

Avis de Soutenance

Madame Marion MARECHAL

Ecologie des communautés, fonctionnement des écosystèmes, écotoxicologie

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Effets des herbiers de Zostera sur le service de régulation du climat et les acteurs microbiens impliqués dans les sédiments du Bassin d'Arcachon

Travaux dirigés par Monsieur Alessandro FLORIO et Monsieur Xavier LE ROUX

Soutenance prévue le **jeudi 07 mai 2026** à 14h00

Lieu : Lyon 1 Université Amphithéâtre Marie Curie 69100 Villeurbanne

Salle :

Composition du jury proposé

M. Alessandro FLORIO	Chargé de recherche	INRAE Villeurbanne	Directeur de thèse
Mme Vanina PASQUALINI	Professeure des universités	Université de Corse Corte	Rapporteure
Mme Christine DUPUY	Professeure des universités	La Rochelle Université	Rapporteure
Mme Agnès RICHAUME-JOLION	Professeure des universités	Université Lyon 1	Co-encadrante de thèse
Mme Florence PIOLA	Professeure des universités	Université Lyon 1	Examinatrice
M. Andrea DI MURO	Physicien	Université Lyon1	Examineur
M. Frédéric GARABETIAN	Professeur des universités	Université de Bordeaux	Examineur
M. Raphaël GROS	Professeur des universités	Aix Marseille Université	Examineur

Mots-clés : Carbone bleu, Régulation du climat, Emissions de gaz à effet de serre, Enfouissement du carbone, Gènes fonctionnels, Restauration côtière

Résumé :

Les écosystèmes côtiers végétalisés, tels que les herbiers de zostères et les marais salants, jouent un rôle majeur dans la régulation du climat en tant que puits de carbone (aussi appelé « carbone bleu ») Grâce à des taux élevés d'enfouissement de carbone organique dans leurs sédiments, ces milieux contribuent significativement à l'atténuation du changement climatique. Toutefois, ces bénéfices peuvent être partiellement contrebalancés par des émissions accrues de gaz à effet de serre (GES), en particulier le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) dont le potentiel de réchauffement global est bien supérieur à celui du CO₂. Cette thèse, réalisée dans le cadre du projet européen REST-COAST, porte sur l'effet de la restauration des milieux côtiers sur le service de

régulation du climat, en analysant les compromis entre séquestration du carbone à long terme et émissions de GES. Elle vise à identifier les déterminants abiotiques et microbiens qui contrôlent cet équilibre dans des écosystèmes côtiers en contexte de restauration. Les travaux ont été menés sur plusieurs sites intertidaux en France et en Italie, avec un focus particulier sur le Bassin d'Arcachon, qui abrite le plus vaste herbier de *Zostera noltii* d'Europe. Une approche intégrative a été mise en œuvre, combinant mesures fines de sédimentation et de séquestration du carbone à long terme (via le signal isotopique du ^{210}Pb), mesures in situ des flux de CO_2 , CH_4 et N_2O à l'aide de chambres statiques et caractérisation physico-chimique des sédiments. Parallèlement, les communautés microbiennes impliquées dans les cycles du méthane et de l'azote ont été étudiées à travers leur activité (mesurée sur le terrain et au laboratoire), leur abondance (évaluée par qPCR) et leur diversité (en utilisant une approche métagénomique ciblée basée sur des gènes fonctionnels clés). Les résultats montrent que les sédiments végétalisés présentent des taux d'enfouissement du carbone nettement plus élevés que les sédiments nus, confirmant leur rôle majeur de puits de carbone côtier. Bien qu'ils émettent davantage de CH_4 et de N_2O ce qui réduit partiellement le bénéfice climatique associé au carbone enfoui, le bilan reste largement positif. En effet, le bénéfice net de régulation du climat lié au carbone bleu demeure plus de deux fois supérieur dans les sédiments avec herbiers que dans les sédiments nus. Pour le méthane, les flux sont plus élevés dans les sédiments colonisés par les herbiers et sont étroitement corrélés aux taux d'accumulation de carbone, aux flux de CO_2 et à la diversité fonctionnelle des méthanotrophes. L'analyse métagénomique ciblée a permis d'identifier des taxons microbiens clés directement associés à ces émissions. Pour le N_2O , les émissions tendent à être également plus élevées dans les zones avec herbiers. Les flux les plus élevés sont observés lorsque convergent plusieurs conditions biotiques et abiotiques favorables. Parmi elles : des réseaux microbiens de dénitrification denses et efficaces, une biomasse microbienne importante ainsi qu'une forte stabilité des sédiments, la disponibilité en matière organique labile, une granulométrie sableuse et la présence de végétation. L'ensemble des résultats met en évidence l'existence d'un équilibre complexe entre l'enfouissement du carbone et les émissions de GES dans les milieux côtiers végétalisés. Cette thèse montre que la prise en compte exclusive de la séquestration à long terme du carbone bleu ne suffit pas à évaluer de manière exhaustive le service de régulation du climat. Elle fournit des éléments déterminants pour orienter les stratégies de restauration côtière en vue de renforcer les bénéfices climatiques grâce à l'identification des mécanismes abiotiques et microbiens impliqués. Plus largement, nos résultats soulignent l'importance de conserver et restaurer les écosystèmes côtiers afin de maintenir et renforcer leur contribution au service de régulation du climat.

Summary:

Vegetated coastal ecosystems, such as seagrass meadows and salt marshes, play a major role in climate regulation as carbon sinks, commonly referred to as blue carbon ecosystems. Their high rates of organic carbon burial in sediments contribute significantly to climate change mitigation. However, these benefits can be partly offset by enhanced emissions of greenhouse gases (GHGs), particularly methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O), whose global warming potentials greatly exceed that of CO_2 . This PhD thesis, conducted within the framework of the European REST-COAST project, investigates the effects of coastal ecosystem restoration on climate regulation services by assessing trade-offs between long-term carbon sequestration and GHG emissions. The aim is to identify the abiotic and microbial descriptors controlling this balance in restored coastal environments. The study was carried out across several intertidal sites in France and Italy, with a particular focus on the Arcachon Bay, which hosts the largest *Zostera noltii* meadow in Europe. An integrative approach was applied, combining high-resolution measurements of sedimentation and carbon burial (using ^{210}Pb isotopic signals), in situ CO_2 , CH_4 and N_2O flux measurements using static chambers, and detailed sediment physico-chemical characterization. In parallel, microbial communities involved in methane and nitrogen cycling were investigated through activity

measurements, abundance assessments using qPCR, and functional diversity analyses based on targeted metagenomics of key functional genes. Results show that vegetated sediments exhibit substantially higher carbon burial rates than unvegetated sediments, confirming their role as major coastal carbon sinks. Although CH₄ and N₂O emissions are higher in vegetated areas, partially reducing the climatic benefit associated with buried carbon, the overall climate regulation balance remains strongly positive. Net climate benefits linked to blue carbon are more than twice as high in seagrass sediments compared to bare sediments. Methane fluxes are higher in seagrass-colonized sediments and are closely correlated with carbon accumulation rates, CO₂ fluxes, and methanotroph functional diversity. Targeted metagenomic analyses identified key microbial taxa directly associated with these emissions. Nitrous oxide emissions also tend to be higher in vegetated areas, with the highest fluxes occurring under the convergence of favorable biotic and abiotic conditions, including dense and efficient denitrification networks, high microbial biomass, strong sediment stability, high availability of labile organic matter, sandy grain size, and the presence of vegetation. Overall, these findings highlight the complex balance between carbon burial and GHG emissions in vegetated coastal ecosystems. This thesis demonstrates that considering long-term blue carbon sequestration alone is insufficient to fully assess climate regulation services. By identifying key abiotic and microbial mechanisms, it provides critical insights to guide coastal restoration strategies aimed at maximizing climate benefits. More broadly, our results emphasize the importance of conserving and restoring coastal ecosystems to sustain and enhance their contribution to climate regulation.