

Titre de la thèse	<b>Minéralisation de la matière organique dissoute marine sous pression anthropique : quelle influence des ports ?</b> <i>Marine Dissolved Organic Matter MINeralization under human pressure: which influence of pOrts? (DOMINO)</i>
Ecole Doctorale	ED548 Mer et Sciences
Laboratoire	MIO
Discipline	Ecologie microbienne, biogéochimie marine
Directeur(s) de thèse Encadrant(s)	Benjamin Misson (MCF HDR, <a href="mailto:misson@univ-tln.fr">misson@univ-tln.fr</a> ), Véronique Lenoble (MCF, <a href="mailto:lenoble@univ-tln.fr">lenoble@univ-tln.fr</a> )

## Description du sujet de recherche

(3 pages maximum - contexte scientifique, objectifs, mots clé, références)

### **Contexte scientifique**

Le cycle du carbone est un cycle biogéochimique majeur en termes de flux et d'importance écologique. Il est actuellement dérégulé par les activités humaines qui accentuent l'accumulation de carbone sous forme de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Les océans assurent un service écosystémique dit de régulation, en piégeant une partie un CO<sub>2</sub> que nous émettons dans l'atmosphère, tamponnant ainsi notre impact sur le climat. Ce service écosystémique est contrôlé par les activités microbiennes. Via la photosynthèse, le phytoplancton transforme le CO<sub>2</sub> en matière organique (l'océan joue un rôle de puits de CO<sub>2</sub> atmosphérique, il le piège et le séquestre à long terme via la pompe biologique du carbone). Une part importante de cette matière organique phytoplanctonique est excrétée dans le milieu sous forme de matière organique dissoute (MOD), rejoignant le pool de MOD d'origine terrigène. La MOD est ainsi définie comme un mélange complexe de molécules organiques dont la composition n'est généralement pas encore caractérisée au niveau moléculaire. Elle représente une quantité de carbone semblable à celle contenue dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> et joue donc un rôle clef dans le cycle global du carbone. Dans l'océan, la MOD est prise en charge par les procaryotes hétérotrophes (~bactéries) selon trois voies : la production de biomasse, la transformation en MOD non utilisable ou la minéralisation en CO<sub>2</sub> (l'océan est ainsi également une source de CO<sub>2</sub> atmosphérique). Ces différentes contributions microbiennes respectent des équilibres naturels influencés par les saisons et la disponibilité en ressources nutritives, et conduisent à la dominance du rôle de puits de CO<sub>2</sub> par les océans<sup>1</sup>.

Le milieu océanique est pour l'essentiel très peu nutritif (oligotrophe). Cependant, les zones côtières, sous influence du lessivage des continents, sont des zones plus productives où le développement du phytoplancton est stimulé par les apports en nutriments. Ces zones côtières sont ainsi connues depuis plusieurs dizaines d'années pour contribuer fortement au stockage du CO<sub>2</sub> (rôle de puits du CO<sub>2</sub>)<sup>2</sup>.

Les ports représentent des artificialisations toujours plus nombreuses et plus grandes sur les littoraux, notamment méditerranéens. La nécessité de protéger les infrastructures et les bateaux se traduit le plus souvent par la construction d'entraves à l'hydrodynamique naturelle, qui a pour conséquence d'augmenter le temps de séjour de l'eau dans le port par rapport à la situation naturelle. Une augmentation du temps de séjour de quelques heures à quelques jours peut suffire pour entraîner des perturbations écologiques. Ainsi, des études récentes ont démontré, par exemple dans la rade de Toulon, que cette artificialisation menait à un changement important de diversité microbienne avec une sélection importante de bactéries adaptées à une plus forte disponibilité de ressources nutritives (= copiotrophes)<sup>3, 4</sup>. Ces travaux permettent de penser qu'une plus grande disponibilité en ressources organiques combinée à la présence de contaminants chimiques, notamment le cuivre, sont les causes de cette modification de diversité. Ainsi, l'histoire de vie de la communauté bactérienne de cette zone portuaire semble avoir modifié ses propriétés par rapport à son état initial (= oligotrophe, car vivant dans un environnement très pauvre en ressources).

La littérature scientifique récente en écologie microbienne démontre l'influence de cette histoire de vie sur les génomes bactériens et prédit en conséquence un changement fonctionnel : les bactéries copiotrophes n'utiliseraient pas la MOD avec la même efficacité que les oligotrophes, elles la respireraient plus et produiraient moins de biomasse<sup>5</sup>. L'influence de cette histoire de vie serait bien supérieure à celle de la qualité de la MOD, d'après ce même modèle. La pertinence de ce modèle théorique a été démontrée récemment par notre laboratoire dans le cadre d'une collaboration avec un chercheur étranger invité par l'UTLN (Chiara Santinelli, CNR, Pise, Italie). En étudiant un estuaire, nous avons ainsi démontré que dans le mélange entre une eau douce riche en MOD et une eau de mer pauvre, les bactéries copiotrophes de la rivière consommaient autant de MOD que les oligotrophes de la mer, mais en se divisant moins et donc en respirant plus. Ainsi, un changement de diversité bactérienne depuis une communauté oligotrophe vers une communauté copiotrophe altérerait un équilibre naturel en augmentant la minéralisation de la MOD et favoriserait l'accumulation de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

Partant de cette théorie, l'hypothèse de ce travail de thèse consiste à penser que **l'artificialisation de la côte par les ports entraîne une modification de diversité bactérienne qui se répercute sur le fonctionnement naturel de l'écosystème en accentuant la respiration de la MOD et l'émission de CO<sub>2</sub>**. De façon contre-intuitive, la fonction de puits de carbone de ces zones de forte production phytoplanctonique pourrait alors être limitée par la réponse bactérienne à cette artificialisation par l'homme et être contrebalancée par une fonction de source de CO<sub>2</sub> plus importante. Compte-tenu de l'augmentation actuelle des emprises portuaires sur la zone côtière, un tel impact écologique potentiel nécessite d'être précisé. Cette thèse constituera une base nécessaire à la détermination de l'importance quantitative de ce phénomène dans le cycle du carbone à l'échelle globale puis à l'optimisation des pratiques d'aménagement portuaire.

## **Objectifs**

Dans ce contexte, les objectifs de ce travail de thèse consisteront à :

- démontrer la validité de cette hypothèse via des expériences de minéralisation de différentes MOD côtières (plus ou moins vieilles et issues de sites plus ou moins affectées par des contraintes anthropiques portuaires comme l'application de peintures anti-fouling sur les bateaux ou la remise en suspension de sédiments lors d'un dragage)
- évaluer les capacités de minéralisation de communautés à l'histoire de vie contrastée
- évaluer l'influence de la coalescence de communautés en situation de compétition faible ou forte représentant différents mélanges de masses d'eau intervenant en zone côtière (export d'eau du port, remontée d'eaux profondes)
- préciser l'influence de la contamination en cuivre des ports sur la prise en charge de la MOD par les bactéries en prenant mieux en compte la spéciation du cuivre et les interactions entre bactéries hétérotrophes et phytoplancton
- évaluer l'influence de l'histoire de vie des communautés sur leur contribution au devenir du cuivre dans l'eau de mer (complexation et labilité)

## **Approche scientifique**

Pour atteindre ces objectifs, cette thèse utilisera principalement des approches expérimentales mettant en œuvre différentes communautés bactériennes naturelles et différentes MOD. Afin de prendre en compte le plus large éventail de possibilités offertes en zone côtière méditerranéenne, différents sites seront envisagés pour des échantillonnages de surface. Ainsi, la rade de Toulon permet un accès rapide et plutôt facile à des communautés et des MOD conditionnées par des pressions anthropiques fortes et variées mais également en conditions servant de référence représentant bien les eaux méditerranéennes côtières voire du large non perturbées par l'homme. Par le biais de collaborations internationales, un accès à des zones portuaires sous influence de gradients de salinité sera possible en étudiant à la fois une zone estuarienne riche en ressources (estuaire de l'Arno, Italie) et une zone estuarienne karstique ultraoligotrophe (estuaire de la Krka, Croatie). Les expériences réalisées nécessiteront un matériel réduit et seront menées à court terme (entre 2 jours et 2 semaines), ce qui assurera leur compatibilité avec des missions embarquées ou à l'étranger. Ces approches expérimentales permettront notamment de contrôler la pression de compétition entre bactéries en régulant la dilution initiale des communautés, les interactions avec l'activité phytoplanctonique en régulant les sources lumineuses, ou encore l'influence de la coalescence entre communautés à l'histoire de vie contrastée en les mélangeant en différents ratios, dans différents contextes de compétition (dilution). Les analyses envisagées concernent :

- la caractérisation simple des communautés (dénombrements, évaluation de biomasse par cytométrie en flux pour calculer des taux de croissance), des mesures d'activité et de potentiel métabolique (respiration par mesures d'oxygène, tests colorimétriques de type Biolog Ecoplates) ; selon les ressources complémentaires qui pourront être acquises en cours de thèse (projets actuellement soumis), une caractérisation approfondie des communautés est envisagée pour évaluer précisément leur diversité taxonomique et fonctionnelle
- la caractérisation de la matière organique dissoute (quantification par COT-mètre, absorbance et fluorescence de la MOD colorée), en collaboration avec le CNR à Pise en Italie
- l'évaluation des concentrations, de la spéciation et de la labilité du cuivre dissous (HR-ICP-MS, polarographie et utilisation de DGT, respectivement), en collaboration avec le RBI à Zagreb en Croatie

### **Projets support**

Ce travail de thèse s'inscrit pleinement dans plusieurs travaux de recherche menés par le laboratoire MIO et sera soutenu financièrement par le projet Européen GEREMIA (Interreg MARITTIMO 2018-2021, porté par le pôle MEDD d'UTLN, coordinatrice scientifique pour UTLN : V. Lenoble, budget restant à disposition pour cette thèse : 30k€), qui porte sur la qualité des eaux portuaires, les facteurs de dégradation et les conséquences écologiques. De plus, les moyens à la mer prévus et soutenus financièrement par le projet MicroplastiX (JPI Oceans, coordinatrice scientifique pour UTLN : V. Lenoble) permettront un échantillonnage régulier (mensuel si besoin) dans la rade de Toulon et à proximité, ce qui permettra de couvrir la variabilité saisonnière naturelle et ses effets sur le processus étudié.

Par ailleurs, deux projets soumis permettront de soutenir financièrement cette thèse :

- le projet C-OMICS (UTLN/TPM, 24.8k€ sollicités, porté par pôle MEDD UTLN, B. Misson co-coordonateur) permettra de travailler sur des échantillons de la rade de Toulon contrastés et bénéficiant de caractérisations biologiques et chimiques approfondies
- le projet ReadyNov Dragages (région Occitanie, 70k€ sollicités pour le MIO) permettra de travailler sur des échantillons de différentes zones portuaires du golfe d'Aigues-Mortes et sur l'influence de la remise en suspension de sédiments, avec des caractérisations chimiques et biologiques approfondies. Ce projet permettra notamment d'approfondir l'influence de transferts de DOM révélés par les travaux réalisés via le projet SEDRIPORT (Interreg Marittimo 2017-2020, coordinateur pour UTLN depuis 2018 : B. Misson).

Enfin, des dépôts de projets pour financer des analyses biologiques approfondies (métagénomique) et la mobilité internationale de l'étudiant pour aller conduire des expériences et se former aux analyses dans les laboratoires de nos partenaires italiens et croates sont envisagés dès l'automne 2020.

**Mots-clef :**

Cycle du carbone, écologie microbienne, géochimie marine, MOD, zones portuaires

**Références :**

- [1] Parekh P., Dutkiewicz S., Follows M.J., Ito T. (2006). Atmospheric carbon dioxide in a less dusty world. *Geophysical Research Letters* 33, L03610, doi:10.1029/2005GL025098
- [2] Longhurst A., Sathyendranath S., Platt T., Caverhill C. (1995). An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research* 17(6): 1245-1271.
- [3] Coclet C., Garnier C., Delpy F., Jamet D., Durrieu G., Le Poupon C., Mayer M., Misson B. (2018). Trace metal contamination as a toxic and structuring factor impacting ultraphytoplankton communities in a multicontaminated Mediterranean coastal area. *Progress in oceanography* 163:196-2013.
- [4] Coclet C., Garnier C., Durrieu G., Omanović D., D'Onofrio S., Le Poupon C., Mullot J.-U., Briand J.-F., Misson B. (2019). Changes in bacterioplankton communities resulting from direct and indirect interactions with trace metal gradients in an urbanized marine coastal area. *Frontiers in Microbiology*, doi: 10.3389/fmicb.2019.00257.
- [5] Roller B.R.K., Schmidt T.M. (2015). The physiology and ecological implications of efficient growth. *The ISME Journal*, 9:1481-1487.

## Compétences attendues et personnes à contacter

---

Considérant que la thématique de recherche est à l'interface entre la biologie et la géochimie, le(la) candidat(e) devra démontrer une curiosité scientifique et un goût pour les approches pluridisciplinaires. L'étudiant devra posséder des connaissances en écologie microbienne, en océanographie et une grande ouverture d'esprit vis-à-vis de la géochimie de l'environnement. Des compétences pratiques de manipulation en conditions traces, en cytométrie en flux et une bonne maîtrise des outils statistiques seront nécessaires. Une expérience en quantification et caractérisation de la MOD seraient appréciées.

Compte tenu du caractère pluridisciplinaire de ce sujet, cette thèse sera encadrée par deux enseignants chercheurs affiliés à deux équipes différentes du MIO : [Benjamin Misson](#) (MCF HDR, écologue microbien, équipe [MEB](#)) et [Véronique Lenoble](#) (MCF, géochimiste de l'environnement marin, équipe [CEM](#)).