

**Sujet de thèse**  
**Ecole Doctorale ED 305**  
**Université de Perpignan Via Domitia**

**INTITULÉ DU PROJET DE RECHERCHE DOCTORAL :**

Comment le changement climatique peut-il impacter la dynamique et les caractéristiques biogéochimiques à mésoéchelle de la veine d'eau levantine en Méditerranée ? Le gradient orient-occident revisité.

**DIRECTEUR DE THÈSE PORTEUR DU PROJET**

Nom : DURRIEU DE MADRON

Prénom : Xavier

Titre : Directeur de Recherche CNRS

Email : demadron@univ-perp.fr

Unité de Recherche : CEFREM — UMR5110 — Université de Perpignan Via Domitia — 66860 Perpignan

École Doctorale de rattachement : École doctorale Énergie Environnement (ED 305)

**CO- ENCADRANT**

Nom : CONAN

Prénom : Pascal

Titre : Maître de Conférences des Universités, HDR

Email : pascal.conan@obs-banyuls.fr

Unité de Recherche : LOMIC — UMR7621 — Sorbonne Universités — 66 650 Banyuls/Mer

École Doctorale de rattachement : École doctorale Sciences de l'Environnement d'IdF (ED 129)

**DESCRIPTION DU PROJET DE RECHERCHE DOCTORAL :**

Le sujet proposé est focalisé sur les impacts du changement global et plus précisément sur la modification d'organisation et de fonctionnement des écosystèmes marins pélagiques. L'approche transversale alliant physique, biologie et chimie ainsi qu'un travail de terrain et expérimental minutieux permettront de comprendre les spécificités de la méditerranée orientale et son rôle dans le fonctionnement plus général de la Méditerranée.

**Contexte et objectifs scientifiques**

L'océan joue un rôle fondamental dans l'atténuation du changement climatique en servant de puits de chaleur et de carbone, mais il reste également le plus touché par ce changement climatique, comme en témoigne l'évolution des températures, des courants ou encore du niveau des océans. Ces facteurs ont des répercussions immédiates sur la santé des espèces marines et sur les équilibres dans les écosystèmes marins. La Méditerranée est un véritable laboratoire d'étude pour comprendre et prédire les bouleversements océaniques auxquels nous devons faire face très prochainement (voir détails dans Durrieu de Madron et al., 2011) et constitue donc une zone clé pour l'étude des cycles biogéochimiques marins. Le principal moteur de la circulation thermohaline en Méditerranée est la formation des eaux denses en hiver dans le golfe du Lion pour le bassin Ouest (Conan et al., 2018) et dans l'Adriatique et la mer Égée pour le bassin Est (Tsimplis et al., 2006). En fait, ces phénomènes de formation d'eau dense sont très ponctuels et locaux et nécessitent d'intenses et longues interactions avec l'atmosphère, ce qui les rend particulièrement sensibles aux changements climatiques. La convection dans la partie occidentale a été particulièrement bien étudiée au cours de la dernière décennie par l'équipe proposante (e.g. Testor et al. 2018) dans la première phase du programme MERMEX. La deuxième phase du programme est donc logiquement focalisée sur le bassin Est afin de permettre une modélisation fiable et pertinente de l'ensemble de la Méditerranée.

En effet, c'est dans le bassin levantin que sont formées les eaux qui vont tapisser le fond de la partie orientale, mais également celles qui vont diffuser aux profondeurs intermédiaires dans l'ensemble de la Méditerranée et sortir au niveau du détroit de Gibraltar (i.e. les eaux levantines intermédiaires ; LIW). Or nous savons aujourd'hui que les zones de formation ainsi que les sources d'eau type de ces LIW fluctuent largement à des échelles spatio-temporelles multiples. L'étude de cette variabilité et des impacts potentiels de la propagation de ces eaux sur l'écosystème biologique nécessite des approches novatrices et multidisciplinaires. Dans ce sens, la collecte d'un ensemble unique de données au cours de l'année 2018 - 2019 dans le nord du bassin Levantin, dans le sud de la mer Égée et jusque dans le bassin occidental (campagnes océanographiques, flotteurs-profileurs, gliders) en prenant soin d'intégrer les échelles spatio-temporelles adaptées aux caractéristiques de la circulation à mésoéchelle et aux événements de convection intermittente est une base de travail exceptionnelle pour le doctorant. Les LIW jouent un rôle majeur dans les échanges verticaux des propriétés physiques et biogéochimiques ainsi que dans leur distribution et leur transport entre les différents bassins de la mer Méditerranée et vers l'Atlantique, influençant ainsi la stratification de fond des zones de formation des eaux profondes (Lascaratos et al., 1999), et régulant l'approvisionnement en nutriments des zones productives (Béthoux et al., 1998 ; Williams et Follows, 2003). Cette masse d'eau contrôle les flux de chaleur, de sels et de matière dans l'ensemble des bassins et interviendrait également sur les formations d'eau dense en Mer de Norvège, du Groenland et du Labrador, acteurs majeurs du contrôle du climat européen. Les fluctuations à long terme de la LIW ont déjà permis par exemple de tirer des conclusions sur les changements globaux, les oscillations climatiques (Schroeder et al., 2017) et leur importance dans les cycles biogéochimiques (Kress et al., 2003, Pujo-Pay et al., 2011).

Les campagnes PERLE (Pelagic Ecosystem Response in the Levant Experiment) du plan d'implémentation du programme national MISTRALS volet MERMEX dans lequel s'inscrit le contexte du sujet de doctorat proposé ici, avaient pour objectifs de décrire la formation et la dispersion de LIW. Alors que la formation et la dispersion de LIW ont été bien étudiées du point de vue physique dans les années 80-90 (e.g., Malanotte-Rizzoli et al., 1997), elles n'ont plus fait l'objet d'observations dédiées depuis, en raison d'un contexte géopolitique régional « complexe ». Reste que cette masse d'eau subit depuis une dizaine d'années une évolution importante de ses propriétés en relation avec les tendances climatiques, et pour cela elle est aujourd'hui un objet d'étude prioritaire pour l'ensemble du bassin méditerranéen. Par exemple, les premières exploitations des données de PERLE montrent une acidification significative du bassin levantin au cours des dernières décennies (Wimart-Rousseau et al., 2021) ainsi qu'une salinisation prononcée des LIW (Taillandier et al., soumis). Il est évident que d'un point de vue biogéochimique, d'importantes modifications sont à envisager. En effet, le rôle de « tapis roulant » des LIW qui transportent la matière organique qui sédimente vers l'ouest empêche la formation d'un stock profond de nutriments dans le bassin oriental. Les forts gradients trophiques créés ainsi d'ouest en est et la forte limitation en phosphate du bassin oriental ont des conséquences importantes sur les cycles biogéochimiques et sur la stœchiométrie élémentaire des différents compartiments qu'il faut préciser et modéliser (Pujo-Pay et al., 2011). Dans ce sens, le rôle exact de la diversité microbienne sur la régulation des activités de reminéralisation est très peu étudié et connu dans le bassin est alors même que dans les environnements oligotrophes, de multiples stratégies sont utilisées pour atténuer la limitation du phosphore (synthèse des sulfolipides, broutage par des nanoflagellés, synthèse alcaline de la phosphatase par les eucaryotes et les procaryotes photosynthétiques, la photo-hétérotrophie, la fixation de l'azote à l'obscurité...) (Pulido-Villena et al., 2012). Les travaux de cette thèse contribueront à des avancées significatives dans la plupart de ces domaines.

### **Objectifs de la thèse**

Outre une contribution significative aux interrogations énoncées ci-dessus, les objectifs de la thèse seront :

- 1- De réaliser une description précise des caractéristiques physiques et biogéochimiques de la zone de formation et de diffusion de LIW en utilisant une approche in situ multiplateforme : Il s'agira de

considérer les différentes phases de formation (préconditionnement, formation et propagation) puisque la région de Rhodes est généralement considérée comme la principale zone de formation de LIW et d'analyser l'impact des plongées d'eau dense et plus généralement de la dynamique à mésoéchelle (tourbillons) à partir de la distribution des nutriments, de la matière organique, de l'oxygène dissous et du système des carbonates. Il faudra décrire le rôle exact du processus de ventilation et son impact sur l'évolution des caractéristiques biogéochimiques des eaux profondes afin d'améliorer la prévision des modèles.

- 2- De comprendre l'organisation et la dynamique des populations microbiennes dans ces régions ultra-oligotrophes : Il s'agira de focaliser les analyses sur le tourbillon de Rhodes et les régions ultra-oligotrophes environnantes afin de collaborer aux efforts d'amélioration des modèles mathématiques en utilisant les données historiques et surtout les données nouvellement collectées (HPLC, CMF, pyroséquençage). Des informations sont attendues sur les capacités du système pélagique à séquestrer et dégrader de la matière organique synthétisée en surface (productions primaire et bactérienne, minéralisation...).
- 3- De proposer des scénarii cohérents et réalistes de l'évolution potentielle des écosystèmes dans le contexte du changement global : Il s'agira d'analyser, de confirmer et d'intégrer les impacts potentiels de l'acidification (décrite par Wimart-Rousseau et al., 2021) et de la salinisation importante des eaux du bassin levantin liée entre autre à la circulation évolutive (décrite dans Taillandier et al. soumis) sur l'organisation et les activités des populations microbiennes en présence

### **Méthodes et logistique**

Comme base de travail, le doctorant disposera de la base de données complète des cinq campagnes hauturières internationales PERLE qui ont échantillonné les périodes clés du cycle annuel. Ces périodes sont le preconditionnement (PERLE 0 et 1, juin-oct. 2018), la formation des eaux denses par mélange (PERLE 2 fev-mars 2019) et la dispersion de LIW (PERLE 3 interrompue en 2020 pour cause de pandémie COVID-19) et PERLE 4 (mars-avril 2021). Ces observations très complètes (stocks, flux, activités, diversité...) sont enrichies par les données de lignes de mouillage, de bouées dérivantes, de l'imagerie satellitale et d'autres campagnes océanographiques des partenaires grecs, turcs et israéliens couvrant la zone et des périodes différentes (détaillées Taillandier et al., soumis). A cela s'ajoutent les données et les couvertures des plateformes autonomes et notamment de gliders et de 25 flotteurs-profileurs déployés en 2018, dans le cadre des programmes régionaux Argo et BGC-Argo (D'Ortenzio et al., 2021). Outre ces données sur le bassin oriental, le doctorant aura à sa disposition la base de données MERMEX-DEWEX et MOOSE pour les campagnes réalisées en Méditerranée occidentale, ce qui permettra d'avoir une vision synoptique de la circulation de LIW et de son devenir spatial et temporel.

Pour le travail de laboratoire, le stagiaire aura accès à toutes les facilités d'analyses disponibles au LOMIC, à savoir, autoanalyseurs de sels nutritifs, analyseurs HTCO Shimatzu, CHN, spectrofluorimètre. Au cours de son travail de thèse, le doctorant sera amené à participer aux missions de terrain de l'équipe en rapport avec son sujet de thèse. En effet, les encadrants sont particulièrement impliqués dans les tâches d'observation et de coordination des programmes (MOOSE, COAST-HF, PHYTOBS...).

### **Encadrement**

Le doctorant sera encadré par Xavier Durrieu de Madron et Pascal Conan, tous les deux chefs de projet et de mission dans le cadre du programme MERMEX et de sa composante PERLE.

\*\*\* Xavier DURRIEU DE MADRON (RG-score 38.76) est internationalement reconnu pour ses travaux sur les formations d'eau dense et leurs impacts sur les écosystèmes marins pélagiques et benthiques. Il a plus de 110 articles à comité de lecture dont 33 publications (2 soumises) sur le sujet dont :

- 1- Durrieu de Madron X. et al. (2017) Deep sediment resuspension and thick nepheloid layer generation by open-ocean convection. *J. Geophys. Res.* 122, 2291–2318. 10.1002/2016JC01206
- 2- Durrieu de Madron X. et al. (2013) Interaction of dense shelf water cascading and open-sea convection in the Northwestern Mediterranean during winter 2012. *Geophys. Res. Letters*, 40, 1379–1385, doi:10.1002/grl.50331
- 3- Durrieu de Madron et al. (2011) Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Prog. Oceanogr.*, 91, 97-166. j.pocan.2011.02.003

\*\*\* Pascal CONAN (RG-score 34.29) est internationalement reconnu pour ses travaux sur la réponse des écosystèmes marins pélagiques aux forçages par des facteurs environnementaux et notamment sur le rôle des interactions à mésoéchelle entre processus physiques et le développement des efflorescences du phytoplancton. Il plus de 70 articles à comité de lecture dont 24 publications (2 soumises) sur le sujet dont :

- 1- Conan et al. (2018) Preface to the Special Section: Dense Water Formations in the Northwestern Mediterranean: From the Physical Forcings to the Biogeochemical Consequences, 2018. *J. Geophys. Res.*, 123 (10), 6983–6995. 10.1029/2018JC014301
- 2- Leblanc et al. (2018) Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and carbon export, *Nature Com.*, 9 (1), 953, 10.1038/s41467-018-03376-9
- 3- Séverin et al. (2017) Open-ocean convection process: A driver of the winter nutrient supply and the spring phytoplankton distribution in the Northwestern Mediterranean Sea, *J. Geophys. Res.*, 122, 4587–4601. 10.1002/2016JC012664

#### **Contexte collaboratif et profil recherché**

Ce sujet s'inscrit dans la valorisation des campagnes PERLE (Pelagic Ecosystem response in the Levant Experiment) du programme MERMEX-MISTRALS. Le doctorant devra posséder de solides connaissances en océanographie physique et sur l'écologie et la diversité du plancton.

Le doctorant sera également amené à échanger avec les équipes de modélisation (LEGOS de Toulouse avec C. Estournel et C. Ulises). Ce projet est coordonné par les laboratoires CEFREM (CNRS-UPVD, Perpignan) et LOMIC (CNRS-Sorbonne Université, Banyuls/mer), mais implique fortement le LOCEAN (CNRS-Sorbonne Université-MNHN-IRD, Paris), le LOV (CNRS-Sorbonne Université, Villefranche/mer), le ADMM (CNRS-Sorbonne Université, Roscoff), le LEGOS (CNRS-UPS-IRD, Toulouse) et le SHOM. Des collaborations internationales sont également en place avec la Grèce (HCMR), l'Italie (SZN et OGS), Israël (IOLR), la Turquie (METU-IMS).

#### **Bibliographie citée**

Béthoux et al. (1998) Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine Chemistry*, 63, 155–169

Conan et al. (2018) Preface to the Special Section: Dense Water Formations in the Northwestern Mediterranean: From the Physical Forcings to the Biogeochemical Consequences, 2018. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123 (10), 6983–6995. doi: 10.1029/2018JC014301

D'Ortenzio et al. (2021) BGC-Argo floats observe nitrate injection and spring phytoplankton increase in the surface layer of Levantine Sea (Eastern Mediterranean). *Geophysical research Letters* (sous presse).

Kress et al. (2003) Continuing influence of the changed thermohaline circulation in the eastern Mediterranean on the distribution of dissolved oxygen and nutrients: Physical and chemical characterization of the water masses. *Journal of Geophysical Research*, 108, 9, 8109. doi:10.1029/2002JC001397

Lascaratos et al. (1999) Recent changes in deep water formation and spreading in the eastern Mediterranean Sea: a review. *Progress in Oceanography*, 44, 5–36.

Malanotte-Rizzoli et al. (1997) A synthesis of the Ionian Sea hydrography, circulation and water mass pathways during POEM-Phase I. *Progress in Oceanography*, 39, 3, 153–204

Durrieu de Madron et al. (2011) Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Progress in Oceanography*, 91, 97–166.

Pulido-Villena et al. (2012) Heterotrophic bacteria in the pelagic realm of the Mediterranean Sea. *Life in the Mediterranean Sea: a look at habitat changes*, 227–266

Schroeder et al. (2017) Rapid response to climate change in a marginal sea. *Nature Scientific Reports*, 7, 4065. doi:10.1038/s41598-017-04455-5

Taillandier et al. Formation and spreading of the Levantine Intermediate Waters during the winter of 2019. *Journal of geophysical Research (soumis)*

Testor et al. (2018) Multiscale Observations of Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea during Winter 2012–2013 Using Multiple Platforms, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123 (10), 1745–1776, doi/abs/10.1002/2016JC012671

Theocharis et al. (1993) Water masses and circulation in the central region of the Eastern Mediterranean: Eastern Ionian, South Aegean and Northwest Levantine, 1986–1987. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 40, 6, 1121-114

Tsimplis et al. (2006) Chapter 4 Changes in the oceanography of the Mediterranean Sea and their link to climate variability, *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4, 227–282

Williams & Follows (2003) Physical transport of nutrients and the maintenance of biological production. in: *Ocean Biogeochemistry*, edited by: Fasham, M. J. R., *Global Change—The IGBP Series*, Springer, Berlin, Heidelberg

Wimart-Rousseau et al (2021) Seasonal and interannual variability of the CO<sub>2</sub> system in the eastern Mediterranean Sea: a case study in the North Western Levantine basin. *Frontiers in Marine Science* (sous presse)