



Sujet de Recherche – Projet de thèse

Le Carbone Bleu dans l'estuaire de l'Authie :

Stockage et échanges de Carbone dans un contexte de dépollérisation

Encadrement :

Directeur de thèse : L. Denis, Laboratoire LOG (UMR8187) – Université de Lille – Station Marine de Wimereux - 28, Avenue Foch, 62930 WIMEREUX

Co-encadrant : N. Chevalier, Laboratoire LOG (UMR8187) – Université du Littoral Côte d'Opale – Maison de la Recherche en Environnement Naturel de Wimereux - 32, Avenue Foch, 62930 WIMEREUX

La personne retenue sera basée au LOG (UMR 8187), à la Station Marine de Wimereux.

Financement :

Le sujet de doctorat est financé sur la base des taux contractuels en France (Salaire brut ~ 2200€/mois) pour une durée de 3 ans (octobre 2024-Septembre 2027) par le fonds de Dotation Nausicaa.

Stocké par les écosystèmes océaniques, le carbone bleu intéresse de plus en plus de chercheurs car il pourrait permettre une réduction des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, avec un rôle crucial dans l'atténuation du changement climatique.

Introduction :

Les océans recouvrent plus de 70 % de la surface du globe et assurent notre survie par les nombreux paramètres qu'ils régulent : la pluie, l'eau potable, la météorologie, le climat, le trait de côte, notre alimentation, jusqu'à l'oxygène de l'air que nous respirons. Certains écosystèmes océaniques (mangroves, prés salés, champs d'algues ou herbiers) sont capables de piéger et d'accumuler le dioxyde de carbone par la croissance des végétaux mais aussi par l'exportation en profondeur et l'enfouissement de matière organique dans les sédiments. Or bien que ces écosystèmes ne représentent que 1% de la surface océanique, ils peuvent stocker plus de 50% du carbone océanique. C'est ce bilan en faveur d'un piégeage du carbone par l'océan qui est appelé carbone bleu, une notion qui est apparue il y a une dizaine d'années et qui fait l'objet de plus en plus d'études. Encore peu étudié, le carbone bleu représente une piste d'innovation intéressante. Riche de plusieurs écosystèmes de ce type (prés salés dans les estuaires picards (Canche, Authie, Somme) et populations d'algues près des caps), la région des Hauts-de-France est un terrain de recherche particulièrement stimulant dans ce domaine.

Le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (LOG, UMR 8187) compte d'ailleurs plusieurs chercheurs qui s'intéressent au cycle du carbone et a accueilli en 2023 une école d'été internationale (18 experts internationaux et plus de 30 stagiaires de 19 nationalités différentes) afin de diffuser les connaissances scientifiques autour du carbone bleu pouvant faire émerger les innovations de demain.

Projet de recherche dans l'estuaire de l'Authie :

Les aménagements à venir dans l'estuaire de l'Authie (PAPI) envisagent une dépoldérisation comme la possibilité offerte de reconquérir de façon naturelle des zones humides. L'objectif est bien évidemment de lutter contre les inondations et les submersions littorales résultant de débits fluviaux élevés couplés à de forts coefficients de marée. Cette transformation amènerait à terme à accroître la surface couverte par les prés-salés, avec les avantages que ceci comporte en termes de biodiversité, de zones de nurserie, mais aussi de bilan carbone vertueux. Toutefois, outre le fait que la recolonisation par les prés salés est un processus lent (changements envisagés à l'échelle de 5 à 10 ans après dépoldérisation effective), cette reconquête est soumise à des décisions collectives qui rendent le calendrier imprécis à l'heure actuelle.

Dans ce contexte, il est toutefois nécessaire de disposer par anticipation de bilan de carbone fiables dans les différents habitats de l'estuaire de l'Authie, en particulier dans les différentes zones de l'estuaire (chenaux principaux et secondaires, vasières latérales, prés-salés bas et haut), en comparaison de zones exploitées par l'agriculture. Il est par ailleurs nécessaire de disposer de mesures fiables avant dépoldérisation, afin de mesurer à terme quels sont les effets de cette dépoldérisation. Il conviendra donc de dresser des bilans de carbone dans l'estuaire de l'Authie pour les divers types d'habitats, en considérant à la fois les échanges à l'immersion et à l'émersion, les mécanismes de production primaire et de minéralisation de la matière organique, et la qualité du carbone organique dans les sédiments superficiels. Dans le détail, les principales communautés végétales structurant les habitats au sein des prés-salés seront étudiées, ainsi que leur dynamique saisonnière.

Par ailleurs, étant donné que l'évolution latérale (méandres mobiles) du chenal principal des fleuves dans ces zones estuariennes est un phénomène naturel, nous ambitionnons de décrire plus précisément la dynamique des modifications des types de sédiments, d'un chenal à un pré-salé, en étudiant précisément une zone particulière de l'estuaire où ce changement est en cours. En effet, les travaux effectués précédemment dans l'estuaire de l'Authie (Voltz et al. 2021) montrent, en rive nord, une progradation de la vasière et du pré-salé en direction du chenal principal sableux. Cette zone est donc particulièrement propice à l'étude de l'accumulation de particules fines et de matière organique, à la consolidation de ces matériaux afin de former une vasière pérenne, puis la végétalisation de ces zones lorsque la consolidation est suffisante. La dynamique des bilans de carbone lors de ces changements sera étudiée.

Enfin, si les mécanismes de production et de minéralisation de la matière organique sont bien connus dans les sédiments cohésifs non végétalisés (vasières), leur variabilité est bien plus grande dans les parties végétalisées, car les végétaux, leurs racines et les apports qui en sont issus, constituent une source majeure d'hétérogénéité. Pour mieux comprendre ces mécanismes, des travaux expérimentaux seront effectués en laboratoire, afin d'estimer les interactions entre les principales espèces végétales rencontrées (Spartine, Obione, Aster...) et la biogéochimie des sédiments superficiels.

En raison de la participation à de nombreux projets de recherche sur ce sujet, dont les CPER (Contrats de Plan Etat-Région) MARCO et IDEAL, le projet PEPR CABESTAN, ainsi que d'autres projets de moindre ampleur, nous avons développé et disposons des équipements et savoir-faire nécessaires pour étudier l'ensemble de ces échanges dissous, gazeux, à l'immersion, à l'émersion, à la lumière ou à l'obscurité.

Lorsque les prés-salés sont reconquis, recouverts de cette végétation spécifique quels sont les bilans de carbone mis en jeu ? Pour ceci, une étude fine des capacités de production primaire (photosynthèse par les végétaux supérieurs, mais aussi les organismes microscopiques du microphytobenthos, qui captent du carbone) mais aussi des processus de minéralisation (qui rejettent du C) sera effectuée dans les zones de prés-salés de la Baie d'Authie. La quantité de Carbone stockée ainsi que les sources de carbone organique dans les sédiments superficiels seront aussi estimées, afin de disposer à la fois des stocks et des flux de carbone. L'objectif est ainsi d'aboutir à des bilans de carbone actuels, à venir, permettant de quantifier l'influence des prés-salés comme pièges à carbone, mais aussi de disposer des premières données sur l'établissement de ces bilans suite à la reconquête qui ferait suite à une dépollérisation. Ce contexte est particulièrement favorable à la mise en œuvre d'un doctorat, d'une durée de 3 ans, ciblée sur la mesure de ces mécanismes en Baie d'Authie. Nous disposons d'ores et déjà d'une expertise et d'un savoir-faire scientifique dans ce domaine (comme en témoignent des publications dans des revues internationales), qui a été validé par la soutenance d'un doctorat en 2020 sur la minéralisation (Voltz, 2020), et plus récemment par la soutenance d'un second doctorat sur la partie production primaire du microphytobenthos (Meresse, 2023).

Contexte Scientifique de ce travail :

Ce doctorat s'inscrit dans le cadre du projet de Recherche PEPR Faircarbon CABESTAN (2023-2028), rassemblant les compétences de plusieurs équipes de recherche issues de 12 laboratoires, et qui a pour objectif de comparer les stocks et les bilans de carbone dans divers domaines intertidaux du territoire national métropolitain, de la Baie de Canche au Bassin d'Arcachon. Le projet CABESTAN rassemble un très large consortium qui permet de réunir des compétences complémentaires et de les déployer sur un grand nombre de secteurs du littoral Manche-Atlantique dans une approche comparative multi-sites aux forçages multiples. L'objectif est de lever des verrous de connaissance sur les processus, les forçages et leur synchronicité qui régissent les flux et la séquestration du C dans les écosystèmes côtiers intertidaux, des zones humides du continuum des marais rétro-littoraux aux estrans, et ceci à différentes échelles spatiales et temporelles.

Le projet Cabestan implique 6 enseignants chercheurs et deux ingénieurs appartenant à 3 des 6 équipes du Laboratoire LOG, ce qui en fait un projet parfaitement transversal. En effet, aux mesures des échanges de carbone et des mécanismes fonctionnels mis en jeu (production primaire, minéralisation) effectuées au sein de l'équipe Interest (L. Denis, N. Spilmont, G. Duong, F. Goulard, F. Gevaert) s'adjoignent 1) les approches d'imagerie hyperspectrale, permettant d'intégrer spatialement les données sur la base de cartographies obtenues par drone (Equipe Telhyd : C. Verpoorter, L. Brutier), et 2) la quantification et la caractérisation de l'accumulation du carbone dans les sédiments (Equipe Geosed : N. Chevalier).

Au sein du laboratoire d'accueil, l'équipe Interest focalise une majeure partie de ses activités sur le fonctionnement des écosystèmes intertidaux estuariens. Nous disposons donc des équipements et des savoir-faire adaptés pour la mesure des échanges dissous aux interfaces eau-sédiment et air-sédiment. Par ailleurs, un drone équipé d'une caméra hyperspectrale (+ Licence Pilote) est régulièrement utilisé au sein du laboratoire. Ces multiples équipements de pointe ont principalement été acquis lors du CPER Marco (2015-2021) ou du CPER IDEAL (2021-2027). Plusieurs travaux ont d'ailleurs été d'ores et déjà publiés dans ce domaine montrant ainsi le savoir-faire des personnels du laboratoire dans ce domaine.



Research Project – PhD Proposal

Blue Carbon in the Authie estuary:

Carbon sequestration and exchanges in a context of dyke removal

PhD Supervisors:

L. Denis, Laboratory LOG (UMR8187) – University of Lille – Station Marine de Wimereux - 28, Avenue Foch, 62930 WIMEREUX

N. Chevalier, Laboratory LOG (UMR8187) – University du Littoral Côte d’Opale – Maison de la Recherche en Environnement Naturel de Wimereux - 32, Avenue Foch, 62930 WIMEREUX

The successful candidate will be based at LOG (UMR 8187), at the Station Marine de Wimereux.

Funding:

The PhD subject will be funded on the basis of contractual rates in France (Gross salary ~ 2200€/month) for a period of 3 years (October 2024-September 2027) by the Fonds de Dotation Nausicaa.

Stored by ocean ecosystems, Blue Carbon is of growing interest to researchers because it could help reduce greenhouse gases in the atmosphere, playing a crucial role in mitigating climate change.

Introduction:

The oceans cover more than 70% of the earth's surface and ensure our survival through the many parameters they regulate: rainfall, drinking water, meteorology, climate, coastlines, our food supply and even the oxygen in the air we breathe. Some ocean ecosystems (mangroves, saltmarshes, seaweed beds) can trap and accumulate carbon dioxide through plant growth, but also through export processes towards deep ocean and burial of organic matter in sediments. Although these ecosystems represent only 1% of the ocean's surface, they can store more than 50% of the ocean's carbon. This balance in favour of carbon sequestration by the ocean is known as Blue Carbon, a concept that emerged around ten years ago and is the subject of an increasing number of studies. Still little studied, blue carbon represents an interesting avenue for innovation. With several ecosystems of this type (saltmarshes in the estuaries of Picardy (Canche, Authie, Somme) and seaweed populations near the capes), the Hauts-de-France region is a particularly stimulating area for research in this field.

The Laboratory of Oceanology and Geosciences (LOG-UMR 8187) hosts several researchers working on the carbon cycle, and organized in 2023 an international Summer School at the Station Marine de Wimereux (18 international experts and more than 30 trainees of 19 different nationalities) to disseminate scientific knowledge about blue carbon, which could lead to tomorrow's innovations.

Research project in the Authie estuary:

Future developments in the Authie estuary (PAPI) envisage dyke removal and rewilding as an opportunity to reclaim wetlands naturally. The aim is obviously to decrease the impact of flooding and

coastal submersion resulting from high river flows coupled with high tidal coefficients. This transformation would eventually lead to an increase in the surface area covered by saltmarshes, with all the associated benefits in terms of biodiversity, nursery areas and a virtuous carbon balance. However, apart from the fact that rewilding by salt marshes is a slow process (changes are expected on the scale of 5 to 10 years after effective dyke removal), this rewilding is subject to collective decisions that make the timetable imprecise at present.

However, in this context, it is necessary to have reliable carbon balances in advance for the different habitats of the Authie estuary, particularly in the different areas of the estuary (main and secondary channels, lateral mudflats, low and high salt marshes), compared with areas used by agriculture. It is also necessary to have reliable measurements before dyke removal, in order to measure the effects of dyke removal over time. It will therefore be necessary to draw up carbon balances in the Authie estuary for the various types of habitat, considering exchanges during immersion and emersion, the mechanisms of primary production and mineralisation of organic matter, and the quality of organic carbon in the surface sediments. The main plant communities structuring salt meadow habitats will also be studied, as well as their seasonal dynamics.

Furthermore, given that the lateral evolution (mobile meanders) of the main river channel in these estuarine areas is a natural phenomenon, we aim to describe more precisely the dynamics of changes in sediment types, from channel to mudflat, by studying a particular area of the estuary where this change is ongoing. Previous works in the Authie estuary (Voltz et al. 2021) have shown that the mudflats and salt marshes on the north bank are protruding towards the main sandy channel. This area is therefore particularly suitable for studying the accumulation of fine particles and organic matter, the consolidation of these materials to form a perennial mudflat, and then the rewilding of these areas by plants when consolidation is sufficient. The dynamics of carbon balances during these changes will be studied.

Finally, while the mechanisms of organic matter production and mineralisation are rather well known in non-vegetated cohesive sediments (mudflats), their variability is much greater in vegetated areas, since plants, their roots and their exchanges with the environment constitute a major source of heterogeneity. To gain a better understanding of these mechanisms, experimental works will be carried out in the laboratory to estimate the interactions between the main plant species encountered (*Spartina*, *Halimione*, *Aster*, etc.) and the biogeochemistry of surface sediments.

As a result of our participation in numerous research projects on this subject, including the MARCO and IDEAL CPER (French State-Region Plan Contracts), the CABESTAN PEPR project and other smaller-scale projects, we have developed the equipment and knowledge needed to study all of these dissolved and gaseous exchanges, when submerged, emerged, in the light or in the dark. When the salt marshes are rewilded and covered with this specific vegetation, what are the changes expected in terms of carbon balance? For this purpose, a detailed study of primary production capacity (photosynthesis by higher plants, but also the microscopic organisms of the microphytobenthos, which capture carbon) but also mineralisation processes (which release C) will be carried out in the salt marshes of the Authie estuary. The quantity of carbon stored and the sources of organic carbon in the surface sediments will also be estimated, in order to obtain both carbon stocks and flows. The aim is to produce current and future carbon balances that will quantify the influence of salt marshes as

carbon traps, and also to obtain initial data on the establishment of these balances following the changes that would happen after dyke removal and rewilding.

This context is particularly favourable to the implementation of a 3-year PhD, targeting the measurement of these mechanisms in the Authie estuary. We already have expertise and scientific knowledge in this field (as demonstrated by publications in international journals), as validated by a PhD focused on mineralisation (Voltz, 2020), and more recently by PhD on the primary production of the microphytobenthos (Meresse, 2023).

Scientific environment of the PhD:

This PhD is part of the PEPR Faircarbon CABESTAN research project (2023-2028), which brings together the skills of several research teams from 12 laboratories to compare carbon stocks and balances in various intertidal areas of mainland France, from the Bay of Canche/Authie to the Bay of Arcachon. The CABESTAN project brings together a very broad consortium, bringing together complementary skills and deploying them over a large number of sectors of the Channel-Atlantic coast in a multi-site, multi-forcing comparative approach. The aim is to better understand the processes, forcing and their synchronicity that govern C fluxes and sequestration in intertidal coastal ecosystems, from wetlands in the continuum of retro-littoral marshes to foreshores, at different spatial and temporal scales.

The Cabestan project involves 6 researchers and two engineers from 3 of the 6 teams at the LOG Laboratory, making it a perfectly cross-disciplinary project. In addition to the measurements of carbon exchanges and the functional mechanisms involved (primary production, mineralisation) carried out by the Interest team (L. Denis, N. Spilmont, G. Duong, F. Goulard, F. Gevaert) topics are complemented by 1) hyperspectral imaging approaches, enabling data to be spatially integrated on the basis of maps obtained by drone (Telhyd team: C. Verpoorter, L. Brutier), and 2) quantification and characterisation of carbon accumulation in sediments (Geosed team: N. Chevalier).

Within the host laboratory, the Interest team focuses most of its activities on the functioning of estuarine intertidal ecosystems. We therefore have the appropriate equipment and expertise to measure dissolved exchanges at the water-sediment and air-sediment interfaces. In addition, a drone equipped with a hyperspectral camera (+ Pilot Licence) is regularly used in the laboratory. Most of this state-of-the-art equipment was acquired under the CPER Marco (2015-2021) or the CPER IDEAL (2021-2027). Several works have already been published in this field, demonstrating the expertise of the laboratory's staff in this area.

Timetable:

Each 'end of action' will give rise to a deliverable, in the form of a publication (probably an unfinalized version), with the main advances of the project, and these elements will be the subject of a discussion and/or an oral presentation to the partner Fonds de Dotation Nausicaá. In addition, the provisional work schedule is very ambitious for a PhD project, and the priorities will be re-evaluated and discussed with the partner and the PhD student during these meetings.

