intermédiaire impacte également les eaux profondes en dessous de 2000m. Celles-ci se réchauffent jusqu'au fond à un rythme de 0.002°C/an depuis 2019, sous l'effet du mélange turbulent qui transfère lentement la chaleur des LIW vers les eaux profondes en l'absence de convection profonde (Figure 1).

Les mesures à haute fréquence de température, de salinité et de courant sur les mouillages et à partir des gliders ont permis d'évaluer 1) les différentes échelles de temps des processus physiques interférant dans les phases de convection profonde (Bosse et al., 2021), 2) les effets de la variabilité interannuelle du forçage atmosphérique et de la stratification de la colonne d'eau sur l'intensité du brassage hivernal et 3) l'évolution du contenu thermique de la colonne d'eau et les caractéristiques des masses d'eau profonde (Houpert et al., 2015 ; Margirier et al., 2020).

Processus de (sub)-mésoéchelle

Les données de gliders sur les deux sections MOOSE de la mer de Ligurie et du golfe du Lion ont permis de fournir une description détaillée des tourbillons d'eaux profondes et intermédiaires (rayon de ~5 km) et cohérents (> 6 mois) (Bosse et al., 2015, 2016, 2017). L'analyse de ces données et du modèle SYMPHONIE à très haute résolution mettent en évidence le rôle essentiel de ces tourbillons, capables de transporter les eaux qui composent leurs cœurs sur des centaines de km, dans la circulation thermohaline (Damien et al., 2017). Les gliders ont également fourni les premières observations quasi-systématiques d'échanges verticaux à petite échelle par instabilité symétrique forcée par le vent dans la zone frontale du Courant du Nord (Testor et al., 2018, Bosse et al., 2021), ainsi qu'une première description des plumes convectives (1 km) dans lesquelles s'organisent les mouvements verticaux (10 cm.s⁻¹) du mélange vertical (Margirier et al., 2017).

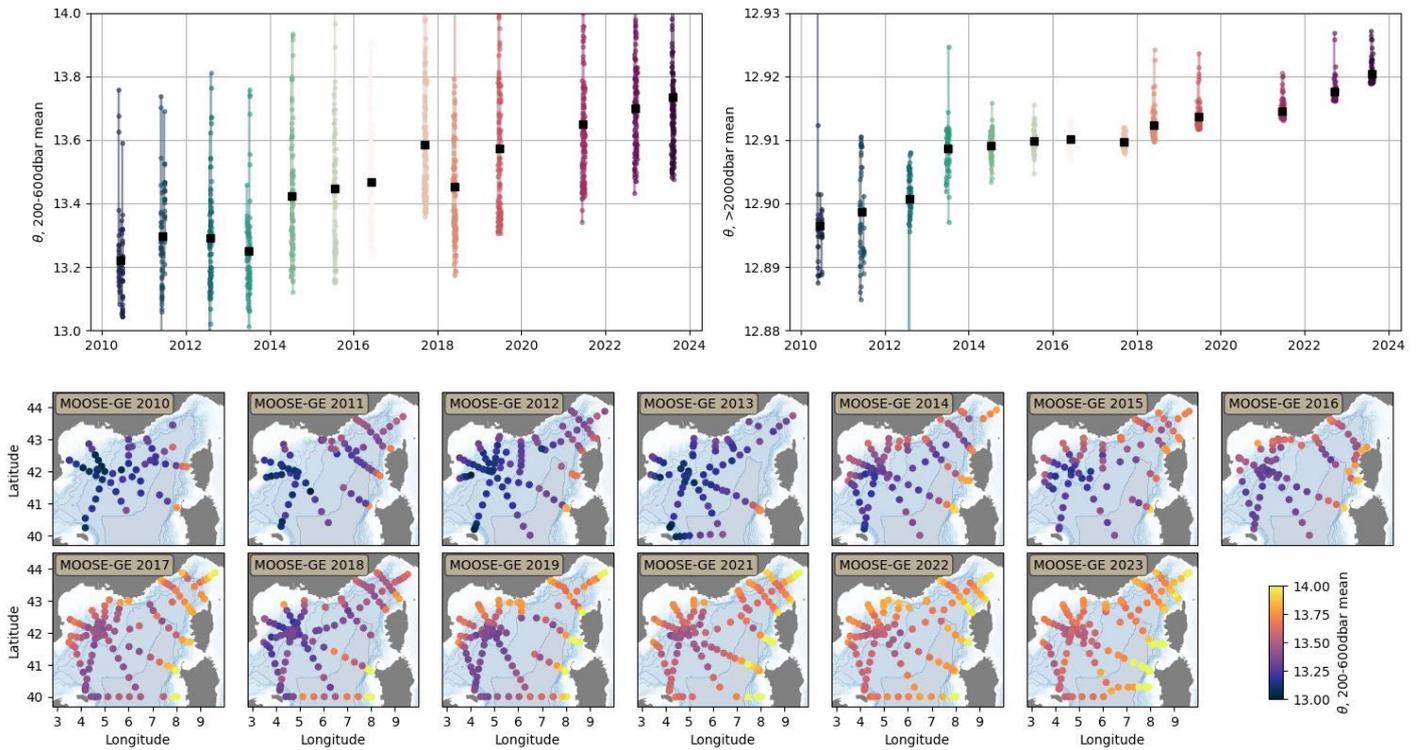


Figure 1 : Évolutions de l'augmentation de la température des eaux intermédiaires (200-600dbar) et profondes (>2000dbar) depuis 2010 mises en évidence par le suivi des campagnes MOOSE-GE : les points représentent les valeurs de profils individuels et le carré noir la valeur moyenne pour chaque année. La carte des stations montre chaque année la distribution spatiale de la température entre 200 et 600dbar dans le bassin nord-occidental de la Méditerranée.

Suivi de la variabilité multi-échelle du Courant Nord et Front Nord-Baléares

Les données acquises par glider dans le Courant Nord au large de Nice, Toulon, Marseille et Perpignan ont permis une caractérisation longitudinale de son transport et de ses variations, ce qui a permis de conforter des résultats de modèle décrivant des circulations verticales au niveau du talus (Bosse, thèse 2015, Waldman et al., 2018). De plus, la contribution de MOOSE dans la région ont permis de mieux comprendre la dynamique du Front Nord-Baléares (Barral et al., 2021). Élément original du réseau MOOSE, le suivi des courants de surface par radar HF a été mis en œuvre dès le lancement du programme par l'Université de Toulon (MIO) avec pour objectif principal le suivi de la variabilité moyenne échelle à interannuelle du Courant Nord méditerranéen, en tant que composante principale de la circulation cyclonique générale des eaux de l'Atlantique (AW) dans le bassin Nord-occidental. Cette activité de télédétection est implantée sur deux sites (Toulon/Îles d'Hyères et Nice/Menton) et s'inscrit dans la dynamique de mise en réseau des radars HF à l'échelle européenne (Roarty et al., 2019; Lorente et al., 2022; Reyes et al., 2023). Ces données ont servi de support à plusieurs publications caractérisant la dynamique du Courant Nord méditerranéen en termes de variations saisonnières des transports et échanges côte-large (Molcard et al., 2021), de déconvolution des composantes Ekman, Stoke et géostrophique (Càceres-Euse et al., 2022), via des approches conjointes avec l'altimétrie (Carret et al., 2019, Carret et al., 2023) et l'assimilation de données (Bendoni et al., 2023).

L'export de matière particulaire

Les observations au niveau des mouillages Planier et Lacaze-Duthiers mettent en évidence le rôle prédominant des rares événements intenses de cascade d'eau dense du plateau (1999/2000, 2005/2006, 2012/2013) dans l'export d'eau côtière vers le bassin profond et son effet sur les caractéristiques thermohalines des eaux profondes de Méditerranée occidentale (Durrieu de Madron et al., 2013). Ces événements provoquent un export très important de matière particulaire, essentiellement composée de sédiments du plateau, vers le bassin. Les mesures de flux particulaires et de métaux traces entre 2010 et 2018, indiquent que l'événement de l'hiver 2012 a exporté une fraction significative (~15%) de l'apport annuel en particules des fleuves et de l'atmosphère au plateau (Durrieu de Madron et al., 2023). A ce processus d'export s'ajoute l'effet d'événements de convection profonde qui remobilisent les sédiments du bassin, réceptacle des apports côtiers, et les dispersent rapidement (en quelques mois) à l'échelle de la Méditerranée nord occidentale (Fig. 2 ; Durrieu de Madron et al., 2017).

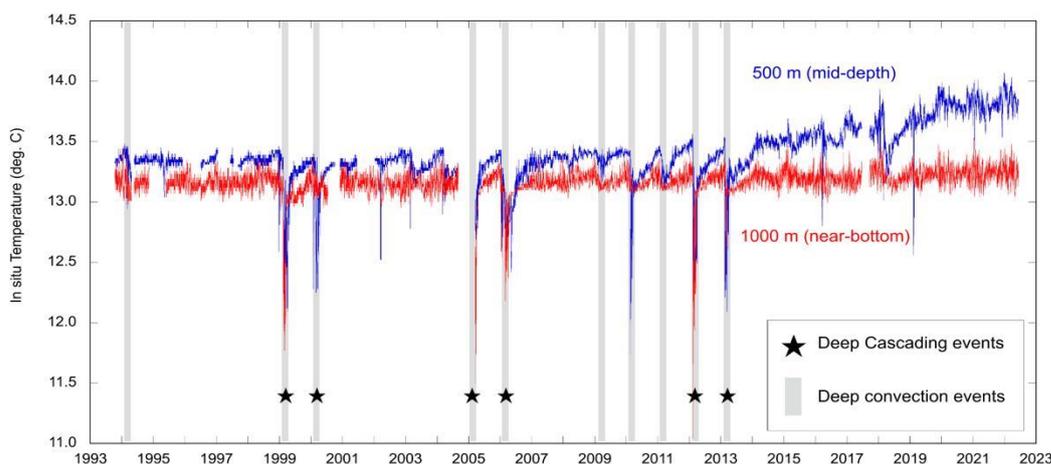


Figure 2 Série temporelle 1993-2023 de la température près du fond à 1000 m dans le canyon Lacaze-Duthiers montrant l'occurrence d'événements de « cascading » profonds en 1999, 2005, 2006, 2012, 2013, et d'événements de convection du large atteignant le fond (bandes grises). (Durrieu de Madron et al., 2023)

WP2 – Cycles biogéochimiques et acidification

La Méditerranée nord-occidentale est une région très dynamique en raison des processus de convection et de ventilation intenses qui ont lieu en hiver (Conan et al., 2018 ; Coppola et al., 2018), ce qui conduit à des changements rapides sur le contenu en éléments biogéochimiques (gaz, nutriments) avec des implications sur la production de phytoplancton. L'impact des processus physiques sur la dynamique du bloom, via les phénomènes de couplage physique-biogéochimie dans la couche de mélange et les flux verticaux induits, est un processus essentiel encore mal compris et les observations intégrées peuvent apporter des éléments de réponse. L'objectif du WP2 est d'observer : **1) les variations et évolutions des éléments nutritifs (N,P,Si) dans les divers réservoirs** 2) **l'évolution de l'O₂ dissous notamment dans la zone du minimum en oxygène dans les eaux intermédiaires vis-à-vis des processus de mélange et de ventilation et 3) l'évolution du contenu en carbone inorganique de la colonne d'eau et du pH dans le contexte de l'augmentation du CO₂ atmosphérique.** Au cours des quatre dernières années, l'étude des cycles BGC en Méditerranée occidentale a connu une révolution grâce à l'apport de méthodes numériques permettant d'augmenter les capacités d'analyses permises par les données d'observations. D'une part, le développement d'un **réseau de neurones régional CANYON-MED** (Fourrier et al., 2020) permet d'estimer les concentrations de sels nutritifs et les paramètres du système des carbonates à partir de variables de bases acquises par des capteurs autonomes (T, S, O₂). L'entraînement et la validation de cette méthode à l'échelle de la Méditerranée se sont fortement appuyés sur les données du SNO MOOSE, expliquant les bonnes performances de cette méthode en Méditerranée Nord Occidentale. D'autre part, l'utilisation d'un **modèle 3-D couplé physique-biogéochimie** (Eco3M-S forcé par le modèle hydrodynamique SYMPHONIE, Marsaleix et al., 2008) à l'échelle du bassin nord-occidental permet de réaliser des bilans et de déconvoluer l'influence des processus biologiques et physiques à l'échelle du bassin. Les données du SNO MOOSE sont indispensables pour développer, valider et évaluer ces simulations.

Évolution de la concentration en oxygène dissous (O₂)

Les observations d'O₂ en point fixe permettent de bien appréhender les évolutions saisonnières et interannuelles comme l'a montré la série DYFAMED dans le passé (Coppola et al., 2018). Cependant elles ne contraignent pas la variabilité spatiale des zones où ont lieu la convection et la ventilation des masses d'eau intermédiaires et profondes. Pour ce faire, la combinaison des données des flotteurs Argo, semencés dans la région MOOSE depuis 2014 (projets GMMC-MOOXY), avec les données des campagnes en mer du SNO MOOSE, ont permis de montrer que la LIW est fortement affectée par le processus de convection intermittent, et que les deux sous-régions du Golfe du Lion et de la mer Ligure présentent des réponses différentes aux événements de mélange vertical en hiver (Fourrier et al., 2022). En particulier, on a pu observer que la diminution d'O₂ dans la LIW était plus marquée en mer Ligure de 2013 à 2020 en raison d'une prédominance de la période de stratification par rapport à la période de mélange hivernal. Ceci s'explique par le forçage des vents en hiver qui est moins intense en mer Ligure que dans le Golfe du Lion. Durant la période 2014-2017, les hivers doux ont conduit à une absence de convection profonde, ce qui a provoqué un réchauffement et une salinisation de la LIW (Margirier et al., 2020) dans tout le bassin (voir WP1). Ce phénomène a conduit à une accélération de la perte en O₂ dans la LIW,

synonyme d'une consommation de la matière organique provenant de la surface par les bactéries (respiration) et une absence de ventilation d'O₂ depuis la surface en raison d'une stratification des eaux bien marquée (Fig 3 ; Fourrier et al. 2022).

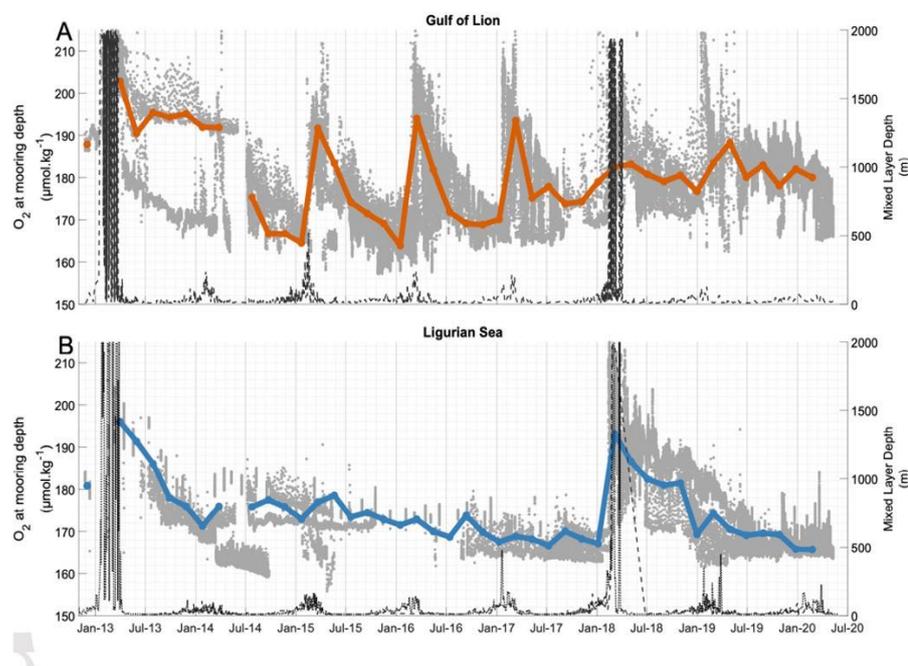


Figure 3 : Évolution des concentrations en O₂ dans le Golfe du Lion (haut) et en mer Ligurienne (bas) dans la LIW de 2013 à 2020 (flotteurs, bateaux). La courbe noire représente la profondeur de la couche de mélange (Fourrier et al. JGR 2022).

Ces mesures intensives d'O₂ (flotteurs, bateaux) en Méditerranée ont permis également de développer un module sur la dynamique de l'O₂ dans le modèle tridimensionnel couplé physique-biogéochimie (SYMPHONIE ECO3M-S) afin d'estimer le bilan d'O₂ sur l'année 2012-2013 (Ulises et al., 2021). Ce travail a permis de démontrer que la région nord-ouest a agi comme un puits pour l'O₂ atmosphérique pendant la période de convection, phénomène qui a duré 2 mois pendant l'hiver 2012-2013 (Ulises et al. 2021). Enfin, parallèlement à cette intensification de l'acquisition de données d'O₂ en Méditerranée NO, la fourniture des données O₂ qualifiées à travers le SNO MOOSE ont permis le développement du réseau de neurones CANYON-MED pour prédire de manière fiable d'autres variables BGC qui sont essentielles à la compréhension des cycles BGC dans cette région (Fourrier et al., 2020).

Variation et évolution des éléments nutritifs

Le SNO MOOSE a permis de bien documenter et comprendre les variations saisonnières des concentrations en éléments nutritifs dans la colonne d'eau. La convection verticale hivernale alimente en sels nutritifs les couches de surface qui influencent alors directement la production primaire (Mayot et al., 2017). Les concentrations en nutriments diminuent rapidement en surface pendant le printemps, conséquence d'une forte consommation par la production primaire pour rester faible (voire indétectable) de juin à octobre. Malgré une forte variabilité interannuelle, ce cycle est observé d'une année sur l'autre, de façon récurrente. Grâce aux observations pluri-décennales fournies par le SNO MOOSE, des études récentes se sont intéressées aux évolutions à long terme des concentrations en sels nutritifs. À partir d'une étude climatologique intégrant les données du SNO MOOSE, une tendance à l'augmentation des concentrations en sels nutritifs dans les eaux profondes entre la période 1981-2004 et 2005-2017 a pu être mise en évidence (Belgacem et al., 2021) en lien avec l'épisode de changement des masses d'eau intermédiaire et profonde. Des tendances différentes entre les nitrates, phosphates et silicates ont pu ainsi être mises en évidence à différentes profondeurs. Ces tendances ont également été confirmées à partir des estimations basées sur le réseau de neurones CANYON-MED dans les eaux profondes (Fourrier et al. 2022).

Augmentation du contenu en carbone inorganique et acidification

Les observations des variables du système des carbonates dans le SNO MOOSE ont permis de mieux comprendre la variabilité saisonnière du contenu en carbone inorganique de la colonne d'eau. Ainsi, les bilans saisonniers et annuels du carbone inorganique dissous dans la zone de convection du nord-ouest de la mer Méditerranée ont été étudiés sur la période septembre 2012 à septembre 2013 à l'aide d'une approche combinant modélisation couplée physique-biogéochimie-chimie en 3D et observations in-situ (Ulises et al., 2023). Les résultats montrent la réduction de l'absorption de CO₂ océanique pendant la convection hivernale et son augmentation pendant l'efflorescence phytoplanctonique

printanière. À l'échelle annuelle, la région de convection profonde agit comme un puits modéré de $0.5 \text{ mol C m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ de CO_2 pour l'atmosphère. L'étude de la variabilité spatio-temporelle des flux air-mer de CO_2 à l'échelle du bassin peut également être estimée à partir de mesures par gliders équipés de capteur d'oxygène en appliquant l'outil CANYON-MED (Coppola et al., 2023). Il a ainsi pu être montré que durant la période hivernale en 2018 (dernière année convective), la zone centrale de la mer Ligurienne est un puits de CO_2 en hiver essentiellement lié au refroidissement des eaux de surface.

À l'échelle décennale, des changements significatifs dans la chimie des carbonates océaniques de surface ont été observés avec des tendances à l'augmentation des concentrations en carbone inorganique dissous aux sites ANTARES ($+3.2 \pm 0.9 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) et DYFAMED ($+1.6 \pm 0.8 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$), associées à une augmentation de la $p\text{CO}_2$ et à une diminution du pH (Fig. 4 ; Wimart-Rousseau et al., 2023). Au site DYFAMED, les tendances à la hausse de carbone inorganique peuvent s'expliquer par l'augmentation de la $p\text{CO}_2$ atmosphérique et l'invasion de carbone anthropique depuis l'océan Atlantique. Au site ANTARES, l'augmentation observée de carbone inorganique au cours de la dernière décennie est deux fois plus élevée qu'au site DYFAMED, ce qui pourrait être lié à la variabilité hydrologique rencontrée, induite par la trajectoire du Courant Nord. Ces tendances à l'augmentation de carbone inorganique et à l'acidification sont également observées à partir d'estimation issues de CANYON-MED à l'échelle du bassin Nord-Occidental (Fourrier et al. 2022).

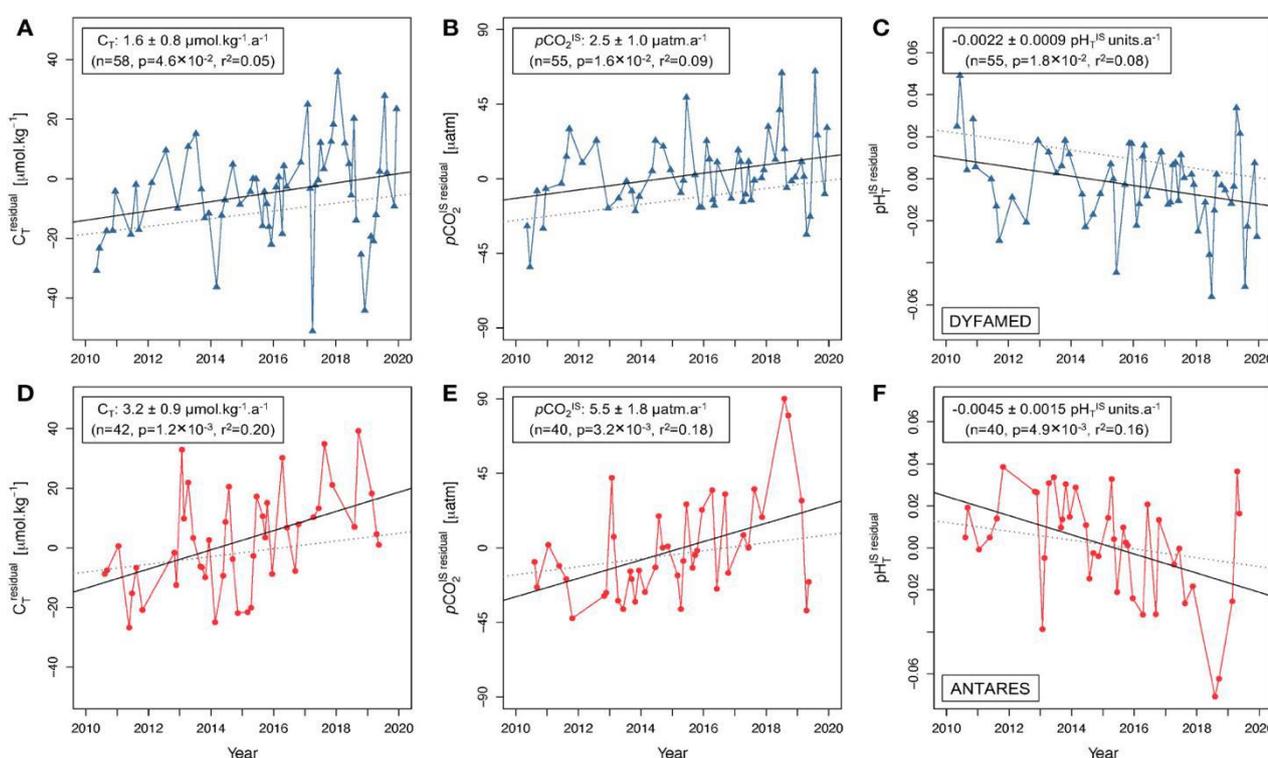


Figure 4 : Variation temporelle au site DYFAMED (en haut en bleu) et au site ANTARES (en bas en rouge) des concentrations de carbone inorganique, de $p\text{CO}_2$ et pH_T dans la couche de mélange (Wimart-Rousseau et al. 2023)

WP3 – Biodiversité et ressources biologiques

Les impacts des changements climatiques et de la pression anthropique en Méditerranée risquent d'occasionner des modifications majeures de la biodiversité, de la structure et du fonctionnement des écosystèmes marins ce qui, de façon ultime, peut altérer la qualité des ressources et bouleverser les usages (pêcheries). **L'objectif dans le SNO MOOSE est de mettre en place un suivi systématique des communautés planctoniques end-to-end (des virus au zooplancton), incluant les communautés procaryotes, le phytoplancton, le micro et le méso-zooplancton, en relation avec les paramètres environnementaux afin de fournir une vision globale de l'évolution de leur biodiversité, et in fine, des conséquences sur les fonctionnements biogéochimique et trophique de l'écosystème pélagique.** Plus en détail, l'enjeu du WP3 est de décrire la diversité biologique dans un contexte océanographique variable à l'aide de procédures d'échantillonnage

simples et standardisées pour toutes les données de diversité collectées pendant les campagnes MOOSE (annuelle et mensuelle). Pour ce faire, le WP3 s'appuie sur les **méthodes d'imagerie pour les analyses du zooplancton et propose de rajouter des méthodes récemment développées de génomique environnementale pour le compartiment microbien et le zooplancton** (uniquement lors des campagnes annuelles). Cette nouvelle méthode permettra d'accéder à la diversité spécifique et fonctionnelle des organismes de petite taille qui tiennent un rôle central dans le fonctionnement biogéochimique de l'océan et sont difficilement détectables par les méthodes conventionnelles. La combinaison des deux approches permettra d'observer et de comprendre l'évolution des communautés planctoniques dans leur ensemble et de détecter les nouvelles espèces non indigènes et celles nouvellement introduites en lien avec le réchauffement climatique. Ces résultats représentent un suivi important pour répondre aux attentes du PPR FUTURE-OBS.

Les prélèvements pour le zooplancton se font par traits de filets verticaux (maille 200µm de 0 à 200m) suivant le protocole standard international (Harris et al., 2000). Les traitements des échantillons par imagerie en place depuis 2014 dans le SNO MOOSE (zooscan, flowcam, loupe binoculaire) suivent des protocoles identiques pour les différentes stations mensuelles et pour la campagne MOOSE-GE. Les prélèvements sont assurés par les unités et/ou fédération de recherche et les OSU associés (LOMIC/STAMAR, MIO/PYTHEAS et la FR IMEV/STAMAR). Les analyses par imagerie sont assurées actuellement par la plateforme PIQv de la FR IMEV. Les séries temporelles en imagerie comportent des données quantitatives (nombres, tailles, biovolumes) et qualitatives (groupes taxonomiques, groupes cibles, poids sec), facilement associables aux bases de données des paramètres physiques, chimiques et biologiques. Ces analyses permettent de cartographier les distributions de biomasses et d'abondances globales du zooplancton ainsi que des groupes taxonomiques voire d'espèces clés et d'analyser les variations spatiales de ces distributions en fonction de différents paramètres de l'environnement. Ces données d'imagerie et de taxonomie ont récemment permis de distinguer trois groupes de zooplancton sur la base des valeurs intégrées 0-200 m : le premier avec des stations principalement situées en mer Ligure, et les deux autres dans les parties nord et sud du bassin provençal, mettant en évidence un gradient nord-sud notable (thèse de G.Feliu, 2020). L'abondance et la biomasse du zooplancton dans la mer Ligure et le sud du bassin provençal sont plutôt homogènes et les variations les plus importantes sont observées sur le talus du golfe du Lion et dans le centre du bassin provençal.

L'intégration de la génomique environnementale, en tant qu'activité annexe du SNO MOOSE, a été initiée en 2017 sous l'initiative des laboratoires AD2M (Roscoff) et MIO (Marseille). Il s'appuie sur le retour d'expérience des observatoires génomiques en stations marines et des campagnes TARA et suit les standards internationaux du domaine (Santi et al., 2024). Cette nouvelle approche a pour objectif de : 1) décrire la diversité biologique des assemblages de plancton dans un contexte océanographique, 2) mettre en œuvre une procédure d'échantillonnage simple et standardisée à inclure dans la surveillance à long terme de la zone, 3) diffuser rapidement des données significatives à la communauté. Les prélèvements se font à l'aide de filets à plancton et de bouteilles Niskin. Ces derniers permettent en particulier d'étudier la diversité microbienne le long de la colonne d'eau afin de : **1) décrire la diversité moléculaire par méta-barcoding des assemblages planctoniques à travers deux fractions de taille (bactéries/picoeucaryotes <3 µm et phyto/petit zoo >3 µm), 2) avoir accès aux fonctions biologiques des procaryotes par le biais d'analyses de méta-génomique.** Les collectes par filets permettent de décrire la diversité moléculaire des composants zooplanctoniques (>20 µm, >200 µm) et de quantifier le mésozooplancton grâce à l'imagerie automatisée *in-situ* (UVP). A chaque campagne MOOSE-GE, un total de 400 échantillons sont collectés pour les analyses génomiques. Depuis 2017, ces analyses sont financées sur projets et ressources propres (ex. ATLANTECO, EMOBON, ...) et le personnel de AD2M et du MIO sont impliqués dans cette nouvelle activité. Dans ce contexte, le PPR FUTURE-OBS va permettre de contribuer à l'acquisition de données génomiques sur deux ans.

Des premiers échantillons provenant de filets et de bouteilles Niskin des années 2017 à 2019 ont été séquencés par méta-barcoding en ciblant l'ADNr 18S (fragment V4) ce qui permet d'identifier la diversité du plancton eucaryote. Ces échantillons ont été intégrés dans le serveur «The Ocean Barcode Atlas» (OBA ; Vernet et al., 2021) ainsi que les données environnementales (physiques et chimiques) associées. Un pipeline pour le traitement des données a été réalisé dans un souci de reproductibilité des analyses pour le traitement des échantillons des prochaines années ainsi que pour l'interopérabilité des différents types de données de diversité (génomiques et images). Ce travail de comparaison et d'intégration des différentes données (i.e. imagerie, génomique environnementale) des années 2017 à 2019 est en cours d'écriture (Fig. 5).

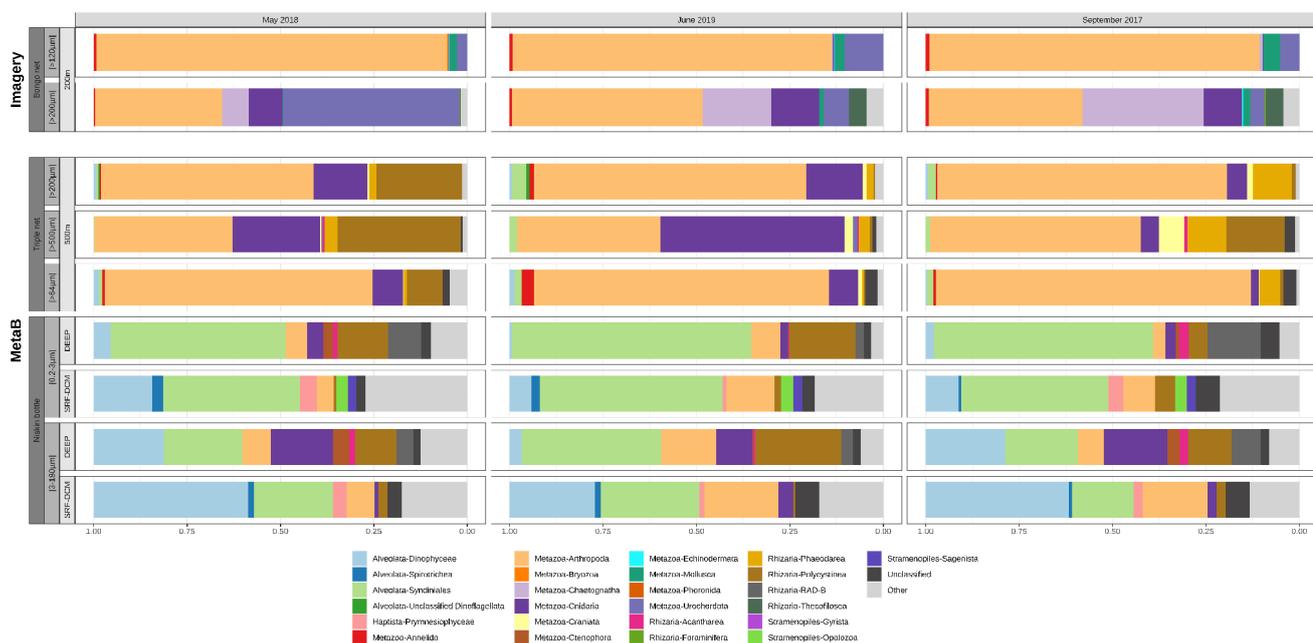


Figure 5 : Abondance relative de la diversité des Eucaryotes dans tous les échantillons (méta-barcoding et imagerie) pour les trois campagnes MOOSE_GE de 2017 à 2019

WP4 – Les apports aux interfaces

Les apports fluviaux

Les flux de matières en suspension au Golfe du Lion fluctuent inter-annuellement selon les conditions hydroclimatiques, principalement en raison des récurrences des événements de crues, dans une gamme comprise entre 2,4 Mt.an⁻¹ et 25 Mt.an⁻¹ (Ludwig et al. 2009). Ils sont en outre très largement dominés par le Rhône qui est le principal pourvoyeur de sédiments à la Méditerranée Nord-Occidentale (> 95%). Dans ce contexte, le SNO MOOSE a mis en place un échantillonnage sur différents fleuves et rivières représentatifs du bassin (**Rhône et la Têt**). Le choix des sites tient compte de la disponibilité des séries de mesures et d'observations historiques. Le Rhône est le plus grand fleuve méditerranéen en termes de débit et son inclusion dans le SNO MOOSE est historique. Ces suivis MOOSE sont étendus à 4 autres fleuves côtiers représentatifs du bassin dans le cadre de projets de recherche (Hérault, Orb, Aude et Agly). Ils sont échantillonnés de manière synchrone afin d'améliorer la quantification des débits fluviaux dans le golfe du Lion (Machu et al., 2023). **L'objectif dans MOOSE est de rassembler des séries chronologiques à long terme de débits fluviaux pour : 1) mettre en évidence au niveau régional les différences et les similitudes passées et présentes dans l'évolution des flux (eau, matières en suspension et éléments associés) issus des fleuves méditerranéens, 2) relier ces changements à l'évolution de la pression anthropique et du climat, et 3) évaluer les impacts potentiels de ces fleuves sur l'état trophique et d'autres propriétés écosystémiques des zones côtières adjacentes et au large.**

Dans le cadre du SNO MOOSE, les moyennes annuelles des flux sur la période 2006-2022, calculés à l'aide de « rating curves », ont été déterminées par Sadaoui et al. (2016). Ces données ont permis d'estimer plus finement la contribution des fleuves côtiers aux flux de matières en suspension mais également d'y associer les flux d'éléments biogènes et de contaminants. Ainsi, les années 2011 et 2020 marquées par plusieurs événements de crue (particulièrement Gloria en 2020) montrent une contribution de plus de 20% des fleuves côtiers au flux total annuel. Cependant, le Rhône présente un caractère plus érosif se traduisant par des flux spécifiques moyens annuels de l'ordre de 60 t.km⁻².an⁻¹ contre 32 t.km⁻².an⁻¹ pour les autres fleuves du pourtour méditerranéen. Le suivi long terme des apports par les fleuves a permis, par exemple, de mettre en évidence l'impact de l'activité anthropique liée à la viticulture sur la distribution du cuivre dans le golfe du Lion. Le Rhône étant un fleuve relativement peu affecté par des activités anthropiques liées au Cu, la

contribution des fleuves côtiers est, comparativement aux flux de MES, significativement plus élevée. Cette part anthropique a été estimée à 53% sur la période 2006-2021 (Fig. 6 ; Machu et al., 2023)

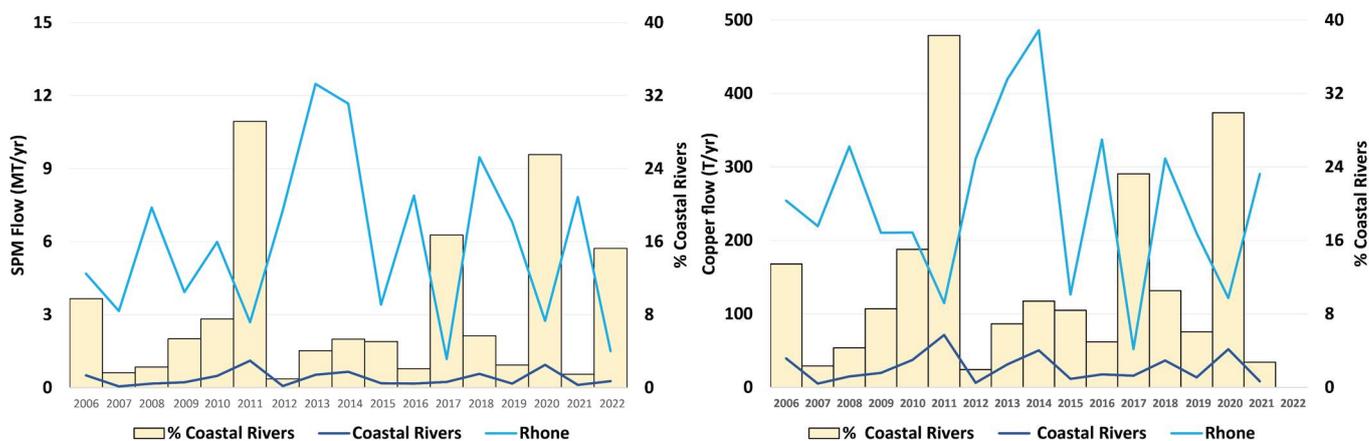


Figure 6 : à gauche : comparaison des flux moyens annuels de matières en suspension apportés par le Rhône et les fleuves côtiers ($Mt.an^{-1}$) et contribution des fleuves côtiers au flux total (%). A droite : comparaison des flux de Cu particulaire issus du Rhône et des fleuves côtiers et contribution (en %) des fleuves côtiers au flux total.

Les apports atmosphériques

Le bassin méditerranéen est l'une des zones les plus affectées par les dépôts éoliens (Guerzoni et al., 1999), avec une variabilité saisonnière et interannuelle importante. L'urbanisation et l'industrialisation le long de ses côtes la rendent particulièrement sensible aux activités humaines. Les dépôts terrestres transportés par voie atmosphérique ont un impact sur la production biologique, en raison des conditions oligotrophes (Pasqueron de Fommervault et al., 2015). Les apports atmosphériques sont désormais bien identifiés comme une des sources majeures de matériel naturel (ex. particules minérales désertiques) ou anthropique transféré du continent vers les zones côtières et plus au large. Ce matériel transporté concerne aussi bien des composés essentiels à la production primaire en milieu marin (azote, phosphore, fer) que des substances à caractère nocif pour la biodiversité marine (métaux). Pour observer l'influence anthropique en domaine littoral et côtier et son influence vers le large, il est nécessaire d'avoir des mesures sur des sites directement soumis à l'influence anthropique et couvrant l'ensemble de la façade (extension ouest-est). **L'enjeu pour le SNO MOOSE est de maintenir un réseau permettant de déconvoluer : 1) les apports marqués par l'activité anthropique de l'Europe, 2) les apports naturels terrigènes en provenance d'Afrique du nord (apports sahariens).** Le choix des sites de suivi et de collecte sur le pourtour méditerranéen français est basé sur plusieurs critères : la couverture spatiale d'est en ouest, des séries de données historiques sur des sites « avancés » en mer, la représentativité de la diversité des sources d'apports (naturel et anthropique). Pour cela, le SNO MOOSE se focalise sur 3 sites atmosphériques : **Cap Ferrat (Villefranche/Mer), Frioul (Marseille), Cap Béar (Perpignan).**

Les flux atmosphériques particuliers sur les 3 sites atmosphériques MOOSE sont relativement homogènes et de l'ordre de $17 t.km^{-2}.an^{-1}$. Cette valeur est supérieure aux observations antérieures de Bergametti et al. (1989), Guieu et al. (2010) et Vincent et al. (2016) comprises entre 10.6 et $12.5 t.km^{-2}.an^{-1}$ suggérant une augmentation significative des dépôts atmosphériques sur la frange méditerranéenne sur la dernière décennie. Les dépôts particuliers humides, souvent plus affectés par les événements sahariens, ne représentent cependant qu'un tiers environ des dépôts totaux (26% au Frioul et 38% à Béar). Il est à noter toutefois que les épisodes de dépôts les plus importants ($> 2000 mg.m^{-2}$) enregistrés au Cap Béar en 2013, 2014 et 2019 contribuent pour au moins 70% au flux annuel particulaire humide sur ces années particulières. Concernant les éléments métalliques, et en particulier le Cu, le flux atmosphérique particulaire annuel moyen de cet élément dans le Golfe du Lion est de l'ordre de $24 t.an^{-1}$ dont la moitié environ est d'origine anthropique.

Références citées en annexe 1

B2. Mission d'observation

Les sites du SNO MOOSE sont représentés dans la figure 7 et le tableau 1. Pour cette prochaine vague de labellisation, nous proposons d'intégrer le **site JULIO** (triangle jaune) qui se trouve à l'entrée du plateau du Golfe du Lion depuis 2012 et **d'augmenter la couverture géographique annuelle avec les stations côtières situées sur le plateau pendant la campagne MOOSE_GE** (points orange). Les 3 mouillages profonds indiqués en violet (LION, ALBATROSS et DYFAMED) ont rejoint l'IR EMSO-France et sont intégrés dans l'ERIC EMSO. Ils restent néanmoins stratégiques pour une observation intégrée à l'échelle régionale.

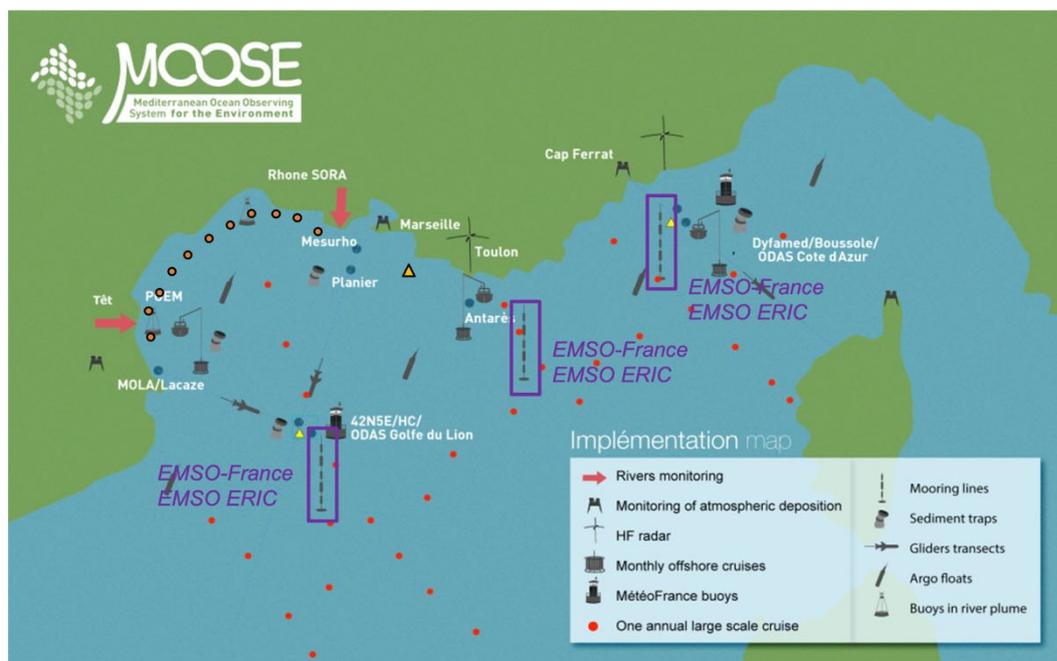


Figure 7 : Carte indiquant les sites d'observation dans le SNO MOOSE et les plateformes auxiliaires utilisées dans le dispositif régional (mouillages EMSO-France et flotteurs profileurs Argo)

Variables, durée et fréquence d'observation

Le tableau 1 regroupe les sites du SNO MOOSE par type d'observation (interfaces, suivis eulériens et lagrangiens) et par emplacement géographique. La date de début des séries ainsi que le type de variables et la fréquence des mesures sont également indiqués. Les notes en rouge représentent les propositions pour la vague 2025-2029

	Sites/plateformes	Lieu/position	Début	Opérateurs	Variables	Périodicité	Transmission
Interfaces continent/atmosphère/mer	Rhone - SORA	Arles/Rhône	2005	CEFREM -M.I.O.	Débit, flux particulaire, éléments biogènes dissous et particulaires, métaux	quotidienne + crues	temps différé
	Têt	Golfe du Lion	2010	CEFREM -M.I.O.		hebdomadaire + crues	
	Cap Ferrat (Collecteur MTX)	Cap Ferrat	1986	LOV - M.I.O. - CEFREM	Flux particulaires, éléments biogènes et métaux solubles et insolubles	Dépôts : bi-mensuel; pluie: sur événement; météo: horaire	
	Frioul (Collecteur MTX)	Frioul	2007	M.I.O. - CEFREM			
	Cap Béar (Collecteur MTX)	Cap Bear	2012	CEFREM -M.I.O.			
Suivis marins eulériens	Mouillage JULIO	Golfe du Lion	2012	M.I.O.	courants	horaire	temps différé
	Mouillage Lacaze-Duthiers	Golfe du Lion (canyon)	1994	CEFREM	Flux de masse, flux de POC & PON, courants	mensuelle (pièges); horaire (courant)	temps différé
	Mouillage Planier	Golfe du Lion (canyon)	1994	CEFREM			
	DYFAMED (visite mensuelle)	Mer Ligure Est	1991	OSU STAMAR; FR IMEV	Temperature, salinité, oxygène, sels nutritifs, carbonates, cytométrie en flux, communautés zooplanctoniques (filets, UVP5), L-ADCP, pH, DOC, ADN	mensuelle & annuelle	temps réel et temps différé
	ANTARES (visite mensuelle)	Mer Ligure Ouest	2007	MIO			
	MOLA (visite mensuelle)	Golfe du Lion	2010	OSU STAMAR; FR OOB			
MOOSE_GE (campagne annuelle)	Bassin nord-ouest	2010	STAMAR-LOCEAN - CEFREM - M.I.O.				
Suivis marins lagrangiens	Radiale glider T00	Radiale Nice-Calvi	2010	OSU STAMAR	Temperature, salinité, oxygène, fluorescence, CDOM	données horaires	temps réel & temps différé
	Radiale glider T02	Radiale Marseille-Minorque	2010	MIO			
	Radars HF Toulon	Toulon- Antares	2012	MIO	Courants de surface	Cartes hebdomadaires	
	Radars HF Nice	Nice -Dyfamed	2014	MIO			

Tableau 1 : Stratégie d'observation par thématique, sites, variables et fréquence (la couleur rouge indique les nouveautés proposées)

1 – Les observations océaniques eulériennes (campagnes mensuelles et annuelles, mouillages BILLION)

Dans le cadre des observations *in situ* réalisées par le SNO MOOSE un certain nombre de variables océaniques ont été retenues en accord avec les objectifs des WP 1, 2 et 3. Ces variables ont été identifiées comme EOVS (Essential Ocean Variables) par le programme **Global Ocean Observing System (GOOS)**. **Les protocoles de mesures pour ces variables suivent les recommandations des « Best Practices » proposées par OBPS et pour certaines par le SNO SOMLIT (principalement celles du WP2)**

Actuellement, l'observation eulérienne dans le SNO MOOSE est réalisée sur **6 sites** dont deux sont équipés de lignes instrumentées équipées de pièges à particules et de courantomètres et situées dans les canyons en sortie du plateau du Golfe du Lion (**LACAZE-DUTHIERS et PLANIER**). Ces sites sont gérés par les équipes du CEFREM. Ils permettent un suivi à long terme des conditions hydrologiques, hydrodynamiques et des flux particulières sur la pente continentale du Golfe du Lion (série historique BILLION depuis 1994). En particulier elles permettent de suivre la variabilité des courants et les flux particulières exportés hors du plateau du Golfe du Lion, sous l'effet des tempêtes et des formations d'eau dense côtière et s'écoulant le long des canyons du Golfe du Lion (WP1 et 2).

Les 4 autres sites eulériens sont visités par les navires de recherche (hauturier ou de façade/station) avec une fréquence mensuelle (**MOLA, DYFAMED et ANTARES**) et une fréquence annuelle (**LION**). Il est important de souligner ici que 3 de ces sites disposent également de lignes fixes instrumentées profondes (**DYFAMED, LION, ALBATROSS** à proximité du site ANTARES) qui font partie de l'IR EMSO-France (contribution française à l'ERIC EMSO) pour le suivi hydrologique des masses d'eau et l'export de matière organique (regroupé dans le nœud EMSO-Ligure). Les mouillages sont maintenus lors des campagnes annuelles MOOSE_GE (hormis le mouillage ALBATROSS). A noter également que ce réseau de mouillages instrumentés est complété par des mesures hydrologiques dans la couche de surface (0-200 m) à partir de capteurs CTD (température, salinité, pression) installés sous les bouées Météo France (bouées ODAS Côte d'Azur et Lion). Ces données sont essentielles pour estimer la profondeur de la couche de mélange et les flux de chaleur émis vers l'atmosphère. Ces maintenances annuelles sont assurées depuis 2021 par les équipes du LOCEAN et de l'IMEV.

Mesures de courants par ADCP au point JULIO (« Judicious Location for Intrusion Observation »)

Pour ce dossier de labellisation, le SNO MOOSE propose de rajouter le site JULIO situé au large de Marseille près de l'isobathe de 100 m de profondeur (5.25°E et 43.13°N). Un ADCP 300 kHz installé sur le fond permet de mesurer les courants horizontaux (tous les 4 m et toutes les demi-heures) à travers la colonne d'eau et, entre autres, d'identifier les périodes d'échange entre le courant Nord et le plateau continental. Il s'agit d'une composante essentielle de l'étude du gradient côte-large de la baie de Marseille (point SOMLIT) jusqu'au point de référence LION. Étant l'une des rares stations situées à l'interface du plateau continental et du littoral, elle permettra d'observer l'évolution à long terme du courant Nord dans le contexte du changement climatique et de la pression anthropique, ainsi que son impact potentiellement variable sur le golfe du Lion (WP1). Ce site JULIO actif depuis 2012, permettra de renforcer le rapprochement du SNO MOOSE vers la zone côtière comme proposé dans la campagne annuelle. Les données sont également cruciales pour les modélisateurs et présentent un potentiel important en complétant d'autres données du SNO MOOSE (planeurs et radars) pour l'étude du Courant Nord et de ses intrusions sur le plateau. Les données du site JULIO ont permis le développement d'un algorithme RFA basé sur les mesures satellitales altimétriques (Casella et al., 2020) qui donne un taux de réussite de 93 % de détection des intrusions du CN. JULIO intéresse aussi les biologistes qui étudient les processus d'agrégation du zooplancton en surface autour de minuit au printemps. Le suivi a démarré en 2012 et les données sont accessibles sur l'archive SEANOE (<https://www.seanoe.org/data/00798/91036/>). D'un point de vue logistique, ce mouillage est maintenu par l'équipe du M.I.O. (A.Petrenko, J.L. Fuda). La maintenance se fait à l'aide de l'Antedon une fois par an. Il pourra aussi être maintenu lors des campagnes MOOSE_GE. **Le coût supplémentaire demandé est de 2 k€ (batterie, accastillage).**

Les suivis mensuels du SNO MOOSE opérés à partir des navires de façade et/ou de station (DYFAMED, ANTARES, MOLA) sont assurés par les laboratoires et OSU à proximité (IMEV/STAMAR, MIO/PYTHEAS, OOB/STAMAR). Les variables observées sont identiques sur les 3 sites et les données sont toutes archivées au SISMER (données profils CTD et données bouteilles incluant les variables biogéochimiques)

1. DYFAMED (isobathe de 2350m) est la plus longue série temporelle en Méditerranée (pour l'océan ouvert). Ce site est situé au large de Villefranche à 50 km de Nice et positionné à l'est du gyre nord en mer Ligure. Cette série a débuté en 1991 pour le suivi hydrologique et biogéochimique des masses d'eau. A noter que depuis 2019, ce site est situé dans la ZEE Italienne.

2. ANTARES (isobathe de 2400m) est situé au large de Toulon au nord du gyre, à l'entrée du golfe du Lion, à 20 miles des côtes. Le suivi mensuel a démarré en 2010.
3. MOLA est situé au large de Banyuls, à la sortie du golfe du Lion sur l'isobathe de 600m. Ce suivi a démarré en 2010.

La stratégie des suivis mensuels s'appuie sur les atouts logistiques et scientifiques complémentaires (présence des bouées de Météo-France, et mouillages DYFAMED et ALBATROSS à proximité). Les 3 sites MOLA, ANTARES et DYFAMED constituent un réseau fournissant des séries temporelles de référence couvrant les grands gradients hydrologiques de la Méditerranée nord-occidentale. La cohérence spatiale est assurée par les radiales gliders (T00 : Nice-Calvi et T02 : Marseille-Minorque) et les radars HF situés à Toulon et à Nice. Ces suivis sont un atout considérable pour les mouillages en Méditerranée nord-occidentale qui servent de référence pour les données des capteurs autonomes des planeurs et profileurs Argo (qui peuvent dériver dans le temps), en permettant un échantillonnage régulier par profil (T, S, O₂, fluorescence, imagerie particules et zooplancton) et un échantillonnage d'eau de mer sur 12 niveaux de profondeurs. Ces échantillons sont ensuite analysés en laboratoire pour obtenir des informations complémentaires aux mesures autonomes (nutriments, variables des carbonates, chlorophylle-a, collecte de zooplancton, bactéries/virus, pigments chlorophylliens). **Il est important de souligner que ces observations eulériennes (navires et mouillages) forment un tout pour les observations intégrées à l'échelle régionale et constituent un socle dans le réseau MOOSE pour le suivi des changements de masses d'eau (intermédiaire et profonde) et les processus hydrodynamiques et biogéochimiques affectant la colonne d'eau (ex. convection profonde, « cascading », pompe physique et biologique du carbone, ...).**

Les campagnes annuelles MOOSE_GE (MOOSE Grande-Échelle)

Les campagnes annuelles MOOSE-GE, initiées en 2010, s'inscrivent depuis le début dans le SNO MOOSE. Ce réseau à grande échelle permet de cartographier le bassin nord-ouest sur une couverture de 300 000 km² avec 130 stations effectuées en 24 jours à partir des navires hauturiers de la FOF. Ce réseau de stations CTD permet tous les ans d'échantillonner l'ensemble du gyre Nord pour le suivi des propriétés des masses d'eau (physique et chimique) et son impact sur la distribution des espèces zooplanctoniques (Figure 8). Il permet également d'avoir tous les ans un état de référence annuel sur les mêmes variables biogéochimiques/biologiques que celles acquises lors des suivis mensuels (Tableau 2). Ces données sont utilisées pour le suivi DCSMM pour les descripteurs "Habitats Pélagiques et Eutrophisation" (OFB) et elles sont également essentielles pour le développement et la validation de modèles numériques (ex. SYMPHONIE, ...) ainsi que pour les modèles climatiques à long terme (CNRM, S.Somot) en Méditerranée.

Lors de ces campagnes, une maintenance des mouillages EMSO-LION, EMSO-DYFAMED (LEG1) et PLANIER, LACAZE-DUTHIERS (LEG2) est réalisée avec les équipes du LOCEAN, IMEV/STAMAR et CEFREM. La maintenance de ces équipements exige en effet des opérations importantes (1-3 jours de travail à bord par mouillage) qui sont menées en étroite collaboration par les différentes équipes des laboratoires impliqués dans les réseaux MOOSE et l'IR EMSO-France (ex. calibration des capteurs autonomes des mouillages sur la CTD-rosette opérée à bord cf. section B4). Les transits entre les sites des mouillages sont utilisés pour réaliser des radiales de stations hydrologiques couvrant l'ensemble de la zone (golfe du Lion, îles Baléares, mer Ligure, Corse/Sardaigne). Ces stations hydrologiques servent 1) à calibrer les capteurs des mouillages et des plateformes autonomes déployés dans le cadre de MOOSE et l'IR EMSO-France et 2) à effectuer un « instantané » de la zone d'étude sur une grande échelle spatiale avec des données supplémentaires, uniquement disponibles à partir d'échantillons d'eau (nutriments, carbone inorganique dissous, pigments phytoplanctoniques, traits de filets à planctons). Ce réseau de stations réalisé de manière « quasi-synoptique » (en moins d'un mois) fournit une cartographie annuelle grande échelle de la distribution des masses d'eau et de leurs caractéristiques hydrologiques, chimiques et biologiques.

Plus en détail, les campagnes MOOSE_GE se décomposent en quatre opérations (deux legs de 11 et 12 jours) :

1. Des stations bathysonde (CTD + rosette) au cours desquelles une bathysonde, comprenant des capteurs TSO₂, fluorescence, L-ADCP et caméra profileur (UVP) avec 21 bouteilles Niskin, est mise à l'eau pour réaliser un profil entre la surface et le fond. Depuis 2017, 120 à 130 stations sont échantillonnées selon les 3 critères suivants :
 - Station dite « classique » avec le prélèvement de nutriments et chlorophylle
 - Station dite de « référence » prélevée une fois par jour et comprend en plus de la « classique », l'oxygène dissous, la salinité, les pigments et les carbonates sur certaines radiales

- Station dite « biologique » pour la collecte d'organismes zooplanctoniques (filets et Niskin). Les traits de filets zooplancton sont réalisés de jour sur 15 stations biologiques environ (3 traits à chacune des stations) : 2 traits 0-200m et 1 trait 0-500m
2. La maintenance des mouillages LACAZE-DUTHIERS et PLANIER (LEG2) et également ceux gérés par l'IR EMSO-France DYFAMED et LION (LEG1)
 3. La collecte et le déploiement de flotteurs profileurs Argo et de planeurs sous-marins
 4. La formation des étudiants issus des Masters de Sorbonne Université et PolyTech (OACOS et SdM)

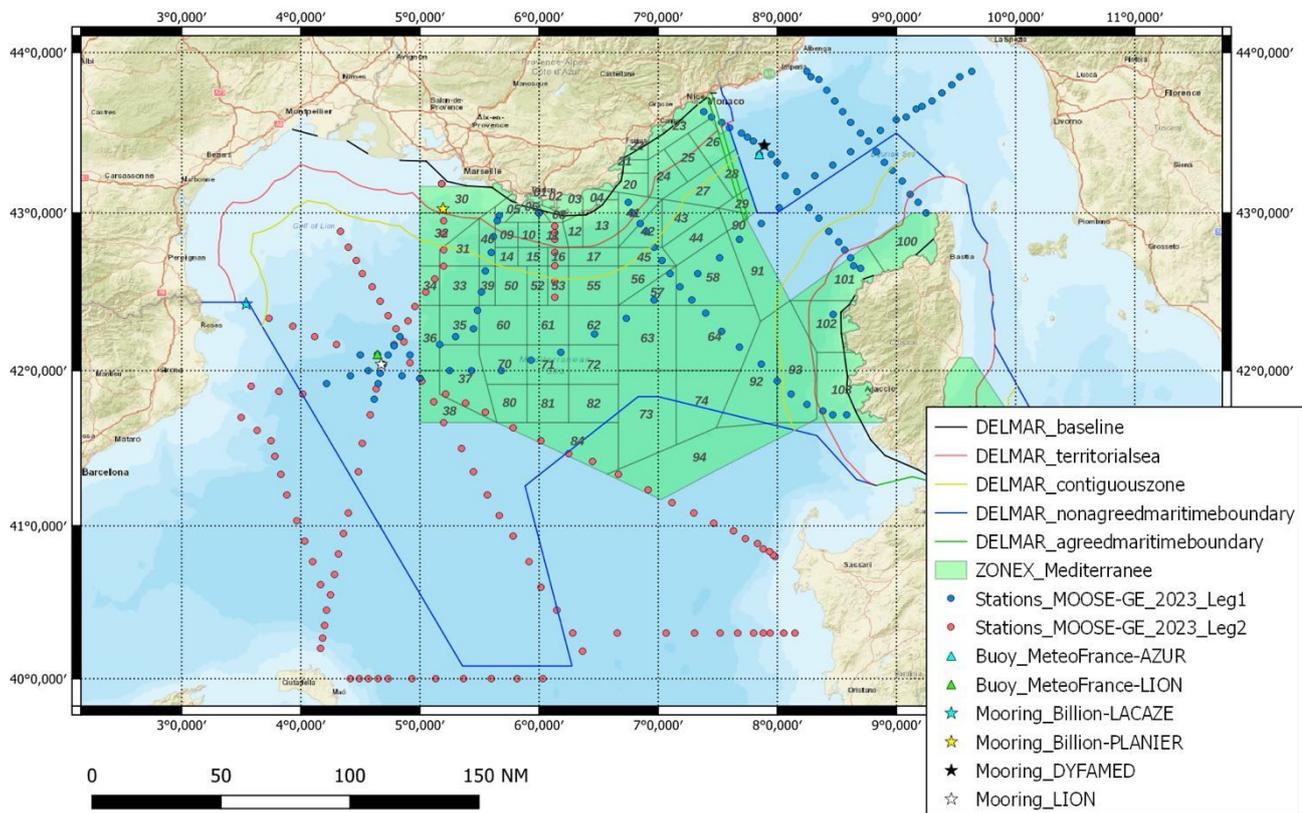


Figure 8 : Carte générale des campagnes MOOSE_GE avec les stations du LEG1 (bleu) et celles du LEG2 (en rouge). La zone verte indique tous les Zonex et les traits bleus la limitation de la ZEE française. A noter que les mouillages DYFAMED et LION sont gérés par l'IR EMSO-France mais ils sont maintenus lors des campagnes MOOSE_GE. Les bouées Météo-France font partie du dispositif régional pour compléter les observations eulériennes (couche 0-200m avec mesures T-S) mais elles ne sont plus maintenues lors des campagnes MOOSE_GE.

Avec 20-30 km d'espacement, les stations CTD du réseau MOOSE-GE ne résolvent pas la méso-échelle (Figure 8). En revanche, avec une échelle de bassin de l'ordre de 400 km, cette résolution permet d'avoir une description des propriétés des différentes masses d'eaux (AW, LIW/WIW, WMDW) avec une quinzaine de points par radiale trans-bassin, ce qui couvre l'écoulement de grande échelle centré sur la zone de convection profonde. Les stations sur le talus sont plus resserrées (positionnées en fonction de la bathymétrie) ce qui permet une résolution fine des gradients qui sont plus importants dans ces régions frontales qu'au large ou à la côte. Le suivi annuel de MOOSE-GE offre ainsi une couverture spatiale et un maillage à l'échelle du bassin dans les principaux traits de circulation ce qui est suffisant pour obtenir un suivi correct de l'évolution interannuelle des masses d'eaux (T, S, O₂) en relation avec la dynamique du Gyre Nord, c'est à dire du système composé par le Courant Nord et sa recirculation au sud (courant Nord-Baléares et courant Ouest-Corse).

MOOSE_GE offre l'opportunité unique de former les étudiants de M2 (Master OACOS de SU) ainsi que de nombreux stagiaires et doctorants au métier d'océanographe à bord d'une véritable campagne océanographique (travail en quart de jour et de nuit). Enfin, les campagnes MOOSE_GE, puisqu'elles sont inscrites dans un cahier des charges SNO, peuvent se targuer de mettre rapidement à disposition de la communauté les données de stations (de la physique à la biologie)

à CORIOLIS (en temps réel) et au SISMER (en temps différé). Elles sont ainsi devenues, au fil des ans, un exemple de campagne répétée reconnue au niveau européen et servent ainsi de démonstrateur à la fois pour des projets PPR (RIOMAR, FUTURE-OBS) mais aussi européens impliquant plusieurs ERIC (ex. les projets HORIZON EUROSEA, EA-RISE et actuellement GEORGE).

Tableau 2 : Données acquises lors des campagnes annuelles MOOSE_GE incluant la fréquence des mesures et la méthodologie adoptée

Variables	Niveaux	Fréquence	Méthode
T, S, O2, fluorescence, atténuation lumière	Profil surface-fond	Toutes les stations	Seabird 911 + capteurs
Courant	Profil surface-fond	Toutes les stations	L-ADCP et S-ADCP
Particules et zooplancton	Profil surface-fond	Toutes les stations	Caméra UVP5 et 6
Oxygène dissous	Btle 21 niveaux (surface-fond)	Une fois par jour	Doage Winkler
DIC-Alcalinité-pH	Btle 21 niveaux (surface-fond)	deux radiales N-S	Potentiométrie, spectrophotométrie
Sels nutritifs	Btle 21 niveaux (surface-fond)	Toutes les stations	Colorimétrie
Tchl _a	Btle 6 niveaux (surface-100m)	Toutes les stations	Fluorométrie
Ammonium	Btle 6 niveaux (surface-100m)	Toutes les stations	Fluorométrie
Salinité	surface, 350m, fond	Une fois par jour	AutoSal
Pigments chlorophylliens	Btle 6 niveaux (surface-100m)	Une fois par jour	HPLC
Phytoplancton et microbes	Btle 3 niveaux (surface, max Chla, 2000m)	deux radiales N-S	Génomique
Zooplancton	0-200m	deux radiales N-S	Zooscan et génomique

Résultats récents issus des campagnes MOOSE_GE :

Bien que le concept du SNO MOOSE se base sur une vision intégrée de toutes les données disponibles dans le bassin NO de la Méditerranée, les campagnes ont permis de montrer certains résultats majeurs :

- Augmentation du contenu en chaleur et en sel de la LIW (données obtenues à partir des mouillages EMSO-LION et EMSO-DYFAMED puis validées et corrigées par les données des campagnes) et propagation du changement de la LIW dans tout le bassin (Margirier et al., 2020)
- Estimation des tendances sur le contenu en sels nutritifs et le système des carbonates en surface, dans les eaux intermédiaires et profondes à partir des prédictions d'un réseau de neurones (CANYON-MED), réseau entraîné avec des données de campagnes de 1986 à 2018 dont MOOSE_GE (Fourrier et al., 2020 et 2022)
- Trois groupes distincts de zooplancton ont été identifiés en 2017 sur la base des valeurs intégrées 0-200 m des variables environnementales, le premier avec des stations principalement situées dans la mer Ligure, et les deux autres dans les parties nord et sud du bassin provençal, mettant en évidence un gradient nord-sud notable (thèse de G.Feliu, 2020).

Pour la nouvelle vague de labellisation, nous proposons quelques modifications pour la campagne MOOSE_GE :

1. Une **vitesse de transit entre les stations de 8 nœuds** afin de diminuer les émissions de CO₂ tout en réduisant la consommation de carburant. Cela ne devrait pas impacter le maillage des stations proposées (qui passerait de 130 à 110 stations en théorie).
2. Effectuer le **suivi biologique sur les deux radiales nord-sud majeures** : Nice-Calvi au LEG1 (10 stations) et Marseille-Minorque au LEG2 (15 stations). Depuis 2014, les 15 stations biologiques réparties dans le bassin n'ont pas permis d'observer une tendance interannuelle en raison des périodes des campagnes MOOSE_GE trop différentes, mais également d'une couverture géographique très dispersée ne permettant pas d'interpréter la correspondance avec les structures hydrographiques traversées. Ainsi, la valorisation des campagnes de 2017 à 2019, qui s'étendent de mai à septembre, souligne bien cette difficulté d'interpréter des données biologiques obtenues par imagerie et génomique sur des périodes variables (article en cours de finalisation). La nouvelle stratégie permettra ainsi non seulement de doubler le nombre de stations biologiques (25 stations), mais également d'avoir de multiples observations le long de gradients hydrographiques connus, et enfin d'avoir un suivi nyctéméral des espèces planctoniques provenant de plusieurs masses d'eau ayant des propriétés différentes (ex. température/salinité, nutriments, ...). Un signal biologique plus fin pourra être ainsi étudié. De ce fait, la valorisation pour ces données pourra se faire : 1) de manière interannuelle si les périodes des campagnes sont cohérentes entre elles ou 2) via des études de processus le long de ces deux radiales si les périodes des campagnes sont différentes ou 3) à l'issue d'une

année anormale (ex. vague de chaleur intense). La stratégie d'échantillonnage à l'aide de filets va être également modifiée (2 bongo à 200m de profondeur avec des filets de 20µm et 200µm) couplant les mesures en imagerie (zooplancton) et en génomique (diversité microbienne, mésozooplancton). **Le coût supplémentaire pour les analyses ADN est de 7 k€/an**

- 3. Étendre le réseau sur le plateau du Golfe du Lion avec 12 stations côtières** afin de suivre les apports fluviaux du Rhône et leurs impacts sur les propriétés biogéochimiques de la colonne d'eau (sans augmenter le nombre de jours en mer mais en optimisant le nombre des stations). Cette radiale permettra à terme de comparer le signal côtier du large impacté par les changements globaux en y ajoutant l'impact anthropique au niveau côtier. Elle permettra également de disposer de mesures BGC sur le plateau, notamment pour suivre les impacts du Rhône sur la chimie des carbonates (ex. pH et alcalinité) et de valider certains produits de la modélisation (ex. SYMPHONIE ECO3M-S). En effet, le suivi MOOSE-GE intégrait jusqu'à présent essentiellement la zone au-delà du plateau continental et les observations aux interfaces (WP4) manquaient d'une observation plus spatialisée et répétée sur le plateau du Golfe du Lion. De plus, le suivi haute fréquence de l'impact des apports fluviaux reste un des objectifs principaux des réseaux COAST-HF et SOMLIT et il nous est apparu essentiel de compléter dans le SNO MOOSE ce suivi du continuum terre-mer dans le Golfe du Lion en appliquant la même stratégie que pour les stations hauturières mises en place dans MOOSE-GE. En outre, c'est un des objectifs du PPR RIOMAR (WP3 et WP8).

Nous proposons aussi d'inclure les mesures de pH (pour les campagnes mensuelles et annuelles) et de DOC (campagne annuelle seulement) dans le paysage des variables du SNO MOOSE

Dans le SNO MOOSE, la variable pH est à l'heure actuelle, estimée à partir des données AT-CT obtenues pendant les campagnes mensuelles et annuelles permises grâce aux mesures du service national SNAPO-CO₂ dont la qualité de mesure est garantie par l'utilisation de matériaux de référence certifiés. Nous proposons d'inclure les mesures de pHT (échelle totale) par spectrophotométrie (Dickson et al., 2007) parmi les paramètres labellisés pour les sites ANTARES, DYFAMED et MOLA ainsi que lors des campagnes MOOSE-GE. Ces mesures sont déjà réalisées en routine par les 3 laboratoires impliqués dans les suivis mensuels et MOOSE-GE. La mesure de pHT présente différents avantages : elle est peu coûteuse (1 k€/an), elle peut être réalisée directement à bord et la qualité des mesures est maintenant garantie par la mise à disposition de matériaux de référence. En mesurant trois variables du système des carbonates, et en tirant parti des équilibres en solution qui relient ces variables entre elles, la cohérence interne des différentes variables peut être vérifiée à partir de mesures totalement indépendantes. Ceci permet d'augmenter la qualité des données acquises pour décrire le système des carbonates. **La stratégie est d'assurer ce type de mesures sur les deux radiales nord-sud Nice-Calvi et Marseille-Minorque lors de la campagne MOOSE_GE (comme c'est le cas actuellement pour AT-CT de la surface au fond) et sur les 3 campagnes mensuelles.** Ces données de pH sont déjà bancarisées avec les autres données des campagnes MOOSE et disponibles au SISMER (données bouteilles). **La mesure de pH dans le SNO MOOSE ne demande pas de personnel ou d'instruments en plus dans les laboratoires associés. Il est assuré par le personnel IT travaillant en parallèle pour le SNO SOMLIT et/ou déjà impliqué dans le SNO MOOSE pour d'autres analyses BGC (ex. O₂ Winkler et sels nutritifs). Le coût supplémentaire est de 1 k€/an**

Avec 662 ± 32 PgC, le carbone organique dissous (DOC pour "Dissolved Organic Carbon") dépasse de près de 200 fois l'inventaire de l'ensemble des particules organiques dans les océans, ce qui en fait l'un des plus grands réservoirs de carbone bio-réactif de l'océan, juste derrière le carbone inorganique dissous (38 100 PgC). La taille du réservoir (comparable à celle du CO₂ atmosphérique), ainsi que son rôle en tant que puits pour le carbone fixé de façon autotrophe, en tant que substrat pour les microbes hétérotrophes et en tant que puits/source de carbone impliqué dans les variations climatiques sur de longues périodes, souligne son importance dans les cycles biogéochimiques. En Méditerranée, les flux de DOC jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en carbone frais des eaux profondes (Ramondenc et al., 2016) à la fois par mélange hivernal vertical lors des formations d'eau profonde, mais également par diffusion et export actif. Les mesures in situ indiquent que les flux d'export de DOC sont supérieurs ou similaires à l'exportation moyenne de POC (Santinelli et al., 2015 ; Habib et al., 2023). L'obtention de séries temporelles fiables de DOC est devenue cruciale pour comprendre et prévoir les changements environnementaux, évaluer les pressions anthropiques, et prendre des mesures de conservation et de gestion appropriées pour protéger les écosystèmes marins et assurer leur durabilité. **C'est dans ce contexte que depuis 2016, le LOMIC assure les prélèvements et les analyses de DOC lors des campagnes annuelles MOOSE_GE sur les deux radiales nord-sud Nice-Calvi et Marseille-Minorque (environ 350 échantillons par an et 700 analyses en duplicat).** Les résultats préliminaires sont cohérents avec la littérature (Djaoudi et al., 2017) et montrent une dispersion significative entre le nord et le sud du bassin et entre la surface où le DOC est produit majoritairement et les eaux profondes où le DOC est plus appauvri et plus réfractaire.

Avec l'aide de la modélisation, cela permettra de mieux contraindre l'export de carbone dans cette partie de la Méditerranée. **Pour cette nouvelle vague de labellisation, nous proposons d'ajouter le DOC dans la liste des variables suivies annuellement par le réseau MOOSE afin d'obtenir une série à long terme de cet élément qui revêt une importance capitale dans la compréhension du cycle du carbone en Méditerranée.** La stratégie sera identique aux années précédentes. Les prélèvements et les analyses seront gérés par M.Pujo-Pay (LOMIC) et son équipe. **Le coût supplémentaire est de 5 k€/an.**

2 – Les observations lagrangiennes (planeurs, flotteurs et radars HF)

Les plateformes autonomes (planeurs et flotteurs profileurs) permettent d'étendre la couverture du réseau (échelles horizontales plus petites et zones/périodes non couvertes par les navires) mais pour une gamme relativement restreinte de variables, néanmoins identique à celle des flotteurs profileurs BGC-Argo. Il s'agit de T, S, courants horizontaux, concentration en O₂, Chl-a, CDOM (coloration des matières organiques dissoutes dans l'eau), turbidité, rétrodiffusion (BB700) et parfois concentration en nitrates. Les planeurs (ou gliders) sont utilisés pour observer sur le long terme et à haute résolution spatiale et temporelle des zones clés pour le fonctionnement du bassin et notamment le continuum côte-large.

Deux grandes radiales côte-large sont répétées avec des planeurs dans le cadre du SNO MOOSE : Nice-Calvi (T00) et Marseille-Minorque (T02). L'objectif est de pouvoir maintenir ces deux radiales au moins pendant 5 mois de l'année lors des processus les plus dynamiques (convection hivernale, bloom printanier, stratification) soit de janvier à fin mai. Les planeurs se déplacent en moyenne de 25km sur l'horizontale en effectuant 4-5 plongées en un jour (8-10 profils verticaux espacés de 2-4 km). On compte actuellement 93 déploiements depuis 2010 dans le cadre de MOOSE (53 déploiements sur T00 et 40 sur T02). Depuis la création du SNO MOOSE, les planeurs étaient préparés et pilotés par la cellule gliders de la DT INSU et déployés/récupérés avec l'aide des laboratoires (MIO, LOV). Depuis l'arrêt de ce service en 2021, les planeurs sont maintenant opérés par les laboratoires du M.I.O et de l'OSU STAMAR à Villefranche/Mer avec des planeurs français (SEA-EXPLORER de la société ALSEAMAR) ce qui permet : 1) d'utiliser des batteries rechargeables pour une remise à l'eau rapide des planeurs (endurance de 2-3 mois actuellement par déploiement), 2) un pilotage aisé avec l'outil GLIMPSE (personnel de laboratoire formé) et une assistance par les pilotes d'ALSEAMAR en cas de besoin, 3) une maintenance plus rapide avec la proximité de la société ALSEAMAR (Rousset). Ce type d'opération est détaillé dans le dossier du PING (Parc Instrumenté National Glider) soumis à la CSOA (PI : F.Bourrin). La proposition d'un nouveau modèle économique, s'il est validé, permettra de proposer un ticket modérateur de 6.2 k€ par glider et par mois (contre 11 k€ à l'époque de la DT INSU).

Le déploiement récurrent de flotteurs profileurs T-S-O₂ (GMMC-MOOXY) et BGC (NAOS, RemOcean) est opéré dans le cadre des campagnes annuelles MOOSE-GE (déploiement et/ou récupération). Actuellement, on compte un déploiement de plus de 40 flotteurs dans le bassin occidental depuis 2012 dont 9 sont toujours actifs. L'échantillonnage des flotteurs ARGO est adapté au bassin occidental avec un profil 0-2000m tous les 5 jours (0-1000m pour les flotteurs BGC) et une profondeur de parking à 1000m (1-50km entre les profils d'un même flotteur). Parmi ces flotteurs, certains sont plus ciblés sur la biogéochimie et contraints par des cycles journaliers à 1000m. Les flotteurs profileurs méditerranéens ont une durée de vie de 2-3 ans et ils permettent une description de l'évolution du bassin qui complète les suivis réalisés lors des campagnes MOOSE, les radiales gliders et les mouillages fixes avec une quantification au cours du temps de la variabilité spatiale de ces variables aux échelles que cette technologie permet d'échantillonner.

Les réseaux de campagnes océanographiques et de sites fixes sont complétés par les radars-HF (Toulon, Nice) afin d'étudier plus particulièrement la dynamique du Courant Nord en fournissant des estimations de courant de surface sur une zone de l'ordre de 50-100km de large, au large de ces 2 sites. Une partie de l'activité de l'équipe radar du MIO-Toulon développée à partir de ces infrastructures porte aussi naturellement sur la mise en œuvre de méthodes originales et innovantes de traitement des données concernant le fonctionnement en mode multistatique (Guérin et al., 2019 ; Dumas et al., 2020), le traitement par groupe d'antenne et d'auto-calibration des systèmes radar (Dumas et Guérin, 2023) ou encore les traitements hybrides Beam Forming/Music. Ces traitements permettent d'augmenter la précision et la résolution spatiale de données et un traitement de l'ensemble des données pour le site de Toulon est en cours avec une mise à jour de la base de données SEANOE MOOSE HF-Radar à venir d'ici le début de l'été 2024. Le site Nice/Menton souffre toujours de carences technologiques et logistiques (voir rubrique difficultés), mais les progrès fait en termes de traitement des données CODAR (Guérin et al., 2021) permettent d'envisager une exploitation scientifique plus conséquente dans un avenir proche, au moins sur la base des données radiales déjà acquises.

3- Les observations aux interfaces (fleuves/atmosphère)

Le Rhône (suivi depuis 2005) et la Têt (suivi depuis 2010) sont équipés en amont de leur embouchure d'une station de prélèvement automatique respectivement gérée par l'IRSN, agence de l'Eau, MIO et le CEFREM. Le plan de collecte a été défini lors de l'élaboration du plan d'implémentation MOOSE en accord avec le programme MERMEX. Le suivi est basé sur des collectes quotidiennes pour le Rhône et hebdomadaires pour la Têt (MES, sels nutritifs dissous et particulaires, silice dissoute, POC). Les fréquences de prélèvements sont augmentées en période de crue, l'objectif étant d'apporter des estimations précises d'apports à la mer d'éléments biogènes dissous et particulaires.

Pour la partie atmosphérique le SNO MOOSE comprend : le Cap Ferrat géré par l'IMEV/STAMAR depuis 1986, le Frioul géré par le M.I.O. depuis 2007 et le Cap Béar géré par le CEFREM depuis 2012. Un équipement identique (collecteurs MTX, Italia) est utilisé sur les 3 sites. Un protocole commun a été établi basé sur une fréquence de collecte de 14 jours (24 échantillons/an) pour les dépôts secs. Les pluies (dépôts humides) sont collectées à chaque événement. Les variables prioritaires retenues, en accord avec le programme CHARMEX (2010-2020), concernent essentiellement la composition des dépôts (sec et humide) en termes de masse, les éléments biogènes inorganiques et organiques (C/N/P/Si) et les éléments métalliques à caractère naturel (Al, Fe, Ni, Cr) ou fortement impactés par les apports anthropiques (Pb, Zn, Cu, Cd), à la fois sur les fractions solubles et insolubles (tableau 3)

SUVIS	VARIABLES	METHODES
Fleuves (Rhône et Têt)	Débit	
	Charge particulaire	Gravimétrie
	Eléments inorganiques dissous	Colorimétrie
	Eléments organiques dissous	Oxydation humide et Colorimétrie
	C,N,P particulaires	Haute combustion et oxydation humide
	Métaux	ICPMS
Dépôts atmosphériques (Cap Béar, Frioul et Cap Ferrat)	Flux de masse	Gravimétrie
	Eléments inorganiques solubles	Colorimétrie
	Eléments organiques solubles	Oxydation humide et colorimétrie
	Métaux solubles	ICPMS
	Éléments biogènes insolubles	Haute combustion et oxydation humide et colorimétrie
	Métaux insolubles	ICPMS

Tableau 3 : Les paramètres mesurés et les techniques utilisées sont décrits pour les observations des fleuves et des dépôts atmosphériques

B3. Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/IR*

Le SNO MOOSE est intégré depuis sa création en 2016 dans **l'infrastructure de recherche littorale et côtière (ILICO)** qui vise à observer et comprendre les milieux et les écosystèmes côtiers marins dans leur globalité (Fig. 9). L'IR ILICO fédère des moyens d'observations permettant sur le long terme, de mesurer les paramètres essentiels d'évolution des systèmes littoraux et côtiers, de collecter des échantillons et d'assurer la mise à disposition de ces données. Parmi les SNO de l'IR ILICO, **MOOSE représente la composante régionale intégrée en Méditerranée nord-occidentale** et il participe activement à l'articulation des activités d'observations avec les SNO côtiers comme SOMLIT et COAST-HF mais aussi pour renforcer le lien avec la communauté modélisation et les nouveaux outils de « machine learning » (ex. CANYON-MED). Dans l'IR ILICO, le SNO MOOSE intervient dans le Comité des Services d'Observation et des Parties Prenantes pour aider à définir et faire évoluer les produits et services de l'IR et il participe également à la prospective générale de l'infrastructure, notamment par son implication dans la construction de la future infrastructure européenne JERICO-RI dont l'IR ILICO représente la contribution française.

En effet, le SNO MOOSE intervient dans **JERICO-RI** depuis le début avec les projets FP7 JERICO (2011-2015), puis H2020 JERICO-NEXT (2015-2019) et récemment JERICO-S3 (2020-2024) pour son approche intégrée à l'échelle régionale. Ceci rentre en parfaite adéquation avec les objectifs de JERICO-RI qui vise à être une infrastructure de recherche intégrée paneuropéenne multidisciplinaire et multiplateforme dédiée à l'évaluation holistique des changements du système

marin côtier. De ce fait, le concept de MOOSE a servi d'exemple pour les partenaires européens qui souhaitent mettre en place un système équivalent à l'échelle régionale (ex. CNR-ISMAR dans le Golfe de Gênes, SYKE dans le Golfe de Finlande...). Dans le dernier volet de JERICO (JERICO-S3), le SNO MOOSE (en lien avec les SNO COAST-HF et SOMLIT) a coordonné le super-site pilote en Méditerranée nord-occidentale avec ses partenaires espagnols (SOCIB) et italiens (CNR) pour démontrer la plus-value d'une observation régionale transnationale autour des questions clés comme : 1) le transport des masses d'eau via la circulation du Courant Nord, 2) l'évolution des produits autour de la biogéochimie en couplant modélisation physique-biogéochimique et réseau de neurones pour améliorer les flux air-mer de CO₂, 3) l'intégration des observations au niveau des fleuves afin de mieux appréhender les événements extrêmes (lien avec l'IR DANUBIUS) et 4) comment l'apport des expérimentations en milieu contrôlé (lien avec le projet AQUACOSM) pouvait améliorer les études de processus autour du phytoplancton face aux forçages externes subis en Méditerranée (ex. augmentation de la température et du CO₂ atmosphérique). Dans sa stratégie ESFRI et son plan d'implémentation, le concept de régionalisation des observations intégrées est un point fort de JERICO-RI et le SNO MOOSE sera un acteur majeur en Méditerranée nord-occidentale.

La coopération entre le SNO MOOSE et les SNO SOMLIT et COAST-HF s'effectue par le biais de l'adoption de protocoles de mesure communs, en particulier ceux établis par le SNO SOMLIT, étant donné que les instruments et le personnel dans les laboratoires sont souvent partagés. Pour COAST-HF, la collaboration implique le partage d'expertise sur les capteurs autonomes (température, salinité, oxygène dissous, pH) ainsi que sur les méthodes de traitement et de correction des données. Dans la région Méditerranée Nord-Ouest, cela revêt une importance particulière car les sites côtiers jouent un rôle de référence essentiel pour les approches en zone côtière et en haute mer.

De par son concept (réseau intégré et multidisciplinaire à l'échelle régionale), le SNO MOOSE est impliqué actuellement dans deux PPR Océan & Climat du défi 6 (**RIOMAR et FUTURE-OBS**) comme support aux observations hydrodynamiques et biogéochimiques sur le plateau du Golfe du Lion sous influence des apports du Rhône (actions WP8) et aux observations biologiques innovantes autour de la génomique environnementale et l'imagerie in situ pour la biodiversité. La fourniture des observations long terme par le SNO MOOSE, ses moyens logistiques (navires, plateformes autonomes) ainsi que son expertise dans les observations intégrées sont des éléments clés sur lesquels s'appuient ces deux PPR pour mener à bien leurs actions en Méditerranée nord-occidentale. En parallèle, les réflexions menées dans ces deux PPR autour des observations côtières et augmentées (mesures automatisées et apport des outils génomiques) en lien avec les décideurs et les gestionnaires de l'environnement (OFB) pourront être sources de propositions pour faire évoluer le SNO MOOSE d'ici les 5 prochaines années.

En Méditerranée nord-occidentale, le SNO MOOSE s'appuie également sur l'IR **EMSO-France** (contribution française à l'ERIC EMSO) pour sa composante eulérienne et notamment pour la fourniture des données issues des mouillages profonds DYFAMED, LION et ALBATROSS. Ces données haute-fréquence couvrent toute la colonne d'eau de la surface au fond et elles apportent des informations essentielles sur le suivi long terme des propriétés hydrodynamique (T, S, courant) et biogéochimiques (O₂) des masses d'eau (eaux intermédiaires et profondes) ainsi que l'export de carbone organique particulaire (POC) élément clé dans les études sur la pompe biologique de carbone. En contrepartie, le SNO MOOSE apporte : 1) la dimension basse fréquence avec les visites mensuelles aux sites DYFAMED et ANTARES (proche d'ALBATROSS) et son lot de variables biogéochimiques et biologiques mesurées sur les navires de façade (et non acquises par les mouillages) et la dimension lagrangienne avec les planeurs sous-marins (Nice-Calvi et Marseille-Minorque) et les radars-HF. Cette approche combinée permet ainsi d'avoir une vision complète et intégrée de l'évolution des écosystèmes marins dans la région en allant de la physique à la biologie. Cette coopération entre le SNO MOOSE et l'IR EMSO-France se traduit aussi par une coopération logistique puisque les mouillages DYFAMED et LION sont maintenus lors des campagnes MOOSE_GE avec des équipes mutualisées.

Une collaboration plus récente a été lancée au sein du SNO MOOSE, en particulier avec les acteurs du WP2, dans le but de redynamiser et de mieux valoriser les données du système des carbonates à l'échelle nationale (SNO COOL) et européenne (ICOS). Les méthodes de mesure, de traitement et de correction, ainsi que la bancarisation des données AT-CT-pH issues des campagnes mensuelles et annuelles, ainsi que des observations en point fixe (pCO₂ et pH sur le site DYFAMED), permettent au SNO MOOSE de démontrer son expertise dans divers outils et de jouer un rôle moteur au sein de la communauté nationale, notamment par sa participation au CES CO₂. Ces données sont également présentées chaque année lors des conférences ICOS, contribuant ainsi à la reconnaissance de ce type de mesure en Méditerranée Nord-Ouest. En outre, le SNO MOOSE joue un rôle majeur dans le projet HORIZON GEORGE (2023-2027), coordonné par l'ERIC ICOS, visant à intégrer et upgrader les plateformes autonomes, notamment les planeurs sous-marins français,

avec pour objectif d'améliorer les mesures de pCO₂ marin et de vitesse de vents par mesure acoustique afin d'améliorer les flux air-mer de CO₂, données essentielles pour ICOS.

D'un point de vue logistique, le SNO MOOSE s'appuie sur l'IR* de la FOF pour les demandes des campagnes mensuelles (CNFC) et annuelle (CNFH). Actuellement, le SNO MOOSE participe au GT de la FOF sur les gestions des données des campagnes en mer, en tant que fournisseur de données océanographiques issues des campagnes d'observations et fait profiter de son expertise pour le traitement des données en lien avec les centres nationaux (SISMER et CORIOLIS). Au niveau des données, le SNO MOOSE coopère étroitement avec l'IR **DATATERRA** et plus particulièrement avec le pôle ODATIS puisqu'il coanime deux CES (Comité d'Expertise Scientifique) autour des données d'O₂ et du CO₂ marin (cf. section B5)

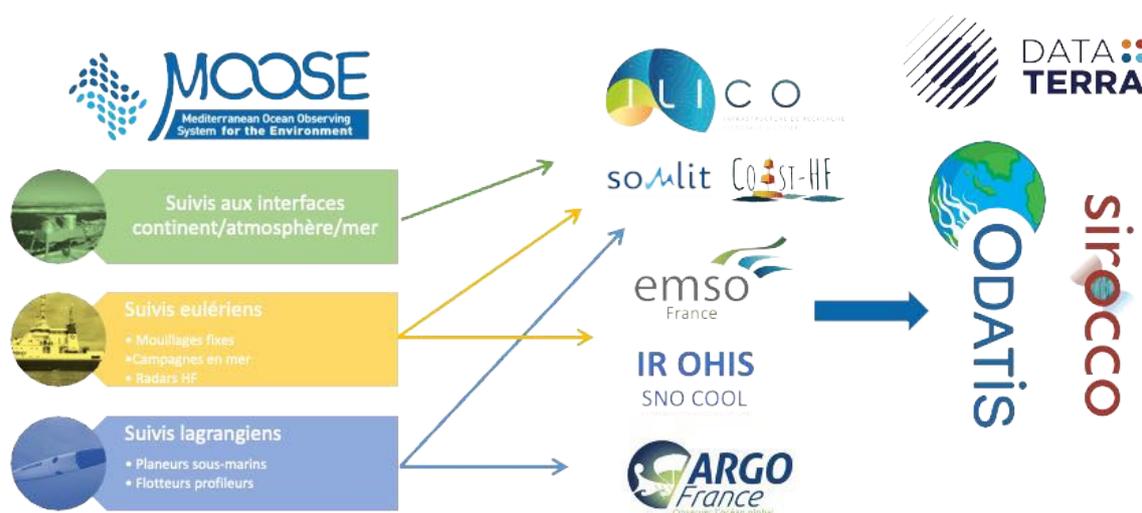


Figure 9: Positionnement du SNO MOOSE au sein du paysage national des infrastructures

B4. Protocoles de mesure

Le SNO MOOSE s'est dans un premier temps attaché à assurer l'acquisition de manière pérenne des variables océaniques essentielles nécessaires pour remplir les objectifs des WP et pouvant être utilisés pour la mise en place des descripteurs du milieu marin notamment ceux pour l'eutrophisation et la biodiversité (OFB, contact D.Vincent). Le SNO MOOSE s'est donc appuyé sur des techniques et procédures éprouvées en s'attachant : 1) à ce qu'elles soient appliquées de manière homogène sur l'ensemble des sites et par l'ensemble des partenaires, 2) en favorisant les analyses mutualisées, 3) en préparant des protocoles communs de collecte et d'analyses. Le SNO MOOSE fait également appel à des Services Nationaux d'Analyses (SNA) appliquant des procédures de contrôle qualité (ex. SAPIGH pour les pigments, SNAPCO2 pour le CO₂). La validation des données du SNO MOOSE se fait en premier par les scientifiques responsables des sites et/ou plateformes qui se conforment aux protocoles d'analyses reconnus internationalement (standards, exercices d'intercalibration, comparaison avec les longues séries climatiques) et au niveau des centres de données nationaux (SISMER, CORIOLIS) qui assurent un contrôle systématique des données avant l'archivage (données aberrantes, douteuses, ...). Ceci permet par la suite d'attribuer un code qualité à chaque jeu de données (code WOCE pour la plupart des cas).

Les protocoles définis pour les données acquises dans le cadre de MOOSE concernent :

1. Fleuves et dépôts atmosphériques : protocole unique de collecte et d'analyse mutualisée pour la composition en éléments biogènes (C/N/P/Si) par la plateforme d'Analyse des Paramètres de Base (PAPB) du MIO, et les métaux par la plateforme du CEFREM (utilisation systématique de standards certifiés CNRC SLRS-6, NIST 1646a par exemple).
2. Oxygène dissous (discret) : les mesures sont réalisées par la méthode de Winkler dont la justesse est assurée par l'utilisation de matériaux de référence (KIO₃ certifié). La méthode Winkler a fait l'objet d'une intercomparaison entre divers laboratoires nationaux « experts » dans la mesure Winkler (projet GMMC Winklex, L.Coppola & T.Wagener).
3. Les mesures de sels nutritifs collectées lors des campagnes mensuelles et MOOSE-GE sont réalisées dans les OSUs PYTHEAS et STAMAR par les équipes techniques par ailleurs impliquées dans le SNO SOMLIT. L'articulation MOOSE-SOMLIT est à ce niveau indispensable puisque cela permet la mutualisation de moyens (personnel et équipements

analytiques) et une harmonisation des mesures pour la prise en compte du continuum côte-large. La validation des procédures analytiques est réalisée par la participation à des exercices d'intercalibration (EIL de l'IFREMER, intercalibration internationale)

4. Pigments chlorophylliens : technique HPLC dont les analyses sont assurées par le service national SAPIGH
5. DIC et alcalinité totale : analyses assurées par le service national SNAPO-CO₂. La justesse des mesures est assurée par l'utilisation de matériaux de référence fournis par le laboratoire de Andrew Dickson (SIO-UCSD, San Diego, USA)
6. pH (sur l'échelle totale - pHT): les mesures de pHT par spectrophotométrie sont réalisées dans les OSUs PYTHEAS et STAMAR avec le protocole SOMLIT par les équipes techniques par ailleurs impliquées dans le SNO SOMLIT. Les mesures sont réalisées avec du pourpre de métacrésol purifié et la justesse est assurée par l'utilisation de matériaux de référence (solution tampon TRIS de SIO-UCSD ou LNE).
7. Carbone organique dissous (DOC) : les analyses se font par combustion à haute température (HTCO) sur analyseur Shimadzu TOC-L (M.Pujo-Pay, LOMIC). Des échantillons de référence (CRM) sont utilisés pour garantir la fiabilité des résultats et les comparer à ceux de la communauté internationale.
8. Température, salinité et O₂ (capteurs autonomes) : les données récoltées lors de ses campagnes bénéficient d'une pré et post calibration des capteurs CT et DO et elles sont utilisées comme points de référence pour l'ensemble des observations réalisées à partir des mouillages, gliders et de flotteurs profileurs. La maintenance annuelle des mouillages est assurée de façon mutualisée avec les équipes MOOSE et EMSO-France. La maintenance inclut une calibration uniforme de l'ensemble des capteurs lors de leur récupération et de leur remise à l'eau via des profils CTD communs (capteurs bathysonde et capteurs mouillages). Après un travail d'ajustement des données T, S et O₂, elles permettent de qualifier les variations à l'échelle du bassin avec une bonne précision (0.001 °C, 0.005 g/kg, Houpert et al., 2016 ; 2 µmol/kg, Coppola et al., 2018). Ce protocole de mesures a fait l'objet d'un rapport sur les bonnes pratiques pour les mesures eulériennes décrit par Coppola et al. (2016) et publié par Pearlman et al. (2019)
9. Les gliders dans le SNO MOOSE constituent la contribution française à OceanGliders, programme associé du GOOS depuis 2016. Le traitement et le contrôle qualité (temps réel/différé) des données sont réalisés suivant des bonnes pratiques élaborées par la communauté OceanGliders (Testor et al., 2022)
10. Le suivi des variables biologiques à l'aide d'instruments d'imagerie quantitative se font à l'aide de multiples instruments (UVP, Zooscan, Flowcam, et maintenant planktoscope) et suivent les procédures établies par la plateforme d'imagerie quantitative de Villefranche/Mer (plateforme labellisée EMBRC) et dont les protocoles sont disponibles ici <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.bp2l6bq3zgqe/v3>.
11. Pour le suivi de l'ADN environnemental, les échantillons des filets sont passés sur des filtres de 10 µm de porosité puis congelés dans l'azote liquide. Pour la collecte d'eau de mer à l'aide de bouteille Niskin, 3 profondeurs sont échantillonnées (surface, max de chlorophylle et profond > 2000m). Après pré-filtration sur 180 µm, ces échantillons sont successivement filtrés sur des mailles de 3 µm puis 0,2 µm pour le suivi des espèces planctoniques (méta-barcoding et méta-génomique). Ces filtres sont ensuite conservés dans l'azote liquide jusqu'à l'acquisition des données. Les protocoles d'extractions de matériel génétique et de construction de bibliothèques suivent les standards établis dans les initiatives internationales (e.g. TaraOceans, EMO-BON). Enfin, l'acquisition des données brutes de méta-barcoding est réalisée par intermédiaire d'une prestation de séquençage de la société FASTERIS.

B5. Archivage des données et leur mise à disposition

Les principales caractéristiques du SNO MOOSE sont une grande diversité de plateformes (navires, mouillages instrumentés, gliders, flotteurs profileurs ...), d'instruments (CTD, courantomètres, ADCP, radars HF, pièges à particules, stations météo, capteurs bio-optiques et biogéochimiques, profileur caméra, ...) et de types de données : continentales (fleuves, atmosphère) et marines (physiques, chimiques et biologiques) obtenues sous forme de profils verticaux (continus) et de séries chronologiques (discrètes). La fréquence d'acquisition des données varie en fonction des plateformes et des variables mesurées : de quelques minutes à horaire pour les capteurs autonomes et les plateformes instrumentées en mer, quotidienne pour les apports fluviaux, bimensuelle pour les dépôts atmosphériques et enfin de mensuelle à annuelle pour les échantillons collectés en mer (tableau 1).

Type de données	Plateformes	CORIOLIS	SISMER	SEDOO	SEANOE (landing page)	DOI
MOOSE_GE	Bateau	X	X			10.18142/235
MOOSE_DYFAMED	Bateau		X			10.18142/131
MOOSE_ANTARES	Bateau		X			10.18142/233
MOOSE_MOLA	Bateau		X			10.18142/234
PLANIER	Mouillage	X			X	10.17882/45980
LACAZE-DUTHIERS	Mouillage	X			X	10.17882/45980
Site JULIO	Mouillage					10.17882/91036
CAP BEAR	Atmosphère			X		10.6096/MOOSE.780
FRIOUL	Atmosphère		X			10.6096/MOOSE.779
CAP FERRAT	Atmosphère			X		10.6096/MOOSE.762
RHONE	Fleuves			X		10.6096/MISTRALS-MOOSE.767
LA TET	Fleuves			X		10.6096/mistrals-moose.1211
MOOSE_T00	Planeur	X			X	10.17882/52027
MOOSE_T02	Planeur	X			X	10.17882/52027
RADAR-Toulon	Radar HF				X	10.17882/56500
RADAR-Nice	Radar HF				X	en cours

Tableau 4: Liste des catégories de données par type de plateforme du SNO MOOSE disponibles sur CORIOLIS, SISMER, SEDOO et SEANOE avec les DOI respectifs

Le flux de données produites en temps réel ou en temps différé est ainsi considérable et sa gestion représente un véritable défi pour le système d'observation en termes de contrôle qualité (QC), de mise en forme, d'archivage et d'intégration dans les bases de données. Le SNO MOOSE s'inscrivant dans un contexte national (avec les IR en lien avec ODATIS), européen (avec les ERIC) et international d'effort d'observation (EUROGOOS et GOOS), la composante "donnée" s'inscrit naturellement dans les standards internationaux préconisés à ce niveau (EMODNET). Cela permet d'assurer une plus grande interopérabilité entre les bases de données, une large diffusion et en conséquence une meilleure valorisation scientifique de ces observations. Cette interopérabilité est primordiale tant au niveau organisationnel de MOOSE (mise en commun de données « multi-sites ») qu'au niveau européen et international (reconnaissance et potentiel accru de collaborations). Les protocoles existants (procédures de contrôle qualité, description de formats, normes d'interopérabilité) ayant déjà fait l'objet d'un consensus (projets internationaux ou européens, normes d'interopérabilité), ils ont été adoptés pour le réseau MOOSE.

Pour le traitement et l'archivage des données du SNO MOOSE, l'équipe s'appuie sur l'effort des centres de données nationaux et du pôle de données ODATIS de l'IR DATATERRA. En particulier :

- Les données "temps réel" (RT) sont transmises directement au «Global Data Assembly Center» (GDAC) CORIOLIS pour les besoins de l'océanographie opérationnelle. Cela concerne aujourd'hui les profils de température, salinité et oxygène collectés par les navires lors des campagnes MOOSE-GE, ainsi que ceux des plateformes mobiles autonomes (gliders et flotteurs profileurs). Les données sont transmises dans un court délai (< 6h), et sont ensuite traitées par les procédures QC et stockage standard au traitement en temps réel propre à Coriolis
- Les données "temps différé" (DM) nécessitent une analyse d'échantillons, un traitement après récupération d'un capteur (mouillage, bathysonde), mais cela concerne aussi les données physiques "temps réel" faisant l'objet de post-calibration finale. Les traitements peuvent prendre de quelques semaines à plusieurs mois et jusqu'à plus d'un an pour les mesures réalisées sur les mouillages. Elles sont transmises après contrôle qualité (QC niveau 1) et validation au centre gestionnaire des données SISMER pour les campagnes en mer et à Coriolis pour les données de mouillage (OceanSites)
- Les données aux interfaces (atmosphères et fleuves) sont quant à elles archivées sur le portail du SEDOO (OMP) après traitement et formatage par les équipes dédiées (principalement CEFREM et MIO).
- Divers ensembles de données, tels que ceux provenant de radars-HF, ADCP, pigments chlorophylliens (HPLC), de planeurs sous-marins, des séries de mouillages sont également accessibles sur SEANOE. Cela offre plusieurs avantages : 1) la consultation des informations détaillées sur la série et le programme (metadata), 2) l'attribution rapide d'un DOI, 3) la mise à disposition rapide des données dans plusieurs formats, avec la possibilité de les mettre à jour ultérieurement, et 4) la création automatique d'une liste d'articles utilisant ou se référant à ces ensembles de données. Ce type de dépôt de données est également précieux pour mettre à disposition des compilations révisées de jeux de données des années antérieures (ex. la série de données bouteilles à DYFAMED en biogéochimie). Pour certaines séries

(pigments, ADCP), le dépôt sur SEANOE permet d'accéder à ces données particulières qui ne sont pas archivées par le SISMER bien que provenant des campagnes en mer (données non standard SISMER):

- Dimier Céline, Ras Joséphine, Claustre Hervé, Uitz Julia (2024). MOOSE_GE cruises: phytoplankton pigments. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/99865>
- Bosse Anthony, Bretel Patrice, Le Goff Hervé, Testor Pierre (2024). MOOSE-GE cruises: lowered and ship ADCP data. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/99825>

Dans ce contexte, le SNO MOOSE participe activement à deux Comités d'Expert Scientifique (CES) du pôle ODATIS pour les données O₂ et CO₂ marin. Son expertise dans le traitement et la diffusion des données lui a permis de jouer un rôle central dans la diffusion de bonnes pratiques, notamment celles concernant la gestion des données mouillages (Coppola et al., 2019) et gliders (Testor et al., 2022).

Pour les données d'imagerie, elles sont traitées (tri taxonomique) et stockées sur l'application web ECOTAXA (Picheral, 2017) qui permet par la suite une diffusion des données sur les agrégateurs de données EDMONET et OBIS. L'efficacité du traitement est en partie assurée par l'apprentissage automatique : les utilisateurs peuvent former des modèles basés sur les identifications précédentes dans la base de données pour suggérer des étiquettes pour les images nouvellement téléchargées. En combinant des extracteurs de caractéristiques d'apprentissage profond, un classificateur à formation rapide et suffisamment de flexibilité pour former des modèles adaptés à la tâche à accomplir, EcoTaxa atteint des performances de classification similaires à celles des réseaux d'apprentissage profond de pointe, tout en étant utilisable en quelques minutes par des taxonomistes n'ayant aucune connaissance en informatique. En ce qui concerne la génomique environnementale, les données brutes sont déposées dans la base de données ENA (European Nucleotide Archive) puis intégrées dans le serveur « The Ocean Barcode Atlas » (OBA ; Vernet et al. 2021) avec les données environnementales (physiques et chimiques) associées. En coordination avec les différentes initiatives nationales (FUTURE-OBS) et Européennes (EMO-BON), un pipeline pour le traitement des données de séquençage (méta-barcode) a été réalisé dans un souci de reproductibilité des analyses pour le traitement des échantillons des prochaines années ainsi que pour l'interopérabilité des différents types de données de diversité (séquences et images).

B6. Diffusion et rayonnement scientifique

Au niveau national, le SNO MOOSE contribue activement à la valorisation scientifique d'ILICO en tant que brique de base de l'IR pour l'aspect régionalisation en Méditerranée nord-occidentale et son approche multi-plateformes. En outre, il participe indirectement aux résultats scientifiques des IR EMSO-France et EURO-ARGO pour son côté intégratif et multidisciplinaire (données de références, approche spatialisée...). Récemment il est impliqué dans les deux PPR **RIOMAR** et **FUTURE-OBS**. Actuellement le SNO MOOSE recense 55 articles avec les acteurs, 59 avec les utilisateurs et 30 thèses depuis 2010 (acteurs et utilisateurs). **Les principaux utilisateurs des données MOOSE sont les laboratoires partenaires : LOCEAN, LOV, MIO, CEFREM, LOMIC et ceux ayant rejoint le réseau pour des projets de recherche (LOPS, CNRM, LEGOS, SHOM) ou pour des actions ayant la volonté de perdurer dans le SNO MOOSE (principalement AD2M de SBR).**

Le SNO MOOSE a établi depuis plusieurs années de bonnes relations avec l'**Office Français de la Biodiversité (OFB)**. L'OFB s'intéresse en particulier à l'évaluation, au suivi et à la gestion de la biodiversité par le biais des composantes relatives aux « habitats pélagiques », aux « oiseaux marins » et aux « mammifères marins et tortues marines » et à l'étude des pressions (eutrophisation, déchets) au titre de diverses directives européennes (DCE, DCSMM), conventions de mers régionales (OSPAR, Barcelone), et au titre de la gestion d'espaces protégés. Au regard des programmes de surveillance « Habitats pélagiques » et « Eutrophisation » de la DCSMM, les besoins d'acquisition de données au large, relatives à l'hydrodynamisme et l'hydrologie, à la physico-chimie, au phytoplancton et au zooplancton sont totalement couverts par les stratégies d'échantillonnages et d'analyses déployées dans le cadre du SNO MOOSE. En outre, la campagne MOOSE-GE constitue un dispositif de suivi au large permettant depuis 2019, une mise en œuvre du protocole de distance sampling (MEGASCOPE) dédié à évaluer la variabilité spatiale et interannuelle de la mégafaune marine et des déchets flottants. Cette action d'acquisition de données à échelle pérenne est totalement opérationnelle pour répondre aux besoins de la DCSMM et a de fait, intégré les programmes de surveillance 2nd cycle (2021-2026) « Mammifères marins et tortues marines », « oiseaux marins » et « Déchets marins ». **Acquérir ce type de données à fréquence annuelle en région marine Méditerranée occidentale est fondamental dès lors qu'elles alimenteront les prochaines évaluations du Bon État Écologique de la DCSMM (2030).**

Au niveau international, les données du SNO MOOSE contribuent à l'observation du système Méditerranéen comme le SOCIB (Espagne) et POSEIDON (HCMR, Grèce) et à la dynamique autour des projets européens comme **JERICO-S3 & JERICO-DS (IFREMER), GROOM II, GEORGE (ICOS)** ou les programmes globaux du GOOS comme OceanGliders, GO-SHIP (avec les campagnes MedShip) via la fourniture de ses données aux bases de données intégratives comme EDMONET et COPERNICUS via les GDAC nationaux (CORIOLIS, SISMER, SEDOO). Récemment, les données des campagnes MOOSE_GE ont contribué aux dernières versions du produit Global Ocean Data Analysis Project (GLODAP) et sa version CARIMED pour la Méditerranée (M.Alvarez, IEO). Également, les données du site MOOSE-DYFAMED ont été utilisées pour établir un produit sur le suivi long terme de variables biogéochimiques à l'échelle globale du Synthesis Product for Ocean Time Series (SPOTS) (Lange et al., 2024).

Statut pour les remerciements :

Le SNO MOOSE s'appuie sur l'attribution des DOI et les alertes par mots clés sur Google Scholar (en collaboration avec SEANOE) pour référencer de manière automatique les publications utilisant les données du SNO. Les co-auteurs du SNO sont associés aux articles lorsqu'ils sont partie prenante dans la rédaction et/ou le traitement des jeux de données (corrigés ou ré-analysés). Dans le cas contraire, le SNO MOOSE (avec l'IR ILICO) est remercié avec la phrase suivante : « We acknowledge the MOOSE program (Mediterranean Ocean Observing System for the Environment) funded by CNRS-INSU and the Research Infrastructure ILICO (CNRS-IFREMER) ».

Liens avec la modélisation

Le SNO MOOSE a depuis longtemps un lien fort avec le **Code Communautaire SIROCCO**, notamment pour les produits issus du modèle couplé SYMPHONIE ECO3M-S. Les données du réseau MOOSE sont très utiles à la fois parce qu'elles couvrent plusieurs sections nord-sud du bassin, un maillage méso-échelle annuel et des séries HF en point fixe qui couvrent toute la colonne d'eau. Ces données ont notamment permis de valider et améliorer les simulations du contenu en O₂ dissous et de simuler le budget annuel et saisonnier du carbone inorganique dissous (DIC) pendant la période 2012 et 2013 (Ulses et al., 2021, 2023). A l'avenir nous prévoyons, d'améliorer les produits de simulations développés et validés grâce aux données du SNO MOOSE notamment dans le but de : 1) fournir des simulations annuelles et saisonnières de la MLD, SST, O₂ dissous et flux air-mer de CO₂, 2) extraire en un point géolocalisé des séries temporelles de température, salinité, O₂, DIC dans les eaux intermédiaires et profondes qui viendront compléter des observations in situ mensuelles et/ou des séries de données discontinues, 3) proposer avec le CC SIROCCO des produits à valeur ajoutée comme les indicateurs annuels de vague de chaleur incluant par exemple la surface impactée et la profondeur de la colonne d'eau affectée par les vagues de chaleur.

En outre, les données du SNO MOOSE sont utilisées pour le développement et la validation des modèles climatologique du CNRM de **Météo France** et sur les études d'impact du changement climatique sur le système Méditerranéen (Samuel Somot, Cindy Lebeau-pin-Brossier, Thibaut Guinaldo). MOOSE participe également aux ateliers du groupe SIMED (organisé par Météo France) en tant que composante d'observation *in situ* du bassin Méditerranéen NO et pour la mise à disposition des séries de données utilisées pour les études sur le couplage océan-atmosphère et les changements hydrodynamiques du bassin (ex. augmentation du contenu thermique et halin de la LIW, affaiblissement de l'intensité des épisodes de convection profonde, anomalies des données SST en été et en automne, ...). Enfin, le réseau MOOSE participe depuis deux ans à l'atelier "INTEGRATION" sur les vagues de chaleur, atelier financé par l'IR ILICO et l'OFB et qui regroupe une bonne partie de la communauté des modélisateurs.

B7. Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Actuellement, le SNO MOOSE compte **58 personnes** (en incluant les équipes AD2M et MIO pour la génomique) ce qui représente **139 HM par an (liste RH en annexe 2)**. Deux catégories de tâches de services axées sur les données physiques et biogéochimiques sont assurées par deux CNAP (physicien adjoint, A.Bosse et physicien, L.Coppola) respectivement. La coordination du SNO MOOSE est assurée par le CNAP Physicien avec l'OSU STAMAR comme unité coordinatrice. La grande majorité du personnel est composée à 33% d'IE puis 17% AI et 12% IR. **Ce personnel est composé à 64% de personnel CNRS** (et 36% universitaires en incluant les deux CNAP)

COORDINATION SNO MOOSE L.Coppola				
Thématiques/Plateformes	WP1 Circulation méso-échelle	WP2 Cycles biogéochimiques	WP3 Biodiversité	WP4 Apports aux interfaces
Animateurs scientifiques	A.Bosse, P. Testor, B. Zakardjan	T.Wagener, P.Conan, L.Coppola	F.Lombard, M.Lescot	W.Ludwig, D.Aubert
Site DYFAMED (STAMAR)	x	x	x	
Site ANTARES (M.I.O.)	x	x	x	
Site MOLA (STAMAR)	x	x	x	
Mouillage Planier (CEFREM)	x	x		
Mouillage Lacaze-Duthiers (CEFREM)	x	x		
Site JULIO	x			
Campagne MOOSE-GE	x	x	x	
Planeurs (M.I.O., STAMAR)	x	x		
Radars (M.I.O.)	x			
Station Rhône (M.I.O.)	CNAP PYTHEAS			x
Station Têt (CEFREM)	harmonisation variables physique, procédures QC, temps différé données gliders		CNAP STAMAR	x
Station Frioul (M.I.O.)			distribution spatio-temporelles des éléments biogéochimiques, intégration capteurs BGC	x
Station Cap Ferrat (STAMAR)				x
Station Cap Béar (CEFREM)				x

Tableau 5 : Organigramme du SNO MOOSE 2025-2029

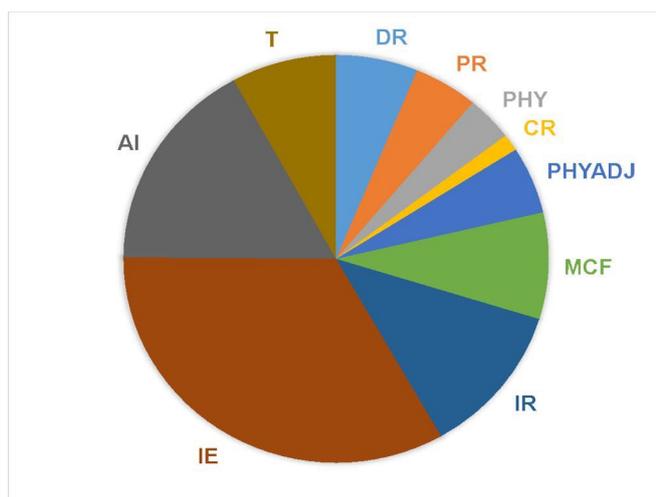


Figure 10 : Répartition des corps & grades du personnel participant au SNO MOOSE (chiffres 2024) incluant le personnel du CNRS & des Universités

B8. Gouvernance

Le comité scientifique se réunit une à deux fois par an (Fig. 11). Il a pour vocation de : 1) faire un bilan des activités, 2) réfléchir au positionnement stratégique du SNO MOOSE dans les IR et les projets de recherche, 3) faire remonter les soucis RH et de budget. Il est composé des responsables des thématiques scientifiques, des sites et opérations (boîtes vertes), de la coordination et des invités permanents dont l'OFB et les coordinations d'IR directement liées au SNO MOOSE (ILICO et EMSO-France). Suivant les thèmes abordés, des invités pourront se joindre à ce comité tel que la FOF et l'IR ICOS-France (lien avec le SNO COOL). La coordination du SNO MOOSE intervient aussi régulièrement au travers du Comité des Services d'Observations et du Comité des Services Labellisés de l'IR ILICO (CSO/CSL) qui se réunissent deux fois par an. Elle participe également à l'AG de l'IR ILICO et peut-être force de proposition pour organiser des événements scientifiques à l'issue de l'AG (ex. atelier observation de la Méditerranée, Villefranche/Mer, Nov. 2022). Les liens avec les groupes de modélisation et de gestion de données se font, en général, annuellement lors de l'atelier SIMED et de l'AG ODATIS à laquelle MOOSE est représenté à travers la coordination des CES O₂ et CO₂ marin.

Organigramme structurel

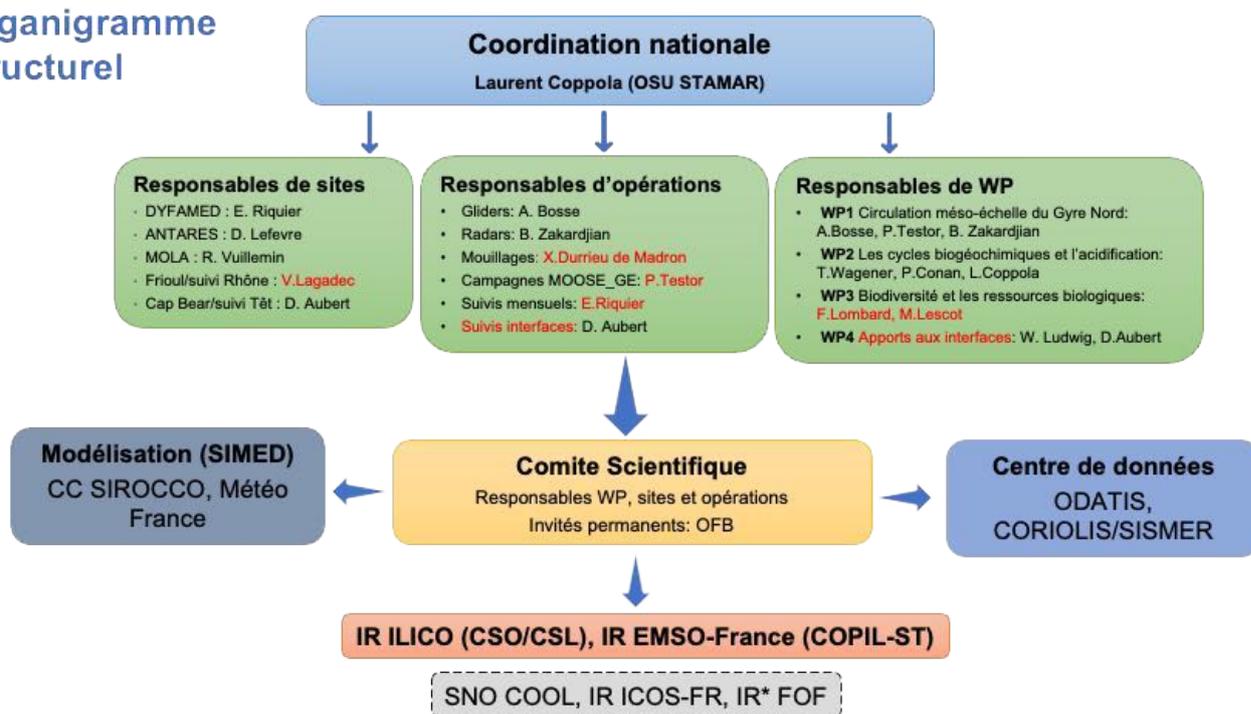


Figure 11 : Organigramme structurel du SNO MOOSE. Les notes en rouge correspondent aux changements par rapport au dossier précédent

B9. Budget

Ressources récurrentes sur 2019-2023 (k€)

Origine	2019	2020	2021	2022	2023	Commentaires
CNRS-INSU	90	117	117	118	118	
SOERE (ILICO)	55	40	40	39	37	
AERMC	15	0	0	0	0	Apports du Rhône
Total	160	157	157	157	155	

Ressources occasionnelles sur 2019-2023 (k€)

Origine	2019	2020	2021	2022	2023	Période	Commentaires
EUROSEA (H2020)			30	10	10	2019-2023	Capteurs, missions
JERICO-S3 (H2020)		10	20	20	10	2020-2024	Missions, maintenance
Total		10	50	30	20		

Dépenses récurrentes sur 2019-2023 (k€, chiffres moyens)

Opérations	Nature du budget	Montant	INSU	SOERE
Atmosphère	Mission sur site, entretien des équipements, traitement des échantillons	8	8	
Fleuves	Mission sur site, entretien des équipements, traitement des échantillons	5	5	
Radars HF	Mission sur site, entretien des équipements	5	5	

Mouillages	Maintenance des équipements	5	5	
Gliders	Ticket modérateur + prestations ALSEAMAR	70	30	40
Campagnes mensuelles	Calibration des capteurs, maintenance bathysonde	15	15	
Campagne annuelle	Missions, transports, maintenance des équipements en commun	20	20	
Analyses communes	Échantillons métaux, nutriments, pièges (CEFREM)	15	15	
Analyses SNA	Analyses AT-CT (SNAPCO), pigments (SAPIGH)	10	10	
Analyses imagerie	Analyses ZooScan, maintenance UVP	5	5	
Total		158	118	40

Demandes de soutien 2025-2029 (k€) : en rouge les coûts supplémentaires demandés

Opérations	Nature du budget	Montant	INSU	SOERE	Commentaires
Atmosphère	Mission sur site, entretien des équipements, traitement des échantillons	8	8		
Fleuves	Mission sur site, entretien des équipements, traitement des échantillons	5	5		
Radars HF	Mission sur site, entretien des équipements	5	5		
Mouillages	Maintenance des équipements	7	7		Maintenance JULIO (2 k€)
Gliders	Ticket internes (2 x 5 mois x 6.2k€)	62	25	37	
Campagnes mensuelles	Calibration des capteurs, maintenance bathysonde	15	15		
Campagne annuelle	Missions, transports, maintenance des équipements en commun	20	20		
Analyses communes	Échantillons métaux, nutriments, pièges (CEFREM)	15	15		
Analyses SNA	Analyses AT-CT (SNAPCO), pigments (SAPIGH)	10	10		
Analyses imagerie	Analyses ZooScan, maintenance UVP	5	5		
Analyses génomique	Analyses métabarcode	7	7		
Analyses pH & DOC	Analyses spectrophotométrie	6	6		
Total		163	126	37	

Ressources occasionnelles : pour les analyses génomiques il y aura un soutien pendant deux ans de FutureObs (25 k€) pour analyser le metaB et metaG (au-delà des paramètres proposés dans MOOSE).

B10. Formation, communication, diffusion des connaissances et impact sociétal

Le SNO MOOSE intervient dans la formation des étudiants au cours des campagnes MOOSE-GE. Ces campagnes permettent d'embarquer des étudiants du M2 du master OACOS de Sorbonne Université (cohabilité ENSTA-Paristech, Polytechnique, ENS, ENPC) pour leur unité d'enseignement en méthode d'observation de l'océan portée par l'ENSTA-

Paristech. Le caractère récurrent des campagnes MOOSE-GE, programmées en général pendant le 2ème trimestre de l'année académique, a permis à ce module de fonctionner avec succès, passant en 2010 de 50 jours étudiant pour 10 étudiants sur le Téthys II à 240 jours étudiant pour 20 étudiants sur l'Atalante/Thalassa aujourd'hui. Quelques étudiants des masters M2 SdM (SU et AMU) et de M1 de l'ENSTA-Paristech ou de l'ENS participent également à cette unité d'enseignement depuis 2015. Un total de 115 étudiants a participé aux campagnes MOOSE-GE, totalisant 820 jours d'embarquement, soit plus d'une semaine en moyenne de vie en mer pour ces étudiants. Ces étudiants réalisent un travail à bord avec les données acquises pendant la campagne et des données historiques, dans la continuité des travaux dirigés de l'unité d'enseignement. Ils présentent ce travail sous forme de poster ou présentation devant tout l'équipage scientifique en fin de leg. Ils participent bien sûr aux quarts CTD et aux analyses faites à bord et assistent aux séminaires scientifiques journaliers présentés par les chercheurs, voire également par eux-mêmes. Ce travail est pris en compte pour l'évaluation finale de leur unité d'enseignement. Un site web, miroir du site à terre, a été mis en place à bord pour accompagner leur travail ainsi qu'un journal de bord bilingue français/anglais synchronisé quotidiennement à terre qui leur permet d'expliquer et partager leurs découvertes de la vie à bord et des mesures scientifiques de la campagne. Quelques étudiants embarquent dans le cadre de leur stage de Master et leur travail à bord fait partie intégrante de leur stage. Ils présentent leur travail lors d'un séminaire.

Le SNO MOOSE contribue également aux programmes de formation d'autres masters. Ceci peut se faire à travers l'utilisation des données pour illustrer des cas concrets d'océanographie physique et de biogéochimie en mer Méditerranée dans le cadre de cours magistraux. Mais ceci se fait également par le biais de la mise à disposition des données MOOSE dans le cadre de TD et TP permettant aux étudiants de manipuler les jeux de données à travers par exemple le développement de script permettant de visualiser et interpréter les données. Ces compétences acquises sont souvent ré-utilisées par les étudiants dans le cadre de leur stage de M2 puis au cours de leur parcours professionnel. Ceci est le cas dans certains modules de Master des Sciences de la Mer d'AMU (parcours Océanographie physique et biogéochimique), de l'Université de Toulon et de Sorbonne Université à Villefranche/Mer

B11. Difficultés rencontrées et propositions envisagées pour amélioration

Le fonctionnement des gliders et le coût élevé des tickets modérateurs proposés dans le passé par la DT INSU ont amené le SNO MOOSE à se repositionner dans le contexte national pour maintenir cette activité essentielle pour le SNO. Fort heureusement, l'attribution récente de personnel IT dans certains laboratoires et la jouvence des gliders avec une forte collaboration avec la société ALSEAMAR ont permis de redynamiser cette activité. Le SNO MOOSE reste toutefois attentif au futur du Parc d'Instruments Nationaux Gliders (PING) dont le modèle économique proposé devra permettre une jouvence régulière de cette nouvelle flotte.

La pression sur les demandes de campagnes annuelles de la CNFH pour les observations répétées est également un point d'attention. Cette activité est aussi essentielle au SNO MOOSE afin d'assurer une vision méso-échelle et pluridisciplinaire du bassin (notamment pour les échantillons biologiques) mais aussi pour assurer une bonne visibilité et une insertion dans le tissu européen et international. Le maintien de ces campagnes est essentiel pour le SNO MOOSE

Également, le départ à la retraite de certains membres du SNO MOOSE met en lumière la nécessité d'une gestion proactive des ressources humaines. Il est crucial de surveiller attentivement la transmission des savoirs et la remontée des besoins en personnel entre les différentes unités, qu'elles soient des UMR, des FR-OSU ou des IR. Le SNO MOOSE suivra de près la nouvelle politique nationale sur les missions d'observations. Dans ce contexte, le volet radar continue de subir des difficultés chroniques qui limitent fortement notre capacité à pleinement atteindre l'objectif de deux sites d'observations opérationnels (Toulon et Nice). Une première difficulté déjà soulevée dans la dernière demande de labellisation réside dans des ressources humaines limitées (1.5 ITA affecté spécifiquement HF radar au MIO-Toulon), difficulté qui coïncide maintenant avec un certain vieillissement des instruments. Ce vieillissement entraîne une multiplication de pannes qui nécessitent des interventions récurrentes sur les installations (éloignées pour le site Nice/Menton) et donc une implication forte des enseignants-chercheurs de l'équipe dans ces opérations de maintenance/entretien. Seconde difficulté, le soutien de MOOSE pour cette activité couvre principalement les frais d'occupation et d'énergie/télécom (EDF, abonnement 4G) ou de petite maintenance (onduleur, modem 4G etc.). Une large partie du financement de fonctionnement (mission) et maintenance (panne électronique, travaux sur site) de ces infrastructures est, ou a été, soutenue par des projets européens. Pour autant, le maintien du site le plus éloigné (Nice) ne pourra s'envisager sur le long terme qu'avec un soutien significatif sur l'activité radar-HF de MOOSE.

Empreinte environnementale du SNO (2 pages maximum)

La dimension environnementale de l'éthique de la recherche prend une importance croissante depuis quelques années. En cohérence avec cette évolution, les proposant-e-s sont invité-e-s à s'imprégner de l'avis [n°2022-43](#) du Comité d'éthique du CNRS (COMETS) [\[1\]](#) sur le sujet, à consulter la partie de la [prospectifive Océan-Atmosphère 2023-2027](#) dédiée (p. 104-106), à s'intéresser à la [prospectifive](#) de l'IR* Flotte Océanographique Française (FOF) s'ils font appel à cette infrastructure, et plus généralement aux nombreuses ressources produites, par ex dans le cadre du Groupement de Recherche Labos1p5 (e.g. l'outil GES1p5 pour la réalisation de bilans gaz à effet de serre, [\[2\]](#)), du bilan de GES de l'IR* FOF [\[3\]](#).

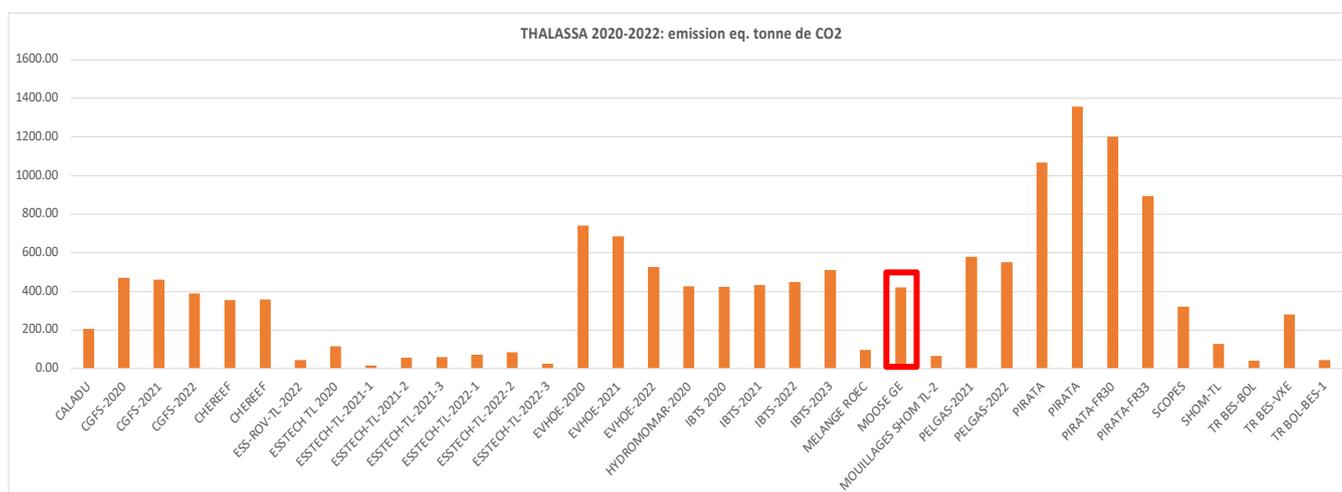
Le SNO MOOSE est un SNO distribué sur plusieurs laboratoires et OSUs (les UMR LOV, LOMIC et AD2M dans l'OSU STAMAR, le CEFREM à l'OSU OMP, le M.I.O. à l'OSU PYTHEAS et le LOCEAN à l'OSU ECCETERRA). Pour ce SNO, l'empreinte environnementale peut se résumer autour de quatre axes :

- Émission de CO₂ lors des campagnes en mer mensuelles et annuelles
- Déploiement des instruments en mer (planeurs, mouillages, flotteurs)
- Commandes et transport de matériels associés aux campagnes et aux activités dans les différents laboratoires
- Missions du personnel rattaché au SNO MOOSE (principalement échantillonnage et meetings)

Pour le premier axe, nous avons évalué l'empreinte grâce à l'outil de la FOF pour les navires de façade et hauturiers pour les années 2021 et 2022 (l'année COVID 2020 étant tronquée). Il apparaît que les émissions de CO₂ dépendent évidemment de la taille du navire, de la durée de la mission, du parcours pendant la campagne et de la vitesse de transit entre les stations (sans compter le positionnement dynamique en station qui peut consommer du carburant et émettre du CO₂ mais le chiffre n'est pas connu actuellement). Ainsi, il s'avère que pour les campagnes annuelles MOOSE_GE les émissions s'élèvent à 420 et 715 tonnes équivalent CO₂ avec le NO THALASSA et Pourquoi Pas, respectivement (Figure 1 pour l'année 2021). Comparé aux autres campagnes CNFH, ces chiffres sont relativement faibles. Cela provient du fait que : 1) le départ et le retour s'effectue depuis Toulon (optimisation des déplacements pour les embarquants qui viennent en train), 2) la zone de 162 000 km² (450x360km) est échantillonnée en 24 jours de mer, 3) le navire est en positionnement dynamique en station. A noter également que lors des campagnes, les déchets chimiques sont recyclés (HgCl₂, formol dilué).

Figure 1 : chiffres sur les consommations de gazole et d'émission de CO₂ pour les campagnes MOOSE_GE 2021 et 2022 (chiffres donnés par la FOF)

Campagne	Année	Navire	Durée (j)	Conso (t gazole)	Emission (t CO ₂ eq)
MOOSE-GE	2022	Pourquoi pas ?	25	186.02	715.42
MOOSE GE	2021	Thalassa	26	109.20	419.98



Pour les déploiements d'instruments, la plupart des équipements sont récupérés après la mission (hormis les lests en ferraille pour les mouillages qui restent au fond chaque année). Les planeurs utilisent maintenant des batteries rechargeables et il n'y a pas de déchets associés (voir dossier du PING). Pour les flotteurs Argo, le SNO MOOSE fait l'effort de récupérer plusieurs flotteurs en mer lors des campagnes annuelles (3-4 par an) en collaboration avec l'équipe opérationnelle d'Argo à Brest. Dans la plupart des cas, vu la taille du bassin, les flotteurs perdus finissent par s'échouer sur les côtes et les batteries Li sont recyclées (environ 2-3 flotteurs par an s'échouent sur les côtes). Pour ceux qui sont perdus, l'impact environnemental des flotteurs semble être la libération de polluants dans l'environnement marin, principalement plusieurs années après l'épuisement de leurs batteries, leur corrosion et leur naufrage. Cependant, les quantités chimiques libérées sont insignifiantes comparées aux flux naturels et anthropiques, et il est peu probable que des concentrations nocives se forment en raison de l'espacement important entre les flotteurs et de l'activité turbulente près du fond marin. À ce jour, aucune méthode n'est plus rentable et moins dommageable pour observer l'océan et minimiser en même temps l'impact sur l'environnement. Toutefois des améliorations technologiques sont en cours de réflexion avec les fabricants pour réduire l'empreinte environnementale des flotteurs.

Concernant les commandes de matériel et les missions, le chiffre n'est pas connu actuellement mais le SNO MOOSE devra s'appuyer sur l'outil GES1p5 pour évaluer cela avec les différents laboratoires associés.

C2. Évaluation des bénéfices à mettre au regard de ces impacts en tentant de bien distinguer les contributions selon leur cible (écologie, santé, formation, souveraineté ...), leur nature directe ou indirecte.

Le SNO MOOSE est un système d'observation intégré qui permet d'optimiser la couverture spatiale et temporelle du bassin Méditerranée nord-ouest et fournit des données FAIR accessibles par tous.

1. **Écologie** : le réseau MOOSE permet une observation continue de l'écosystème marin de la région méditerranéenne nord-ouest, offrant ainsi des données cruciales pour évaluer les changements environnementaux, la biodiversité marine et les éventuelles menaces pour les écosystèmes côtiers et marins (collaboration avec l'OFB pour les descripteurs habitats pélagiques, oiseaux marins et mammifères marins, eutrophisation et déchets). Ces informations sont essentielles pour orienter les politiques de conservation et de gestion des ressources marines. Le réseau MOOSE contribue indirectement aux activités du SHOM et IFREMER en fournissant des données océanographiques précises afin d'améliorer les modèles de circulation utiles pour les impacts de pollution en mer

2. **Santé** : en surveillant la qualité de l'eau, les niveaux de pollution et les variations environnementales, le réseau MOOSE contribue indirectement à la santé publique en fournissant des données pertinentes pour évaluer les risques sanitaires liés à la consommation de produits de la mer et à la fréquentation des plages.

3. **Formation** : le réseau MOOSE offre des opportunités de formation et de recherche pour les scientifiques, les étudiants lors des campagnes annuelles et les professionnels travaillant dans la gestion des ressources marines. En permettant l'accès à des données en temps réel et à des observations sur le terrain, il favorise le développement de compétences et la collaboration internationale dans le domaine de la recherche marine.

C3. Réflexion générale sur les évolutions engagées ou envisagées du compromis bénéfices-impacts actuel. Cette réflexion pourra s'organiser suivant une « approche A-S-I » (*Avoid, Shift, Improve*) ou s'appuyer sur la règle « des 3 R » applicable à l'expérimentation animale (« remplacement », « réduction » et « raffinement »). Les éventuelles implications sur la recherche produite seront à préciser.

Dans l'optique de réduire son empreinte environnementale en mer, le SNO MOOSE prévoit plusieurs actions sans impact (ou très limité) sur ses objectifs scientifiques :

- Réduire la vitesse des navires de recherche pendant les campagnes annuelles à 8 nds ce qui permettrait de fonctionner sur un moteur (au lieu de deux) et donc réduirait les émissions de CO₂

- Utilisation de fibres textile pour les mouillages (plus léger que le câble acier), ce qui limiterait le poids des lests et le nombre de flotteurs mis à l'eau (moins de matériel à déployer)
- Achat de matériel européen de préférence (dans la mesure du possible) pour limiter le coût des transports lors des maintenances et des calibrations (ex. les capteurs CTD RBR utilisent un système d'induction pour les mesures de conductivité avec moins de maintenance que pour les autres types de capteurs à performance équivalente)
- Déploiements de planeurs sur une longue durée (ex. 2-3 mois par déploiement sur une radiale)

Pour l'organisation des campagnes annuelles, nous fonctionnons en deux legs de 11 et 12 jours respectivement, car cela permet une rotation régulière des scientifiques, des ingénieurs et des techniciens pour qui cette campagne se répète chaque année. Sans cela, il serait difficile de rassembler et motiver plusieurs équipes, surtout lorsque les campagnes sont programmées en été, la période de prédilection étant mai-juin. Si nous devons optimiser en un seul leg, il serait difficile de trouver des IT et des étudiants pour qui cette campagne "à portée de main" est unique et essentielle pour leur cursus.

Ressources et compléments d'information :

[1] Dans son avis, le COMETS indique qu'il est de la responsabilité collective des personnels de recherche de prendre en compte les impacts environnementaux des activités de recherche. Il précise qu'il s'agit à la fois de "réfléchir aux moyens de limiter l'empreinte des pratiques de la recherche « au quotidien » (acheter mieux et moins, optimiser les usages du numérique, limiter les déplacements et les missions, améliorer la performance énergétique des bâtiments)" et aussi de "s'interroger sur l'empreinte environnementale des sujets de la recherche ainsi que des voies pour les traiter". Le COMETS invite en outre à "aborder l'impact environnemental de la recherche dans une perspective de proportionnalité", l'impact environnemental négatif d'une recherche étant mis en balance avec ce que cette recherche peut par ailleurs apporter de positif, à l'environnement lui-même ou à d'autres valeurs.

<https://comite-ethique.cnrs.fr/wp-content/uploads/2022/12/AVIS-2022-43-.pdf>

[2] Labos1p5/GES1p5: <https://apps.labos1point5.org/ges-1point5>

Il est possible d'y créer un compte anonyme pour effectuer le bilan partiel d'un outil labellisé. Il est également possible d'y trouver une vaste documentation sur les facteurs d'émission qui permettent d'envisager des calculs d'ordre de grandeur pour les émissions d'un outil donné, en particulier pour la production d'électricité.

[3] Lien vers les émissions de GES des navires de l'IR* FOF <https://www.flotteoceanographique.fr/Demain-la-Flotte-oceanographique/Maitriser-notre-empreinte-carbone/Des-outils-et-des-donnees>

Annexe 1 : références citées dans la partie B1

- Adloff, F., Somot, S., Sevault, F., Jordà, G., Aznar, R., Déqué, M., Herrmann, M., Marcos, M., Dubois, C., Padorno, E., Alvarez-Fanjul, E., and Gomis, D. (2015). Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. *Climate Dynamics* 45, 2775-2802.
- Belgacem, M., Schroeder, K., Barth, A., Troupin, C., Pavoni, B., Raimbault, P., Garcia, N., Borghini, M., and Chiggiato, J. (2021). Climatological distribution of dissolved inorganic nutrients in the western Mediterranean Sea (1981–2017). *Earth System Science Data* 13, 5915-5949.
- Bendoni, M., Moore, A.M., Molcard, A., Magaldi, M.G., Fattorini, M., and Brandini, C. (2023). 4D-Var data assimilation and observation impact on surface transport of HF-Radar derived surface currents in the North-Western Mediterranean Sea. *Ocean Modelling* 184.
- Bergametti, G., Gomes, L., Coudé-Gaussen, G., Rognon, P., and Le Coustumer, M.N. (2012). African dust observed over Canary Islands: Source-regions identification and transport pattern for some summer situations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 94, 14855-14864.
- Bethoux, J.P., Gentili, B., Raunet, J., and Tailliez, D. (1990). Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature* 347, 660-662.
- Bosse, A. (2015). General circulation and physical-biogeochemical coupling at (sub-)mesoscale in the northwestern Mediterranean Sea from in situ data.
- Bosse, A., Testor, P., Damien, P., Estournel, C., Marsaleix, P., Mortier, L., Prieur, L., and Taillandier, V. (2021). Wind-Forced Submesoscale Symmetric Instability around Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea. *Fluids* 6.
- Bosse, A., Testor, P., Houpert, L., Damien, P., Prieur, L., Hayes, D., Taillandier, V., Durrieu De Madron, X., D'ortenzio, F., Coppola, L., Karstensen, J., and Mortier, L. (2016). Scales and dynamics of Submesoscale Coherent Vortices formed by deep convection in the northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 121, 7716-7742.
- Bosse, A., Testor, P., Mayot, N., Prieur, L., D'ortenzio, F., Mortier, L., Le Goff, H., Gourcuff, C., Coppola, L., Lavigne, H., and Raimbault, P. (2017). A submesoscale coherent vortex in the Ligurian Sea: From dynamical barriers to biological implications. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122, 6196-6217.
- Bosse, A., Testor, P., Mortier, L., Prieur, L., Taillandier, V., D'ortenzio, F., and Coppola, L. (2015). Spreading of Levantine Intermediate Waters by submesoscale coherent vortices in the northwestern Mediterranean Sea as observed with gliders. *Journal of Geophysical Research C: Oceans* 120, 1599-1622.
- Cáceres-Euse, A., Molcard, A., Bourg, N., Dumas, D., Guérin, C.-A., and Besio, G. (2022). Breakdown of Near-Surface Sea Current from High-Frequency Radar Data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 39, 1927-1942.
- Carret, A., Birol, F., Estournel, C., and Zakardjian, B. (2023). Assessing the capability of three different altimetry satellite missions to observe the Northern Current by using a high-resolution model. *Ocean Science* 19, 903-921.
- Conan, P., Testor, P., Estournel, C., D'ortenzio, F., and Durrieu De Madron, X. (2018). Observing Winter Mixing and Spring Bloom in the Mediterranean. *Eos* 99.
- Coppola, L., Fourrier, M., Pasqueron De Fommervault, O., Poteau, A., Riquier, E.D., and Béguery, L. (2023). High-resolution study of the air-sea CO₂ flux and net community oxygen production in the Ligurian Sea by a fleet of gliders. *Frontiers in Marine Science* 10.
- Coppola, L., Legendre, L., Lefevre, D., Prieur, L., Taillandier, V., and Diamond Riquier, E. (2018). Seasonal and inter-annual variations of dissolved oxygen in the northwestern Mediterranean Sea (DYFAMED site). *Progress in Oceanography* 162, 187-201.
- Cossarini, G., Lazzari, P., and Solidoro, C. (2015). Spatiotemporal variability of alkalinity in the Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 12, 1647-1658.
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M.C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N., and Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972-980.
- D'ortenzio, F., and Ribera D'alcalà, M. (2009). On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences* 6, 139-148.
- Damien, P., Bosse, A., Testor, P., Marsaleix, P., and Estournel, C. (2017). Modeling Postconvective Submesoscale Coherent Vortices in the Northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122, 9937-9961.

- Durrieu De Madron, X., Aubert, D., Charrière, B., Kunesch, S., Menniti, C., Radakovitch, O., and Sola, J. (2023). Impact of Dense Water Formation on the Transfer of Particles and Trace Metals from the Coast to the Deep in the Northwestern Mediterranean. *Water* 15.
- Durrieu De Madron, X., Houpert, L., Puig, P., Sanchez-Vidal, A., Testor, P., Bosse, A., Estournel, C., Somot, S., Bourrin, F., Bouin, M.N., Beauverger, M., Beguery, L., Calafat, A., Canals, M., Cassou, C., Coppola, L., Dausse, D., D'ortenzio, F., Font, J., Heussner, S., Kunesch, S., Lefevre, D., Le Goff, H., Martín, J., Mortier, L., Palanques, A., and Raimbault, P. (2013). Interaction of dense shelf water cascading and open-sea convection in the northwestern Mediterranean during winter 2012. *Geophysical Research Letters* 40, 1379-1385.
- Durrieu De Madron, X., Ramondenc, S., Berline, L., Houpert, L., Bosse, A., Martini, S., Guidi, L., Conan, P., Curtil, C., Delsaut, N., Kunesch, S., Ghiglione, J.F., Marsaleix, P., Pujo-Pay, M., Séverin, T., Testor, P., and Tamburini, C. (2017). Deep sediment resuspension and thick nepheloid layer generation by open-ocean convection. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122, 2291-2318.
- Fourrier, M., Coppola, L., Claustre, H., D'ortenzio, F., Sauzède, R., and Gattuso, J.-P. (2020). A Regional Neural Network Approach to Estimate Water-Column Nutrient Concentrations and Carbonate System Variables in the Mediterranean Sea: CANYON-MED. *Frontiers in Marine Science* 7.
- Fourrier, M., Coppola, L., D'ortenzio, F., Migon, C., and Gattuso, J.P. (2022). Impact of Intermittent Convection in the Northwestern Mediterranean Sea on Oxygen Content, Nutrients, and the Carbonate System. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 127.
- Guerzoni, S., Molinaroli, E., Rossini, P., Rampazzo, G., Quarantotto, G., De Falco, G., and Cristini, S. (1999). Role of desert aerosol in metal fluxes in the Mediterranean area. *Chemosphere* 39, 229-246.
- Guieu, C., Loÿe-Pilot, M.D., Benyahya, L., and Dufour, A. (2010). Spatial variability of atmospheric fluxes of metals (Al, Fe, Cd, Zn and Pb) and phosphorus over the whole Mediterranean from a one-year monitoring experiment: Biogeochemical implications. *Marine Chemistry* 120, 164-178.
- Guinaldo, T., Voldoire, A., Waldman, R., Saux Picart, S., and Roquet, H. (2023). Response of the sea surface temperature to heatwaves during the France 2022 meteorological summer. *Ocean Science* 19, 629-647.
- Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H.R., and Huntley, M. (2000). *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Elsevier Science.
- Herrmann, M., Auger, P.-A., Ulses, C., and Estournel, C. (2017). Long-term monitoring of ocean deep convection using multisensors altimetry and ocean color satellite data. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122, 1457-1475.
- Houpert, L., Durrieu De Madron, X., Testor, P., Bosse, A., D'ortenzio, F., Bouin, M.N., Dausse, D., Le Goff, H., Kunesch, S., Labaste, M., Coppola, L., Mortier, L., and Raimbault, P. (2016). Observations of open-ocean deep convection in the northwestern Mediterranean Sea: Seasonal and interannual variability of mixing and deep water masses for the 2007-2013 Period. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 121, 8139-8171.
- Houpert, L., Testor, P., Durrieu De Madron, X., Somot, S., D'ortenzio, F., Estournel, C., and Lavigne, H. (2015). Seasonal cycle of the mixed layer, the seasonal thermocline and the upper-ocean heat storage rate in the Mediterranean Sea derived from observations. *Progress in Oceanography* 132, 333-352.
- Intergovernmental Panel on Climate, C. (2023). *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change*.
- Ivanovic, R.F., Valdes, P.J., Gregoire, L., Flecker, R., and Gutjahr, M. (2013). Sensitivity of modern climate to the presence, strength and salinity of Mediterranean-Atlantic exchange in a global general circulation model. *Climate Dynamics* 42, 859-877.
- Krahmann, G., and Schott, F. (1998). Longterm increases in Western Mediterranean salinities and temperatures: Anthropogenic and climatic sources. *Geophysical Research Letters* 25, 4209-4212.
- Lejeusne, C., Chevaldonne, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., and Perez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends Ecol Evol* 25, 250-260.
- Lorente, P., Aguiar, E., Bondoni, M., Berta, M., Brandini, C., Cáceres-Euse, A., Capodici, F., Cianelli, D., Ciruolo, G., Corgnati, L., Dadić, V., Doronzo, B., Drago, A., Dumas, D., Falco, P., Fattorini, M., Gauci, A., Gómez, R., Griffa, A., Guérin, C.-A., Hernández-Carrasco, I., Hernández-Lasheras, J., Ličer, M., Magaldi, M.G., Mantovani, C., Mihanović, H., Molcard, A., Mourre, B., Orfila, A., Révelard, A., Reyes, E., Sánchez, J., Saviano, S., Sciascia, R., Taddei, S., Tintoré, J., Toledo, Y., Ursella, L., Uttieri, M., Vilibić, I., Zambianchi, E., and Cardin, V. (2022). Coastal high-frequency radars in the Mediterranean – Part 1: Status of operations and a framework for future development. *Ocean Science* 18, 761-795.
- Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., and Heussner, S. (2009). River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades? *Progress in Oceanography* 80, 199-217.
- Machu, Y., Aubert, D., Ludwig, W., Charrière, B., Sola, J., and Sotin, C. (2023). "Contribution of small coastal rivers to copper export to the Gulf of Lions", in: *EGU General Assembly 2023*. (Vienna, Austria).

- Margirier, F., Bosse, A., Testor, P., L'hévéder, B., Mortier, L., and Smeed, D. (2017). Characterization of Convective Plumes Associated With Oceanic Deep Convection in the Northwestern Mediterranean From High-Resolution In Situ Data Collected by Gliders. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122, 9814-9826.
- Margirier, F., Testor, P., Heslop, E., Mallil, K., Bosse, A., Houpert, L., Mortier, L., Bouin, M.N., Coppola, L., D'ortenzio, F., Durrieu De Madron, X., Mourre, B., Prieur, L., Raimbault, P., and Taillandier, V. (2020). Abrupt warming and salinification of intermediate waters interplays with decline of deep convection in the Northwestern Mediterranean Sea. *Sci Rep* 10, 20923.
- Marsaleix, P., Auclair, F., Floor, J.W., Herrmann, M.J., Estournel, C., Pairaud, I., and Ulses, C. (2008). Energy conservation issues in sigma-coordinate free-surface ocean models. *Ocean Modelling* 20, 61-89.
- Mayot, N., D'ortenzio, F., Taillandier, V., Prieur, L., De Fommervault, O.P., Claustre, H., Bosse, A., Testor, P., and Conan, P. (2017). Physical and Biogeochemical Controls of the Phytoplankton Blooms in North Western Mediterranean Sea: A Multiplatform Approach Over a Complete Annual Cycle (2012–2013 DEWEX Experiment). *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122, 9999-10019.
- Medecc (2020). "Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future", in: First Mediterranean Assessment Report (Version 1).
- Molcard, A., Gramoullé, A., Mazoyer, C., Bourg, N., and Ourmières, Y. (2021). Dynamics and transport from the boundary Northern Current toward the Toulon Bay: multi-platform observations and downscaling modelling approaches. *Ocean Dynamics* 71, 993-1009.
- Moon, J.Y., Lee, K., Tanhua, T., Kress, N., and Kim, I.N. (2016). Temporal nutrient dynamics in the Mediterranean Sea in response to anthropogenic inputs. *Geophysical Research Letters* 43, 5243-5251.
- Parras-Berrocal, I.M., Vázquez, R., Cabos, W., Sein, D.V., Álvarez, O., Bruno, M., and Izquierdo, A. (2022). Surface and Intermediate Water Changes Triggering the Future Collapse of Deep Water Formation in the North Western Mediterranean. *Geophysical Research Letters* 49.
- Pasqueron De Fommervault, O., Migon, C., D'Ortenzio, F., Ribera D'alcalà, M., and Coppola, L. (2015). Temporal variability of nutrient concentrations in the northwestern Mediterranean sea (DYFAMED time-series station). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 100, 1-12.
- Roarty, H., Cook, T., Hazard, L., George, D., Harlan, J., Cosoli, S., Wyatt, L., Alvarez Fanjul, E., Terrill, E., Otero, M., Largier, J., Glenn, S., Ebuchi, N., Whitehouse, B., Bartlett, K., Mader, J., Rubio, A., Corgnati, L., Mantovani, C., Griffa, A., Reyes, E., Lorente, P., Flores-Vidal, X., Saavedra-Matta, K.J., Rogowski, P., Prukpitikul, S., Lee, S.-H., Lai, J.-W., Guerin, C.-A., Sanchez, J., Hansen, B., and Grilli, S. (2019). The Global High Frequency Radar Network. *Frontiers in Marine Science* 6.
- Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F., and Raimbault, P. (2016). Controls, budgets and variability of riverine sediment fluxes to the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea). *Journal of Hydrology* 540, 1002-1015.
- Santi, I., Casotti, R., Comtet, T., Cunliffe, M., Koulouri, Y., Macheriotou, L., Not, F., Obst, M., Pavludi, C., Romac, S., Thiebaut, E., Vanaverbeke, J., and Pade, N. (2021). "European Marine Omics Biodiversity Observation Network (EMO BON) Handbook (version 1)". (Paris, France: EMBRC-ERIC).
- Schroeder, K., Chiggiato, J., Bryden, H.L., Borghini, M., and Ben Ismail, S. (2016). Abrupt climate shift in the Western Mediterranean Sea. *Sci Rep* 6, 23009.
- Schroeder, K., Chiggiato, J., Josey, S.A., Borghini, M., Aracri, S., and Sparnocchia, S. (2017). Rapid response to climate change in a marginal sea. *Scientific Reports* 7, 4065-4065.
- Somot, S., Houpert, L., Sevault, F., Testor, P., Bosse, A., Taupier-Letage, I., Bouin, M.-N., Waldman, R., Cassou, C., Sanchez-Gomez, E., Durrieu De Madron, X., Adloff, F., Nabat, P., and Herrmann, M. (2016). Characterizing, modelling and understanding the climate variability of the deep water formation in the North-Western Mediterranean Sea. *Climate Dynamics*.
- Somot, S., Sevault, F., Déqué, M., and Crépon, M. (2008). 21st century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled atmosphere–ocean regional climate model. *Global and Planetary Change* 63, 112-126.
- Testor, P., Bosse, A., Houpert, L., Margirier, F., Mortier, L., Legoff, H., Dausse, D., Labaste, M., Karstensen, J., Hayes, D., Olita, A., Ribotti, A., Schroeder, K., Chiggiato, J., Onken, R., Heslop, E., Mourre, B., D'ortenzio, F., Mayot, N., Lavigne, H., De Fommervault, O., Coppola, L., Prieur, L., Taillandier, V., Durrieu De Madron, X., Bourrin, F., Many, G., Damien, P., Estournel, C., Marsaleix, P., Taupier-Letage, I., Raimbault, P., Waldman, R., Bouin, M.N., Giordani, H., Caniaux, G., Somot, S., Ducrocq, V., and Conan, P. (2018). Multiscale Observations of Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea During Winter 2012–2013 Using Multiple Platforms. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 123, 1745-1776.
- Ulses, C., Estournel, C., Fourier, M., Coppola, L., Kessouri, F., Lefèvre, D., and Marsaleix, P. (2021). Oxygen budget of the north-western Mediterranean deep- convection region. *Biogeosciences* 18, 937-960.

Vernette, C., Henry, N., Lecubin, J., De Vargas, C., Hingamp, P., and Lescot, M. (2021). The Ocean barcode atlas: A web service to explore the biodiversity and biogeography of marine organisms. *Mol Ecol Resour* 21, 1347-1358.

Vincent, J., Laurent, B., Losno, R., Bon Nguyen, E., Roullet, P., Sauvage, S., Chevaillier, S., Coddeville, P., Ouboulmane, N., Di Sarra, A.G., Tovar-Sánchez, A., Sferlazzo, D., Massanet, A., Triquet, S., Morales Baquero, R., Fournier, M., Coursier, C., Desboeufs, K., Dulac, F., and Bergametti, G. (2016). Variability of mineral dust deposition in the western Mediterranean basin and south-east of France. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 8749-8766.

Wimart-Rousseau, C., Wagener, T., Bosse, A., Raimbault, P., Coppola, L., Fourrier, M., Ulses, C., and Lefèvre, D. (2023). Assessing seasonal and interannual changes in carbonate chemistry across two time-series sites in the North Western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science* 10.

Annexe 2 : liste du personnel impliqué dans le SNO MOOSE (chiffres 2024)

Laboratoire/OSU	Nom Prénom	Statut	Employeur	Unité	Fonction	PM/an	
LOCEAN/ECCETERRA	TESTOR Pierre	CR	CNRS	UMR 7159	MOOSE-GE (WP1)	1.2	
	LABASTE Mathieu	IE	CNRS	UMR 7159	Analyses salinité, ADCP	2.3	
	DURAND Isabelle	IE	MNHN	UMR 7159	Bathysonde, ADCP	1.6	
	GOLBOL Melek	IE	IRD	UMR 7159	Bathysonde, ADCP	1.9	
	DUMESNIL Nicolas	AI	Sorbonne Université	UAR 3455	Mécanique	0.2	
	BRETEL Patrice	IR	CNRS	UMR 7159	Responsable ADCP	1.3	
OOB/STAMAR	CONAN Pascal	MCF	Sorbonne Université	UAR2017	Responsable BGC (WP2)	0.75	
	VUILLEMIN Renaud	IR	Sorbonne Université	FR3724	Responsable suivi MOLA	0.5	
	MARIA Eric	AI	Sorbonne Université	FR3724	Prélèvements et analyses MOLA	2.5	
	ZUDAIRE Laurent	IE	CNRS	FR3724	Ingénieur développement	1.5	
	LABATUT Paul	T	Sorbonne Université	FR3724	Prélèvements et analyses	2.5	
	PECQUEUR David	IR	CNRS	FR3724	Responsable cytométrie	0.5	
	MANES Carmem-Lara	CR	Sorbonne Université	FR3724	Expertise Phytoplancton	0.5	
	SALMERON Christophe	AI	CNRS	FR3724	Analyses en cytométrie	0.5	
	CRISPI Olivier	AI	CNRS	UMR7621	Analyses Sels Nutritifs	0.5	
	MARIE Barbara	IE	CNRS	UMR7621	Analyses CHN	0.5	
	PUJO-PAY Mireille	CR	CNRS	UMR7621	Responsable analyses DOC	1	
	CEFREM/OMP	DURRIEU DE MADRON Xavier	DR	CNRS	UMR5110	Circulation méso-échelle, mouillage (WP1)	4.8
		KUNESCH Stéphane	IE	CNRS	UMR5110	Maintenance mouillages	4.8
LUDWIG Wolfgang		PR	Université de Perpignan	UMR5110	Suivi des fleuves (WP4)	1.8	
BOURRIN François		MCF	Université de Perpignan	UMR5110	Activités gliders	1.8	
HENRY Manuel		AI	CNRS	UMR5110	Analyses biogéochimiques	6	
MENNITI Christophe		IE	Université de Perpignan	UMR5110	Analyses C/N	0.6	
SOLA Jennifer		AI	CNRS	UMR5110	Mouillages, Pièges à particules	9.6	
AUBERT Dominique		MCF	Université de Perpignan	UMR5110	Analyses métaux fleuves, atm. (WP4)	3.6	
CHARRIERE Bruno		IR	CNRS	UMR5110	Analyses biogéochimiques	3.6	
SOTIN Christine		IE	Université de Perpignan	UMR5110	Collecte échantillons	2.4	
SADAOUI Mahrez		IR	CNRS	UMR5110	Traitement SIG/Modélisation	1.2	
MIO/PYTHEAS		BHAIRY Nagib	IE	CNRS	UMR7294	responsable instrumentation et glider	1.2
		MALENGROS Deny	T	CNRS	UMR7294	Ingénieur à la mer	2.4
	LEFEVRE Dominique	DR	CNRS	UMR7294	Responsable ANTARES	2.4	
	CHIRURCHIEN-NICOLAS Laure	AI	CNRS	UMR7294	Dosage oxygène	1.2	
	NUNIGE Sandra	IE	CNRS	UMR7294	Analyses chimiques	2.4	
	WAGENER Thibaut	MCF	AMU	UMR7294	Analyses CO2 (WP2)	3.6	
	LAGADEC Véronique	IE	AMU	UMR3470	Analyses chimiques SN	2.4	
	ZAKARDJAN Bruno	PR	Université de Toulon	UMR7294	Responsable Radar HF (WP1)	1.8	
	GUERIN Charles-Antoine	PR	Université de Toulon	UMR7294	Radar HF	3	
	QUENTIN Céline	IR	CNRS	UMR7294	Radar HF / data management	2.4	
	DUMAS Dylan	IE	CNRS	UMR7294	Radar HF	6	
	GARCIA Fabrice	IE	AMU	UMR7294	Prélèvements Frioul, Rhône	1.2	
	FEUERSTEIN Jean-Marc	T	AMU	UMR7294	Prélèvements Frioul et à la mer	1.2	
	LUNEAU Christopher	IE	CNRS	UAR3470	Pilote glider	1.2	
	BOSE Anthony	PHYADJ	AMU	UAR3470	Hydrodynamique (WP1)	7.2	
	DIDRY Morgane	T	AMU	UAR3470	Prélèvements à la mer	2.4	
	LESCOT Magali	IR	CNRS	UMR7294	Génomique (WP3)	3.6	
PETRENKO Anne	MCF	AMU	UMR7295	Responsable JULIO	1.2		
FUDA Jean-Luc	IR	CNRS	UMR7296	Ingénieur à la mer, glider	1.2		
IMEV/STAMAR	COPPOLA Laurent	PHY	Sorbonne Université	UAR2017	coordination SNO (WP2)	4.8	
	LOMBARD Fabien	MCF	Sorbonne Université	UMR7093	Responsable biodiversité (WP3)	1.2	
	MONTANES Maryline	T	CNRS	UMR7093	Analyses échantillons Cap Ferrat	1.2	
	RIQUIER Emilie	IE	CNRS	FR3761	Responsable analyses chimie et sorties DYFAMED	8.4	
	PETIT Franck	AI	CNRS	FR3761	Collecte échantillons Cap Ferrat	1	
	ELINEAU Amanda	IE	Sorbonne Université	FR3761	Analyses zooplacton	1.2	
SBR/STAMAR	DESNOS Corinne	T	Sorbonne Université	FR3761	Analyses zooplacton	1.2	
	LAUS Céline	IE	CNRS	UAR2017	Responsable instrumentation et glider	7.2	
	ROMAC Sarah	IE	CNRS	UMR 7144	Echantillonnage et traitement échantillons ADN	1.2	
	BUREAU Sarah	IE	CNRS	UAR2017	Prélèvements et analyses MOOSE_GE	1.2	
	NOT Fabrice	DR	CNRS	UMR 7144	Coordination suivi génomique	2.4	

Annexe 3 : liste des acronymes

ALBATROSS: site câble profond au large de Toulon relayé au réseau KM3NET et EMSO

ANTARES: Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch

ARGO: réseau international d'océanographie opérationnelle

CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques

COOL : CO2 Océanique Observations à Long-terme

DCSMM: Directive cadre Stratégie du Milieu Marin

DYFAMED: Dynamics of Atmospheric Fluxes in the MEDiterranean sea

EMSO: Infrastructure européenne European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory

ERIC: European Research Infrastructure Consortium

EURO-ARGO: : Infrastructure européenne du réseau Argo

IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

ILICO : Infrastructure de recherche Littorale et Côtière

INSU : Institut National des Sciences de l'Univers

IRSN: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

JERICO-RI: Joint European research infrastructure network for coastal observatories

JULIO : Judicieuse Localisation pour les intrusions du courant nord (site équipé d'un ADCP)

LIW : Levantine intermédiaire water

LOV : Laboratoire d'océanographie de Villefranche/mer

LOCEAN : Laboratoire d'Océanographie et du Climat – Expérimentation et approches numériques

MERMEX: Marine Ecosystems' Response in the Mediterranean Experiment

MIO : Institut Méditerranéen d'Océanologie (UMR 7294)

MISTRALS: Mediterranean Integrated Studies at Regional And Local Scales

MOLA: Microbial Observatory Laboratoire Arago

MOOSE : Mediterranean Ocean Observing System for the Environment

MOOSE-GE : MOOSE Grand échelle (campagne océanographique annuelle du programme MOOSE)

OFB: Office Français de la Biodiversité

OOB : Observatoire Océanologique de Banyuls

IMEV : Institut de la Mer de Villefranche

OceanSites: worldwide system of long-term, deepwater reference stations

SIROCCO : Simulation Réaliste de l'OCéan CÔtier

SISMER : Système d'Informations Scientifiques pour la Mer

SNAPO: Service National d'Analyse des paramètres Océaniques du CO2

SOCIB : Sistema de Observación Costero de las Illes Balears

SORA : Station d'Observation du Rhône à Arles

SOMLIT: Service d'Observation en milieu littoral

Annexe A : Production scientifique des acteurs du SNO (publications de rang A, thèses, indiquer quels sont les articles associés à ces thèses) ; préciser obligatoirement l'adresse url ouverte de cette production scientifique propre du SNO

Articles 2010-2024 (acteurs) : les articles issus des travaux des thèses sont indiqués en bleu

1. **Durrieu de Madron Xavier, Aubert D., Charrière B., Kunesch S., Menniti C., Radakovitch O., Sola J.** (2023). Impact of Dense Water Formation on the Transfer of Particles and Trace Metals from the Coast to the Deep in the Northwestern Mediterranean. *Water*. 15 (2). 301 (19p.). <https://doi.org/10.3390/w15020301>
2. **Coppola, L.,** Fourier, M., Pasqueron De Fommervault, O., Poteau, A., Riquier, E.D., and Béguery, L. (2023). High-resolution study of the air-sea CO₂ flux and net community oxygen production in the Ligurian Sea by a fleet of gliders. *Frontiers in Marine Science* 10.
3. **Wimart-Rousseau C, Wagener T, Bosse A, Raimbault P, Coppola L, Fourier M, Ulses C, Lefèvre D** (2023) Assessing seasonal and interannual changes in carbonate chemistry across two time-series sites in the North Western Mediterranean Sea. *Front Mar Sci* 10 | doi: [10.3389/fmars.2023.1281003](https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1281003)
4. Dumas, D., and C. **Guérin**, 2023: New Signal Processing Techniques for Phased-Array Oceanographic Radars: Self-Calibration, Antenna Grouping, and Denoising. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 40, 753–769, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-22-0064.1>.
5. Fourier Marine, **Coppola Laurent, D'ortenzio** Fabrizio, **Migon** Christophe, Gattuso Jean-pierre (2022). Impact of intermittent Convection in the northwestern Mediterranean Sea on Oxygen content, Nutrients and the Carbonate system. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 127(9), e2022JC018615 (18p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1029/2022JC018615>
6. Drago L, Panaiotis T, Irisson J-O, Babin M, Biard T, **Carlotti F, Coppola L, Guidi L**, Hauss H, Karp-Boss L, Lombard F, McDonnell AMP, Picheral M, Rogge A, Waite AM, Stemmann L and Kiko R (2022) Global Distribution of Zooplankton Biomass Estimated by In Situ Imaging and Machine Learning. *Front. Mar. Sci.* 9:894372. doi: 10.3389/fmars.2022.894372
7. Cáceres-Euse A., Molcard A., Bourg N., Dumas D., **Guérin C.-A.**, Besio G., 2022. Breakdown of Near-Surface Sea Current from High-Frequency Radar Data. *J. Atm. Oce. Tech.*, 39(12), 1927-1942, DOI: 10.1175/JTECH-D-22-0013.1
8. Kiko R, Picheral M, Antoine D, Babin M, Berlin L, Biard T, Boss E, Brandt P, **Carlotti F**, Christiansen S, **Coppola L**, De la Cruz L, **Diamond Riquier E, Durrieu de Madron X**, Elineau A, Gorsky G, **Guidi L**, Hauss H, Irisson J-O, Karp-Boss L, Karstensen J, Kim D-G, Lekanoff RM, Lombard F, Lopes RM, Marec C, McDonnell AMP, Niemeyer D, Noyon M, O'Daly SH, Ohman M, Pretty JL, Rogge A, Searson S, Shibata M, Tanaka Y, Tanhua T, Taucher J, Trudnowska E, Turner JS, Waite A, Stemmann L (2022) A global marine particle size distribution dataset obtained with the Underwater Vision Profiler 5. *ESSD* 2022: 4315-4337 | doi: [10.5194/essd-14-4315-2022](https://doi.org/10.5194/essd-14-4315-2022)
9. Barral, Quentin-Boris, **Zakardjian**, Bruno, Dumas, Franck, Garreau, Pierre, Testor, Pierre, Beuvier, Jonathan, 2021. Characterization of fronts in the western Mediterranean with a special focus on the north balearic front. *Prog. Oceanogr.* 197, 102636.
10. **Bosse Anthony, Testor Pierre**, Damien Pierre, Estournel Claude, Marsaleix Patrick, Mortier Laurent, Prieur Louis, Taillandier Vincent (2021). Wind-Forced Submesoscale Symmetric Instability around Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea. *Fluids*, 6(3), 123 (26p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3390/fluids6030123>
11. **Guerin**, C.-A., Dumas D., Molcard A., Quentin C., Zakardjian B., Gramoullé A., Maristella B., 2021. High-Frequency Radar Measurements with CODAR in the Region of Nice: Improved Calibration and Performance. *J. Atmo. Ocean. Tech.*, 38:2003-2016, DOI: 10.1175/JTECH-D-21-0058.1
12. Margirier Félix, **Testor Pierre**, Heslop Emma, Mallil Katia, **Bosse Anthony**, Houpert Loïc, Mortier Laurent, Bouin Marie-Noëlle, **Coppola Laurent, D'ortenzio** Fabrizio, **Durrieu de Madron Xavier**, Mourre Baptiste, Prieur Louis, **Raimbault Patrick**, Taillandier Vincent (2020). Abrupt warming and salinification of intermediate waters interplays with decline of deep convection in the Northwestern Mediterranean Sea. *Scientific Reports*, 10(1), 20923 (11p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77859-5>
13. Feliú Guillermo, Pagano Marc, Hidalgo Pamela, **Carlotti François** (2020). Structure and function of epipelagic mesozooplankton and their response to dust deposition events during the spring PEACETIME cruise in the Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, 17(21), 5417-5441. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-17-5417-2020>
14. **Coppola Laurent**, Boutin Jacqueline, Gattuso Jean-Pierre, **Lefevre Dominique**, Metzl Nicolas (2020). The Carbonate System in the Ligurian Sea. In *The Mediterranean Sea in the Era of Global Change 1* (Wiley).
15. Taillandier Vincent, Prieur Louis, D'Ortenzio Fabrizio, Ribera D'Alcala Maurizio, Pulido-Villena Elvira (2020). Profiling float observation of thermohaline staircases in the western Mediterranean Sea and impact on nutrient fluxes. *Biogeosciences*, 17(13), 3343-3366. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-17-3343-2020>

16. D'ortenzio Fabrizio, Taillandier Vincent, Claustre Hervé, Prieur Louis Marie, Leymarie Edouard, Mignot Alexandre, Poteau Antoine, Penkerch Christophe, Schmechtig Catherine Marie (2020). Biogeochemical Argo: The Test Case of the NAOS Mediterranean Array. *Frontiers In Marine Science*, 7(120), 16p. Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00120>
17. **Migon Christophe**, Heimbürger-Boavida Lars-Eric, Dufour Aurélie, Chiffolleau Jean-Francois, Cossa Daniel (2020). Temporal variability of dissolved trace metals at the DYFAMED time-series station, Northwestern Mediterranean. *Marine Chemistry*. 225. 103846 (10p.). <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103846>,
18. Dumas D., Gramoullé A., Guérin C.-A., Molcard A., Ourmières Y., **Zakardjian B.**, 2020. Multistatic estimation of High-Frequency radar surface currents in the region of Toulon. *Ocean Dyn.* 70, 1485–1503. doi : 10.1007/s10236-020-01406-z
19. Fourrier, M., Coppola, L., Claustre, H., D'ortenzio, F., Sauzède, R., and Gattuso, J.-P. (2020). A Regional Neural Network Approach to Estimate Water-Column Nutrient Concentrations and Carbonate System Variables in the Mediterranean Sea: CANYON-MED. *Frontiers in Marine Science* 7.
20. **Guérin CA**, Dumas D, Gramoullé A, Quentin C, Saillard M, Molcard A, 2019. The multistatic oceanographic HF radar network in Toulon. *International Radar Conference (RADAR)*, IEEE DOI: 10.1109/RADAR41533.2019.171401
21. **Testor Pierre, Bosse Anthony**, Houpert Loic, Margirier Felix, Mortier Laurent, Legoff Herve, Dausse Denis, Labaste Matthieu, Karstensen Johannes, Hayes Daniel, Olita Antonio, Ribotti Alberto, Schroeder Katrin, Chiggiato Jacopo, Onken Reiner, Heslop Emma, Mourre Baptiste, **D'ortenzio Fabrizio**, Mayot Nicolas, Lavigne Heloise, de Fommervault Orens, **Coppola Laurent**, Prieur Louis, Taillandier Vincent, de **Madron Xavier Durrieu**, Bourrin Francois, Many Gael, Damien Pierre, Estournel Claude, Marsaleix Patrick, Taupier-Letage Isabelle, **Raimbault Patrick**, Waldman Robin, Bouin Marie-Noelle, Giordani Herve, Caniaux Guy, Somot Samuel, Ducrocq Veronique, **Conan Pascal** (2018). Multiscale Observations of Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea During Winter 2012-2013 Using Multiple Platforms. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 123(3), 1745-1776. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012671>
22. **Coppola Laurent**, Legendre Louis, **Lefevre Dominique**, Prieur Louis, Taillandier Vincent, **Diamond Riquier Emilie** (2018). Seasonal and inter-annual variations of dissolved oxygen in the northwestern Mediterranean Sea (DYFAMED site). *Progress In Oceanography*, 162, 187-201.
23. **Bosse Anthony, Testor Pierre**, Mayot Nicolas, Prieur Louis, **D'ortenzio Fabrizio**, Mortier Laurent, Le Goff Herve, Gourcuff Claire, **Coppola Laurent**, Lavigne Heloise, **Raimbault Patrick** (2017). A submesoscale coherent vortex in the Ligurian Sea: From dynamical barriers to biological implications. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(8), 6196-6217. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012634>
24. Hunt Brian P. V., **Carlotti Francois**, Donoso Katty, Pagano Marc, **D'ortenzio Fabrizio**, Taillandier Vincent, **Conan Pascal** (2017). Trophic pathways of phytoplankton size classes through the zooplankton food web over the spring transition period in the north-west Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(8), 6309-6324. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012658>
25. Severin Tatiana, Kessouri Faycal, Rembauville Mathieu, Sanchez-Perez Elvia Denisse, Oriol Louise, Caparros Jocelyne, Pujo-Pay Mireille, Ghiglione Jean-Francois, **D'ortenzio Fabrizio**, Taillandier Vincent, Mayot Nicolas, **de Madron Xavier Durrieu**, Ulses Caroline, Estournel Claude, **Conan Pascal** (2017). Open-ocean convection process: A driver of the winter nutrient supply and the spring phytoplankton distribution in the Northwestern Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(6), 4587-4601. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012664>
26. Donoso Katty, **Carlotti Francois**, Pagano Marc, Hunt Brian P. V., Escibano Ruben, Berline Leo (2017). Zooplankton community response to the winter 2013 deep convection process in the NW Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(3), 2319-2338. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012176>
27. **Durrieu de Madron Xavier**, Ramondenc S., Berline L., Houpert L., **Bosse Anthony**, Martini S., Guidi L., **Conan P.**, Curtil C., Delsaut N., **Kunesch S.**, Ghiglione J. F., Marsaleix P., Pujo-Pay M., Severin T., **Testor P.**, Tamburini C. (2017). Deep sediment resuspension and thick nepheloid layer generation by open-ocean convection. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(3), 2291-2318. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012062>
28. Margirier Felix, **Bosse Anthony, Testor Pierre**, L'Heveder Blandine, Mortier Laurent, Smeed David (2017). Characterization of convective plumes associated with oceanic deep convection in the northwestern Mediterranean from high resolution in-situ data collected by gliders. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(12), 9814-9826. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012633>
29. Mayot Nicolas, **D'ortenzio Fabrizio**, Uitz Julia, Gentili Bernard, Ras Josephine, Vellucci Vincenzo, Golbol Melek, Antoine David, Claustre Herve (2017). Influence of the phytoplankton community structure on the spring and annual primary production in the NorthWestern Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(12), 9918-9936. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012668>

30. Mayot Nicolas, **D'ortenzio** Fabrizio, Taillandier Vincent, Prieur Louis, de Fommervault Orens Pasqueron, Claustre Herve, **Bosse** Anthony, **Testor** Pierre, **Conan** Pascal (2017). Physical and biogeochemical controls of the phytoplankton blooms in North-Western Mediterranean Sea: A multiplatform approach over a complete annual cycle (2012-2013 DEWEX experiment). *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(12), 9999-10019. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012052>
31. Waldman Robin, Herrmann Marine, Somot Samuel, Arsouze Thomas, Benshila Rachid, **Bosse** Anthony, Chanut Jerome, Giordani Herve, Sevault Florence, **Testor** Pierre (2017). Impact of the Mesoscale Dynamics on Ocean Deep Convection: The 2012-2013 Case Study in the Northwestern Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(11), 8813-8840. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012587>
32. **Coppola** L., Prieur L., Taupier-Letage I., Estournel C., **Testor** P., Lefevre D., Belamari S., Le Reste Serge, Taillandier V. (2017). Observation of oxygen ventilation into deep waters through targeted deployment of multiple Argo-O 2 floats in the north-western Mediterranean Sea in 2013. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(8), 6325-6341. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012594>
33. Waldman Robin, Somot Samuel, Herrmann Marine, **Bosse** Anthony, Caniaux Guy, Estournel Claude, Houpert Loic, Prieur Louis, Sevault Florence, **Testor** Pierre (2017). Modeling the intense 2012-2013 dense water formation event in the northwestern Mediterranean Sea: Evaluation with an ensemble simulation approach. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(2), 1297-1324. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012437>
34. Kessouri Faycal, Ulses Caroline, Estournel Claude, Marsaleix Patrick, Severin Tatiana, Pujo-Pay Mireille, Caparros Jocelyne, **Raimbault** Patrick, de Fommervault Orens Pasqueron, **D'ortenzio** Fabrizio, Taillandier Vincent, **Testor** Pierre, **Conan** Pascal (2017). Nitrogen and Phosphorus Budgets in the Northwestern Mediterranean Deep Convection Region. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(12), 9429-9454. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012665>
35. **Bosse** Anthony, **Testor** Pierre, Houpert Loic, Damien Pierre, Prieur Louis, Hayes Daniel, Taillandier Vincent, **Durrieu de Madron** Xavier, **D'ortenzio** Fabrizio, **Coppola** Laurent, Karstensen Johannes, Mortier Laurent (2016). Scales and dynamics of Submesoscale Coherent Vortices formed by deep convection in the northwestern Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 121(10), 7716-7742. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012144>
36. Waldman Robin, Somot Samuel, Herrmann Marine, **Testor** Pierre, Estournel Claude, Sevault Florence, Prieur Louis, Mortier Laurent, **Coppola** Laurent, Taillandier Vincent, **Conan** Pascal, Dausse Denis (2016). Estimating dense water volume and its evolution for the year 2012-2013 in the Northwestern Mediterranean Sea: An observing system simulation experiment approach. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 121(9), 6696-6716. <https://doi.org/10.1002/2016JC011694>
37. Estournel Claude, **Testor** Pierre, Damien Pierre, **D'ortenzio** Fabrizio, Marsaleix Patrick, **Conan** Pascal, Kessouri Faycal, de Madron Xavier **Durrieu**, **Coppola** Laurent, Lellouche Jean-Michel, Belamari Sophie, Mortier Laurent, Ulses Caroline, Bouin Marie-Noelle, Prieur Louis (2016). High resolution modeling of dense water formation in the north-western Mediterranean during winter 2012-2013: Processes and budget. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 121(7), 5367-5392. <https://doi.org/10.1002/2016JC011935>
38. Houpert L., **Durrieu de Madron** X. **Durrieu**, **Testor** P., **Bosse** A., **D'ortenzio** F., Bouin M. N., Dausse D., Le Goff H., **Kunesch** S., Labaste M., **Coppola** L., Mortier L., **Raimbault** P. (2016). Observations of open-ocean deep convection in the northwestern Mediterranean Sea: Seasonal and interannual variability of mixing and deep water masses for the 2007–2013 period. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 121(11), 8139-8171. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC011857>
39. Mayot Nicolas, **D'ortenzio** Fabrizio, D'Alcala Maurizio Ribera, Lavigne Heloise, Claustre Herve (2016). Interannual variability of the Mediterranean trophic regimes from ocean color satellites. *Biogeosciences*, 13(6), 1901-1917. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-13-1901-2016>
40. **Bosse** Anthony, **Testor** Pierre, Mortier Laurent, Prieur Louis, Taillandier Vincent, **D'ortenzio** Fabrizio, **Coppola** Laurent (2015). Spreading of Levantine Intermediate Waters by submesoscale coherent vortices in the northwestern Mediterranean Sea as observed with gliders. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 120(3), 1599-1622. <https://doi.org/10.1002/2014JC010263>
41. Pasqueron De Fommervault Orens, **Migon** Christophe, Dufour Aurelie, **D'ortenzio** Fabrizio, Kessouri Faycal, **Raimbault** Patrick, Garcia Nicole, Lagadec Veronique (2015). Atmospheric input of inorganic nitrogen and phosphorus to the Ligurian Sea: Data from the Cap Ferrat coastal time-series station. *Deep-sea Research Part I-oceanographic Research Papers*, 106, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.08.010>
42. Pasqueron de Fommervault Orens, **D'ortenzio** Fabrizio, Mangin Antoine, Serra Romain, **Migon** Christophe, Claustre Herve, Lavigne Heloise, D'Alcala Maurizio Ribera, Prieur Louis, Taillandier Vincent, Schmechtig Catherine, Poteau Antoine, Leymarie Edouard, Dufour Aurelie, Besson Florent, Obolensky Grigor (2015). Seasonal variability of nutrient concentrations in the Mediterranean Sea: Contribution of Bio-Argo floats. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 120(12), 8528-8550. <https://doi.org/10.1002/2015JC011103>

43. Pasqueron De Fommervault Orens, **Migon** Christophe, **D'ortenzio** Fabrizio, Ribera D'Alcala Maurizio, **Coppola** Laurent (2015). Temporal variability of nutrient concentrations in the northwestern Mediterranean sea (DYFAMED time-series station). *Deep-sea Research Part I-oceanographic Research Papers*, 100, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.02.006>
44. Houpert L., **Testor** P., **Durrieu de Madron** X., Somot S., **D'ortenzio** F., Estournel C., Lavigne H. (2015). Seasonal cycle of the mixed layer, the seasonal thermocline and the upper-ocean heat storage rate in the Mediterranean Sea derived from observations. *Progress In Oceanography*, 132, 333-352. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.11.004>
45. Dumas C., **Aubert** D., **Durrieu de Madron** X., **Ludwig** W., **Heussner** S., Delsaut N., **Menniti** C., **Sotin** C., Buscaill R. (2014). Storm-induced transfer of particulate trace metals to the deep-sea in the Gulf of Lion (NW Mediterranean Sea). *Environmental Geochemistry And Health*, 36(5), 995-1014. <https://doi.org/10.1007/s10653-014-9614-7>
46. Severin T., **Conan** P., **Durrieu de Madron** X., Houpert L., Oliver M. J., Oriol L., Caparros J., Ghiglione J. F., Pujo-Pay M. (2014). Impact of open-ocean convection on nutrients, phytoplankton biomass and activity. *Deep-sea Research Part I-oceanographic Research Papers*, 94, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.07.015>
47. **D'ortenzio** Fabrizio, Lavigne Heloise, Besson Florent, Claustre Herve, **Coppola** Laurent, Garcia Nicole, Laes-Huon Agathe, Le Reste Serge, Malarde Damien, **Migon** Christophe, Morin Pascal, Mortier Laurent, Poteau Antoine, Prieur Louis, **Raimbault** Patrick, **Testor** Pierre (2014). Observing mixed layer depth, nitrate and chlorophyll concentrations in the northwestern Mediterranean: A combined satellite and NO₃ profiling floats experiment. *Geophysical Research Letters*, 41(18), 6443-6451. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2014GL061020>
48. Ducrocq Veronique, Braud Isabelle, Davolio Silvio, Ferretti Rossella, Flamant Cyrille, Jansa Agustin, Kalthoff Norbert, Richard Evelyne, Taupier-Letage Isabelle, Ayrat Pierre-Alain, Belamari Sophie, Berne Alexis, Borga Marco, Boudevillain Brice, Bock Olivier, Boichard Jean-Luc, Bouin Marie-Noelle, Bousquet Olivier, Bouvier Christophe, Chiggiato Jacopo, Cimini Domenico, Corsmeier Ulrich, **Coppola** Laurent, Cocquerez Philippe, Defer Eric, Delanoe Julien, Di Girolamo Paolo, Doerenbecher Alexis, Drobinski Philippe, Dufournet Yann, Fourrie Nadia, Gourley Jonathan J., Labatut Laurent, Lambert Dominique, Le Coz Jerome, Marzano Frank S., Molinie Gilles, Montani Andrea, Nord Guillaume, Nuret Mathieu, Ramage Karim, Rison William, Roussot Odile, Said Frederique, Schwarzenboeck Alfons, **Testor** Pierre, Van Baelen Joel, Vincendon Beatrice, Aran Montserrat, Tamayo Jorge (2014). HYMEX-SOPI The Field Campaign Dedicated to Heavy Precipitation and Flash Flooding in the Northwestern Mediterranean. *Bulletin Of The American Meteorological Society*, 95(7), 1083-+. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00244.1>
49. Lavigne Heloise, **D'ortenzio** Fabrizio, **Migon** Christophe, Claustre Herve, **Testor** Pierre, Ribera D'Alcala Maurizio, Lavezza Rosario, Houpert Loic, Prieur Louis (2013). Enhancing the comprehension of mixed layer depth control on the Mediterranean phytoplankton phenology. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 118(7), 3416-3430. <https://doi.org/10.1002/jgrc.20251>
50. **Durrieu de Madron** Xavier, Houpert L., Puig P., Sanchez-Vidal A., **Testor** Pierre, **Bosse** A., Estournel Claude, Somot S., Bourrin F., Bouin M. N., Beauverger M., Beguery L., Calafat A., Canals M., Cassou Christophe, **Coppola** Laurent, Dausse D., **D'ortenzio** Fabrizio, Font J., **Heussner** S., **Kunesch** S., Lefevre D., Le Goff H., Martin J., Mortier L., Palanques A., **Raimbault** P. (2013). Interaction of dense shelf water cascading and open-sea convection in the northwestern Mediterranean during winter 2012. *Geophysical Research Letters*, 40(7), 1379-1385. <https://doi.org/10.1002/grl.50331>
51. Stabholz M., **Durrieu de Madron** X., Canals M., Khripounoff Alexis, Taupier-Letage Isabelle, **Testor** Pierre, **Heussner** S., Kerherve P., Delsaut N., Houpert Loic, Lastras G., Dennielou Bernard (2013). Impact of open-ocean convection on particle fluxes and sediment dynamics in the deep margin of the Gulf of Lions. *Biogeosciences*, 10(2), 1097-1116. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-10-1097-2013>
52. Pusceddu A., Mea M., Canals M., **Heussner** S., **Durrieu de Madron** X., Sanchez-Vidal A., Bianchelli S., Corinaldesi C., Dell'Anno A., Thomsen L., Danovaro R. (2013). Major consequences of an intense dense shelf water cascading event on deep-sea benthic trophic conditions and meiofaunal biodiversity. *Biogeosciences*, 10(4), 2659-2670. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-10-2659-2013>
53. Guihou K, Marmain J, Ourmières Y, Molcard A, **Zakardjian** B, Forget P, 2013. New insight of the meso to sub-mesoscale dynamics in the North-Western Mediterranean Sea: a combined data-model approach. *Ocean. Dyn.* , 63(7) : 793-808
54. Salvado Joan A., Grimalt Joan O., Lopez Jordi F., **Durrieu de Madron** Xavier, **Heussner** Serge, Canals Miquel (2012). Transformation of PBDE mixtures during sediment transport and resuspension in marine environments (Gulf of Lion, NW Mediterranean Sea). *Environmental Pollution*, 168, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.04.019>
55. Roussiez Vincent, **Heussner** Serge, **Ludwig** Wolfgang, Radakovitch Olivier, **Durrieu de Madron** Xavier, Guieu Cecile, Probst Jean-Luc, Monaco Andre, Delsaut Nicole (2012). Impact of oceanic floods on particulate metal inputs to coastal and deep-sea environments: A case study in the NW Mediterranean Sea. *Continental Shelf Research*, 45, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.05.012>

Thèses 2010-2024 (acteurs)

1. Robert A. (2009-2012) Minéralisation in situ de la matière organique le long de la colonne d'eau. Encadrants : **Dominique Lefèvre** et Christian Tamburini. Aix Marseille Université
2. Houpert L. (2010-2013). Circulation et variabilité des masses d'eau en Méditerranée nord-occidentale. PhD, 2010-2013 Université de Perpignan. Encadrants: **Xavier Durrieu de Madron et Pierre Testor**. Université de Perpignan
3. Stabholz M. (2009-2012). Impacts d'évènements météo-océaniques sur la dynamique de la matière organique particulaire dans le Golfe du Lion (N-O Méditerranée). Encadrants : **Serge Heussner** et Miquel Canals Université de Perpignan / Université de Barcelone
4. Guihou K., (2011- 2013). Étude de la dynamique du Courant Nord au large de Toulon, à l'aide de modèles, observations in situ et données satellites - 'Université de Toulon - Encadrants : **Bruno Zakardjian**, Yann Ourmières. Université de Toulon
5. Dumas C. (2011-2014) Impact des évènements intenses sur le transfert des éléments traces métalliques en milieu marin. Encadrants: **W. Ludwig et D. Aubert**. Université de Perpignan.
6. Lavigne H. (2001-2013). Interactions entre la couche de mélange océanique, la disponibilité en sels nutritifs et le phytoplancton : étude basée sur les nouvelles plates-formes de mesure et sur les données satellitaires. Université Pierre et Marie Curie. Encadrants: **C. Migon et F. D'Ortenzio**.
7. Severin T. (2011-2021). Régulation des cycles biogéochimiques par les communautés microbiennes pélagiques sous influence de perturbations physiques à méso-échelle. Encadrants : **P.Conan**, J-F. Ghiglione. Université Pierre-et-Marie Curie
8. Bosse A. (2012-2015) Etude du couplage physique-biogéochimie à (sub)mésoéchelle par l'analyse d'observations « gliders » en Méditerranée. Encadrants : L. Mortier et **P. Testor**. Université Pierre-et-Marie Curie
9. Pasqueron de Fommervault O. (2013-2016) Impact des changements climatiques et environnementaux sur la dynamique des nutriments en Méditerranée nord-occidentale. Encadrants : **C. Migon et F. D'Ortenzio**. LOV - Pierre-et-Marie Curie.
10. Many G. (2013-2016) Variabilité et caractérisation des particules marines en suspension sur le plateau du Golfe du Lion: impact des évènements extrêmes. Encadrants: **X. Durrieu de Madron** et F. Bourrin. Université de Perpignan.
11. Sadaoui M. (2013-2016) Variabilité et évolution des apports de matières en suspension dans la zone: approche multi-échelle dans le bassin de la Méditerranée. CEFREM – Université de Perpignan. Encadrants: **W. Ludwig** et F. Bourrin.
12. Donoso K. (2014-2017) : Distribution spatio-temporelle des communautés zooplanctoniques en Méditerranée nord occidentale. MIO - Université d'Aix-Marseille, MIO. Encadrants : **F.Carlotti**, M.Pagano. Université Aix-Marseille
13. Margirier F. (2015-2018) Étude de la variabilité physique et biogéochimique des masses d'eaux en mer Méditerranée. LOCEAN – Sorbonne Université, Direction : L. Mortier et **P. Testor**
14. Feilu G. (2017-2021) Étude de la structure de la communauté du mésozooplancton et de son rôle trophique en mer Méditerranée lors des deux campagnes océanographiques à grande échelle PEACETIME et MOOSE en 2017. Encadrants : **F.Carlotti**, M.Pagano. Université Aix-Marseille
15. Wimart-Rouseau C. (2018-2021) Impact de la formation de la LIW et de sa propagation sur le système des carbonates océanique en Méditerranée. Encadrants: **P. Raimbault**, **T. Wagener**. Université Aix-Marseille
16. Fourrier M. (2018-2021) Impact des forçages physiques sur la dynamique des éléments biogéochimiques en Méditerranée : utilisation combinée des observations *in situ* et d'un réseau de neurones. Encadrants : **L.Coppola & F.D'Ortenzio**. Sorbonne Université
17. Dumas D., (2019-2022). Nouvelles techniques de traitement du signal en radio-océanographie. Encadrant : **Charles-Antoine Guérin**, Université de Toulon.
18. Barral, Q-B. (2020-2022). Caractérisation du front Nord-Baléares : Variabilité et rôle de la circulation des masses d'eau en Méditerranée Occidentale. Encadrant : **B.Zakardjan**. Université de Toulon
19. Drago, L. (2021-2023). Analyse globale de la pompe à carbone biologique à partir de données en imagerie quantitative. Encadrants : **L.Stemann**, R.Kiko. Sorbonne Université
20. Machu Y. (2021-2024). Origine des sources et bilans des transferts de Cu au Golfe du Lion. Encadrants : **W.Ludwig et D.Aubert**. Université de Perpignan
21. Mériguet Z. (2022-2025). Étude de l'impact des multiples forçages environnementaux sur l'abondance et la structure des populations planctoniques à l'échelle globale et locale à l'aide de l'imagerie quantitative. Encadrants : L.Guidi, **F.Lombard**. Sorbonne Université

Annexe B : Production scientifique des utilisateurs du SNO (publications de rang A, thèses) ; préciser obligatoirement l'adresse url ouverte de cette production scientifique du SNO.

1. Metzl Nicolas, Fin Jonathan, Lo Monaco Claire, Mignon Claude, Alliouane Samir, Antoine David, Bourdin Guillaume, Boutin Jacqueline, Bozec Yann, **Conan Pascal**, **Coppola Laurent**, Diaz Frédéric, Douville Eric, **Durrieu de Madron Xavier**, Gattuso Jean-Pierre, Gazeau Frédéric, Golbol Melek, Lansard Bruno, **Lefèvre Dominique**, Lefèvre Nathalie, Lombard Fabien, Louanchi Férial, Merlivat Liliane, Olivier Léa, Petrenko Anne, **Petton Sébastien**, Pujo-Pay Mireille, Rabouille Christophe, Reverdin Gilles, Ridame Céline, Tribollet Aline, Vellucci Vincenzo, **Wagener Thibaut**, Wimart-Rousseau Cathy (2024). A synthesis of ocean total alkalinity and dissolved inorganic carbon measurements from 1993 to 2022: the SNAPO-CO2-v1 dataset. *Earth System Science Data*, 16, 89-120. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/essd-16-89-2024>
2. Lange, N., Fiedler, B., Álvarez, M., Benoit-Cattin, A., Benway, H., Buttigieg, P. L., **Coppola, L.**, Currie, K., Flecha, S., Gerlach, D. S., Honda, M., Huertas, I. E., Lauvset, S. K., Muller-Karger, F., Körtzinger, A., O'Brien, K. M., Ólafsdóttir, S. R., Pacheco, F. C., Rueda-Roa, D., Skjelvan, I., Wakita, M., White, A., and Tanhua, T.: Synthesis Product for Ocean Time Series (SPOTS) – a ship-based biogeochemical pilot, *Earth Syst. Sci. Data*, 16, 1901–1931, <https://doi.org/10.5194/essd-16-1901-2024>, 2024.
3. Álvarez Eva, Cossarini Gianpiero, Teruzzi Anna, Bruggeman Jorn, Bolding Karsten, Ciavatta Stefano, Vellucci Vincenzo, **D'ortenzio Fabrizio**, Antoine David, Lazzari Paolo (2023). Chromophoric dissolved organic matter dynamics revealed through the optimization of an optical-biogeochemical model in the NW Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, 20(22), 4591-4624. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-20-4591-2023>
4. Ulses Caroline, Estournel Claude, Marsaleix Patrick, Soetaert Karline, Fourrier Marine, **Coppola Laurent**, **Lefèvre Dominique**, Touratier Franck, Goyet Catherine, Guglielmi Véronique, Kessouri Fayçal, **Testor Pierre**, **Durrieu de Madron Xavier** (2023). Seasonal dynamics and annual budget of dissolved inorganic carbon in the northwestern Mediterranean deep convection region. *Biogeosciences*, 20(22), 4683-4710. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-20-4683-2023>
5. Carret A., Birol F., Estournel C., **Zakardjian B.**, 2023. Assessment of the observability of coastal currents in LRM and SAR altimetry observations: a north-western Mediterranean Sea case study. *Ocean Sc.*, 19(3), DOI: 10.5194/os-19-903-2023
6. Rizo Iris, Debeljak Pavla, Finet Thomas, Klein Dylan, Ayata Sakina-Dorothee, Not Fabrice, Bittner Lucie (2023). Beyond the limits of the unassigned protist microbiome: inferring large-scale spatio-temporal patterns of Syndiniales marine parasites. *Isme Communications*, 3(1), 16 (11p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s43705-022-00203-7>
7. Bondoni M., Moore A. M. , Molcard A., Magaldi M. G. , Fattorini M. , Brandini C., 2023. 4D-Var data assimilation and observation impact on surface transport of HF-Radar derived surface currents in the North-Western Mediterranean Sea. *Ocean Mod. Ocean Modelling* 184, 102236, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2023.102236>
8. Béjard Thibault M., Rigual-Hernández Andrés S., Flores José A., Tarruella Javier P., **Durrieu de Madron Xavier**, Cacho Isabel, Haghypour Neghar, Eglinton Timothy, Sierrro Francisco J. (2022). Calcification response of planktic foraminifera to environmental change in the Western Mediterranean Sea during the industrial era. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-711>
9. Llopis Monferrer Natalia, Biard Tristan, Sandin Miguel M., Lombard Fabien, Picheral Marc, Elineau Amanda, Guidi Lionel, Leynaert Aude, Treguer Paul, Not Fabrice (2022). Siliceous Rhizaria abundances and diversity in the Mediterranean Sea assessed by combined imaging and metabarcoding approaches. *Frontiers In Marine Science*, 9, 895995 (14p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.895995>
10. Rizo Iris, Debeljak Pavla, Finet Thomas, Klein Dylan, Ayata Sakina-Dorothee, Not Fabrice, Bittner Lucie (2022). Beyond the limits of the unassigned protist microbiome: inferring large-scale spatio-temporal patterns of marine parasites. Preprint Publisher's official version : <https://doi.org/10.1101/2022.07.24.501282>
11. Lorente P, Aguiar E, Bondoni M, Berta M, Brandini C, Cáceres-Euse A, Capodici F, Cianelli D, Ciralo G, Corgnati L, Dadic V, Doronzo B, Drago A, Dumas D, Falco P, Fattorini M, Gauci A, Gómez R, Griffa A, **Guérin CA** ..., 2022. Coastal high-frequency radars in the Mediterranean - Part 1: Status of operations and a framework for future development. *Ocean Sc.*, 18(3), 761-795, DOI: 10.5194/os-18-761-2022
12. Reyes E., Aguiar E, Bondoni M, Berta M, Brandini C, Cáceres-Euse A, Capodici F, Cardin V., Cianelli D, Ciralo G, Corgnati L, Dadic V, Doronzo B, Drago A, Dumas D, Falco P, Fattorini M, Fernades M. J., Gauci A, Gómez R, Griffa A, **Guérin CA** ..., 2022. Coastal high-frequency radars in the Mediterranean - Part 2: Applications in support of science priorities and societal needs. *Ocean Sc.*, 18(3), 797:837, DOI: 10.5194/os-18-797-2022
13. Vernet Caroline, Henry Nicolas, Lecubin Julien, de Vargas Colomban, Hingamp Pascal, Lescot Magali (2021). The Ocean barcode atlas: A web service to explore the biodiversity and biogeography of marine organisms. *Molecular Ecology Resources*, 21(4), 1347-1358. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13322>

14. Belgacem Malek, Schroeder Katrin, Barth Alexander, Troupin Charles, Pavoni Bruno, Raimbault Patrick, Garcia Nicole, Borghini Mireno, Chiggiato Jacopo (2021). Climatological distribution of dissolved inorganic nutrients in the western Mediterranean Sea (1981-2017). *Earth System Science Data*, 13(12), 5915-5949. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/essd-13-5915-2021>
15. Mansour Joost Samir, Norlin Andreas, Llopis Monferrer Natalia, L'Helguen Stéphane, Not Fabrice (2021). Carbon and nitrogen content to biovolume relationships for marine protist of the Rhizaria lineage (Radiolaria and Phaeodaria). *Limnology And Oceanography*, 66(5), 1703-1717. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/lno.11714>
16. Ulses Caroline, Estournel Claude, Fourrier Marine, **Coppola Laurent**, Kessouri Faycal, **Lefèvre Dominique**, Marsaleix Patrick (2021). Oxygen budget for the north-western Mediterranean deep-convection region. *Biogeosciences*, 18(3), 937-960. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-18-937-2021>
17. Bourg N, Molcard A, 2021. Northern boundary current variability and mesoscale dynamics: a long-term HF RADAR monitoring in the North-Western Mediterranean Sea. *Ocean Dyn.*, 71(8), 851-870, DOI: 10.1007/s10236-021-01466-9
18. Molcard A, Gramoullé A, Mazoyer C, Bourg N, Ourmières Y, 2021. Dynamics and transport from the boundary Northern Current toward the Toulon Bay: multi-platform observations and downscaling modelling approaches. *Ocean Dyn.*, 71(10), 993-1009, DOI: 10.1007/s10236-021-01479-4
19. Mas José Luis, Martín Jacobo, Pham Mai Khanh, Chamizo Elena, Miquel Juan-Carlos, Osvath Iolanda, Povinec Pavel P., Eriksson Mats, Villa-Alfageme María (2020). Analysis of a major Aeolian dust input event and its impact on element fluxes and inventories at the DYFAMED site (Northwestern Mediterranean). *Marine Chemistry*, 223, 103792-
 . <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103792>
20. Llopis Monferrer Natalia, Boltovskoy Demetrio, Tréguer Paul, Mendez Sandin Miguel, Not Fabrice, Leynaert Aude (2020). Estimating biogenic silica production of Rhizaria in the global ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 34(3), e2019GB006286 (13p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1029/2019GB006286>
21. Garreau Pierre, Dumas Franck, Louazel Stephanie, Correard Stéphanie, Fercocq Solenn, Le Menn Marc, Serpette Alain, Garnier Valerie, Stegner Alexandre, Le Vu Briac, Doglioli Andrea, Gregori Gerald (2020). PROTEVS-MED field experiments: very high resolution hydrographic surveys in the Western Mediterranean Sea. *Earth System Science Data*, 12(1), 441-456. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/essd-12-441-2020>
22. Roarty H, Cook T, Hazard L, George D, Harlan J, Cosoli S, Wyatt L, Alvarez Fanjul E, Terrill E, Otero M, Largier J, Glenn S, Ebuchi N, Whitehouse B, Bartlett K, Mader J, Rubio A, Corgnati L, Mantovani C, Griffa A, Reyes E, Lorente P, Flores-Vidal X, Saavedra-Matta KJ, Rogowski P, Prukpitikul S, Lee S-H, Lai J-W, Guerin C-A, Sanchez J, Hansen B and Grilli S (2019) The Global High Frequency Radar Network. *Front. Mar. Sci.* 6:164. doi: 10.3389/fmars.2019.00164
23. Carret Alice, Birol Florence, Estournel Claude, **Zakardjian Bruno**, Testor Pierre (2019). Synergy between in situ and altimetry data to observe and study the Northern Current variations (NW Mediterranean Sea). *Ocean Sc.*, 15, 269–290, doi:10.5194/os-15-269-2019
24. Somot Samuel, Houpert Loic, Sevault Florence, Testor Pierre, Bosse Anthony, Taupier-Letage Isabelle, Bouin Marie-Noelle, Waldman Robin, Cassou Christophe, Sanchez-Gomez Emilia, Durrieu De Madron Xavier, Adloff Fanny, Nabat Pierre, Herrmann Marine (2018). Characterizing, modelling and understanding the climate variability of the deep water formation in the North-Western Mediterranean Sea. *Climate Dynamics*, 51(3), 1179-1210. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3295-0>
25. Djaoudi Kahina, Van Wambeke France, Coppola Laurent, D'Ortenzio Fabrizio, Helias-Nunige Sandra, Raimbault Patrick, Taillandier Vincent, Testor Pierre, Wagener Thibaut, Pulido-Villena Elvira (2018). Sensitive Determination of the Dissolved Phosphate Pool for an Improved Resolution of Its Vertical Variability in the Surface Layer: New Views in the P-Depleted Mediterranean Sea. *Frontiers In Marine Science*, 5(234), 11p. Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00234>
26. Leroux R., Gregori G., Leblanc K., Carlotti F., Thyssen M., Dugenne M., Pujo-Pay M., Conan P., Jouandet M-P, Bhairya N., Berline L. (2018). Combining laser diffraction, flow cytometry and optical microscopy to characterize a nanophytoplankton bloom in the northwestern Mediterranean. *Progress In Oceanography*, 163, 248-259. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.10.010>
27. Kessouri Faycal, Ulses Caroline, Estournel Claude, Marsaleix Patrick, **D'ortenzio Fabrizio**, Severin Tatiana, Taillandier Vincent, **Conan Pascal** (2018). Vertical Mixing Effects on Phytoplankton Dynamics and Organic Carbon Export in the Western Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 123(3), 1647-1669. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012669>
28. Leblanc Karine, Queguiner Bernard, Diaz Frederic, Cornet Veronique, Michel-Rodriguez Monica, de Madron Xavier Durrieu, Bowler Chris, Malviya Shruti, Thyssen Melilotus, Gregori Gerald, Rembauville Mathieu, Grosso Olivier, Poulain Julie, de Vargas Colomban, Pujo-Pay Mireille, Conan Pascal (2018). Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and

- carbon export. *Nature Communications*, 9(1), 953 (12p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03376-9>
29. Morrow R., Carret A., Birol F., Nino F., Valladeau G., Boy F., Bachelier C., Zakardjian B., 2017. Observability of fine-scale ocean dynamics in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Sc.*, 13:1–17, doi:10.5194/os-13-1-2017
 30. Send Uwe, **Testor Pierre** (2017). Direct Observations Reveal the Deep Circulation of the Western Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(12), 10091-10098. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012679>
 31. Herrmann Marine, Auger Pierre-Amael, Ulses Caroline, Estournel Claude (2017). Long-term monitoring of ocean deep convection using multisensors altimetry and ocean color satellite data. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(2), 1457-1475. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC011833>
 32. Giordani Herve, Lebeau-pin-Brossier Cindy, Leger Fabien, Caniaux Guy (2017). A PV-approach for dense water formation along fronts: Application to the Northwestern Mediterranean. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(2), 995-1015. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012019>
 33. Lebeau-pin Brossier Cindy, Leger Fabien, Giordani Herve, Beuvier Jonathan, Bouin Marie-Noelle, Ducrocq Veronique, Fourrie Nadia (2017). Dense Water Formation in the North-Western Mediterranean area during HyMeX-SOP2 in 1/36° ocean simulations: Ocean-atmosphere coupling impact. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(7), 5749-5773. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012526>
 34. Caniaux G., Prieur L., Giordani H., Redelsperger Jean-Luc (2017). An inverse method to derive surface fluxes from the closure of oceanic heat and water budgets: Application to the north-western Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(4), 2884-2908. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012167>
 35. Roesler Collin, Uitz Julia, Claustre Herve, Boss Emmanuel, Xing Xiaogang, Organelli Emanuele, Briggs Nathan, Bricaud Annick, Schmechtig Catherine, Poteau Antoine, D'Ortenzio Fabrizio, Ras Josephine, Drapeau Susan, Haentjens Nils, Barbieux Marie (2017). Recommendations for obtaining unbiased chlorophyll estimates from in situ chlorophyll fluorometers: A global analysis of WET Labs ECO sensors. *Limnology And Oceanography-methods*, 15(6), 572-585. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/lom3.10185>
 36. Damien P., **Bosse A, Testor P.**, Marsaleix P., Estournel C. (2017). Modeling Postconvective Submesoscale Coherent Vortices in the Northwestern Mediterranean Sea. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(12), 9937-9961. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2016JC012114>
 37. Benetti M., Reverdin G., Aloisi G., Sveinbjornsdottir A. (2017). Stable isotopes in surface waters of the Atlantic Ocean: Indicators of ocean-atmosphere water fluxes and oceanic mixing processes. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 122(6), 4723-4742. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/2017JC012712>
 38. Leger Fabien, Brossier Cindy Lebeau-pin, Giordani Herve, Arsouze Thomas, Beuvier Jonathan, Bouin Marie-Noelle, Bresson Emilie, Ducrocq Veronique, Fourrie Nadia, Nuret Mathieu (2016). Dense water formation in the north-western Mediterranean area during HyMeX-SOP2 in 1/36° ocean simulations: Sensitivity to initial conditions. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 121(8), 5549-5569. <https://doi.org/10.1002/2015JC011542>
 39. Ulses C., Auger P. -A., Soetaert K., Marsaleix P., Diaz F., Coppola L., Herrmann M. J., Kessouri F., Estournel C. (2016). Budget of organic carbon in the North-Western Mediterranean Open Sea over the period 2004-2008 using 3-D coupled physical-biogeochemical modeling. *Journal Of Geophysical Research-oceans*, 121(9), 7026-7055. <https://doi.org/10.1002/2016JC011818>
 40. Estournel Claude, **Testor Pierre**, Taupier-Letage Isabelle, Bouin Marie-Noelle, **Coppola Laurent**, Durand Pierre, **Conan Pascal**, **Bosse Anthony**, Brilouet Pierre-Etienne, Beguery Laurent, Belamari Sophie, Beranger Karine, Beuvier Jonathan, Bourras Denis, Canut Guylaine, Doerenbecher Alexis, **Durrieu de Madron Xavier**, **D'ortenzio Fabrizio**, Drobinski Philippe, Ducrocq Veronique, Fourrie Nadia, Giordani Herve, Houpert Loic, Labatut Laurent, Brossier Cindy Lebeau-pin, Nuret Mathieu, Prieur Louis, Roussot Odile, Seyfried Leo, Somot Samuel (2016). HyMeX-SOP2: The Field Campaign Dedicated to Dense Water Formation in the Northwestern Mediterranean. *Oceanography*, 29(4), 196-206. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.94>
 41. Heimbuerger Lars-Eric, Migon Christophe, Losno Remi, Miquel Juan-Carlos, Thibodeau Benoit, Stabholz Marion, Dufour Aurelie, Leblond Nathalie (2014). Vertical export flux of metals in the Mediterranean Sea. *Deep-sea Research Part I-oceanographic Research Papers*, 87, 14-23. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.02.001>
 42. Marmain J., A. Molcard, P. Forget, A. Barth, and Y. Ourmieres, 2014. Assimilation of HF radar surface currents to optimize forcing in the northwestern Mediterranean Sea. *Nonlinear Processes In Geophysics*, 21(3):659–675.
 43. Gogou Alexandra, Sanchez-Vidal Anna, Durrieu De Madron Xavier, Stavrakakis Spyros, Calafat Antoni M., Stabholz Marion, Psarra Stella, Canals Miguel, Heussner Serge, Stavrakaki Ioanna, Papathanassiou Evangelos (2014). Carbon flux to the deep in three open sites of the Southern European Seas (SES). *Journal Of Marine Systems*, 129, 224-233. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.05.013>

44. Heimbürger Lars-Eric, Lavigne Heloise, Migon Christophe, D'Ortenzio Fabrizio, Estournel Claude, Coppola Laurent, Miquel Juan-Carlos (2013). Temporal variability of vertical export flux at the DYFAMED time-series station (Northwestern Mediterranean Sea). *Progress In Oceanography*, 119, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.08.005>
45. Salvado Joan A., Grimalt Joan O., Lopez Jordi F., Durrieu De Madron Xavier, Pasqual Catalina, Canals Miquel (2013). Distribution of organochlorine compounds in superficial sediments from the Gulf of Lion, northwestern Mediterranean Sea. *Progress In Oceanography*, 118, 235-248. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.07.014>
46. Tamburini Christian, Canals Miquel, et al. (2013). Deep-Sea Bioluminescence Blooms after Dense Water Formation at the Ocean Surface. *Plos One*, 8(7), 1-10. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067523>
47. Puig Pere, Durrieu De Madron Xavier, Salat Jordi, Schroeder Katrin, Martin Jacobo, Karageorgis Aristomenis, Palanques Albert, Roullier Francois, Luis Lopez-Jurado Jose, Emelianov Mikhail, Moutin Thierry, Houpert Loic (2013). Thick bottom nepheloid layers in the western Mediterranean generated by deep dense shelf water cascading. *Progress In Oceanography*, 111, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2012.10.003>
48. Schroeder K., Millot C., Bengara L., Ben Ismail Sana, Bensi Manuel, Borghini M., Budillon G., Cardin Vanessa, Coppola Laurent, Curtil Colin, Drago Aldo, El Moumni B., Font J., Fuda Jean-Luc, Garcia-Lafuente J., Gasparini G. P., Kontoyiannis H., Lefevre D., Puig P., Raimbault Patrick, Rougier Gilles, Salat J., Sammari Cherif, Sanchez Garrido J. C., Sanchez-Roman A., Sparnocchia Stefania, Tamburini C., Taupier-Letage Isabelle, Theocharis A., Vargas-Yanez M., Vetrano Anna (2013). Long-term monitoring programme of the hydrological variability in the Mediterranean Sea: a first overview of the HYDROCHANGES network. *Ocean Science*, 9(2), 301-324. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/os-9-301-2013>
49. Taillandier Vincent, D'Ortenzio Fabrizio, Antoine David (2012). Carbon fluxes in the mixed layer of the Mediterranean Sea in the 1980s and the 2000s. *Deep-sea Research Part I-oceanographic Research Papers*, 65, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.03.004>
50. Heimbürger Lars-Eric, Cossa Daniel, Thibodeau Benoit, Khripounoff Alexis, Mas Virginie, Chiffolleau Jean-Francois, Schmidt Sabine, Migon Christophe (2012). Natural and anthropogenic trace metals in sediments of the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean). *Chemical Geology*, 291, 141-151. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.10.011>
51. Palanques A., Puig P., Durrieu De Madron X., Sanchez-Vidal A., Pasqual C., Martin J., Calafat A., Heussner S., Canals M. (2012). Sediment transport to the deep canyons and open-slope of the western Gulf of Lions during the 2006 intense cascading and open-sea convection period. *Progress In Oceanography*, 106, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2012.05.002>
52. Zunino P., Schroeder K., Vargas-Yanez M., Gasparini G. P., Coppola L., Garcia-Martinez M. C., Moya-Ruiz F. (2012). Effects of the Western Mediterranean Transition on the resident water masses: Pure warming, pure freshening and pure heaving. *Journal Of Marine Systems*, 96-97, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.01.011>
53. Deyme Remi, Bouloubassi Ioanna, Taphanel-Valt Marie-Helene, Miquel Juan-Carlos, Lorre Anne, Marty Jean-Claude, Mejanelle Laurence (2011). Vertical fluxes of aromatic and aliphatic hydrocarbons in the Northwestern Mediterranean Sea. *Environmental Pollution*, 159(12), 3681-3691. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.017>
54. Rontani J-F, Wakeham S. G., Prah F. G., Vaultier F., Volkman J. K. (2011). Analysis of trace amounts of alkenones in complex environmental samples by way of NaBH₄/NaBD₄ reduction and silylation. *Organic Geochemistry*, 42(11), 1299-1307. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2011.09.004>
55. Miquel Juan-Carlos, Martin Jacobo, Gasser Beat, Rodriguez-Y-Baena Alessia, Toubal Tarik, Fowler Scott W. (2011). Dynamics of particle flux and carbon export in the northwestern Mediterranean Sea: A two decade time-series study at the DYFAMED site. *Progress In Oceanography*, 91(4), 461-481. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.07.018>
56. Pasqual Catalina, Lee Cindy, Goni Miquel, Tesi Tommaso, Sanchez-Vidal Anna, Calafat Antoni, Canals Miquel, Heussner Serge (2011). Use of organic biomarkers to trace the transport of marine and terrigenous organic matter through the southwestern canyons of the Gulf of Lion. *Marine Chemistry*, 126(1-4), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2011.03.001>
57. Heimbürger Lars-Eric, Migon Christophe, Cossa Daniel (2011). Impact of atmospheric deposition of anthropogenic and natural trace metals on Northwestern Mediterranean surface waters: A box model assessment. *Environmental Pollution*, 159(6), 1629-1634. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.046>
58. Nowaczyk A., Carlotti F., Thibault-Botha D., Pagano M. (2011). Distribution of epipelagic metazooplankton across the Mediterranean Sea during the summer BOUM cruise. *Biogeosciences*, 8(8), 2159-2177. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-8-2159-2011>
59. Pasqual C., Sanchez-Vidal A., Zuniga D., Calafat A., Canals M., Durrieu De Madron X., Puig P., Heussner S., Palanques A., Delsaut N. (2010). Flux and composition of settling particles across the continental margin of the Gulf of Lion: the role of dense shelf water cascading. *Biogeosciences*, 7(1), 217-231. Publisher's official version : <https://doi.org/10.5194/bg-7-217-2010>

Thèses 2010-2024 (utilisateurs)

1. Martini S (2010-2013). La bioluminescence : un proxy biogéochimique en milieu profond? Etude au laboratoire et in situ de la bioluminescence en relation avec les variables environnementales. Encadrants Christian Tamburini, David Nerini . Université Aix-Marseille
2. Marmain J. (2011- 2013). Circulation côtière en Méditerranée Nord Occidentale : courantométrie par radar HF et couplage avec un modèle numérique. Université de Toulon – Encadrants : Anne Molcard, Philippe Forget. Université de Toulon
3. Higuera-Campos M. (2011-2014). Effet des évènements météo-climatiques en zone côtière: Impact sur le transfert de matière organique particulaire dans le Golfe du Lion. : Roselyne Buscail et Antoni Calafat Université de Perpignan / Université de Barcelone.
4. Damien P. (2012-2015): Etude du rôle des petites échelles sur la circulation océanique en Méditerranée occidentale à l'aide d'un modèle numérique à haute résolution. Encadrants: C. Estournel et P. Marsaleix . Université de Toulouse II.
5. Kessouri F. (2012 -2015): Etude des processus biogéochimiques couplés à la physique en Méditerranée nord-occidentale à l'aide de la modélisation numérique. Encadrantes : C. Ulses et C. Estournel. LA - Université de Toulouse III
6. Waldman, R. (2013-2016): Étude multi-échelle de la convection océanique profonde en mer Méditerranée : de l'observation à la modélisation climatique PhD thesis, Université de Toulouse, Université Paul Sabatier - Toulouse III. S. Somot
7. Carret, A. (2016-2019). Étude de la variabilité spatio-temporelle de la circulation en Méditerranée nord-occidentale : apport de l'altimétrie spatiale. Encadrants : F.Birol, C.Estournel. Université Toulouse III
8. Tanet L. (2017-2020) Bioluminescence bactérienne, des océans à Biolum-Archi : un phénomène biologique fascinant au service d'un modèle d'habitat durable méditerranéen ? Direction : Christian Tamburini, Laurence Casalot. Université Aix-Marseille
9. Mallil K. (2020-2023): Circulation générale et processus de sous-méso échelle dans le bassin Algéro-Provençal de la Méditerranée à partir de données in situ. Encadrants : L.Mortier, F.Louanchi. Sorbonne Université