



RAPPORT SCIENTIFIQUE FINAL

PROJET CPER 2015-2021 MARCO

01/01/2016 – 31/12/2021

Participants :



Financeurs :



Coordinateurs et responsables scientifiques : Anne Brisabois (Anses) et François Schmitt (CNRS)

SOMMAIRE

I. Présentation générale du projet MARCO	4
Qu'est-ce que le projet CPER MARCO ?.....	4
Laboratoires et établissements partenaires	5
Remerciements.....	8
II. Déroulé des programmations.....	9
Présentation générale	9
Liste de l'ensemble des actions scientifiques du projet MARCO.....	11
III. Rapport scientifique des actions déployées sur l'ensemble du CPER MARCO 2015-2021 .	12
Action de coordination	12
<i>Communications.....</i>	<i>13</i>
Axe 1 : Observation et évaluation de l'environnement marin.....	17
<i>Action 1.1 : Suivi de la dynamique phytoplanctonique à haute résolution.....</i>	<i>17</i>
<i>Action 1.2 : Analyse et cartographie des sédiments côtiers.....</i>	<i>52</i>
<i>Action 1.3 : Suivi du carbone particulaire et organique à partir de mesures in-situ et satellitaires</i>	<i>66</i>
<i>Action 1.4 Dynamique et transport de particules et plancton</i>	<i>70</i>
Axe 2: Structure, fonctionnement et dynamique des écosystèmes	79
<i>Action 2.1 : Biogéochimie et interactions avec la biodiversité.....</i>	<i>79</i>
<i>Action 2.2 : Activité photosynthétique et production primaire.....</i>	<i>87</i>
<i>Action 2.3 Diversité taxonomique.....</i>	<i>96</i>
<i>Action 2.4: Variabilité des réseaux trophiques marins le long des gradients environnementaux</i>	<i>107</i>
Axe 3 : Productivité et durabilité des ressources halieutiques et aquacoles.....	123
<i>Action 3.1. : Fonctionnalité des zones de nurseries et utilisation des copépodes en aquaculture</i>	<i>123</i>
<i>Action 3.2: Écologie expérimentale : un outil essentiel pour la compréhension de la biologie du plancton et des poissons dans le milieu naturel</i>	<i>136</i>
Axe 4 : Qualité et sécurité des ressources aquatiques	141
<i>Action 4.1 : Réseau trophique et contaminants en Manche (RECOMANCHE).....</i>	<i>141</i>
<i>Action 4.2 : Impact des pratiques d'élevage du bar (<i>Dicentrarchus labrax</i>) sur la flore microbienne et des populations de <i>Vibrio spp.</i> d'intérêt en santé animale et publique (VIBBAR).....</i>	<i>148</i>
<i>Action 4.3 - Altération Fraîcheur.....</i>	<i>158</i>
<i>Action 4.4 Contamination des organismes marins par les microplastiques</i>	<i>166</i>
Axe 5 : Vulnérabilité et usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux	179
<i>Action 5.1 Usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux.....</i>	<i>179</i>
<i>Action 5.2 Vulnérabilité des systèmes littoraux.....</i>	<i>186</i>
Axe 6 : Ingénierie marine et littorale	194
<i>Action 6.1 : Sismique.....</i>	<i>194</i>

<i>Action 6.2 : Étude et développement d'un instrument de réflectométrie GNSS multi-bandes et multivoies, pour la surveillance des zones inondables</i>	213
<i>Action 6.3 Modélisation expérimentale</i>	217
IV. Synthèse et apport du projet MARCO	225
Renforcement de l'infrastructure de recherche par l'acquisition d'équipements structurants.....	225
Renforcement des ressources humaines dédiés aux travaux de recherche du projet MARCO et pérennisation des emplois.....	226
Renforcement de la visibilité en Région, valorisation, attractivité... ..	227
V. Conclusion générale	228
Annexe 1 : Personnels MARCO	229
Post-doctorats accompagnant le projet	229
CDD techniques accompagnant le projet	230
Stages post-bac accompagnant le projet.....	232
Annexe 2 : Thèses en soutien au projet CPER MARCO	237
Thèses soutenues (2018-2022)	237
Thèses en cours (en avril 2022)	239
Annexe 3 : Valorisations du CPER MARCO	242
1. Publications.....	242
<i>Publications dans des revues à comité de lecture</i>	242
<i>Ouvrages et articles dans des livres et actes de conférences publiés (avec ISBN)</i>	251
<i>Actes de conférences non publiés</i>	253
<i>Rapports d'expertise (en relation avec MARCO et ses outils)</i>	253
<i>Article de vulgarisation</i>	255
2. Présentations	256
<i>Organisation de sessions dans des congrès nationaux ou internationaux</i>	256
<i>Présentations orales internationales</i>	258
<i>Présentations orales nationales</i>	268
<i>Présentations orales à des groupes de travail et ateliers</i>	275
<i>Présentations sous forme de poster</i>	280
<i>Communication vers le grand public</i>	284
<i>Campagnes à la mer réalisées grâce à MARCO</i>	285
Annexe 4 : Projets venant en soutien au projet CPER MARCO, effet levier	286
Projets européens et internationaux.....	286
Contrats nationaux (ANR, PHRC, CNES, Ifremer, CNRS, etc.).....	287
Contrats régionaux: Région, universités Lille et ULCO.....	291

I. Présentation générale du projet MARCO

Qu'est-ce que le projet CPER MARCO ?

Le projet CPER MARCO est un **projet structurant multi-laboratoires, multi-organismes** associant la mise en place d'instruments et d'outils (enquêtes, indicateurs) pour une **approche globale de l'étude du milieu marin, de la ressource et de la qualité des produits aquatiques**.

Ce projet a pour objectif de mettre en place une approche originale et innovante pour l'étude du milieu marin, de ses ressources et de la qualité des produits aquatiques dans le cadre d'une dynamique régionale intégrant l'impact environnemental. Il permet à terme de définir l'ensemble des paramètres critiques pour une gestion adaptée des ressources marines, en adéquation avec la qualité et la sécurité des produits aquatiques pour le consommateur. Le projet MARCO s'articule autour de 6 axes complémentaires. La connaissance et l'observation du milieu marin et des écosystèmes associés incluant les réseaux trophiques (axes 1 et 2) d'une part et la compréhension des mécanismes de réponse des organismes, des populations et des communautés halieutiques et aquacoles à leur environnement et aux pressions anthropiques d'autre part (axe 3) permettront à la fois d'appréhender les risques de contaminations chimiques ou microbiologiques des produits aquatiques dans un contexte de sécurité sanitaire et de valorisations de ces produits (axe 4) et d'évaluer les aléas et les risques associés aux espaces côtiers et littoraux (axe 5). Enfin l'amélioration, par la modélisation expérimentale et numérique, de la compréhension et de la connaissance de la réponse des structures soumises à l'action de l'environnement marin permettra une meilleure fiabilité des systèmes (axe 6).

Ce projet a été construit initialement en adéquation avec le contrat de performance du pôle de compétitivité Aquimer qui constitue l'interface entre les scientifiques et les industriels de la filière mer.

Les six axes mentionnés correspondent aux grandes thématiques scientifiques qui ont été abordées pendant la durée du projet. Ces thématiques sont structurantes et s'articulent de façon cohérente entre elles selon la **figure 1**. Au sein de chaque axe, les scientifiques ont été amenées à définir des thèmes qui correspondent à des déclinaisons des points d'intérêt à étudier et approfondir pendant la durée du CPER. Ces thèmes ont été mentionnés et argumentés dans le dossier détaillé complet soumis lors de la phase initiale d'appel à projet CPER.

Ainsi, les 6 axes retenus et les responsables d'axes associés sont les suivants :

1. Observation et évaluation de l'environnement marin (DCE, DCMM, OSPAR, Parc Marin...), responsables : A. Lefebvre et F. Artigas ;
2. Structure, fonctionnement et dynamique des écosystèmes, responsables : S. Gaudron et P. Cresson ;
3. Productivité et durabilité des ressources halieutiques et aquacoles, responsables : C. Giraldo et S. Souissi ;
4. Qualité et sécurité des Ressources aquatiques, responsables : G. Duflos et T. Grard ;
5. Vulnérabilité et usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux, responsables : C. Rufin-Soler et A. Hequette ;
6. Ingénierie marine et littorale, responsables : G. Germain et S. Reboul.



Figure 1. Cohérence et articulation entre les six axes du projet MARCO.

Ce projet a permis de fédérer les forces existant autour de ces axes, en offrant **des plateaux transversaux** permettant de générer des données et des outils (enquêtes, indicateurs) sur lesquels tous les partenaires ont pu s'appuyer pour répondre aux problématiques académiques, à l'ensemble des acteurs concernés par la filière halieutique et aux sollicitations sociétales (appui aux politiques européennes, services de l'Etat, collectivités territoriales...).

Les 4 plateaux transversaux identifiés sont les suivants :

- Plateau 1, *Systèmes analytiques* ;
- Plateau 2, *Observation* ;
- Plateau 3, *Expérimentation* ;
- Plateau 4, *Technologie marine*.

Les équipements acquis dans le cadre de ce projet ont été mis à disposition de tous les partenaires dans un objectif collaboratif permettant le renforcement significatif des capacités des différents plateaux transversaux.

Laboratoires et établissements partenaires

Le projet MARCO s'est inscrit initialement à sa construction au sein du projet scientifique du GIS **Campus de la mer**, sur les axes 1, 2 et 3 intitulés respectivement « Fonctionnement des systèmes littoraux et côtiers et biodiversité », « Pêche, aquaculture et leurs valorisations » et « Activités transversales et Politique Marine Intégrée (PMI) ». Il a permis pour la première fois, de fédérer autour de ces axes majoritaires, les différents acteurs scientifiques et l'ensemble des laboratoires partenaires impliqués dans les problématiques du milieu marin et des filières de production des produits de la mer. Il a associé et apporté une complémentarité entre des

équipes de recherche de plusieurs laboratoires dans une dynamique régionale forte autour de l'environnement marin et la ressource aquatique (figure 2).

Les laboratoires associés à ce projet sont le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (CNRS-ULCO-UL-LOG), le Laboratoire Environnement et Ressources (IFREMER-LER), le Laboratoire Comportement des Structures en Mer (IFREMER-LCSM), le Laboratoire Ressources Halieutiques (IFREMER-LRH), le Laboratoire d'Informatique, Signal et Images de la Côte d'Opale (ULCO-LISIC), le Laboratoire Territoires, Ville, Environnement et Société (ULCO-UL-TVES), le Laboratoire de Sécurité des Aliments (Anses, LSAI), incluant l'unité de Biochimie des Produits Aquatiques (BPA) de l'ULCO et membre de l'UMR INRAE Transfrontalière TERRA-VIOLETTE.

La composition du partenariat a permis un rayonnement du projet à l'échelle régionale qui s'est renforcé au travers des dispositifs existant dans les différentes structures, permettant des passerelles pour l'ensemble des thématiques portées par les différents partenaires. En plus de ce positionnement régional, le projet a également une dimension nationale par l'intégration du LOG dans le RESOMAR (réseau des observatoires, stations et laboratoires marins de l'INSU-CNRS), par la structuration nationale de l'IFREMER et de l'Anses, et par les réseaux nationaux institutionnels de surveillance que ces deux instituts portent (réseaux de surveillance de l'environnement marin, des ressources aquacoles et halieutiques, de la qualité et sécurité des produits aquatiques).



Figure 2. Localisation géographique des laboratoires impliqués dans le projet MARCO.

Le projet MARCO s'appuie donc sur :

- 5 partenaires institutionnels : ULCO, Université de Lille, CNRS, IFREMER, Anses
- 8 Laboratoires partenaires géographiquement situés dans la Région Hauts de France et principalement sur le littoral (figure 2) : LOG, LISIC, TVES, IFREMER-Laboratoire Environnement et Ressources, IFREMER-Laboratoire Comportement des Structures en Mer, IFREMER-Laboratoire Ressources Halieutiques, Anses-Laboratoire de Sécurité des Aliments-site de Boulogne sur Mer, UMR TERRA-VIOLETTE-équipe BPA.

Les partenaires institutionnels sont, pour certains, impliqués via plusieurs laboratoires. Les responsables pour les laboratoires pendant la période du projet sont indiqués dans le tableau

ci-dessous. De plus, des partenaires régionaux associés tels que PFI Nouvelles Vagues, le Parc naturel Marin Estuaires picards et mer d'Opale, Nausicaa, Agence de l'eau Artois Picardie ont été identifiés pour mener de potentielles collaborations pendant la période du projet.

Tableau 1. Laboratoires impliqués et responsables de laboratoires durant le projet MARCO.

Laboratoire	Etablissements					Responsable au sein de MARCO
	ULCO	Lille	IFREMER	CNRS	ANSES	
LOG						François Schmitt
IFREMER-LER						Alain Lefebvre
IFREMER-LCSM						Grégory Germain
IFREMER LRH						Paul Marchal
LISIC						Jean-Charles Noyer
TVES						Caroline Rufin-Soler
Anses-LSAI						Anne Brisabois
UMRt TV-BPA						Thierry Grard

Durant l'ensemble du projet MARCO, la **gouvernance** a été structurée autour de différents comités :

- Un **Comité de suivi interne** (CSI) composé des deux responsables scientifiques du projet, du VP Recherche de l'ULCO, du VP Recherche de l'Université de Lille, du Directeur du centre Ifremer Manche-Mer du Nord, d'un représentant de la Direction des laboratoires de l'Anses, et d'un représentant du CNRS. Ce comité s'est réuni une fois par an (fin d'année N ou début d'année N+1) et avait pour objectif de valider les bilans financiers et scientifiques de l'année écoulée. Ce comité s'est donc réuni six fois durant le projet.
- Un **Comité de pilotage** (CP) scientifique composé des deux responsables du projet, des responsables d'axes et des représentants des laboratoires impliqués. Ce comité avait pour objectif de suivre l'évolution des travaux au sein des différents axes, de favoriser l'interaction entre les axes, de sélectionner les actions prioritaires au sein des programmations. Dix-sept réunions de comité de pilotage ont été organisées durant le projet.
- D'une **Cellule de gestion** (CG) composée du coordinateur gestionnaire du projet (ULCO), des deux responsables scientifiques, des représentants des Etablissements sous-contractants : Ifremer, Université de Lille, et Anses. Cette cellule avait pour objectif le suivi sur le plan administratif et financier du projet, en particulier la préparation du bilan financier. La fréquence des réunions a été définie selon les besoins du gestionnaire en particulier et quatre réunions ont été organisées durant le projet.

Remerciements

L'ensemble des participants, acteurs, et coordinateurs du projet MARCO remercient la Région Hauts de France et l'Etat ainsi que l'Ifremer et le FEDER pour les subventions apportées dans le cadre des programmations tout au long du projet. Les Etablissements partenaires sont remerciés pour leur contribution au financement global du projet MARCO.

Les coordinateurs du projet MARCO remercient :

- Pauline Quiertant pour l'appui apporté à la coordination du projet sur la quasi-totalité du projet, puis Imane Briouel pour la reprise de ces mêmes actions sur les derniers mois ;
- le responsable gestionnaire ULCO pour le suivi administratif et financier du projet en lien avec l'Etat et la Région Hauts de France ;
- les responsables d'axes et d'actions pour le pilotage scientifique des travaux de recherche, les reporting apportés tout au long des programmations et leur participation active à l'ensemble des Copils, journée MARCO et colloque final ;
- et l'ensemble des participants au projet MARCO pour cette collaboration fructueuse sur ces huit années, incluant la préparation et le déroulement du projet.

Les responsables scientifiques

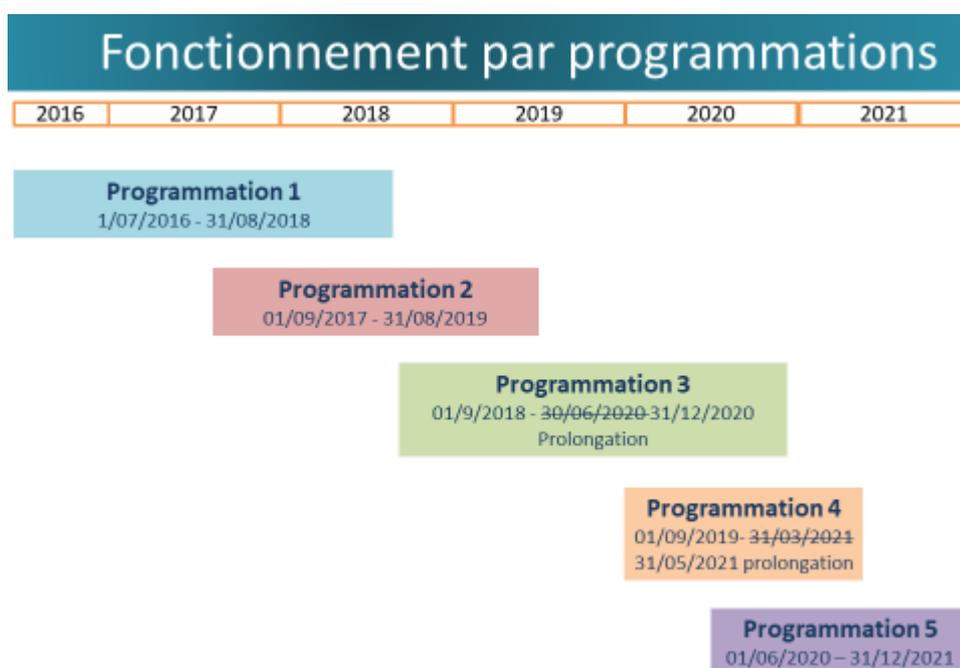
Anne Brisabois (Directrice de recherche, Anses) anne.brisabois@anses.fr

François Schmitt (Directeur de recherche, CNRS) francois.schmitt@cnrs.fr

II. Déroulé des programmations

Présentation générale

Le projet CPER MARCO a été programmé en plusieurs tranches successives intitulées « programmations ». Pour répondre à ce besoin de programmation séquentiel dans le temps, il a été nécessaire d'identifier des actions qui correspondent à des sujets précis et définis qui ont été engagés dès le début de l'opération. C'est ainsi que cinq programmations se sont déroulées successivement durant le projet MARCO sur des périodes définies et selon le schéma suivant :



Les programmations 3 et 4 ont bénéficié d'une prolongation en lien avec la situation sanitaire liée au coronavirus qui ne permettait plus de travailler dans les conditions habituelles de laboratoire, ni de recruter le personnel financé en CDD.

La programmation 5 s'est déroulée du 1^{er} juin 2020 au 31 décembre 2021. Les actions définies dans le cadre de la 5^{ème} programmation se sont inscrites dans la continuité des actions engagées dans les précédentes programmations, en particulier la programmation 4, qui en raison des contraintes sanitaires n'a pas pu se dérouler de façon optimale sur la période. Ainsi, certaines actions de la programmation 4 ont dû être redéployées sur la programmation 5, par ailleurs d'autres actions achevées en programmation 4 ne sont plus identifiées dans cette programmation.

Les programmations comportent plusieurs actions scientifiques qui ont été proposées par les scientifiques des établissements partenaires en adéquation avec les objectifs définis par les responsables d'axe. Les actions de la programmation P5 viennent en continuité des programmations précédentes et poursuivent les mêmes objectifs définis dans les six axes. La

sélection des actions proposées s'est construite en tenant compte de la pertinence de l'action qui se poursuit sur plusieurs programmations mais avec, pour chaque programmation sur la proposition des nouveaux travaux à réaliser en complément ou dans la poursuite des résultats obtenus lors des programmations précédentes. La sélection des actions tient compte également du caractère transversal de l'action faisant intervenir des équipes de différents établissements par exemple, de l'avancée des travaux déjà réalisés et de l'originalité des orientations, du personnel présent en appui pour la réalisation (post-doc, thèse, technicien), de l'acquisition des nouveaux équipements adaptés pour approfondir et compléter les travaux engagés et des perspectives de poursuite des travaux dans le cadre d'autres appels à projets (effet levier).

Ainsi, au total, le projet MARCO a permis la réalisation de 19 actions sur l'ensemble des programmations dont 18 qui se sont déroulées sur la cinquième programmation, l'action Reomanche (4.1) ayant été achevée en programmation 4. A ces actions scientifiques, il faut ajouter l'action de coordination qui s'est déroulée de façon continue sur l'ensemble du projet. Par ailleurs, certaines actions se sont poursuivies dans le temps, mais sans demande de subventions supplémentaires au cours de la programmation 5 mais uniquement avec les ressources internes de l'Etablissement et du personnel permanent, il s'agit des actions 1.3, 5.2 et 6.3.

Le rapport scientifique final présente l'ensemble des actions et les résultats obtenus sur les six ans du projet ; la programmation 5 est intégrée dans ce rapport.

Liste de l'ensemble des actions scientifiques du projet MARCO

Les actions menées dans le cadre du projet Marco sont les suivantes :

Action 1.1 Suivi in situ à haute résolution de la dynamique des groupes fonctionnels phytoplanctoniques

Action 1.2 Analyse et cartographie des sédiments côtiers

Action 1.3 Suivi du carbone particulaire et organique à partir de mesures in-situ et satellitaires

Action 1.4 Dynamique et transport de particules et plancton

Action 2.1 Biogéochimie et interactions avec la biodiversité

Action 2.2 Déterminisme de l'activité photosynthétique des microalgues et macroalgues

Action 2.3 Diversité taxonomique et fonctionnelle des procaryotes et protistes planctoniques

Action 2.4 Variabilité des réseaux trophiques marins le long des gradients environnementaux

Action 3.1 Productivité et durabilité des ressources halieutiques et aquacoles

Action 3.2 Écologie expérimentale : un outil essentiel pour la compréhension de la biologie du plancton et des poissons dans le milieu naturel

Action 4.1 Recomanche : Réseau trophique et contamination en Manche

Action 4.2 Altération fraîcheur

Action 4.3 VIBBAR - Impact des pratiques d'élevage du bar sur la flore microbienne

Action 4.4 Contamination des organismes marins par les microplastiques: impacts écologique et sanitaire

Action 5.1 Vulnérabilité et usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux

Action 5.2 Géoradar

Action 6.1 TREMOR - Etude sismique très haute résolution des interactions tectonique et sédimentation du bassin de Manche Orientale au large des côtes picardes et boulonnaise

Action 6.2 Etude et développement d'un instrument de réflectométrie GNSS aéroporté par drone, pour la surveillance des zones inondables

Action 6.3 Modélisation expérimentale

III. Rapport scientifique des actions déployées sur l'ensemble du CPER MARCO 2015-2021

Action de coordination

Une **action transversale de coordination** s'est déroulée sur toute la durée du projet MARCO. Elle a été portée par l'équipe de coordination composée des deux responsables scientifiques du projet et de l'ingénieure en appui à la coordination.

Cette équipe de coordination a assuré durant les six années du projet le suivi des actions mises en œuvre au cours des programmations successives depuis la collecte des propositions d'actions scientifiques lors de la programmation (N-1), l'analyse et l'arbitrage de ces actions (N-1) et le déroulement des actions durant la programmation N. L'équipe de coordination a eu aussi en charge la préparation du dossier de demande de subvention pour l'Etat, la Région pour les cinq programmations et les demandes de fonds FEDER complémentaires pour les programmations 2 et 3, ainsi que le suivi de la bonne exécution et utilisation des subventions au cours de la programmation en lien avec l'Etablissement gestionnaire administratif et financier des services de l'ULCO.

L'équipe de coordination a préparé et organisé toutes les réunions de Comité de pilotage nécessaires au bon suivi des actions et du déroulement des travaux scientifiques qui en découlent au cours des programmations, avec une certaine complexité de suivi lorsque les programmations se sont superposées ce qui a été fréquemment le cas sur l'ensemble du projet. Dans ce cadre, 17 réunions de Comité de pilotage ont été organisées sur les six années.

L'équipe de coordination a organisé également les réunions annuelles du Comités de suivi interne qui visent à présenter à l'ensemble des représentants des établissements et responsables des laboratoires impliqués le bilan scientifique annuel, les éventuels points de difficultés dans le déroulement des travaux et les perspectives à venir. Par ailleurs, en lien avec l'Etablissement gestionnaire, ont été organisées plusieurs réunions de la cellule de gestion impliquant les correspondants gestionnaires de chacun des Etablissements partenaires impliqués dans la constitution des éléments administratifs et financiers de chaque programmation.

L'équipe de coordination ainsi que l'ensemble des responsables d'axes et d'actions ont dû s'adapter au moment du confinement total mis en place à partir du mois de mars 2020 en lien avec la situation sanitaire qui a impacté fortement les programmations 3 et 4 ; celles-ci ont été prolongées de 6 mois et de trois mois respectivement. Une réunion du Copil a eu lieu dès le début de la période du confinement ce qui a permis d'identifier immédiatement les impacts sur les actions et travaux en cours, associés à ce confinement. C'est ainsi que les actions 1.1, 3.2 et 4.4 ont été fortement impactées par des retards de livraison d'équipements et de consommables ayant des répercussions dans la continuité des travaux. D'autres actions 1.1, 1.2, 3.2, 5.1 et 6.2 ont dû différer leurs recrutements de personnels contractuels, entraînant ainsi un décalage avec la date de fin de contrat initialement prévue. Le prolongement de 6 mois accordé a permis de garantir le bon achèvement des travaux de recherche engagés dans les actions de la programmation 3 ainsi que la bonne exécution des dépenses associées que ce soit les investissements, les consommables ou les coûts de personnels contractuels. De même les trois

mois de prolongation supplémentaires accordés pour la programmation ont permis les mêmes effets.

<https://marco.univ-littoral.fr>

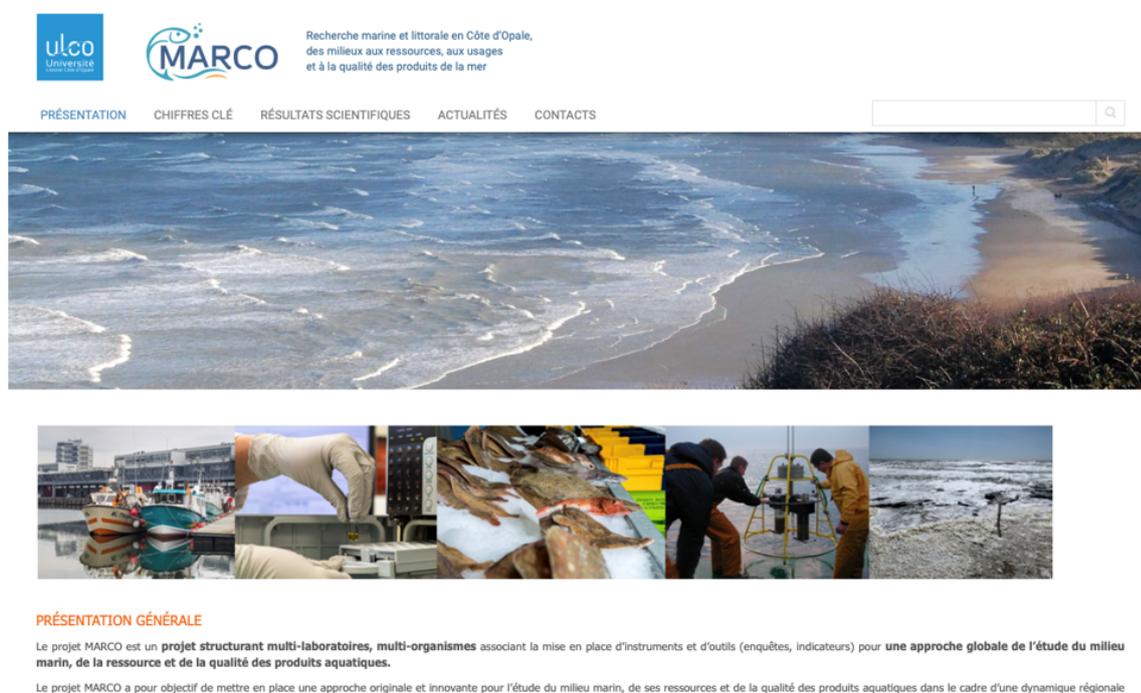


Figure 3. Site web du projet CPER MARCO.

Communications

Les journées MARCO annuelles et le site web

L'équipe de coordination a assuré également la communication en interne et en externe avec, notamment, l'organisation de la journée MARCO programmée tous les ans pendant la durée du projet. Ces journées auxquelles les institutionnels, financeurs et responsables des laboratoires étaient invités ont permis d'établir une restitution régulière de l'avancée des travaux vers l'ensemble des participants du projet Marco, de favoriser les interactions et les futures actions au sein des différents axes, de présenter les nouveaux matériels acquis et subventionnés dans le cadre du projet pour alimenter les différents plateaux transversaux identifiés : Systèmes analytiques, Observation, expérimentation, technologie marine, et d'identifier de futurs travaux faisant appel à ces plateaux transversaux.

Les journées annuelles ont eu lieu à Boulogne sur Mer dans différentes localisations, Université du Littoral et Côte d'Opale, puis à 3 reprises à Nausicaa ce qui a permis par la même occasion une communication et un relais vers le grand public dans le cadre de la fête de la mer organisée en juillet tous les deux ans à Boulogne-sur-Mer ou dans le cadre de la semaine nationale de la Sciences régulièrement organisée au mois d'octobre. La dernière journée a pu être organisée en décembre 2020 en visioconférence compte tenu de la situation sanitaire.

Ces réunions annuelles de la Journée Marco rassemblent tous les scientifiques permanents et contractuels (environ 80 personnes) des différents établissements réalisant des travaux dans le cadre du projet Marco et sont un moment privilégié pour les échanges et synergies entre les équipes et pour la restitution auprès des financeurs de l'avancée des actions. La dernière journée organisée en visioconférence, compte-tenu de la situation sanitaire, a permis de réunir une soixantaine de scientifiques d'horizons différents et a montré la montée en puissance des actions menées en dépit des difficultés actuelles liées à la situation sanitaire.

Le site internet du projet MARCO <https://marco.univ-littoral.fr> a été créé dès le début du projet (figure 3) et affiche au fur et à mesure les résultats du projet MARCO qui ont été communiqués à l'occasion des journées Marco, ou d'autres colloques et séminaires. Ces travaux ont également été valorisés par la rédaction d'articles scientifiques et d'autres valorisations académiques ou pour le grand public, listées dans des documents actualisés très régulièrement et présentés dans ce rapport.

MARCO 2021 Environnement marin : structure, diversité, vulnérabilité, usages, et sécurité des produits de la mer

13-15 octobre 2021
Boulogne-sur-Mer*
Ouvert à tous sur inscription

SESSIONS

- Observation et évaluation de l'environnement marin : vers une approche intégrée, multi-sources, multifréquences
- Biodiversité, réseaux trophiques et adaptation des organismes à l'environnement
- Gestion de la ressource halieutique
- Qualité, sécurité, et authenticité des produits de la mer
- Microplastiques dans l'environnement et les produits marins
- Démarches participatives et gestion des risques littoraux
- Apports des outils géophysiques très haute résolution aux études tectoniques et sédimentaires en domaine marin
- Énergies marines renouvelables et géolocalisation littorale et sous marine

SOUSSION DE RÉSUMÉ
Ouverture : 16/04/2021
Clôture : 11/06/2021

CONTACT
Pauline Quiertant : pauline.quiertant@univ-lille.fr
Anne Brisabois : anne.brisabois@anses.fr
François Schmitt : francois.schmitt@loq.cnrs.fr

* A distance si nécessaire <https://marco2021.univ-littoral.fr/>

Logos partenaires : Région Hauts-de-France, Ministère de l'Environnement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, L'Europe s'engage, Centre national de la recherche scientifique, ulco Université de Lille.

Figure 4. Affiche de présentation du colloque MARCO 2021.

Journée MARCO 2021 de clôture du projet

Enfin, l'équipe de coordination a organisé en avril 2020 la première réunion du Comité d'organisation du **colloque MARCO 2021** <https://marco2021.univlittoral.fr/> qui a eu lieu du 13 au 15 octobre 2021. Le colloque MARCO 2021, organisé du 13 au 15 octobre à Boulogne-sur-Mer, est venu clôturer les six années du projet. L'équipe de coordination a ensuite géré l'ensemble de l'organisation de ce colloque en lien avec le comité d'organisation depuis la définition des huit sessions et l'identification des responsables de sessions et du comité scientifique, l'appel à communication et la sélection des présentations pour communications orales et affichées, et enfin toute la logistique associée à l'organisation d'un colloque de grande ampleur qui a pu se dérouler en présentiel tout en respectant les gestes barrières nécessaires au moment du déroulement du colloque.

Ce colloque MARCO-2021 (**figure 4**), ouvert à l'ensemble de la communauté scientifique, a rassemblé durant trois jours à la Chambre de commerce et d'industrie de Boulogne-sur-Mer et à Nausicaa, environ 120 scientifiques de différents horizons. Ils ont fait part des avancés de leurs travaux de recherche, menés dans le cadre du projet MARCO ou mais aussi dans le cadre d'autres projets en lien avec le milieu marin.

Les problématiques associées à l'observation de l'environnement marin, à la biodiversité, aux ressources halieutiques, à la qualité des produits de la mer, aux démarches participatives, aux géosciences marines, aux microplastiques et aux énergies marines renouvelables ont été abordées tout au long de ce colloque.

Cet évènement, organisé dans une ambiance conviviale a permis de renforcer la visibilité de la recherche menée en région mais aussi le rapprochement de scientifiques issus d'autres structures, et favoriser les interactions entre chercheurs pour créer et construire de futurs projets innovants dans le domaine de la mer. Ces projets auront l'ambition d'une gestion adaptée et durable de l'environnement et des ressources marines, en adéquation avec les attentes des citoyens, et dans le respect des objectifs européens « Blue Ocean ».

QU'EST CE QUE LE PROJET MARCO ?

6 AXES

8 LABORATOIRES

MARCO est un contrat Plan Stratégique intitulé « Recherche Marine et Littorale en Côte d'Opale : des milieux aux ressources, aux usages et à la qualité des produits aquatiques ».

C'est un projet structuré, pluridisciplinaire et multi-institutionnel, appartenant à 5 établissements : l'Université Littoral Côte d'Opale, l'Université de Lille, l'Irepar, l'ANSES et le CNRS.

L'objectif du projet MARCO est de mettre en place une approche originale et innovante pour l'étude du milieu marin, de ses ressources et de la qualité des produits aquatiques dans le cadre d'une dynamique régionale intégrant l'impact environnemental.

Il permettra à terme de définir l'ensemble des paramètres critiques pour une gestion adaptée des ressources marines en adéquation avec la qualité et la sécurité des produits aquatiques pour le consommateur.

Ce projet se décline en 6 axes structurants. Les actions au sein de ces axes sont soutenues par des plateformes transversales communes regroupant les outils adaptés pour les systèmes analytiques, l'observation, l'impairiment et la technologie marine.

Le projet MARCO est soutenu par la région Hauts-de-France, l'Etat, l'Europe (FEDER) et l'Irepar avec un budget total de 11 millions.

Axe 1
Observation et évaluation de l'environnement marin
Rep.: C. Lefebvre (FRESER-LIS) et F. Lopez (ANSES-LOG)

Axe 2
Structure, fonctionnement et dynamique des écosystèmes
Rep.: S. Gauthier (CIC-LOG) et J. Hureau (FRESER-LIS)

Axe 3
Productivité et durabilité des ressources halieutiques et aquacoles
Rep.: C. Gaudin (FRESER-LIS) et S. Hureau (ANSES-LOG)

Axe 4
Qualité et sécurité des ressources aquatiques
Rep.: C. Lefebvre (FRESER-LIS) et S. Gauthier (ANSES-LOG)

Axe 5
Vulnérabilité et usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux
Rep.: C. Nolle-Dubé (CIC-LOG) et A. Hureau (ANSES-LOG)

Axe 6
Ingénierie marine et littorale
Rep.: G. Gombard (FRESER-LIS) et S. Hureau (ANSES-LOG)

8 LABORATOIRES

LOG Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences.

LSA Laboratoire de Sécurité des Aliments.

LER Laboratoire Environnement et Ressources.

LISIC Laboratoire d'Optimisation Digital et Image de la Côte d'Opale.

LCSM Laboratoire Compétences des Structures en Mer.

TVES Technologies, Usages, Environnement et Santé.

LIM Laboratoire de Ressources Halieutiques.

ICV-SPA Institut Charles Walferd.

Figure 5. Réalisation d'un prospectus présentant le projet CPER MARCO.

Autres actions de communication

D'autres actions et supports de communication ont été construits durant les six années du projet. Un **Roll-Up** a été réalisé, qui a pu être déployé lors de différents événements, comme la Réunion des Sciences de la Terre, RST de Lille, 22-26 octobre 2018. Un prospectus (**figure 5**) a également été produit et distribué lors des différents événements.

Une présentation du projet MARCO dans son ensemble a été donnée à l'occasion du symposium International « Human Health & The Ocean in a changing world » : A. Brisabois, F. Schmitt. A joint One Health marine Environment initiative, 2 -3 décembre 2020, One Monte Carlo Conference Centre, Monaco.

Une présentation orale du projet a également été donnée lors du congrès Avenir Littoral, à Dunkerque en mars 2019 : F. G. Schmitt, A. Brisabois « Présentation du projet CPER MARCO », *Congrès Avenir Littoral*, Dunkerque, 13-14 mars 2019.

Par ailleurs, l'équipe de coordination a piloté la réalisation d'un film de présentation du projet MARCO (**figure 6**), dont l'objectif était de montrer au grand public et à la communauté scientifique les différentes facettes du projet, les interactions entre les laboratoires, les acquisitions d'équipements, les activités de laboratoire et sur le terrain. Ce film, d'une durée de 5 minutes, a été réalisé en collaboration avec le service de communication de l'ULCO et est accessible sur le site internet du projet. Il a été notamment diffusé lors des fêtes de la mer en juillet 2021, et lors du colloque MARCO en octobre 2021.



Figure 6. Tournage du film de présentation du projet CPER MARCO.

Axe 1 : Observation et évaluation de l'environnement marin

Action 1.1 : Suivi de la dynamique phytoplanctonique à haute résolution

Participants

Responsables : Luis Felipe Artigas (LOG-ULCO) et Alain Lefebvre (IFREMER/LER-BL)

Permanents : Yann Audinet, Laurent Brutier et Vincent Cornille (LOG ULCO), Muriel Crouvoisier et Eric Lécuyer (LOG CNRS), Camille Blondel, David Devreker et Vincent Duquesne (IFREMER/LER-BL), Jean-Valéry Facq (IFREMER/LSCM), Fabrice Lizon (LOG-U Lille), Pierre-Alexandre Hébert et Emilie Poisson-Caillault (LISIC-ULCO).

Personnels non permanents recrutés par MARCO : Marie Bruaut (IE LOG-ULCO), Jessica Delarbre (Stagiaire DUT GB puis AI LOG ULCO), Camille Dézécache (IE IFREMER/LER-BL P4), Clémentine Gallot (IE LOG-ULCO LOG), Emeline Lebourg (AI CNRS, IE LOG-Univ Lille), E. Houliez (Post-doctorante).

Personnels non permanents recrutés pendant MARCO (sur d'autres projets) : Claire Dédécker (stagiaire DUT, M1 et M2 SM FOGEM, AI convention DCSMM puis vacataire JERICO NEXT), Morgane Didry (AI CNRS convention IFREMER-LOG), Alexandre Epinoux (CDD IE CNRS LOG projet JERICO-S3 puis post-doctorant ULCO), Emeline Lebourg (AI CNRS LOG), Stéphane Karaciewicz (post-doc IFREMER/LER-BL), Pierre Talon (IR LISIC-ULCO), Guillaume Wacquet (Allocataire de Recherche Post-doctorale Région Hauts de France, post-doc CNRS DCSMM puis JERICO S3, puis CDI IR IFREMER/LER-BL).

Doctorants : Kelly Grassi (doctorante IFREMER/LER-BL), Arnaud Louchart (M1 SM FOGEM puis doctorant LOG-ULCO, IE SZN Naples, IFREMER/LER et actuellement post-doc LOG CNRS NEA PANACEA), Zéline Hubert (stagiaire M2 LOG-ULCO, actuellement doctorante LOG ULCO), Thi-Thu Ho Phang (doctorante LISIC ULCO).

Stagiaires Master et autres : Chloé Beaugendre (Licence 3 SV LOG ULCO), Fanny Bouchaud (M1 SM FOGEM LOG ULCO), Elise Caillard (INTECHMER LOG-ULCO), Diego Chamizo (ERASMUS UAM), Benoit Chedot (DEUST LOG ULCO), Claire Dédécker (DUT GB, M1 et M2 SM FOGEM, Vacataire CNRS), Eléonore Delecroix (M1 SM FOGEM LOG ULCO), Flavie Desreac (DUT GB LOG ULCO), Ali Fakih (M2 collaboration Liban-LISIC ULCO), Chloé Fournier (Lycé Maritime du Portel LOG ULCO), Samuel Latron (M1 SM EMAH LOG ULCO), Kévin Lefebvre (DUT GB LOG ULCO), Quentin Marson (M2, LISIC-ULCO), Estelle Sénéchaut (DUT GB LOG-ULCO), Elsa Lescroart (L3 SV LOG-ULCO), Kévin Robache (M1 SM EMAH P5), Hugues Watiez (DUT GB LOG ULCO), Alicia Veuillot (M1 SM FOGEM LOG ULCO).

Collaborations (hors MARCO) : Michel Répécaud et Loïc Quéméner (IFREMER/LCSM Brest), Véronique Créach (CEFAS), Lennert Tiberghien, Elisabeth Debusschere et Jonas Mortelamans (VLIZ, Ostende, BE), Machteld Rijkeboer (RWS, Lelystad, NL), Philippe Grosjean (U Mons, Mons, BE), Jukka Seppala et Kaisa Kraft (SYKE, Helsinki, FI).

Résumé des activités

L'observation de l'évolution de l'environnement côtier et marin constitue l'approche de base indispensable pour identifier et quantifier les différentes échelles de variations, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique. Grâce à des observations régulières de référence sur le long

terme, combinées à des approches automatisées à haute résolution spatiale et temporelle, il est possible d'approfondir notre compréhension de la structure et fonctionnement des écosystèmes côtiers ainsi que d'anticiper certains processus, parfois nuisibles pour l'écosystème et/ou pour l'Homme en permettant de quantifier, par exemple, l'impact d'évènements intermittents et d'évènements extrêmes. Le phytoplancton, premier maillon de la plupart des réseaux alimentaires marins, est capable de répondre rapidement aux modifications de la qualité des eaux. Ces réponses concernent une modification de leur composition et/ou la prolifération de certaines espèces (blooms), parmi lesquelles des micro-algues potentiellement nuisibles ou toxiques (notion de Harmful Algal Bloom ou HAB). L'étude des communautés phytoplanctoniques nécessite des moyens et outils variés et complémentaires : prélèvements réguliers à basse fréquence, campagnes sur des navires océanographiques côtiers et hauturiers dédiées ou d'opportunité, mouillages fixes à la côte et au large, navires d'opportunité, télédétection, modélisation. Tout particulièrement, les dispositifs innovants de détection *in vivo* et *in situ*, dont quelques-uns ont été acquis grâce au financement du projet MARCO, ont été déployés et testés au cours des différentes programmations. Tout d'abord, le suivi *in vivo* de l'abondance, biomasse, propriétés optiques, diversité et paramètres photosynthétiques des communautés phytoplanctoniques par approches automatisées (cytométrie en flux automatisée de type « pulse shape-recording », fluorimétrie multispectrale, fluorimétrie variable, imagerie) a été réalisé au sein d'une radiale côte-large (Wimereux-Slack, campagnes DYPHYRAD) proche du Détroit du Pas de Calais, en continuité avec les études démarrées lors de précédents CPER (« Bloom de *Phaeocystis* ») et projet INTERREG « 2 Mers » DYPHYRAD. Des campagnes océanographiques dédiées à l'étude de la distribution spatiale et dynamique phytoplanctonique à haute résolution et/ou des mesures d'opportunité lors des campagnes halieutiques de l'IFREMER (IBTS, CGFS) ont été organisées en Manche, Mer du Nord mais également Baltique et Golfe de Gascogne en collaboration avec des partenaires régionaux, nationaux (convention Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire pour la mise en place du programme de surveillance de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin) et européens (projets LifeWatch Belgique, JERICO-NEXT 2015-2019 et JERICO-S3 2020-2024). En parallèle, le suivi de la dynamique phytoplanctonique a été maintenu dans le cadre des réseaux pérennes d'observation et surveillance du phytoplancton et des paramètres hydrobiogéochimiques (SOMLIT, PHYTOBS, REPHY, SRN). Enfin, un test a pu être réalisé en dernière année de programmation avec le déploiement des mesures de cytométrie en flux automatisée et de fluorimétrie spectrale sur la station de mesures automatisées MAREL Carnot au bout de la Digue Carnot dans le port de Boulogne sur Mer, mise en conformité grâce au financement du projet MARCO.

Les approches automatisées générant une masse importante de données, il a été nécessaire de développer des approches et outils de traitement et de classification semi-automatisés des signaux optiques (RclusTool), d'imagerie (ZooPhytoImage) et de la fluorimétrie multispectrale, ainsi que de l'ensemble des données à Haute Fréquence. Par ailleurs, le développement d'outils d'aide au traitement et à la prise de décision a été recherché sur le traitement des données des suivis de la qualité des eaux marines côtières et leurs composantes phytoplanctoniques. Afin d'extraire la quantité maximale d'information des données, une architecture de classification multi-couche par approche spectrale, appelée Multi-level Spectral clustering (M-SC), a été développée. Cette approche a notamment été validée sur plusieurs jeux de données de référence et des séries temporelles en lien avec la caractérisation d'épisodes brefs ou localisés spatialement. Cette méthode permet de caractériser aussi bien des schémas généraux que des évènements extrêmes ou encore des défaillances de capteurs. Par la suite, la construction d'agents de prédiction basés sur cet étiquetage contrôlés par un expert pourra permettre de réaliser un suivi en temps-réel de la qualité de l'environnement et d'anticiper les évènements à

risque mais aussi d'adapter les stratégies d'échantillonnage ou de maintenance si besoin. Par ailleurs, une nouvelle classe d'algorithme d'apprentissage non supervisé a été explorée : les réseaux adverses génératifs pour l'imputation (GAN - generative adversarial networks) ont été appliqués à la complétion des observations manquantes dans les séries temporelles des données MAREL-Carnot ouvrant les perspectives vers d'autres utilisations.

Grâce au soutien du CPER MARCO à la fois en équipement, en personnel temporaire et en fonctionnement, nous avons amélioré, consolidé et optimisé un observatoire intégré de la qualité des masses d'eaux côtières et du compartiment phytoplanctonique, en appui aux services nationaux et régionaux d'observations et en structuration de l'intégration dans des infrastructures de recherche nationales et européennes, ainsi qu'en lien avec les politiques publiques de gestion du milieu marin.

Equipements acquis

Un **cytomètre en flux automatisé immergeable (CytoSub, CytoBuoy b.v.)** a été acquis dans le cadre de la première tranche (P1) du CPER MARCO, permettant d'estimer *in vivo in situ* et *ex situ* l'abondance et dynamique de l'ensemble du phytoplancton et d'estimer sa biomasse et propriétés optiques via les mesures de fluorescence et de taille. Il a été déployé dès son acquisition, avec un fluorimètre multi-spectral de type Fluoroprobe, sur la bouée MOLIT (estuaire de la Vilaine) dans le cadre d'un atelier au national (RESOMAR, 5-6 Avril et 13-16 juin 2017) visant l'inter-comparaison de capteurs de fluorescence. Il a été depuis utilisé à la fois lors des campagnes océanographiques ainsi que déployé dans la station de mesures MAREL Carnot.

Deux **fluorimètres de type FRRf (Fast Repetition Rate fluorometer)**, l'un de laboratoire (Act2, mesures sur paillasse et sous lumière artificielle), l'autre profileur *in situ* (APD system, mesures sous lumière naturelle) ont également été acquis et ont permis de procéder au suivi *in situ* (variabilité spatiale et temporelle, en surface et en profondeur) des paramètres photosynthétiques du phytoplancton en vue d'estimer sa production primaire.

L'acquisition d'une **station d'accueil pour un fluorimètre multi-spectral** (Fluoroprobe ; bbe Moldaenke) **permettant les mesures en paillasse ainsi qu'un cylindre de circulation d'eau pour mesures en continu** a permis de mener à bien le suivi régulier *in vivo* des classes spectrales (proxy des classes pigmentaires) du phytoplancton, en complément des mesures par cytométrie en flux automatisée et imagerie.

Un analyseur d'image automatisé de paillasse (**FlowCam 8100**, Fluid Imaging Technologies, Inc., USA), basé sur la microscopie optique en couleur, a permis dès 2019 de générer des images en couleur haute-résolution des particules dans le flux, dans la gamme de taille 2 μm -1000 μm (selon la combinaison « objectif/cellule de flux » utilisée pour le système optique). Une **cellule de flux de 600 μm** a été également acquise.

Un **microscope inversé** (IFREMER) a permis de maintenir les suivis de la dynamique du microphytoplancton au sein des observatoires et réseaux nationaux (SNO PhytOBS, REPHY) et régionaux (SRN).

Le CPER MARCO a contribué également à la **mise en conformité** (carénages, capteurs, alimentation en énergie) **de la station de mesures automatisées hydrologiques et physico-chimiques in situ MAREL Carnot**, dans le cadre du réseau COAST-HF qui est un réseau d'observation de la dynamique physique et biogéochimique du milieu côtier et littoral de l'IR ILICO. Il était également prévu au sein de cette action de programmer l'instrumentation d'une ligne Transmanche Calais-Douvres. Il s'agissait **d'installer une Ferry box**, système de mesures à

haute résolution spatiale et temporelle. Malheureusement, en raison du désengagement de la compagnie maritime dont l'un des navires devait être équipé de la Ferry Box, le projet a été annulé.

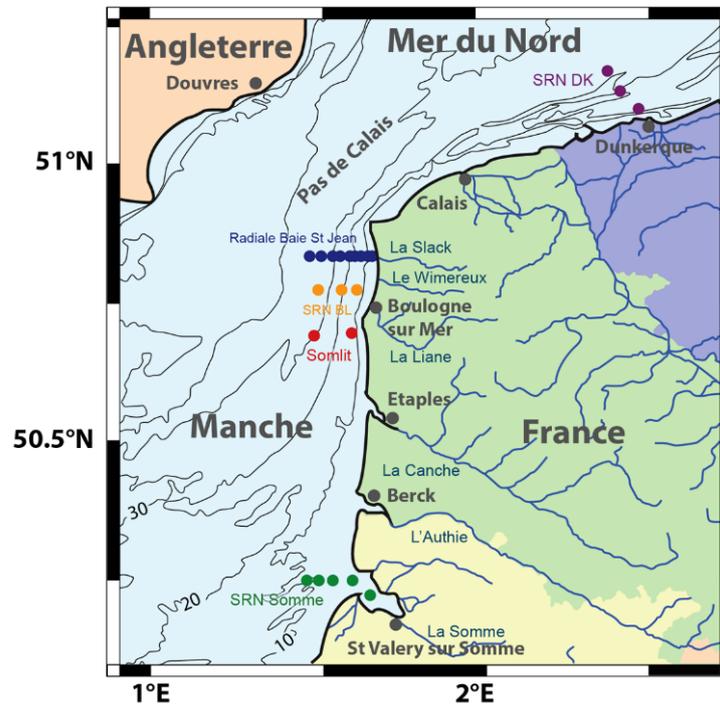


Figure 1.1.1 Stations échantillonnées depuis 2011 par des techniques automatisées en Manche Orientale-Mer du Nord le long de la Radiale Baie Saint Jean (DYPHYRAD) et (réseaux d'observation et surveillance SRN-REPHY-PhytObs (Somme, Boulogne sur Mer, Dunkerque), SOMLIT-PhytObs (Somlit C et Somlit L).

Travaux réalisés

1) Suivi *in situ* à haute résolution de la dynamique des groupes fonctionnels phytoplanctoniques. LOG-ULCO (Artigas L. F., Beaugendre C., Bruaut M., Caillard E., Chamizo D., Cornille V., Crouvoisier M., Dédécker C., Delarbre J., Desreac F., Didry M., Fournier C., Gallot C., Epinoux A., Hubert Z. Lebourg E., Lécuyer E., Lescroart E., Louchart A, Sénéchaux E., Szrama V., Veuillot A. et collaboration IFREMER/LER : Lefebvre A., Blondel C., Duquesne V., Lebon F., Hébert P.

Le suivi et caractérisation des communautés phytoplanctoniques le long d'une radiale côte-large proche du Déroit du Pas de Calais (Radiale Wimereux-Slack ou de la Baie Saint Jean, campagnes DYPHYRAD) par des approches automatisées a été maintenu de façon régulière depuis l'année 2011. Cet échantillonnage se caractérise par 9 points de prélèvement le long d'un transect côte-large au niveau de l'embouchure de la Slack de 9,7 km de long (figure 1.1.1). Ces approches sont également appliquées en complément des suivis des Services Nationaux d'Observation SOMLIT (LOG-CRS) et PHYTOBS (LOG-CNRS, IFREMER/LER-BL) et des réseaux régionaux de surveillance des nutriments, du phytoplancton et des phycotoxines (SRN-REPHY, IFREMER/LER-BL). Des données environnementales sont collectées via l'utilisation d'une sonde CTD (hydrologie) et des prélèvements d'échantillons sont effectués pour l'estimation des concentrations en nutriments présents (et plus spécifiquement celles en Nitrites, Nitrates, Silicates et Phosphates), servant d'indicateurs de la qualité des masses d'eau, mais également jouant un rôle dans la prolifération des micro-algues. Ces derniers sont fortement dépendants des apports terrigènes en nutriments

liés aux ruissèlements, précipitations et apports fluviaux, ce qui explique les concentrations plus élevées à la côte qu’au large. Sur ces prélèvements discrets, la chlorophylle *a* (pigment photosynthétique principal et proxy de la biomasse phytoplanctonique) est mesurée *in vivo* et *in vitro* sur un fluorimètre de paillasse de type Turner Designs (10-AU Field Fluorometer, Turner Designs Ltd, Etats-Unis), suivant le protocole de Holm-Hansen et al. (1965) et les équations de Lorenzen (1967). Un cytomètre en flux automatisé de type « pulse shape-recording » (CytoSense ou CytoSub, Cytobuoy®) permet d’obtenir des informations sur la composition, l’abondance, la fluorescence et autres propriétés optiques à l’échelle de chaque cellule ou colonie phytoplanctoniques. Une fois les données traitées par des logiciels spécifiques de discrimination (gating) manuelle ou automatisée (cf. section 7), il est possible de caractériser et de suivre les variations à haute résolution spatiale (résolution kilométrique) hebdomadaire de l’abondance des grands groupes fonctionnels tel que les cyanobactéries du genre *Synechococcus* (PicoORG), le Picophytoplancton eucaryote (PicoRED), le Nanophytoplancton (NanoRED), le Microphytoplancton (MicroRED), les Cryptophytes (NanoORG) ou encore les Coccolithophoridés (NanoSWS).

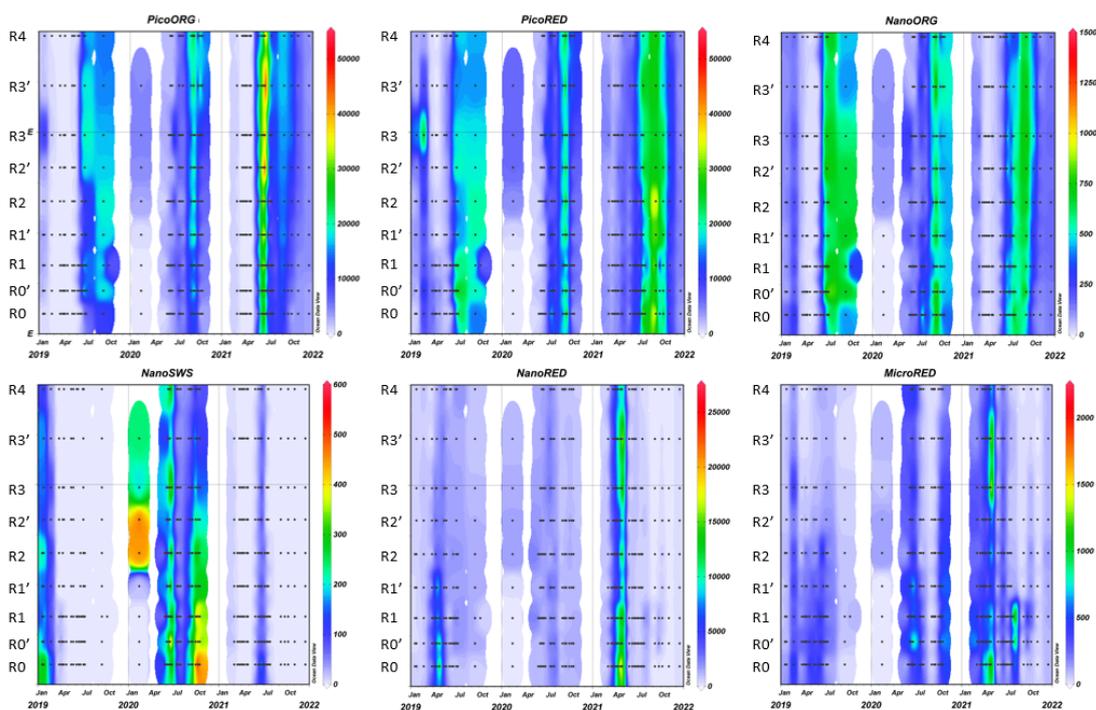


Figure 1.1.2 Distribution pluriannuelle (2019-2021) et spatiale (radiale Baie Saint Jean : côte R0 – large R4) de l’abondance des 6 principaux groupes fonctionnels phytoplanctoniques définis par cytométrie en flux automatisée (CytoSense).

Ces mesures permettent de suivre les différentes successions de communautés phytoplanctoniques (voir exemple de la variabilité tri-annuelle 2019-2021 des abondances des principaux groupes de phytoplancton ; [figure 1.1.2](#)). Une très large dominance en termes d’abondance du petit phytoplancton (plus de 40 %) à l’exception des périodes de bloom pendant lesquels le nanoplancton représente plus de 50 % des communautés phytoplanctoniques. La discrimination d’un plus grand nombre de groupes fonctionnels phytoplanctoniques peut permettre de voir des dynamiques plus fines qui peuvent se dérouler au sein de certains groupes ([figure 1.1.3](#)). Un travail de synthèse a été initié en janvier 2020 par Zéline Hubert pendant son stage de Master 2 SM EMAH ULCO, et se poursuivra pendant son travail de thèse (allocation Région Hauts de France). En parallèle, il est possible de réaliser un suivi de la diversité

phytoplanctonique par microscopie et/ou biologie moléculaire (action 2.3) ainsi que par imagerie automatisée. Cette dernière action est possible grâce à la caméra présente dans le CytoSense (figure 1.1.4 A) mais également grâce à des outils d'imagerie automatisé tel que le FlowCAM (figure 1.1.4 B) (achat d'une cellule de flux de 600 μm pendant la P4). Elles viennent apporter des informations morphologiques et taxonomiques de la composition phytoplanctoniques des échantillons de la radiale (cf. avancées dans l'analyse d'image de la section 9).

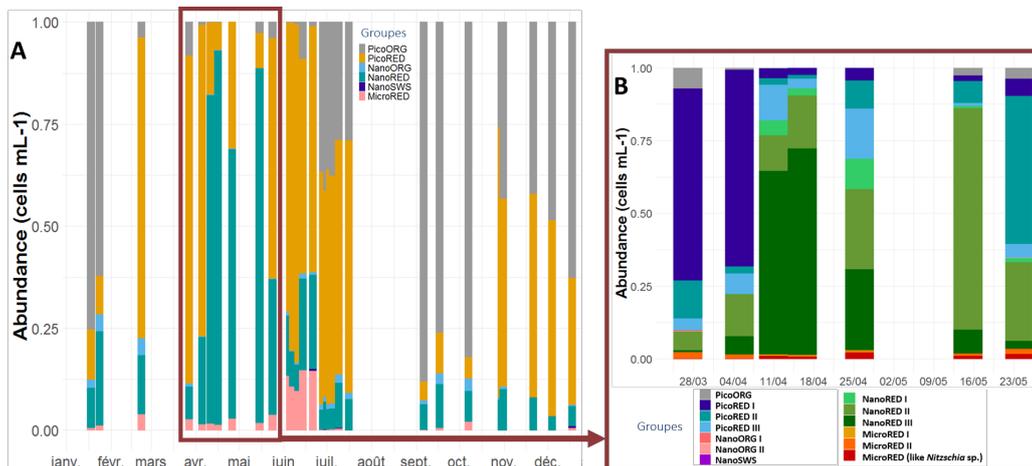


Figure 1.1.3 Evolution saisonnière de la composition phytoplanctonique déterminée par cytométrie en flux automatisée à l'abondance totale (Station R1, 2019) (A) et zoom sur le printemps 2019 (B).

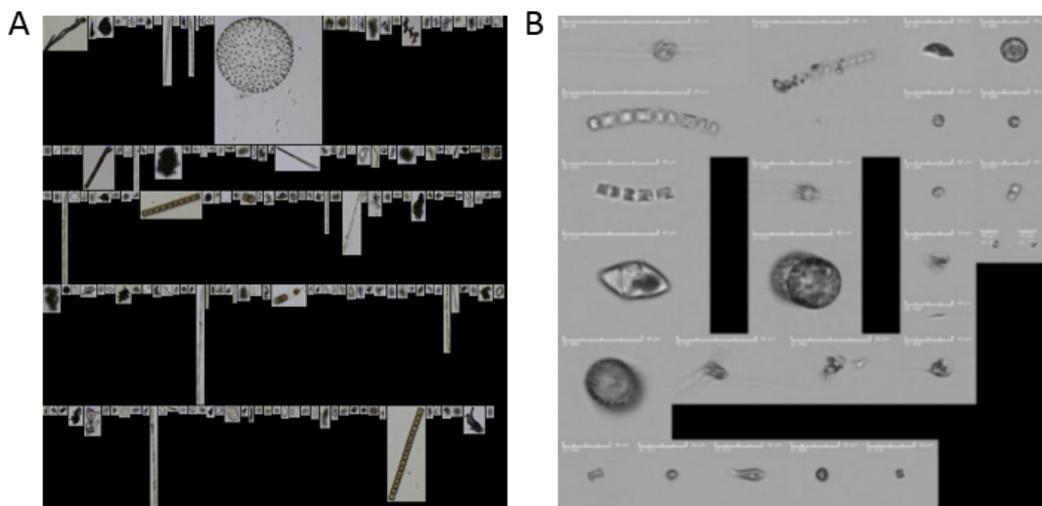


Figure 1.1.4 Collage d'images pris avec le FlowCAM (17/03/2021 station R2) et le CytoSense (Cytobuoy®) (17/03/2021 station R2).

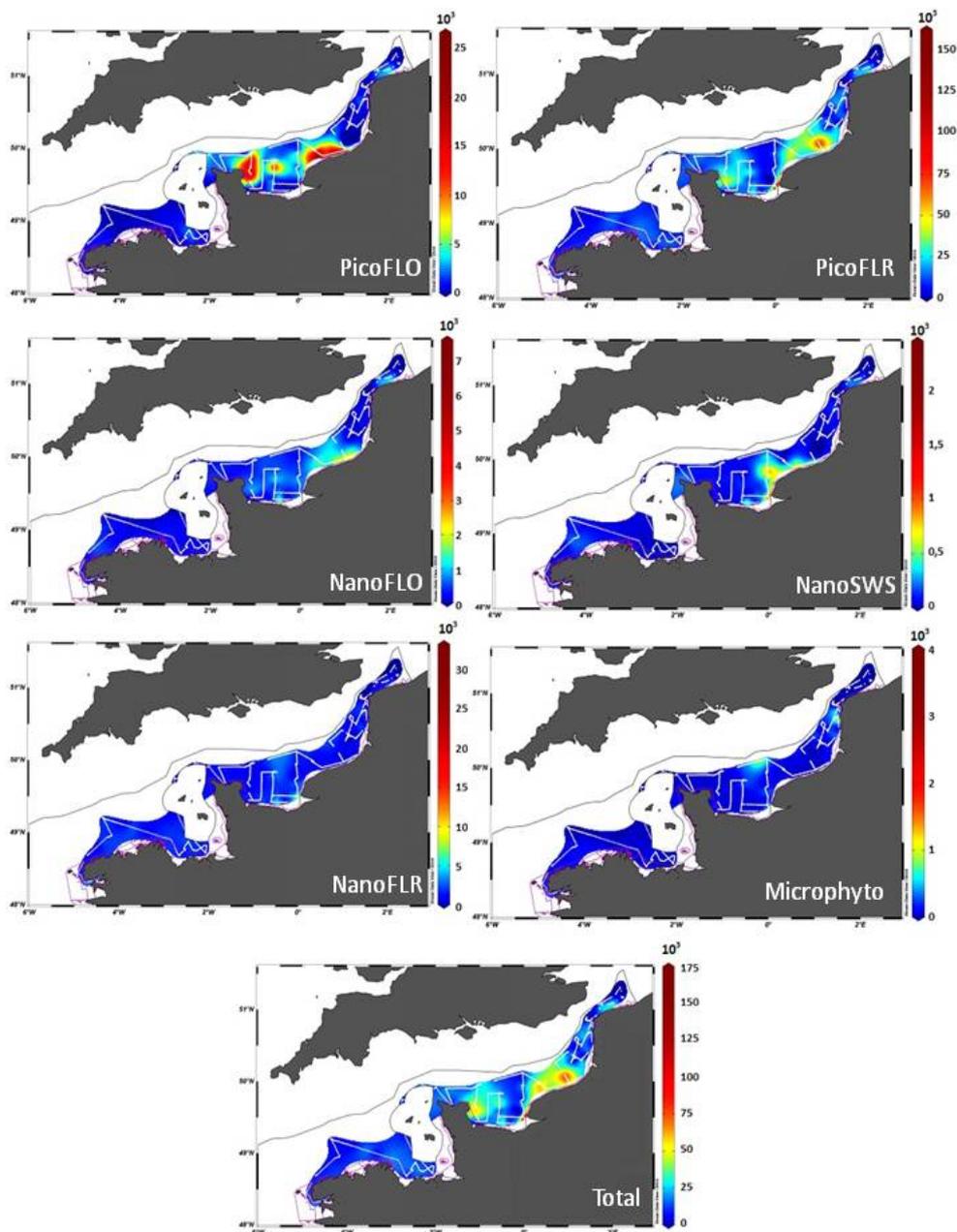


Figure 1.1.5 Distribution spatiale des groupes fonctionnels phytoplanctoniques caractérisés par cytométrie en flux automatisée (CytoSense/CytoSub) - Campagne ECOPEL-Manche Leg 2 (du 16 au 31 juillet 2018, N.O. « Antéa » IRD).

2) Distribution spatiale et la dynamique saisonnière des communautés phytoplanctoniques sur la façade Manche-Atlantique (2017-2019) IFREMER (Dédécker C., Louchart A., Bouchaud F., Bruaut M., Crouvoisier M., Delarbre J., Didry M., Latron S., Lefebvre K., Lebourg E., Lizon F., Lefebvre A., Artigas L.F.)

La distribution spatiale fine des communautés phytoplanctoniques a été étudiée par des enregistrements en continu au moyen d'un cytomètre en flux automatisé de type CytoSense/CytoSub (le dernier financé par le CPER MARCO) dans le cadre de campagnes dédiées (PHYCO, PELRAD et ECOPEL) au suivi et l'observation du plancton (exemple ECOPEL-Leg 2, 2018 [figure 1.1.5](#)). Ces études ont été également réalisées lors de campagnes halieutiques d'IFREMER (Politique Commune des Pêches) IBTS et CGFS en 2017, 2018, 2019 et 2020. Elles ont contribué,

avec des mesures hydrologiques, bio-optiques et planctoniques, à la phase test du Programme de Surveillance (PdS) des Habitats Pélagiques (HP) de la Directive Cadre stratégie Milieu Marin (DCSMM) avec le déploiement des mêmes capteurs sur les campagnes halieutiques (IFREMER) optimisées CGFS 2018, IBTS 2019 et 2020 (Jouandet et al., 2019) et, pour ce qui est de la cytométrie en flux, des stages de Master 1 et Master 2 de Claire Dédécker (Dédécker, 2019).

Il a été alors possible de déterminer la variabilité de la distribution des groupes fonctionnels à sub-mésosécale ainsi que les zones de prolifération/accumulation printanières et estivales (comme la Baie de Seine, Côte d'Opale et d'Albâtre) et d'émettre des hypothèses explicatives à partir des données environnementales acquises à haute fréquence, ainsi que la progression des blooms depuis la Manche vers la Mer du Nord en collaboration avec des campagnes LifeWatch JERICO et du réseau d'observation néerlandais dans le cadre du projet JERICO-NEXT (Louchart et al., 2017 ; 2020). Avec des tests de déploiement complémentaires de ces mesures automatisées pour l'étude de la distribution à sub-mésosécale du phytoplancton dans des systèmes côtiers et de plateau contrastés (Mer Baltique, Golfe de Gascogne), les résultats acquis ont permis d'avoir une base de données brutes et d'inter-comparaisons de capteurs qui permettront d'avancer dans la définition des bonnes pratiques d'utilisation et de génération de données à partir des approches automatisées, notamment dans le cadre du projet JERICO S3.

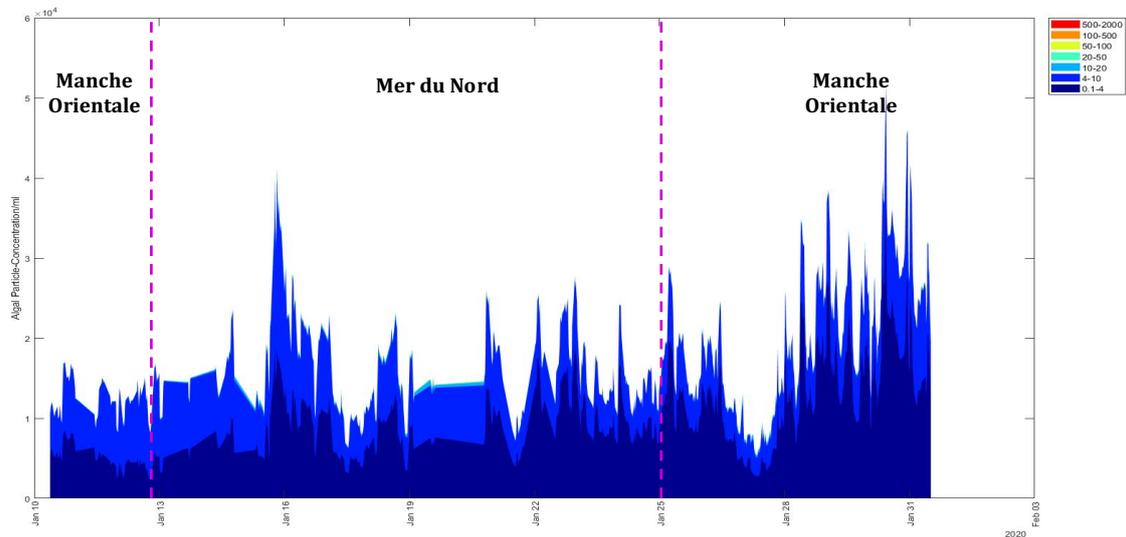


Figure 1.1.6 Abondance des "particules" phytoplanctoniques par mL pendant la campagne IBTS 2020 (N.O. "Thalassa", Ifremer).

3) Approche automatisée campagne océanographique IBTS 2020 (LOG-ULCO : Gallot C., Bruaut M., Hubert Z., Artigas L.F. et collaboration SYKE, Helsinki, FI)

L'étude de la distribution des communautés phytoplanctoniques à fine résolution spatiale et temporelle (sub-mésosécale) en Manche et Mer du Nord a été poursuivie avec la participation à la campagne halieutique IBTS 2020, à bord du N.O. Thalassa (IFREMER) réalisée du 10 au 31 janvier 2020. Au cours de cette campagne, il a été possible de déployer une nouvelle génération de cytomètre en flux automatisé de type CytoSense (CytoBuoy, NL) acquise dans le cadre de la convention MTS-INSU CNRS pour la mise en place du Programme de surveillance de la DCSMM. Il a été possible de suivre *in vivo* la dynamique à haute résolution spatiale et temporelle des groupes fonctionnels phytoplanctoniques en eaux de sub-surface. En parallèle, une doctorante du laboratoire SYKE de Helsinki (Kaisa Kraft) a été invitée à connecter en parallèle un capteur d'imagerie automatisée à haut débit, l'ImagingFlowCytobot (IFCB, McLane, USA).

L'inter-comparaison des deux techniques est en cours par la poursuite d'une collaboration franco-finnoise (projet H2020 JERICO S3) ce qui permettra de préparer son acquisition et futur déploiement dans le cadre du prochain CPER IDEAL et son plateau Observation (OGT). Les données cytométriques ont été pré-analysées au moyen d'un logiciel de traitement et visualisation en temps réel des données (EasyClus) développé par Thomas Rutten (TRP, NL). Cet outil permet d'obtenir une visualisation graphique rapide et en temps réel sur un site internet (<https://www.fytoplankton.nl/>) des résultats préliminaires concernant les concentrations totales en particules (cellules ou colonies phytoplanctoniques (figure 1.1.6) et la répartition de la fluorescence rouge (proxy de la chlorophylle *a*) en fonction des tailles de microorganismes (figure 1.1.7).

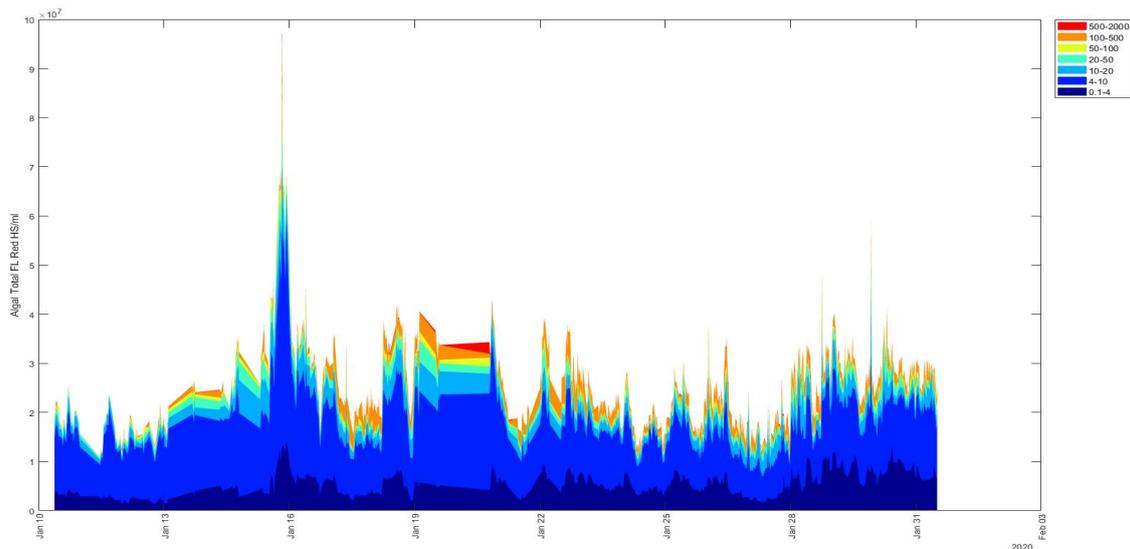


Figure 1.1.7 Fluorescence in vivo de la chlorophylle *a* (Fluorescence rouge) au cours du temps par classes de taille du phytoplancton (U.A.mL⁻¹) pendant la campagne IBTS 2020 à bord du N.O. "Thalassa" (Ifremer).

4) Photo-physiologie et production photosynthétique (Lizon F., Pernak M., Lebourg E.)

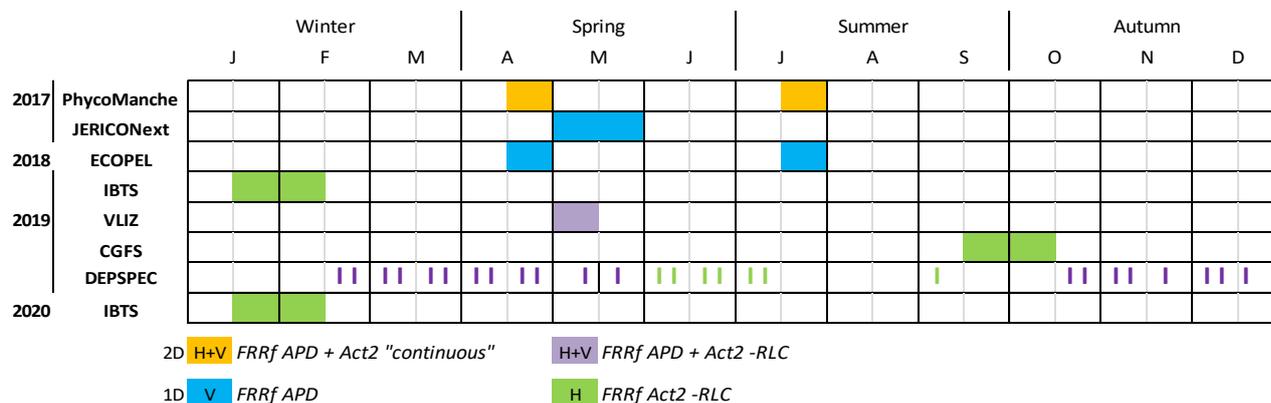
L'évolution technologique a beaucoup contribué à l'amélioration des mesures des processus biologiques tels que la photo-physiologie des micro-algues qui contrôle la production primaire marine. L'acquisition de deux fluorimètres complémentaires de type Fast Repetition Rate fluorometer (laboratoire et profileur *in situ*) et de nombreuses campagnes en mer réalisées entre 2017 et 2020 dans le cadre de la DCSMM (phase test de la mise en place du programme de surveillance des habitats pélagiques de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin), du consortium européen JERICO-Next et en collaboration avec IFREMER (LER-BL), nous avons étudié les propriétés photosynthétiques et leur variabilité *in situ* pour les communautés naturelles de microalgues, en lien avec leur environnement de lumière et nutritif. L'objectif était d'évaluer comment et dans quelle mesure il serait possible de caractériser des masses d'eau côtières différentes (de la Manche-Mer du Nord à la mer Baltique) par des paramètres de la photophysologie des microalgues. Des mesures de relations photosynthèses-énergie (PE) ont été effectuées par fluorescence variable (FV) à bord et en continu pendant le déplacement d'un navire océanographique et *in situ* dans le gradient vertical de lumière naturel avec toute la variabilité que la colonne d'eau intègre, du point de vue biologique (structure des communautés, photo-régulation/photo-acclimatation, accumulations de biomasse etc) et physico-chimique. Cette seconde approche est plus complexe et plus lourde à mettre en œuvre que la première

mais donne comme nous le montrons dans un rapport établi pour la DCSMM (Lizon *et al*, 2020) des informations complémentaires de haute valeur ajoutée sur la compréhension des mécanismes de photo-régulation/photo-acclimatation des producteurs primaires entre des zones biogéographiques contrastées. Ceci est d'autant plus important que les eaux côtières de la Manche peuvent montrer des processus d'acclimatation à l'intensité lumineuse moyenne d'une couche supérieure de mélange (Michel-Rodriguez *et al*, 2021).

Grâce à la réalisation de mesures optimisées de la physiologie des micro-algues directement dans la colonne d'eau ou en continu en sub-surface durant un trajet océanographique, il serait possible de caractériser de façon augmentée par rapport aux méthodes classiques (utilisant uniquement l'hydrologie et les composition spécifiques), les différentes masses d'eau des mers côtières par les paramètres physiologiques de contrôle intrinsèques. Dans ce contexte, la variabilité spatiale, horizontale et verticale comparée, des propriétés photosynthétiques est aussi une question qui se pose pour elle-même et dans le but de calculer par extrapolation en intégrant la dimension, verticale ou pas, des bilans de production photosynthétique et/ou primaire des eaux côtières. C'est pour cette raison que nous avons développé une stratégie d'échantillonnage en 2 dimensions, horizontale et verticale avec 2 fluorimètres de fluorescence variable (FV) analogues mais aux possibilités de mesures complémentaires dans le projet MARCO.

Les fluorimètres Act2 et APD ont été mis en oeuvre sur de très nombreuses campagnes en mer entre 2017 et 2020 : campagnes de la DCSMM (surveillance des habitats pélagiques de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin), du consortium européen JERICO-Next et en collaboration avec IFREMER Boulogne/Mer (IBTS et CGFS), de la Manche à la Mer Baltique en passant par la Mer du Nord. Ces campagnes sont synthétisées dans le [tableau 1.1.1](#) ci-dessous. La stratégie de mesure a consisté à réaliser avec le FRRf Act2 de bord des relations photosynthèse-énergie (PE) sous lumière contrôlés, en continu durant le déplacement des navires. Le profileur nous a permis d'évaluer les propriétés photosynthétiques dans le gradient vertical et naturel de la lumière de la colonne d'eau pour les stations d'échantillonnage distribuées discrètement le long de gradients environnementaux côtes-large (stratégie nommée 2D dans nos travaux). NB : une série temporelle de mesures des relations PE par FRRf Act2 sur le gradient côte large de la Baie Saint Jean a débuté en 2019 et se poursuit actuellement, afin d'établir un cycle saisonnier robuste des paramètres photophysologiques des microalgues de la Manche orientale (lien avec le programme UE JERICO-S3 en cours).

Tableau 1.1.1 Campagnes et périodes de mesures de la fluorescence variable des microalgues avec les capteurs FRRf financés par le CPER Marco (FRRf Profiler et Act2 Run). NB : les stratégies de mesure diffèrent en raison de la disponibilité des capteurs et des possibilités offertes (niveau stratégie d'échantillonnage et temps disponible) par les navires ou campagnes d'opportunités sur lesquelles nous avons pu embarquer.



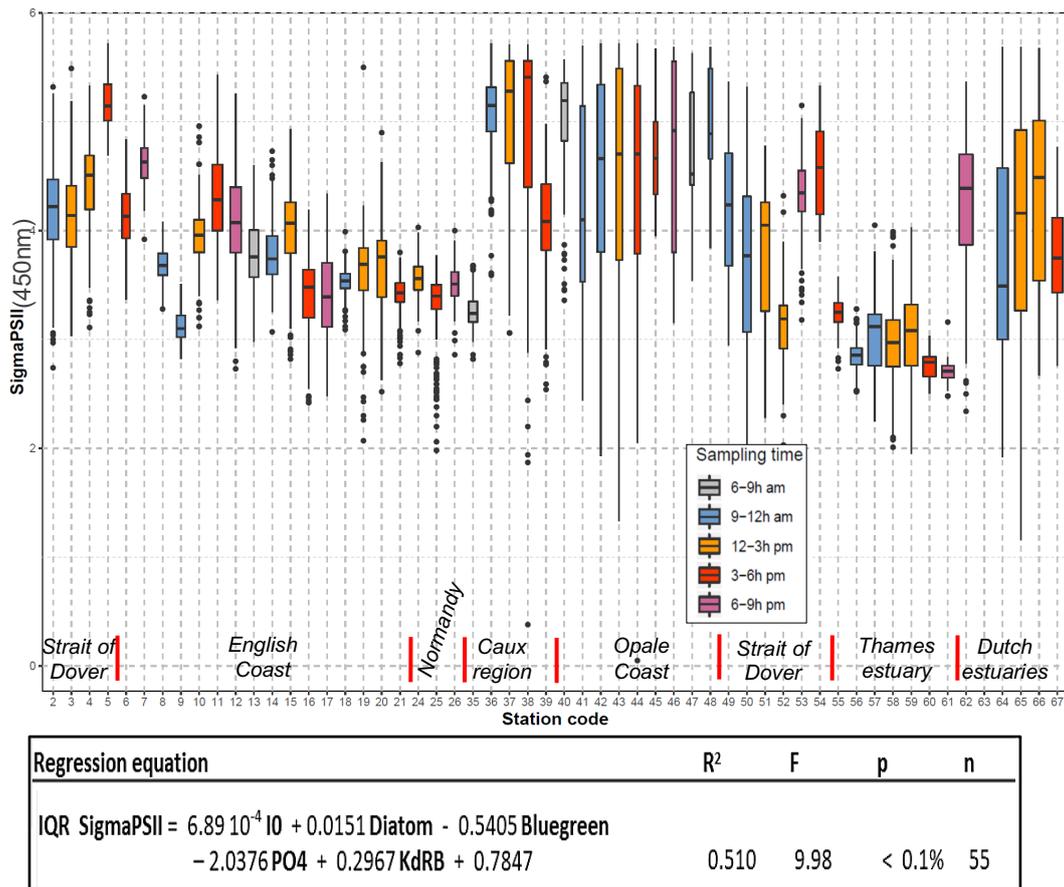


Figure 1.1.8 Box-plot illustrant la variabilité spatiale dans le détroit du Pas de Calais et la Baie sur de la Mer du Nord, de la section d'absorption fonctionnelle de la lumière $\text{Sigma}_{\text{PSII}}$ des microalgues, mesurée dans les colonnes d'eau échantillonnées discrètement durant les campagnes PHYCO-Manche et VLIZ (Life Watch) 2017. La régression multiple pour les intervalles interquartiles (IQR) calculés pour les mêmes données de $\text{Sigma}_{\text{PSII}}$ mesurée dans les colonnes d'eau est rapportée dans l'encadré ci-dessus.

Les mesures discrètes dans la colonne d'eau apportent une plus-value importante sur les mesures de sub-surface, à propos de la compréhension de la dynamique phytoplanctonique, plus particulièrement des mécanismes de photo-régulations/photo-acclimatation des producteurs primaires quand on compare des zones biogéographiques contrastées. Ceci est d'autant plus important que comme nous l'avons montré (Michel-Rodriguez et al, 2021), les eaux côtières de système comme la Manche peuvent présenter des processus d'acclimatation à l'intensité lumineuse moyenne d'une couche supérieure de mélange de colonnes d'eau, même très faiblement stratifiées. Les intervalles interquartiles (dits IQR) des paramètres mesurés dans la colonne d'eau présentent une variabilité fortes et indépendantes de l'heure du jour à laquelle les mesures sont réalisées, ainsi que des relations multivariées significantes avec des paramètres clefs comme la qualité de la lumière dans l'eau (coefficients d'extinction des ratios des longueurs d'onde rouges et bleues), les groupes fonctionnels de microalgues (mesurés par fluorescence passive spectrale, fluoroprobe bbe) et les éléments nutritifs. La [figure 1.1.8](#) illustre ce type de relation et la variabilité spatiale (région du détroit – Baie sud de la Mer du Nord) dans la colonne d'eau, de la section d'absorption fonctionnelle de la lumière $\text{Sigma}_{\text{PSII}}$ des microalgues. Les résultats de nos travaux montrent ensuite que en intégrant la photo-physiologie dans la classification hiérarchique des masses d'eau (méthode classique de Ward), en plus des classiques paramètres hydrologiques et de composition spécifiques des micro-algues (par techniques

traditionnelles ou automatisées présentées précédemment), de nombreux changements dans le classement des stations sont réalisés. Ces résultats sont exposés dans un rapport (Lizon *et al*, 2020) établi dans le cadre de la mise en place du Programme de Surveillance de la DCSMM afin d'évaluer la fluorescence variable comme nouveau paramètre à intégrer le suivi de la dynamique des micro-algues. Ces travaux, qui seront poursuivis dans le cadre des nouveaux projets en cours (CPER IDEAL, JERICO S3) et de nouvelles collaborations, ont été réalisés de façon connexe avec l'axe 2.2 (thèse de M. Michel-Rodriguez).

5) Bilan technique de la station MAREL Carnot (Facq J.-V., Duquesne V., Lefebvre A., Queméner L., Répécaud M. (IFREMER) et collaboration UMR LOG-ULCO).

Plusieurs interventions sur le site de la station MAREL Carnot de Boulogne Sur Mer ont été réalisées pour surveiller et mettre en conformité (jouvence) la station de mesures automatisée MAREL Carnot, opérée par IFREMER, qui fait partie du service national d'observation (SNO) COAST-HF au sein de l'Infrastructure de Recherche Littorale et Côtière (ILICO). **Les opérations de « routine »** concernent les contrôles trimestriels sur la structure ainsi que les différents sous-ensembles constitutifs de la station de mesure. Ces contrôles englobent les éléments sous-marins et tout spécialement les anodes sacrificielles. La garantie de production d'énergie requiert aussi une maintenance régulière de la production et du stockage de l'énergie (groupe électrogène et parc de batteries). Le système de mesure dans sa chaîne complète (capteurs, actionneurs, unité centrale) nécessite de la même façon un maintien en conditions opérationnelles rigoureux. Les contrôles métrologiques se répartissent tous les trimestres au maximum. Il faut noter aussi les contrôles annuels de types réglementaires afin de garantir la sécurité opérateurs (contrôles des systèmes de manutention, palans, ancrages...). **Les opérations « exceptionnelles »** sont programmées suite à des pannes sur un des éléments de la station de mesure.

A ces opérations très fréquentes viennent se rajouter des **opérations nommées « grands carénages »** lors desquelles sont démontés l'ensemble des systèmes constitutifs de l'installation (mécaniques, électronique et éléments structurels sous-marins). L'année 2021 a été marquée par la **fin de la jouvence de MAREL Carnot**. L'automate de gestion COSTOF 2 a été installé. Cette unité centrale issue des développements effectués dans le domaine de l'océanographie profonde permet, via de nouveaux drivers (logiciels de pilotage des capteurs), le déploiement de nouveaux instruments tels l'analyseur de sels nutritifs « WIZZ » de la société SYSTEA. Cet automate permet également le contrôle d'une sonde multi-paramètre et d'une station météorologique. Les tests de couplage entre la station MAREL Carnot et un fluorimètre multi-spectral dans un Pocket Ferry Box et un cytomètre en flux automatisé (CytoSub, voir section suivante), menés par l'Ifremer et l'UMR LOG-ULCO sont considérés comme concluants. Ceci permet d'envisager le déploiement de nouveaux capteurs de manière opérationnelle sur la station afin de répondre aux besoins des projets en cours ou à venir (Projet InterReg S3 EUROHAB, H2020 JERICO-S3/RI, CPER IDEAL).

6) Déploiement des mesures de diversité et dynamique phytoplanctoniques à haute fréquence à la station MAREL Carnot (Robache K., Audinet Y., Brutier L., Epinoux A., Facq J.V., Gallot C., Lefebvre A., Hubert Z., Répécaud M., Artigas L.F.)

La dynamique phytoplanctonique évolue rapidement en absorbant les changements du milieu, ce qui en fait un bon outil pour la surveillance de l'état et du fonctionnement des écosystèmes marins. Le développement des études à haute fréquence (notamment dans le cadre du service national d'observation COAST-HF) permet une observation plus précise de la dynamique des

paramètres hydrobiogéochimiques et une surveillance accrue des eaux marines côtières. Dans ce contexte, un cytomètre en flux automatisé du type CytoSub (CytoBuoy) a été déployé sur la station automatisée MAREL Carnot (SNO Coast-HF) durant le printemps 2021 de par une collaboration entre le LOG et l'IFREMER LER/BL (figure 1.1.9) dans le cadre du stage de Master 1 SM EMAH ULCO de Kévin Robache. Les données acquises *in vivo* et *in situ* ont été transmises au laboratoire via un pont WiFi toutes les deux heures entre le 23 mars et le 12 mai 2021.



Figure 1.1.9 Site d'échantillonnage (à gauche, Google Earth) et cytomètre en flux automatisé CytoSub (CytoBuoy b.v.) dans son caisson de protection (à droite).

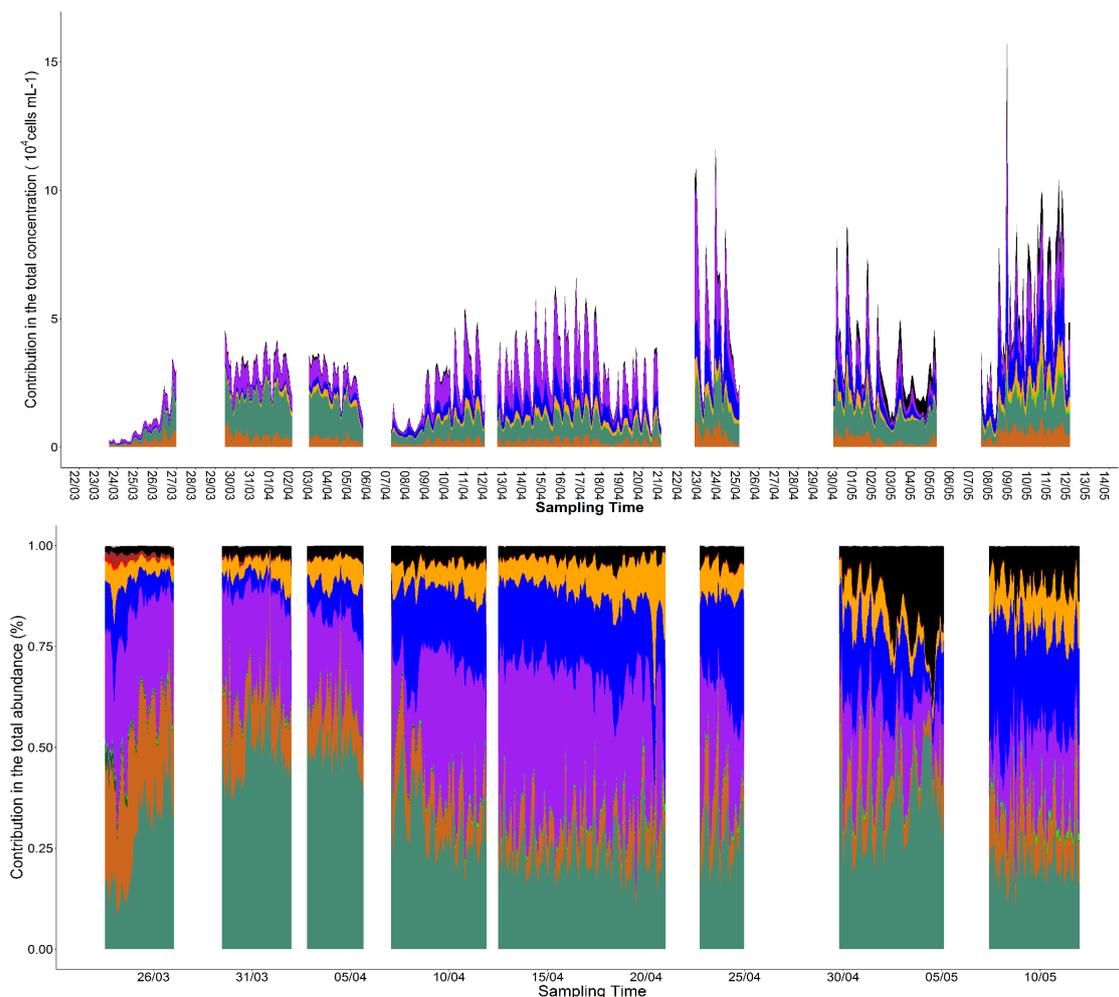


Figure 1.1.10 Abondances phytoplanctoniques totales et relatives déterminées par cytométrie en flux automatisées *in vivo* (CytoSub) à MAREL Carnot, du 23/03 au 12/05.

Les communautés phytoplanctoniques ont pu être dénombrées et caractérisées à partir des données optiques de chaque particule (cellule libre, colonie) passée devant le laser du cytomètre : fluorescences rouge (proxy de la chlorophylle *a*), jaune (pigments dégradés) et orange (phycoérythrine), diffusion aux grands angles (composition cellulaire) et aux petits angles (taille de la particule) et plusieurs groupes optiques ont donc été définis. Ces groupes ont été nommés en fonction de leur gamme de taille (pico - nano - micro) et de leurs caractéristiques optiques.

Grâce aux données obtenues, la dynamique du bloom printanier en Manche Orientale a pu être observée à haute fréquence permettant d'observer les variations à petite échelle de la composition des communautés phytoplanctoniques avec des alternances à petite échelle entre les groupes nanoplanctoniques et picoplanctoniques (NanoRED et PicoRED) et entre différents groupes de nanoplancton (groupes NanoRED) émettant une fluorescence rouge (FLR, proxy de la présence de chlorophylle *a*) représentant différents stades de vie de *Phaeocystis globosa* (figure 1.1.10). De plus, des phénomènes de périodicité ont été mis en évidence, en relation avec les cycles de marée de 12 heures (haute mer-basse mer ; figure 1.1.11) et de 14 jours (vives eaux - mortes eaux ; figure 1.1.4) pour les abondances mais aussi en relation avec le cycle cellulaire (cycle jour/nuit de 24h ; figure 1.1.12) pour la diffusion aux petits angles (FWS, proxy de la taille des particules).

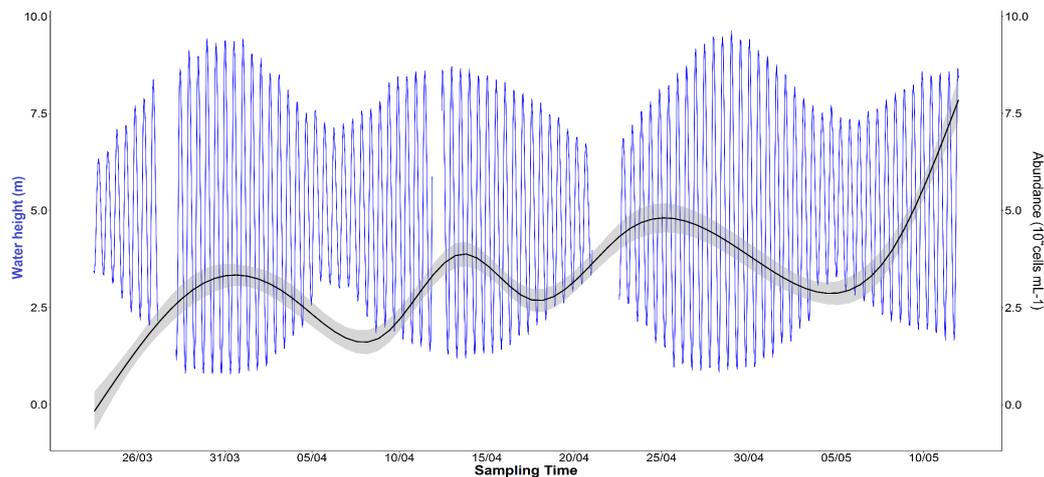


Figure 1.1.11 Abondance phytoplanctonique par cytométrie en flux automatisée (CytoSub), MAREL Carnot et variations de la hauteur de l'eau (SHOM) du 23/03 au 12/05/2021.

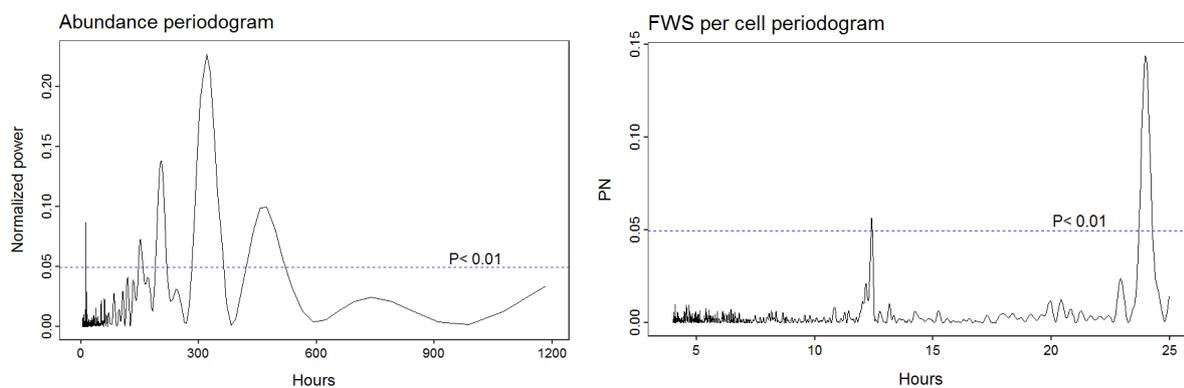


Figure 1.1.12 Périodogrammes de Lomb-Scargle pour l'abondance phytoplanctonique et pour la diffusion aux petits angles (FWS, proxy de la taille) au cours du déploiement du CytoSub à MAREL Carnot au printemps 2021.

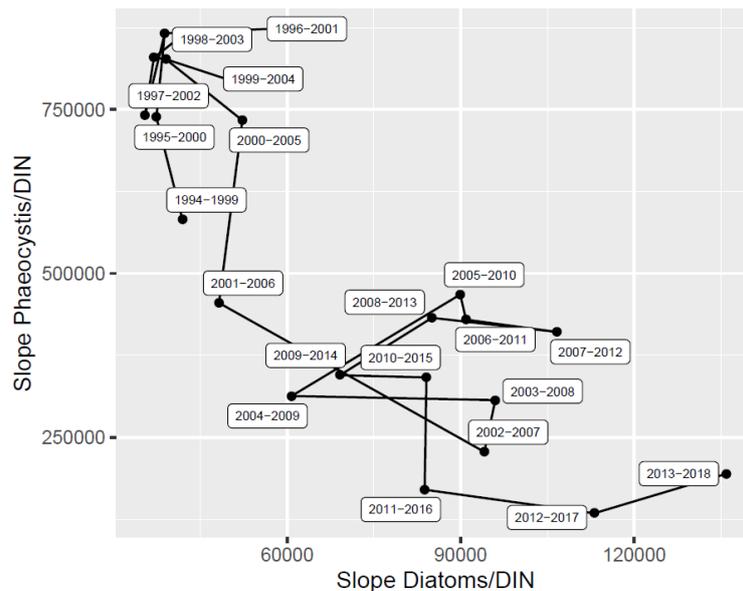


Figure 1.1.13 Passage au cours du temps d’une situation où le gradient d’azote était relativement plus favorable à *Phaeocystis*, à une situation où il est relativement plus favorable aux diatomées.

7) Analyse des séries à long terme - IFREMER LER/BL & ULCO-LISIC (C. Dezecache, D. Devreker , K. Grassi, S. Karasiewicz, E. Poisson-Caillault, A. Lefebvre)

Les données générées par les suivis basse fréquence issus des suivis des observatoires nationaux et régionaux comme le suivi SRN (Suivi Régional des Nutriments) mené par l’IFREMER depuis plus de vingt ans peuvent offrir quant à la compréhension des écosystèmes côtiers de la Manche-Est et du Sud de la Mer du Nord, ils peuvent également être utiles pour la caractérisation de grandes tendances temporelles pouvant servir de base pour l’interprétation des données à haute fréquence collectées dans le cadre du projet MARCO. Il s’agit de caractériser les tendances observables entre différents paramètres hydrologiques, azote, phosphate et silicate, qui sont des nutriments indispensables à la croissance des organismes phytoplanctoniques, et des indicateurs biologiques tels que les concentrations en Chlorophylle-a ou en groupes d’espèces/taxons cibles que constituent *Phaeocystis globosa* et les diatomées, dont les efflorescences peuvent poser problèmes pour la santé/fonctionnement des écosystèmes aussi bien que pour la santé humaine. Sur la base des données disponibles pour la période 1994-2018 à l’échelle des sites étudiés (Baie de Somme, Boulogne-sur-Mer, Dunkerque), une relation très claire a été mise en évidence entre les concentrations en Azote Inorganique Dissous et les concentrations en Chlorophylle-a, qui montre bien le lien fort entre les apports terrestres en azote (essentiellement dus à la fertilisation des terres agricoles) et l’eutrophisation. Des relations nettes ont également été montrées entre les concentrations en azote et les concentrations en diatomées, qui comportent des genres potentiellement toxiques tels que *Pseudo-nitzschia*. Ceci est également le cas pour les concentrations de l’espèce *Phaeocystis globosa*, alors même qu’une étude similaire mais reposant sur une méthodologie différente (document OSPAR ICG-EUT 2018), menée aux Pays-Bas, ne montrait pas de relation claire et suggérait d’abandonner *Phaeocystis* comme indicateur d’eutrophisation pour cette zone. Au-delà des relations moyennes sur l’ensemble de la période d’étude, la segmentation du temps en périodes glissantes de six ans a permis de mettre en évidence des changements de tendances particulièrement intéressants pour les gestionnaires. Alors que la relation entre azote et Chlorophylle-a est relativement stable dans le temps, la relation entre azote et *Phaeocystis* a

tendance à s'estomper à partir du début des années 2000. Une relation opposée est observée entre azote et diatomées, avec une relation de plus en plus marquée dans le temps. Ceci met en évidence un écosystème relativement plus favorable aux diatomées et relativement moins favorable à *Phaeocystis* (figure 1.1.13) au fil du temps. Au sein des diatomées favorisées par ces nouvelles conditions environnementales, une hausse très forte de l'abondance du genre *Pseudo-nitzschia* a été observée ces dernières années, ce qui pourrait être préoccupant au vu de la potentielle toxicité, associée à des espèces de ce genre, pour les produits de la mer. Sur la base des données *in situ* acquises via les réseaux d'Observation et de Surveillance PhytOBS, REPHY/SRN (Devreker D., Lefebvre A., 2021) un algorithme a été développé afin d'extraire les événements d'efflorescences des deux espèces nuisibles majeurs de la zone Manche orientale-baie sud de la mer du Nord pour la période 1998-2019 et pour 11 stations de suivi.

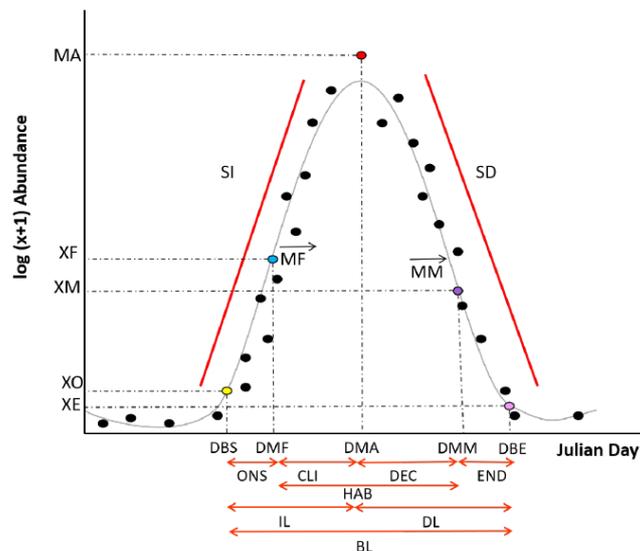


Figure 1.1.14 Synthèse des 22 variables phénologiques extraites pour chaque efflorescence phytoplanctonique dans l'étude de Karasiewicz et Lefebvre (2022).

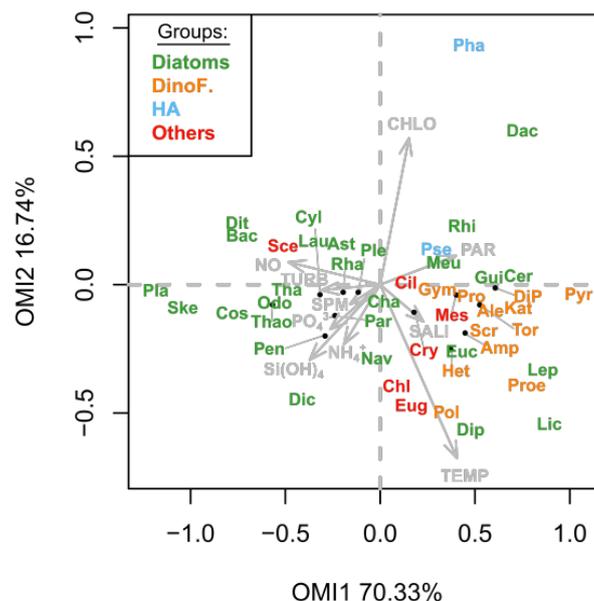


Figure 1.1.15 Résultats de l'analyse de niche OMI. Position des niches des 47 taxons étudiés et des conditions environnementales associées sur les deux premiers axes (extrait de Karasiewicz et Lefebvre, 2022).

Ainsi, ce sont 363 efflorescences qui ont pu être mises en évidence sur cette période et à l'échelle des 3 radiales REPHY/SRN. Cet algorithme a aussi pour but d'extraire et de calculer 22 paramètres phénologiques permettant la caractérisation des efflorescences détectées (figure 1.1.14) (Karasiewicz et Lefebvre, 2022). Les paramètres de niche permettent de décrire via l'analyse OMI la réponse des espèces nuisibles à l'environnement (prises en compte de 10 paramètres environnementaux). Une première partie de cette étude a été dédiée à la compréhension des relations entre ces principales variables phénologiques qui sont de nature temporelle (i.e. début du bloom, DBS), quantitative (i.e. maximum d'abondance, MA), et même conceptuelle (i.e. Maximum Fitness, MF).

Dans un second temps, une analyse plus conventionnelle sur les variations spatio-temporelles de ces efflorescences, mais également sur la structure des communautés et des conditions environnementales a été mise en œuvre afin de mieux appréhender les possibles liens existants entre 5 composantes phénologiques. Ensuite, les relations entre la structure des communautés phytoplanctoniques et les conditions environnementales en fonction de la phénologie des espèces nuisibles (*Phaeocystis globosa* et *Pseudo-nitzschia* spp.) avec le concept des niches et sous-niches (Karasiewicz, et al, 2017) ont été caractérisées par Karasiewicz et Lefebvre (2022) (figures 1.1.15 et 1.1.16). Les sous-niches calculées à partir de 5 variables phénologiques (méthode WitOMI) permettent la quantification de ces liens ainsi qu'une exploration des pressions environnementales et/ou communautaires sur les espèces nuisibles avec leur conséquence sur le développement des HAB.

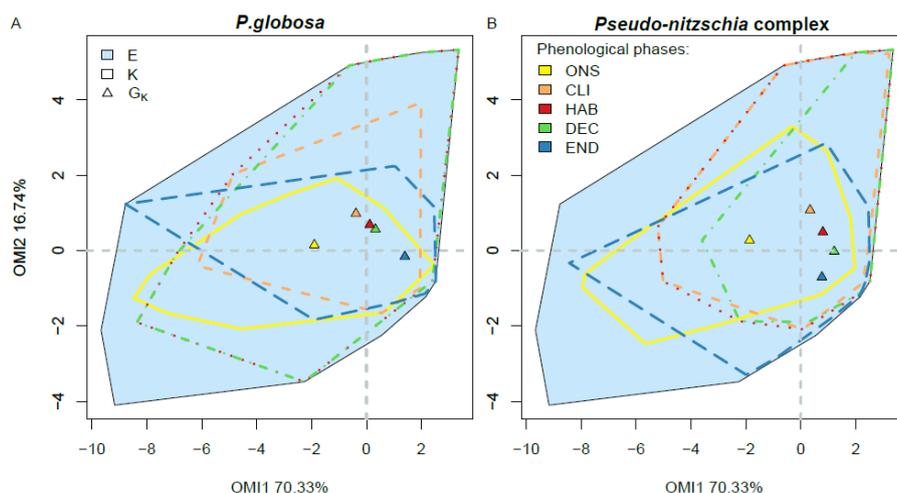


Figure 1.1.16 Représentation des 5 sous-niches phénologiques et de leurs positions moyennes (Gk) définies à partir de 5 composantes phénologiques (ONS, CLI, HAB, DEC, END) (provient de Karasiewicz et Lefebvre, 2022).

8) Analyse données Haute Fréquence, IFREMER-LISIC-WeatherForce (K. Grassi, P. Chatelain, E. Poisson-Caillault, A. Bigand, A. Lefebvre)

La masse de données générée par les suivis de la dynamique phytoplanctonique permettent de mieux appréhender les caractéristiques saisonnières et pluriannuelles en réponse à différents types de forçages. Néanmoins, le rôle et l'impact des événements extrêmes sur cette dynamique ne sont que partiellement abordés faute de méthode numérique adaptée, optimisée. De plus, les écosystèmes marins côtiers sont particulièrement complexes et génèrent des réponses rapides aux facteurs environnementaux et anthropiques ; il convient d'adapter les techniques numériques conventionnelle pour obtenir une structuration à haute résolution temporelle et/ou spatiale. Dans le contexte d'utilisation croissante d'approches de suivis automatisés à haute

résolution spatiale et temporelle décrits précédemment, les outils d'aide au traitement et à la prise de décision deviennent cruciaux. Il est nécessaire d'optimiser l'extraction d'information des données, d'en synthétiser et d'en comprendre la structure.

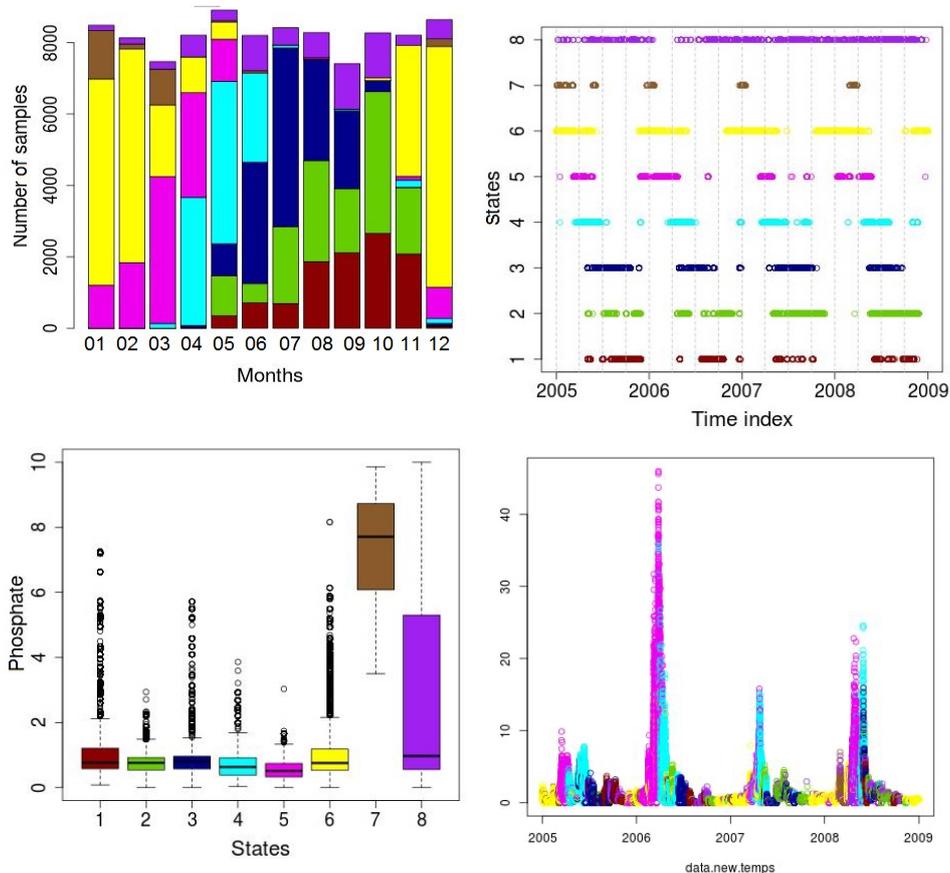


Figure 1.1.17 Partitionnement des données MAREL-Carnot de 2005 à 2009 : a) fréquence par mois de chaque état ; b) Dynamique par état ; c) distribution du phosphate pour chaque état ; d) distribution des états sur le signal de fluorescence.

Afin d'extraire la quantité maximale d'information des données, une architecture de classification multicouches par approche spectrale, appelée Multi-level Spectral clustering (M-SC), a été développée. Elle fait suite à la méthode mise en place dans la thèse de Kévin Rousseuw (2014) et permet de caractériser aussi bien des schémas généraux que des événements extrêmes ou encore des défaillances de capteurs. Cet étiquetage automatique permet ainsi d'alléger la phase de la labellisation inhérente aux phases d'interprétations et au système de prédiction tout en améliorant l'apprentissage actif de ces événements nouveaux ou rares. Par la suite, la construction d'agents de prédiction basés sur cet étiquetage contrôlé par un expert pourra permettre de réaliser un suivi en temps-réel de la qualité de l'environnement et d'anticiper les événements à risque mais aussi d'adapter les stratégies d'échantillonnage ou de maintenance si besoin. L'architecture profonde est basée sur une technique divisive permettant ainsi une interprétation à multi-niveau, des changements globaux jusqu'aux événements spécifiques, extrêmes, intermittents ou rares dans les couches basses.

Par exemple, la [figure 1.1.17](#) présente les résultats liés au troisième niveau de classification. L'état 7 correspond à des événements hivernaux de quelques heures/jours ([figure 1.1.17a](#), [1.1.17b](#)) où les concentrations de phosphates sont particulièrement élevées ([figure 1.1.17c](#)). De plus, les concentrations de phosphates sont fortement liées au paramètre de turbidité. L'état 7 peut s'apparenter à une remise en suspension des sédiments qui conduisent à une désorption

du phosphate. Ces événements sont liés à des événements météorologiques comme les tempêtes ou à des activités anthropiques telles que les dragages du port. À ce moment, le phosphate régénéré devient disponible dans la colonne d'eau (alors qu'il est en théorie épuisé à cette époque) et pourra être consommé par le phytoplancton. Ce type d'évènements pourrait donc expliquer des proliférations secondaires superposées à la dynamique générale principale. Ces proliférations secondaires présentent un intérêt particulier lorsque l'on cherche à approfondir les connaissances sur les proliférations d'algues nuisibles. La détection de ces événements peut aider à identifier les facteurs environnementaux qui déclenchent ces proliférations ; elle permettra d'identifier les stratégies à mettre en œuvre pour améliorer la qualité de l'environnement, de maintenir la structure et les fonctions de l'écosystème et, surtout, de protéger la santé humaine.

9) RClusTool : package R pour l'analyse et la classification automatisée des données ULCO-LISIC & CNRS-ULCO-LOG, (G. Wacquet, P.-A. Hébert, E. Poisson-Caillault, A. Epinoux, L.F. Artigas)

Le package RClusTool est une boîte à outils dédiée à la classification non supervisée, supervisée ou semi-supervisée de données, associée à une Interface Graphique Utilisateur complète. Ce package est développé sous l'environnement R (open source). Il est conçu pour automatiser le processus de classification et permettre une meilleure interaction entre l'opérateur et les données afin de corriger éventuellement les résultats obtenus. Cette interaction est assurée par plusieurs outils de visualisation mais également par des requêtes utilisateur permettant d'ajouter quelques connaissances *a priori* telles que des modèles de classe, des étiquettes de classe, des contraintes de comparaison par paires, etc. Un effort important a été réalisé afin de faciliter l'exploration des données, l'insertion des connaissances *a priori* sur les données et l'interaction utilisateur. La combinaison de l'analyse manuelle et des méthodes de classification automatisées peut améliorer les scores de performances de classification. La plupart des méthodes d'analyse et de classification intégrées à cette interface graphique proviennent de packages existants sur le site web du CRAN. Cependant, cet outil a été conçu pour réduire les durées de traitement pour les bases de données de très grandes dimensions, et certains prétraitements ont donc été ajoutés. L'objectif de l'interface proposée est donc de rassembler et de simplifier l'utilisation de ces méthodes variées à travers un système interactif et ergonomique de classification. Initialement développé durant le projet INTERREG IV-A « 2 Mers » DYMAPHY (2010-2014) par le LISIC-ULCO, en collaboration avec le LOG dans le cadre de la surveillance de l'écosystème marin, les méthodes automatisées proposées dans ce package sont particulièrement adaptées au traitement d'ensembles de données environnementales de grandes dimensions, incluant les données acquises avec des instruments automatisés conçus pour la surveillance des communautés phytoplanctoniques.

Les données acquises par cytométrie en flux automatisée sont tout particulièrement concernées par le déploiement de cette approche, notamment en appui des enregistrements en continu lors des campagnes en mer et déploiements présentés dans les premières sections de résultat de cette action. Une procédure d'utilisation de la version actuelle a été rédigée pour le Ministère de la Transition Ecologique (Wacquet et al, 2020) dans le cadre de la Convention MTES-CNRS pour la mise en place de la DCSMM) et les travaux continueront pour en produire une version actualisée bénéficiant de la poursuite des travaux et collaborations régionales, nationales et internationales dans le cadre des projets CPER IDEAL et JERICO-S3 (2020-2024) et la mise en place d'un accès virtuel en cours pour l'ensemble de la communauté scientifique et de gestionnaires du milieu marin.

10) Fluorimétrie multi-spectrale : poursuite des mesures et nouvelles pistes de traitement et analyse des données LOG ULCO/Univ Lille & IFREMER (E. Houliez, F. Lizon, G. Waccquet, A. Lefebvre, L.F. Artigas)

Le suivi de la distribution des groupes spectraux phytoplanctoniques, proxy des groupes pigmentaires (à la fois en surface comme au sein de la colonne d'eau) ont été caractérisés au cours des différentes campagnes océanographiques, mesures d'opportunité et en complément des séries de mesures régulières d'observation et suivi du phytoplancton. Ceci a été possible par le déploiement de la fluorimétrie multispectrale à l'aide d'une sonde profileur FluoroProbe (FLP, bbe Moldaenke) et d'un système de paillasse AlgaeOnlineAnalyser (AOA, même marque) couplé à un Pocket FerryBox (Lefebvre et Devreker, 2019).

La discrimination de jusqu'à 4 groupes spectraux repose sur le fait que ces groupes de micro-algues possèdent des cortèges pigmentaires différents leur conférant des capacités d'absorption de la lumière bien distinctes. En excitant ces pigments avec des LEDs émettant à différentes longueurs d'onde, le spectre de fluorescence obtenu aura ainsi une forme différente pour chacun de ces groupes. Le FLP ou l'AOA exploitent la forme de ces spectres pour l'identification des groupes de micro-algues présents dans l'eau. L'identification s'effectue à l'aide d'un algorithme de déconvolution des signaux de fluorescence par une méthode mathématique appelée "linear unmixing" (Beutler et al., 2002). Toutefois, la qualité des résultats obtenus dépend de l'adéquation entre les spectres de référence et les groupes de micro-algues présents dans le milieu d'étude au moment de la mesure. Dans un précédent travail (Houliez *et al.*, 2012), il a été montré qu'en utilisant le calibrage d'usine en Manche orientale, l'haptophyte *Phaeocystis globosa* était identifiée comme un mélange d'algues vertes et d'algues brunes. Par contre, la recalibration du FLP avec l'enregistrement d'une nouvelle empreinte de référence pour *P. globosa* a permis d'obtenir une bonne reconnaissance de cette espèce. Toutefois, l'utilisation d'empreintes de référence spécifiques à chacun des milieux traversés pourrait invalider la possibilité de comparer les résultats qui sont alors acquis avec une méthodologie différente. A l'inverse, l'utilisation d'un unique jeu d'empreintes de référence pourrait conduire à des erreurs de classification trop importantes pour accorder une confiance suffisante aux résultats obtenus, imputables aussi bien à des changements de composition et/ou physiologiques du contenu en pigments des groupes. Ceci étant dit, des études ciblant les changements combinés détectés sur un même site ou sur une même campagne par l'utilisation d'un seul jeu d'empreintes sont possibles (Lefebvre & Poisson-Caillault, 2019) et leur interprétation en termes de changements de composition sujette à des connaissances complémentaires acquises en parallèle au moyen d'autres techniques.

Dans le cas où la calibration d'empreintes de référence spécifiques au milieu d'étude n'était pas envisageable en raison de sa grande hétérogénéité de composition pigmentaire, dans le cas d'une première exploration d'une zone ou si l'utilisateur voulait s'affranchir de la méthode basée sur les empreintes de références par manque de confiance en celle-ci, il est possible de traiter les résultats du FLP par une méthode alternative. Cette méthode consiste à traiter directement les spectres de fluorescence mesurés avec les 5 diodes émettrices de lumière (LEDs) au lieu de récupérer directement les estimations de concentrations en CDOM et en chl *a* par groupes phytoplanctoniques fournies habituellement par le logiciel associé au système de mesures. La méthodologie est basée sur les méthodes statistiques proposées par Alexander *et al.* (2012) et Harrison *et al.* (2016). Les spectres de fluorescence sont tout d'abord normalisés. Des méthodes d'ordination (analyse en composante principale ou nMDS) sont ensuite employées pour repérer les variations de la forme des spectres de fluorescence qui sont associées à des modifications de la teneur en CDOM et/ou des changements de structure des communautés phytoplanctoniques. Ces méthodes d'ordination permettent ainsi de regrouper les spectres de fluorescence selon

leur forme et de différencier des groupes d'échantillons correspondant à des communautés phytoplanctoniques différentes. Si cette méthode alternative basée sur des méthodes d'ordination est efficace pour différencier les communautés dominées par des groupes phytoplanctoniques différents (figure 1.1.18), elle comporte certaines limites. Elle ne permet plus d'obtenir une estimation des concentrations en chlorophylle *a* par groupes phytoplanctoniques. Seul des informations à l'échelle de la communauté seront obtenues, les communautés dominées par des groupes différents seront séparées ; par contre, deux communautés comportant les mêmes groupes phytoplanctoniques mais avec des proportions différentes ne seront pas différenciées. La composition phytoplanctonique de chacune des communautés ne peut donc plus être connue de façon aussi détaillée qu'il est possible de le faire en utilisant la déconvolution basée sur les empreintes mais une estimation des différents assemblages à partir de leur groupe pigmentaire dominant renseigne sur la structure de la communauté.

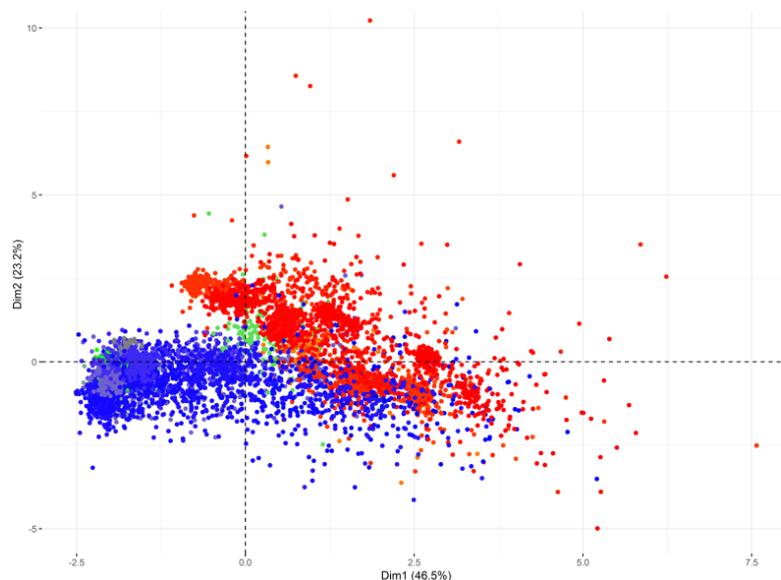


Figure 1.1.18 Exemple de résultats obtenus en Manche orientale avec la méthode alternative appliquée sur des données récoltées au cours de la campagne PHYCO au printemps 2017. Cette figure montre la séparation des échantillons dominés par des diatomées (représentés en rouge) de ceux dominés par *Phaeocystis globosa* (représentés en bleu).

11) Mise en place d'analyses sur un système d'acquisition d'images automatisé (FlowCam), LOG-IFREMER (Wacquet G., Delecroix E., Bruaut M., Lefebvre A., Artigas L.F.) et coll. U Mons (Grosjean, Ph.)

Le système d'acquisition d'image de paillasse FlowCam est basé sur la microscopie optique. Il peut générer des images haute-résolution des particules dans le flux, dans la gamme de taille 2 μm -1000 μm (selon la combinaison « objectif/cellule de flux » utilisée pour le système optique). L'échantillon est attiré par une pompe seringue, dans une cellule de flux (ou chambre de flux) de dimensions connues, placée devant un objectif de microscope, lui-même connecté à une caméra vidéo. Chaque particule détectée est capturée et collée dans un fichier « collage » qui regroupe de multiples images afin de limiter la taille mémoire de chaque fichier. En ce qui concerne la détection des particules, comme le FlowCam VS Series de l'Ifremer, le FlowCam 8100 acquis en 2019 par le CNRS LOG dans le cadre du CPER MARCO, n'est pas équipé de laser ce qui implique donc l'utilisation systématique du mode « AutoImage » pour l'acquisition des données. Les échantillons d'eau sont prélevés de façon hebdomadaire sur différents sites (cf. section 1) : radiale côte-large Wimereux Slack du LOG (campagnes DYPHYRAD), réseau de surveillance SRN

(Suivi Régional des Nutriments) de l'Ifremer (Baie de Somme, Boulogne-sur-Mer, Dunkerque), réseau SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral) au Sud de Boulogne-sur-Mer, les deux derniers correspondants au SNO PhytObs.

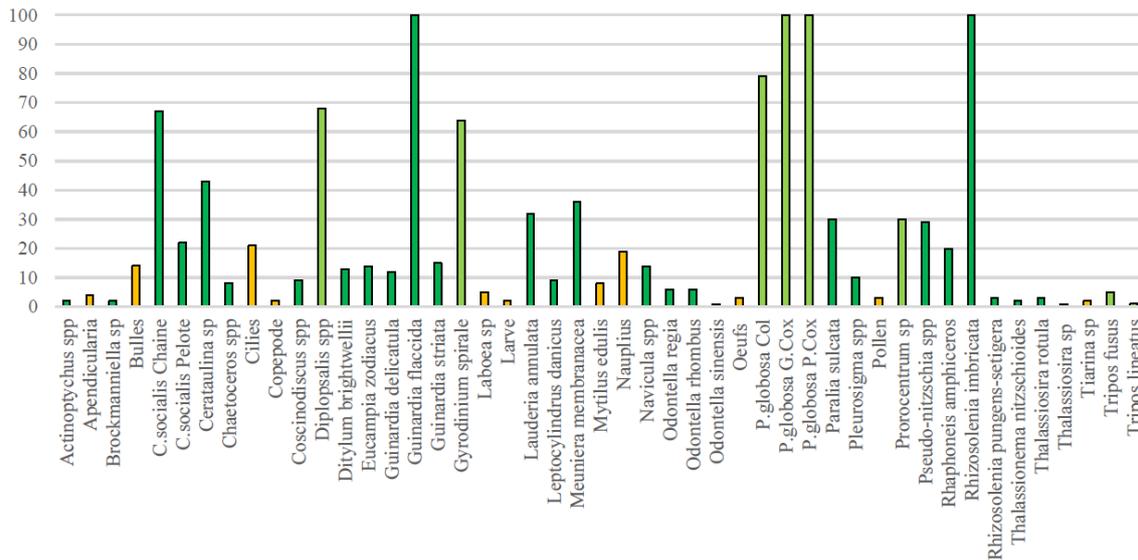


Figure 1.1.19 Abondance des groupes du set d'apprentissage construit à partir d'images acquises au 4X.

Les analyses se font en liaison avec les actions 2.2 et 2.3. La totalité des échantillons prélevés en sub-surface dans les stations principales sont systématiquement numérisés au FlowCam depuis février 2019. Un set d'apprentissage « vivant » représentatif de chaque communauté planctonique rencontrée en Manche Orientale a été construit à partir d'échantillons prélevés durant 2013 (dans le cadre du réseau régional de surveillance des Nutriments, Ifremer) et 2014 (dans le cadre du transect DYPHYRAD du CNRS LOG). De la même façon, une banque d'images est en cours de construction pour le FlowCam 8100 par le CNRS LOG et notamment dans le cadre du stage de Master 1 FOGEM d'Eléonore Delecroix (Delecroix, 2019). Les échantillons utilisés sont également prélevés dans le cadre du réseau régional de surveillance des Nutriments de l'Ifremer et du transect DYPHYRAD du CNRS LOG depuis février 2019. Cette banque d'images a permis de commencer à construire deux sets d'apprentissage selon le système optique utilisé : 4X ou 10X. Les 47 groupes créés pour le set d'apprentissage 4X (figure 1.1.19) ne sont pas homogènes en termes d'abondance. Les diatomées (en vert foncé) sont représentées par 28 groupes alors que les flagellés (dinoflagellés et haptophytes, en vert clair) ne comptent que 8 groupes. Les diatomées les plus présentes sont *Guinardia flaccida* et les *Rhizosolenia imbricata*. Les flagellés les plus abondants sont les colonies de *Phaeocystis globosa*. Les performances de reconnaissance de l'outil généré à partir de ce set (avec Random Forest) sont calculées par validation croisée, et montrent un taux d'erreur globale de 28,45%.

La figure 1.1.20 montre que les 44 classes du set d'apprentissage 10X ne sont pas homogènes non plus. Les groupes de diatomées sont plus nombreux que les groupes de flagellés (26 contre 11). Les performances de reconnaissance de l'outil généré à partir de ce set (avec Random Forest) sont calculées par validation croisée, et affichent un taux d'erreur globale de 28,74%, ce qui semble prometteur et devra être amélioré pour les prochaines étapes d'analyses. Ces travaux seront poursuivis pour compléter et valider les sets d'apprentissage et par l'utilisation de nouveaux outils et approches de Machine Learning et Intelligence Artificielle dans le domaine de la reconnaissance d'image en partenariat entre le IFREMER/LER-BL et l'UMR LOG, notamment dans le cadre des nouveaux projets en cours (CPER IDEAL, JERICO S3) et la consolidation des

approches automatisées du plateau d'observation, géomatique et télédétection du nouveau CPER.

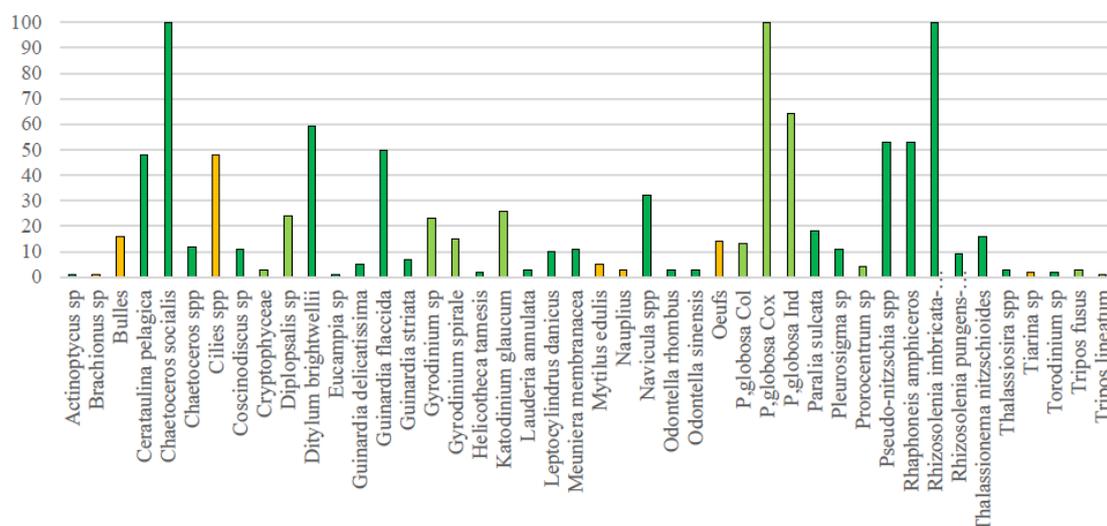


Figure 1.1.20 Abondance des groupes du set d'apprentissage construit à partir d'images acquises au 10X.

Valorisations

Stages:

- Gobert E., 2016. « Traitement et participation à l'acquisition de données océanographiques. Découverte d'un laboratoire » Ecole d'Ingénieurs SeaTech, Université de Toulon, janvier-février 2016
- Giraudeau-Potel Solène, 2016. «Initiation to phytoplankton reference and semi-automated monitoring techniques», étudiante ERASMUS Scottish Association for Marine Science (SAMS), Ecosse, juin-juillet 2016
- Claire Dédécker, 2016. « Contribution à l'étude de la dynamique printanière du phytoplancton par des techniques fluorimétriques », 2è année DUT Génie Biologique ULCO, avril-juillet 2016
- Bouchaud F., 2017. « Application de la fluorimétrie au suivi de la distribution du phytoplancton en eaux côtières » Master 1 Sciences de le Mer FOGEM – ULCO avril-j(Juin 2017.) Encadrement : F. Artigas
- Claire Dédécker, 2017. Stage volontaire parcitipation campagnes océanographiques, L3 SV ULCO, avril et juin 2016. Encadrement F. Artigas
- Delarbre J., 2017 « Participation au suivi de la dynamique phytoplanctonique en Manche orientale par des mesures de références et des mesures innovantes », Diplôme d'Étude Universitaire Scientifique et Technique - Technicien de la Mer et du Littoral - Valorisation et Production des Bio-ressources Aquatiques (DEUST 2 TML VBPA) ULCO juin-août 2017. Encadrement F. Artigas
- Senaffe A. (2017). Etude de la photoacclimatation spectrale des microalgues en milieu côtier dominé par la marée : approche in situ et expérimentale. Stage de Master 2, FOGEM, Université Lille (encadrement F. Lizon).
- Watiez H., 2017 « Contribution au suivi des poussées phytoplanctoniques en Manche Orientale » stage DUT Génie Biologique 2 ULCO. Encadrement F. Artigas
- Beaugendre C. 2018. Stage découverte monitoring du phytoplancton, Licence 3 Sciences de la Vie ULCO. Encadrement F. Artigas
- Dédécker C. 2018. « Caractérisation de la variabilité spatiale printanière des communautés phytoplanctoniques en Manche par application d'approches automatisées », stage Master 1 Sciences de la Mer FOGEM ULCO. Encadrement F. Artigas
- Lefebvre K. 2018. « Participation au suivi de la dynamique printanière du phytoplancton en Manche », stage DUT 2 Génie Biologique ULCO. Encadrement F. Artigas

- Pernak M. 2018. Distribution hivernale des assemblages larvaires de poissons en Manche orientale et mer du Nord. Master FONctionnement et Gestion des Ecosystèmes Marins (FOGEM) mutualisé entre l'Université de Lille 1 et l'Université du Littoral Côte d'Opale.
- Chatelain P., « Suivi de clusters phytoplanctoniques », M2 TSI et dernière année ING3 EILCO, avril-juin 2019, encadrement E. Poisson-Caillault.
- Dédécker C. 2019. « Variabilité spatio-temporelle des communautés phytoplanctoniques, en Manche, caractérisées par l'application de la cytométrie en flux. » Master 2 Sciences de la Mer parcours Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Marins (FOGEM) ULCO. Encadrement F. Artigas et A. Louchart.
- Delecroix E. 2019, « Mise en place du suivi de la diversité phytoplanctonique par imagerie en flux automatisée dans la Manche orientale » Master 1 Sciences de le Mer FOGEM ULCO. Encadrement F. Artigas et Guillaume Wacquet
- Desreac F. 2019 . « Etude de la dynamique printanière du phytoplancton » stage DUT 2 Génie Biologique ULCO. Encadrement F. Artigas
- Fournier C. 2019. Stage de fin de BTSM Pêche et Gestion de l'Environnement Marin, Lycée Maritime du Portel. Encadrement F. Artigas
- Veullot A. 2019. « Calibration des signaux optiques du cytomètre en flux CytoSense en vue d'analyser la diffusion des communautés particulières en Manche - Mer du Nord. » Master 1 Sciences de la Mer parcours Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Marins (FOGEM) ULCO. Encadrement F. Artigas et Lucile Duforêt-Gaurier.
- Caillard E. 2020. « Observation et suivi de la dynamique du phytoplancton en eaux marines côtières et du large » Stage de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Cadre Technique Génie de l'environnement marin, CNAM INTECHMER. Encadrement F. Artigas
- Deleplanque E. 2020. « Suivi de la dynamique du phytoplancton via l'application de techniques d'analyses de références et automatisées » stage DUT 2 Génie Biologique ULCO. Encadrement F. Artigas
- Latron S. 2020 « Variabilité spatio-temporelle des communautés phytoplanctoniques côtières par application d'approches automatisées : la campagne JERICO-NEXT/LifeWatch 2019 » Stage Master 1 Sciences de la Mer parcours Ecologie Marine et Halieutique (EMAH). Encadrement F. Artigas et Alexandre Epinoux
- Corentin Leprince, 2020. Structure and diversity des communautés eucaryotes en Manche Mer du Nord. M1, ULCO (encadrement S. Monchy et F. Artigas).
- Nicolas Delatre, 2020. Structure and diversity of bacterial communities in the English Channel revealed by flow cytometry and high-throughput sequencing. M2, ULCO (encadrement S. Monchy et F. Artigas, financé par le Pôle Mer et Littoral)
- Kevin Robache (2021) « Approche semi-automatisée haute fréquence de la dynamique du bloom printanier en Manche Orientale » Stage Master 1 Sciences de la Mer parcours Ecologie Marine et Halieutique (EMAH). Encadrement F. Artigas et Alexandre Epinoux
- Zéline Hubert (2021) Dynamique des groupes fonctionnels phytoplanctoniques en milieux marins côtiers à partir d'approches semi-automatisées : les campagnes DYPHYRAD. Master Sciences de la Mer – Ecologie Marine et Halieutique (EMAH) ULCO. Encadrement F. Artigas

Thèses :

- Thi Thu Hong PHAN**, Elastic matching for classification and modelisation of incomplete time series. LISIC A. Bigand, E. Poisson-Caillault ULCO, Financement ULCO/Hanoi . Soutenue le 12/10/2018
- Arnaud LOUCHART**, Contribution à l'étude à haute résolution temporelle et spatiale de la dynamique des communautés phytoplanctoniques, par l'application in situ combinée de techniques optiques de mesure et d'outils semi-automatisés. LOG F. Schmitt - F. Artigas ULCO, financement ULCO/Région Hdf. Soutenue le 24/07/2021
- Kelly GRASSI**, Caractérisation de la dynamique de la biomasse phytoplancton par définition d'états environnementaux multicritères avec apprentissage profond semi-supervisé et classification spectrale à partir de données à haute fréquence LER/LISIC A. Lefebvre E. Caillault , A. Bigand ULCO, financement WeatherForce. Soutenue le 19/11/2020

Post-doc :

- Wacquet, Guillaume (2016-2017) Amélioration de l'étude et du suivi des espèces phytoplanctoniques dominantes dans la Manche orientale, en focalisant à la fois sur les petites cellules et les espèces coloniales, UMR LOG, Allocation Jeunes Chercheur Région Hauts de France (encadrement : F. Artigas).
- Dezecache, Camille (26/3/2018-13/7/2018, 3.5 mois), LISIC encadrement E. Caillault
- Dezecache, Camille (16/8/2018-14/2/2020, 18 mois), Ifremer LER BL, encadrement A. Lefebvre
- Emilie Houliez (mi-janvier 2019-mi-janvier 2020, 12 mois, post-doc ULCO CPER MARCO) : approche multispectrale pour la caractérisation et le suivi du phytoplancton (direction F. Artigas)
- Gómez, Fernando (01/2018-07/2019), Convention MTES-CNRS pour la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM, Habitats Pélagiques, Descripteur 1, action 1.1 LOG-CNRS, encadrement F. Artigas)
- Wacquet, Guillaume (2017-2019) : Convention MTES-CNRS pour la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM, Habitats Pélagiques, Descripteur 1, action 1.1 LOG ULCO, encadrement F. Artigas)
- Wacquet, Guillaume (01/07- 15/09/2020) Amélioration approche de classification signaux cytométriques pour la consolidation d'un outils d'analyse automatisé – Projet H2020 JERICO S3, encadrement F. Artigas
- Alexandre Epinoux (mai – décembre 2021, 8 mois, Post-doc ULCO): Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle phytoplanctonique par des techniques (semi-)automatisées appliquées à haute résolution spatiale et temporelle dans les écosystèmes marins et côtiers (direction: F. Artigas).

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

- Artigas L.F., Bonato, S., Créach V., Guiselin N., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Lefebvre A., Lampert L., Lizon F., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Rutten T., Thyssen M., Veen A., Wacquet G. Combination of fluorometry and automated flow cytometry for the observation of phytoplankton dynamics in coastal waters of the eastern Channel (DYMAPHY - JERICO-Next European network). JERICO-Next Practical Workshop on Automated Optical Sensors for phytoplankton analysis, Göteborg (SE), Sept 26-30, 2016.
- Artigas L.F., Blauw A., Bonato, S., Claquin P., Créach V., Deneudt K., Grégori G., Grosjean, P., Guiselin N., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lefebvre A., Lampert L., Lizon F., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghien L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Vywerman, W., M. Brosnahan, Puillat, I. Integrated approach for the implementation of the MSFD monitoring of pelagic habitats (phytoplankton), based on the combination of reference and (semi)automated methods. DEVOTES Final Meeting, Brussels, October 17-19, 2016.
- Artigas L.F., Bonato S., Breton E., Claquin P., Créach V., de Blok R., Delarbre J., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Seppälä J., Stemmann L., Tyberghein L., Thyssen M., Veen A., Vywerman, W., Wacquet G., Wollschläger J., Automated in vivo approaches for monitoring phytoplankton in coastal marine waters: challenges for supporting phytoplankton long-term observation. 2nd Meeting - IOC Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans (IOC WG TrendsPO) - AWI, Bremerhaven, December 4-8, 2017.
- Artigas L.F. Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman, W. Automated in vivo approaches for monitoring phytoplankton in coastal marine waters: advantages and challenges. Symposium on High throughput methods in marine time series: Addressing their challenges to fulfill their promises, Schloss Herrenhause, Hannover, October 11-13, 2017
- Artigas L.F., Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman, W. Automated characterisation of phytoplankton dynamics in coastal marine waters: the DYMAPHY project and the JERICO-Next H2020 network. International Council for the Exploration of the Sea – Working Group on Phytoplankton & Microbial Ecology. Reykjavik, Iceland, March 28-30, 2017.

- Artigas L.F., Didry M., Prévost E., Bonato S., Lizon F., Lampert L., Lefebvre A., Broutin M., Degros N., Gomez F., Blondel C., Thyssen M., Cornille V., Lécuyer E., Verne M., Frère L., Mériaux X., Cauvin A., Danhiez F.-P., Créach V., Rijkeboer M., Veen A., 2017. Spatial distribution of phytoplankton communities in spring in the eastern English Channel, addressed by a combination of innovative and reference techniques. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Artigas L. F., Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M.6, Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Vywerman W., Wacquet G., Wollschläger J. Automated approaches for studying phytoplankton dynamics in coastal marine waters: single-particle vs. bulk optical sensors within the JERICO-Next H2020 network. CytoBuoy International Workshop. Woerden, Netherlands, March 27-29, 2017.
- Artigas L.F. et al. Automated characterisation of phytoplankton dynamics in coastal marine waters: the DYMAPHY project and the JERICO-Next H2020 network. JERICO-Next Summer School – Den Haag June 19-23, 2017
- Caillault-Poisson E., Rizik A., Ternynck P., Bigand A., Lefebvre A., 2017. New developments to fill gap in high frequency data series and to integrate knowledge in Markov modeling of phytoplankton dynamics. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Créach V., Artigas F., Lahbib S., Thyssen M., Tyberghein L., Louchart A., Wacquet G. New technology: Beyond the challenges for a better use of phytoplankton data. Symposium on High throughput methods in marine time series: Addressing their challenges to fulfill their promises, Schloss Herrenhause, Hannover, October 11-13, 2017
- Grosjean P., Denis K., Rousseau V., Parent J.Y., Lancelot C., Hamad D., Artigas F., Lefebvre A., Neaud-Masson N., Maurer D., Tunin-Ley A., Belin C., 2016. Semi-automatic analysis of FlowCAM phytoplankton data using Zoo/PhytoImage. International workshop on current advances in the application of (semi-)automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters, 31 mai-2 juin 2016, Wimereux.
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2016. Analysis of phytoplankton bloom phenology by identification of Gaussian mixture for the period 1989-2014 in the southern bight of the North Sea. GDR Phycotox annual conference, 15-16 mars 2016, Villefranche-sur-Mer, France (Communication orale).
- Lefebvre A., Grosjean P., Neaud-Masson N., Artigas L.F., Colas F., Maurer D., Tardivel M., Wacquet G., Devreker D., Caillault-Poisson E., Belin C., 2016. Optimization of the monitoring strategy for the French National Phytoplankton and Phycotoxins Network (REPHY) using semi-automated digital images analysis. International workshop on current advances in the application of (semi-)automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters, 31 mai-2 juin 2016, Wimereux.
- Pairaud I., Lefebvre A., Jacqueline F., Charria G., Répécaud M., Bonnat A., Ravel C., Claquin P., Doxaran D., Garcia F., Poisson-Caillault E. et al., 2016. Un réseau de stations HF en mer côtière: comment et pour quelles questions de recherche et d'appui aux politiques publiques ? Séminaire du Département Ifremer ODE, 8-9 novembre 2016, Brest.
- Artigas L.F., Bonato S., Claquin P., Créach V, de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G, Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman, W. Automated characterisation of phytoplankton dynamics in coastal marine waters: the DYMAPHY project and the JERICO-Next H2020 network. International Council for the Exploration of the Sea – Working Group on Phytoplankton & Microbial Ecology. Reykjavik, Iceland, March 28-30, 2017.
- Artigas L.F., Didry M., Prévost E., Bonato S., Lizon F., Lampert L., Lefebvre A., Broutin M., Degros N., Gomez F., Blondel C., Thyssen M., Cornille V., Lécuyer E., Verne M., Frère L., Mériaux X., Cauvin A., Danhiez F.-P., Créach V., Rijkeboer M., Veen A., 2017. Spatial distribution of phytoplankton communities in spring in the eastern English Channel, addressed by a combination of innovative and reference techniques. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Artigas L.F. et al., Combination of automated approaches for the characterization of spatial and temporal variability of phytoplankton dynamics, at high resolution, in coastal waters. 2d COCA International Meeting, Paris, November 15-16, 2018
- Artigas L.F., Aubert A., Bonato S., Breton E., Budria A., Créach V., Didry M., de Blok R., Delarbre J., Duflos M., Hamad D., Hébert P.-A., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., McQuatters-Gallop A., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M.,

- Rombouts I., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Veen A., Wacquet G. On the use of automated FCM into phytoplankton monitoring programmes in the frame of European Water Framework and Marine Strategy Framework Directives. EUROMARINE FORESIGHT WORKSHOP: Improving the visibility of ocean data from new technologies: a case study of high frequency flow cytometry, March 21-23, 2018 - M.I.O., Marseille.
- Artigas L. F., Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Vywerman W., Wacquet G., Wollschläger J. Automated approaches for studying phytoplankton dynamics in coastal marine waters: single-particle vs. bulk optical sensors within the JERICO-Next H2020 network. CytoBuoy International Workshop. Woerden, Netherlands, March 27-29, 2017.
- Artigas L.F. et al. Automated characterisation of phytoplankton dynamics in coastal marine waters: the DYMAPHY project and the JERICO-Next H2020 network. JERICO-Next Summer School – Den Haag June 19-23, 2017
- Artigas L.F. Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman, W. Automated in vivo approaches for monitoring phytoplankton in coastal marine waters: advantages and challenges. Symposium on High throughput methods in marine time series: Addressing their challenges to fulfill their promises, Schloss Herrenhause, Hannover, October 11-13, 2017
- Artigas L.F., Bonato S., Breton E., Claquin P., Créach V., de Blok R., Delarbre J., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Seppälä J., Stemmann L., Tyberghein L., Thyssen M., Veen A., Vywerman, W., Wacquet G., Wollschläger J. Automated in vivo approaches for monitoring phytoplankton in coastal marine waters: challenges for supporting phytoplankton long-term observation. 2nd Meeting - IOC Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans (IOC WG TrendsPO) - AWI, Bremerhaven, December 4-8, 2017
- Caillault-Poisson E., Rizik A., Ternynck P., Bigand A., Lefebvre A., 2017. New developments to fill gap in high frequency data series and to integrate knowledge in Markov modeling of phytoplankton dynamics. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Caillault Poisson E., Lefebvre A., Prygiel J., 2017. uHMM : unsupervised Hidden Markov Model. Interface pour détecter et caractériser des états environnements dans des series temporelles multi-paramètres. Journée connaissance au service de l'action de l'Agence de l'Eau Artois Picardie : La qualité des milieux aquatiques. 3 octobre 2017, Université de Lille 1, Villeneuve d'Ascq.
- Créach V., Artigas F., Lahbib S., Thyssen M., Tyberghein L., Louchart A., Wacquet G. New technology: Beyond the challenges for a better use of phytoplankton data. Symposium on High throughput methods in marine time series: Addressing their challenges to fulfill their promises, Schloss Herrenhause, Hannover, October 11-13, 2017
- Gohin F., Lefebvre A., Devreker D., 2017. Evaluation de l'eutrophisation de la mer du Nord à partir de données satellite et in situ. Colloque EVOLECO : EVOLUTION à Long terme des Ecosystèmes COTiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Hernández-Fariñas T., Soudant D., Barillé L., Belin C., Lefebvre A., Bacher C., 2017. Evolution à long-terme de la communauté phytoplanktonique sur le littoral français à l'est de la Manche et sud de la mer du Nord. Colloque EVOLECO : EVOLUTION à Long terme des Ecosystèmes COTiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Karasiewicz S., Breton E., Lefebvre A., Hernandez Farinas T., Lefebvre S., 2017. Environmental response of *Phaeocystis* spp. realized niche and its consequences. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Lefebvre A., Devreker D., Grassi K., Poisson-Caillault E., 2017. Analyse de tendance et classification spectrale couplée à un modèle de Markov caché. Colloque EVOLECO : EVOLUTION à Long terme des Ecosystèmes COTiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2017. Développement d'outils numérique pour une évolution de l'observation à haute fréquence. Journées techniques du Résomar, atelier fluorescence, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.

- Lefebvre A., 2017. Fluorescence et mesures à haute fréquence : MAREL Carnot, mesures d'opportunités de type Ferry Box. Journées techniques du Résomar, atelier fluorescence, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.
- Lefebvre A., Devreker D., Grassi K., Poisson-Caillault E., 2017. Analyse de tendance et classification spectrale couplée à un modèle de Markov caché. Colloque EVOLECO : EVOLution à Long terme des Ecosystèmes COtiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Phan T.T.H., Poisson-Caillault E., Bigand A., Lefebvre A., 2017. DTW-approach for uncorrelated multivariate time series imputation. Cinquième édition de la journée doctorale du GIS Campus de la Mer, novembre 2017, Boulogne-sur-Mer.
- Karlson B., Anglès S., Artigas L.F., Brosnahan M.L., Colas F., Creach C., Reinhoud De Blok R., Deneudt K., Eikrem W., Hällfors H., Gregori G., Kielosto S., Kuosa H., Laakso L., Lefebvre A., Lehtinen S., Louchart A., Oja J., Rijkeboer M., Poisson-Caillault E., Jukka Seppälä J., Suikkanen S., Tamminen T., Thyssen M., Tyberghein L, Wacquet G., Ylöstalo P., 2017. Flow cytometry and imaging in flow methods facilitate automated observations and monitoring of algal blooms and phytoplankton abundance and diversity in automated platforms. FerryBox workshop on Color Fantasy, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, 17-19 October 2017.
- Lizon F., Artigas F., Louchart A. (2017 & 2019). Phytoplankton photosynthesis in the water column with a Fast Repetition Rate Fluorometer. Workshop JericoNext, Ostende, Belgique (com. orale).
- Phan T.-T.-H., Poisson Caillault E., Lefebvre A., Bigand A., 2017. Which DTW method applied to marine univariate time series imputation. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland.
- Phan T.-T.-H., Poisson Caillault E., Bigand A., Lefebvre A., 2017. A novel approach for uncorrelated multivariate time series imputation. 2017 IEEE International Workshop on Machine Learning for signal processing, 25-28 septembre 2017, Tokyo, Japon.
- Poisson Caillault E., Lefebvre A., 2017. Towards Chl-a Bloom Understanding by EM-based Unsupervised Event Detection. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland.
- Artigas L.F., Karlson B., Claquin P., Créach V., De Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Grégori G., Hébert P.-A., Kromkamp J., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Puillat I. Automated in vivo approaches for characterizing HAB coastal waters: the JERICO-Next European Research Infrastructure. International Congress of Harmful Algae, Nantes, October 21-26, 2018
- Artigas L.F., Lizon F., Lefebvre A. On the application and interpretation of chlorophyll fluorescence measurements by multiple sensor systems. From Coastal to Open Sea observations Workshop: Interoperability of Technologies and Best Practices: in situ applications to nutrient and phytoplankton fluorescence measurements Brest, 4-6th December, 2018 Ifremer Centre de Bretagne - France
- Dezecache C., T.T.H. Phan, Lefebvre A., Caillault Poisson E., 2018. Méthode de complétion des données manquantes dans des séries univariées ou multivariées. Atelier Séries Chronologiques, 29-31 octobre 2018, Jussieu, Paris.
- Wacquet G., Lefebvre A., Blondel C., Louchart A., Grosjean P., Artigas L.F., 2018. Combination of “machine learning” methodologies and imaging-in-flow system to detect Harmful Algae semi-automatically. The 18th International Conference on Harmful Algae, from ecosystem to socio-ecosystems – ICHA2018, 21-26 October 2018, Nantes, France.
- Artigas L. F., Claquin P., Créach V, de Blok R., Debusschere E., Deneudt K. , Grégori G, Hébert P.-A., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Van Dijk M., Veen A., Wacquet G., Puillat I. (2019). Combining automated optical approaches for building an integrated platform for marine phytoplankton field observation. IMBER - Open Science Conference. Brest (com. orale). Brest, France, Juin 2019.
- Artigas L.F., Lefebvre A., Blauw A., Claquin P., Créach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Kromkamp J., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Petersen W., Rijkeboer M., Van DIJK M.A., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J. The North Sea – English Channel WP4, Final General Assembly Week of JericoNext, Brest, July 1-5, 2019
- Artigas L.F., Karlson B., Aardema H., Brosnahan M.L., Claquin P., Créach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Grégori G., Kromkamp J., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Rijkeboer M., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Van DIJK M.A., Veen A., Yllostalo P., Wollschlager J., Wacquet G. Innovations in

Technology and Methodology WP3 Task 3.1: Automated platform for the observation of phytoplankton diversity and related services. Final General Assembly Week of JericoNext, Brest, July 1-5, 2019

- Artigas L. F., Karlson B., Brosnahan, M.L., Claquin P., Créach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Grégori G, Hébert P.-A., Kromkamp J., Lefebvre A., Lehtinen S., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Van Dijk M., Veen A. , Wacquet G. (Semi-)automated in vivo approaches for characterizing HAB and other phytoplankton blooms in European coastal waters: News from the Joint European Research Infrastructure for Coastal Observatories – New Expertise (JERICO-Next). Phycotox2019 : Conférence nationale sur les algues toxiques 2019 - GDR PHYCOTOX, 14-17 mai 2019, Plouzané (Brest)
- Artigas L.F., Dédécker C., Devreker D., Lizon F., Lebourg E., Bruaut M., Gómez F., Delarbre J., Didry M., Cauvin A., Mériaux X., Lefebvre A. Observation des communautés phytoplanctoniques sur l'ensemble de la façade Manche-Mer du Nord au cours de 4 saisons en 2018-2019, à haute résolution spatiale. Journée CPER MARCO, 10 octobre 2019, Nausicaà, Boulogne sur Mer
- Artigas L.F., Dédécker C., Lizon F., Jouandet M.P., Wacquet G., Lebourg E., Bruaut M., Gómez F., Delarbre J., Didry M., Cauvin A., Mériaux X., Duflos M., Devreker D., Lefebvre A. Variabilité spatiale des communautés phytoplanctoniques sur la façade Manche Mer du Nord au cours des 4 saisons 2018-2019 au moyen d'approches automatisées. Colloque RESOMAR/ILICO 4-6 novembre 2019, Univ. Nantes, Nantes
- Charria G., Schmitt F., Artigas F., Berthebaud E., Bonnat A., Bourrin F., Bozec Y., Cariou T., Claquin P., Conan P., Coppola L., Delalée F., Facq J.-V., Farcy P., Ferreira S., Garcia F., Grisoni J.-M., Jacqueline F., Jacquet M., Lefebvre A., Leredde Y., Le Roux J.-F., Mas S., Mostajir B., Mousseau L., Pairaud I., Petton S., Pouvreau S., Quemener L., Ravel C., Raimbault P., Repecaud M., Retho M., Rimmelin-Maury P., Riou P., Savoye N., Souchu P., Verney R., Vuillemin R., 2019. National observation infrastructures in a European framework: COAST-HF A fixed-platform network along French coasts. OCEANOBS'19 : An Ocean of Opportunity. September 16-20 2019, Honolulu, HI, US. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00635/74723/>
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2018. Analysis of Phytoplankton bloom phenology by identification of gaussian mixture in the southern bight of the North Sea (1989-2014). 18th International Conference on Harmful Algae - ICHA 2018, October 21th to 26th 2018, Nantes, France.
- Grassi K., E. Poisson-Caillault, A. Lefebvre, "Multi-level Spectral Clustering for extreme event characterization", MTS IEEE OCEAN, Marseille, Juillet 2019.
- Louchart A., De Blok R., Debusschere E., Gómez F., Lefebvre A., Lizon F., Mortelmans J., Rijkeboer M., Deneudt K., Veen A., Schmitt F.G., Artigas L.F. Trait-based features sorted by an automated flow cytometry to study spatialized ecological niches ICES Annual Science Conference 2019, Göteborg, Suède, Septembre 2019.
- Lefebvre A., Grassi K., Crenan B., Poisson-Caillault E., 2019. Identification of spatial hydro-biological structures by spectral clustering. Towards implementation of machine learning for Ferry Box data processing. 9th Ferry Box Workshop, 24-26 May 2019, Gênes, Italie.
- Wacquet G., A. Louchart, C. Blondel, P.-A. Hébert, E. Poisson-Caillault, F. Gomez, A. Lefebvre, Ph. Grosjean, L.F. Artigas Combination of automated data acquisition techniques and machine learning methods for the recognition of phytoplankton. ICES Annual Science Conference 2019, Göteborg, Suède, Septembre 2019.
- Devreker D, Grassi K, Lefebvre A, Poisson-caillault E., 2019. Présentation des outils numériques développés pour l'exploitation des données haute-fréquence de la FerryBox. Les 30 ans de la CGFS, colloque national, 24-25 avril 2019, Boulogne-sur-Mer, France.
- Grassi K., E. Poisson Caillault, A. Lefebvre, 2019. Machine learning et dynamique phytoplanctonique. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Grassi K., Poisson-Caillault E., Lefebvre A., 2019. Extreme events detection from multivariate data time series. Application to marine observation. Journée Intelligence Artificielle – Océan, atmosphère, climat, 6 février 2019, Rennes.
- Grassi K., Poisson-Caillault E., Lefebvre A., 2019. Machine Learning et dynamique phytoplanctonique. Colloque Avenir et Littoral, 13-14 mars 2019, Boulogne sur Mer.
- Grassi K., Poisson-Caillault, Lefebvre A., 2019. Machine Learning et observatoire marin. 10 avril 2019, Séminaire, Météo France, Centre National de Recherche Météorologique, Toulouse.

- Louchart A., Lizon F., Lefebvre A., Didry M., Schmitt F.G., Artigas L.F. Caractérisation in vivo à haute fréquence de la distribution des assemblages phytoplanctoniques lors de la transition été-automne en Manche occidentale et centrale. 30 ans CGFS, Boulogne sur Mer, France, Avril 2019
- Lizon F., L.F. Artigas, M. Bruaut, C. Dédécker, J. Delabre, M. Didry, E. Houliez, E. lebourd, A. Louchart, M. Pernak, 2019. Production primaire et distribution des microalgues par approches multi-instrumentées et stratégie d'échantillonnage 2D. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Louchart A., F.G. Schmitt, F. Artigas, 2019. Caractérisation des communautés phytoplanctoniques en Manche- Mer du Nord par la cytométrie en flux automatisée au printemps. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Artigas L.F. et al. About the pros and cons of combining innovative automated techniques to complete the microscopical (morphological/taxonomical) approach in various monitoring programs/ocean observation systems. Cutting Edge Symposium – Saving our Seas & 4d Meeting - IOC Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans (IOC WG TrendsPO), Hobart, January 8-10, 2020.
- Artigas L.F., Rombouts I., Duflos M., Budria A., Wacquet G., Aubert A., Mialet B., Devreker D., Lefebvre A. Challenges and strategies that can enlighten the characterization and status of pelagic habitats – perspectives from automated approaches and ICG COBAM PH indicators. Workshop on Pelagic Habitats The European Commission's science and Knowledge Service Joint Research Center November 18 & 20, 2020
- Artigas F., Bengt K., Claquin P., Creach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gomez F., Grégory G., Hébert P.-A., Kromkamp J., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Möller K., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Wollschläger J., 2020. Automated approaches for phytoplankton monitoring, at high resolution, in coastal waters: advantages and challenges. International Coastal Buoys Network Workshop : "From the Buoy to the data", COCAS 2020, Virtual meeting, 23-24th November 2020.
- Artigas L.F., Bigand A., Bruaut M., Cauvin A., Cornille V., Créach V., Crouvoisier M., Debusschere E., Delarbre J., Dédécker C., Deneudt K., Delecroix E., Didry M., Epinoux A., Facq J.V., Gallot C., Gomez F., Grassi K., Hébert P.A., Hubert Z., Lebourg E., Lécuyer E., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Mériaux X., Mortelmans J., Pernak M., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Robache K., Schmitt F., Talon P., Veillot A., Wacquet G., 2021. Suivi et caractérisation de la dynamique phytoplanctonique, en Manche et Mer du Nord, au moyen d'approches automatisées. Colloque final MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d'Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer.
- Lefebvre A., Grassi K., Bigand A., Poisson-Caillault E., Facq J.-V., Repecaud M., 2020. Experience gained from the InterReg DYMAPHY, H2020 JERICO-NEXT, CPER MARCO projects and COAST-HF: An overview of phytoplankton and hydrological conditions using high frequency monitoring systems and machine learning. International Coastal Buoys Network Workshop : "From the Buoy to the data", COCAS 2020, Virtual meeting, 23-24th November 2020. [JERICO S3]
- Artigas L.F., Louchart A., Dédécker C., Bonato S., Delarbre J., Debusschere E., Deneudt K., Karlson B., Rijkeboer M., Veen A., Lehtinen S., & Seppälä J. Characterization of the fine spatial and temporal variability of phytoplankton communities in coastal marine systems from an automated single-cell analysis perspective. 2021 FerryBox and High-Frequency Radar online workshops 17-18 March, 2021
- Artigas L.F. Créach, V., Cabrera, P., Claquin, P., Gallot, C., Gómez, F., de Blok, R., Bigand A., Debusschere, E., Deneudt, K., Grassi K., Grégori, G., Eikrem, W., Epinoux, A., Hébert P.-A., Haraguchi, L., Hubert, Z., Houliez, E., Irisson, J.-O., Karlson, B., Kraft, K., Kromkamp, J., Lindh, M., Lefebvre, A., Lombard, F., Lizon, F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tamminen, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Ruhel, S., Seppälä, J., Stemmann, L., Veen, A., Wacquet, G., Wollschläger, J., Ylöstalo, P. Phytoplankton in vivo/in situ observations by novel automated optical approaches in coastal and marine systems: towards a better integration into joint observatories. 9th EuroGOOS International Conference Advances in Operational Oceanography: Expanding Europe's ocean observing and forecasting capacity. May 3-5, 2021
- Artigas L.F., Créach, V., Cabrera, P., Claquin, P., Gallot, C., Gómez, F., de Blok, R., Bigand A., Debusschere, E., Deneudt, K., Grassi K., Grégori, G., Eikrem, W., Epinoux, A., Hébert P.-A., Haraguchi, L., Hubert, Z., Houliez, E., Irisson, J.-O., Karlson, B., Kraft, K., Kromkamp, J., Lindh, M., Lefebvre, A., Lombard, F., Lizon, F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tamminen, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Ruhel, S., Seppälä, J., Stemmann, L., Veen, A., Wacquet, G., Wollschläger, J., Ylöstalo, P., Phytoplankton automated in vivo/in situ observations: towards a new approach of Essential Ocean Variables of marine coastal ecosystems. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.

- Artigas L.F. Créach, V., Cabrera, P., Claquin, P., Gallot, C., Gómez, F., de Blok, R., Bigand A., Debusschere, E., Deneudt, K., Grassi K., Grégori, G., Eikrem, W., Epinoux, A., Hébert P.-A., Haraguchi, L., Hubert, Z., Houliez, E., Irisson, J.-O., Karlson, B., Kraft, K., Kromkamp, J., Lindh, M., Lefebvre, A., Lombard, F., Lizon, F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tamminen, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Ruhel, S., Seppälä, J., Stemann, L., Veen, A., Wacquet, G., Wollschläger, J., Ylöstalo, P. Phytoplankton automated in vivo observation in the frame of JERICO European projects : example of the Channel and North Sea. I/ITAPINA: Imagine/Imaging The Atlantic– A Pelagic Imaging Network Approach. June 28, 2021.
- Artigas L.F. Claquin P., Créach, V., Cabrera, P., Delecroix E., Gallot, C., Gómez, F., Debusschere, E., Deneudt, K., Grégori, G., Epinoux, A., Hébert P.A., Hubert, Z., Lizon F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Robache K., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Veen, A., Wacquet, G. Phytoplankton automated in vivo observation in the Channel and North Sea in the frame of recent/current projects : a focus on automated imaging. AQUACOSM plus SYKE IGB Plankton imaging workshop 9th of December 2021.
- Charria G., Schmitt F., Berthebaud E., Bonnat A., Bourrin F., Bozec Y., Claquin P., Conan P., Delalee F., Facq J.-V., Ferreira S., Garcia F., Gazeau F., Grisoni J.-M., Jacqueline F., Kunesh S., Le Berre D., Lefebvre A., Leredde Y., Le Roux J.-F., Mas S., Mostajir B., Pairaud I., Petton S., Pouvreau S., Quemener L., Ravel C., Raimbault P., Rimmelin-Maury P., Saragoni G., Savoye N., Souchu P., Repecaud M, Retho M, Verney R., Vuillemin R. COAST-HF - A fixed-platform networks along French coasts. Advances in Operational Oceanography : Expanding Europe's ocean observing and forecasting capacity. 9th EuroGOOS International Conference, Virtual Edition, 3-5 May 2021
- Creach V., Artigas L.-F., Lefebvre A., F.Lombard, Lindh M., Ove Möller K., Schepers L., Seppälä J., Thyssen M., 2021. Integration of Biology Sensor Outputs in the European Marine Observation and Data Network. IMDIS International Conference on Marine Data and Information Systems, Online, 12-14 April 2021.
- Créach V. Cabrera P., Artigas L. F., Gregori G., Irisson J.-O., Lefebvre A., Lindh M., Möller K. O., Seppälä J., Thyssen M., Schepers L., Lombard F., 2021. Towards integration of new data describing biological essential ocean variables from marine coastal ecosystems. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Dugenne M., White A., Grégori G., Thyssen M., Artigas L.F., Créach V., Casotti R., Louchart A., Gradoville M., Allen J. Recent research developments in automated flow cytometry unravel multiple drivers of aquatic microbial diversity. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Epinoux A. Balestra C., Zettler E., Amaral-Zettler L., Bernardi-Aubry F., Artigas L. F., Casotti R. Phytoplankton distribution, diel variability and optical traits from the Azores to Sicily by automated scanning flow cytometry. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Lefebvre A., Grassi K., Bigand A., Poisson-Caillault E., 2021. Machine Learning and environmental states: how to identify and classify multi-parameter environmental conditions along Ferry Box routes? 2021 FerryBox and High-Frequency Radar online workshops, 17-18 March 2021
- Lizon F., Artigas L.F., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Lebourg E., Louchart A., Mortelmans J., Pernak M. (2021). Phytoplankton photosynthesis by a 2D FRRf sampling strategy in the English Channel and North Sea. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Louchart A., Karlson B., Lehtinen S., Lizon F., Stemann L., Schmitt F., Artigas L.F. Untangling the distribution of phytoplankton functional groups in the Baltic Sea by applying automated flow cytometry. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Seppälä J., Frangoulis C., Tamminen T., Petihakis G., Brix H., Puillat I., Allen J., Tintoré J., Coppola L., Bourrin F., Lefebvre A., Verney R., Blauw A., King A., Rubio A., Gremare A., El Serafy G., Pfannkuchen M, Delauney L., 2021. JERICO-RI network of coastal observatories, proof of concept for Pilot Supersites. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Grassi K., Poisson-Caillault E., Bigand A., Chatelain P., Vincent E., Lefebvre A., 2021. Caractérisation de la dynamique du phytoplankton, des événements récurrents aux événements extrêmes, grâce au Machine Learning. Colloque EVOLECO (Evolution à Long terme des Ecosystèmes Côtiers), 2-5 Novembre 2021, La Rochelle.

- Epinoux A., Artigas L.F., Casotti R., 2021 Monitoring automatisé du phytoplancton depuis une plateforme fixe en Méditerranée – retour d'expérience de la collecte et analyse de données pour de futurs déploiements. Colloque final MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d'Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer.
- Hubert Z., Epinoux A., Gallot C., Bruaut M., Cornille V., Delarbre J., Dédécker C., Crouvoisier M., Didry M., Lebourg A., Lécuyer E., Artigas L.F., 2021. Variabilité interannuelle des groupes fonctionnels phytoplanctoniques suivis par une approche semi-automatisée le long d'un gradient côte-large près du Détroit du Pas de Calais. Colloque final MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d'Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer.
- Hubert Z., Epinoux A., Gallot C., Bruaut M., Cornille V., Delarbre J., Dédécker C., Crouvoisier M., Didry M., Lebourg E., Lécuyer E., Louchart L., Artigas L.F. Variabilité spatio-temporelle des groupes fonctionnels phytoplanctoniques suivis par une approche semi-automatisée en Manche orientale. Colloque ILICO EVOLECO - Evolution à Long terme des Ecosystèmes Côtiers 2021, La Rochelle, 3-5 novembre 2021. (poster)

Articles :

- Breton E., Christaki U., Bonato S., Didry M., Artigas L.F., 2017. Functional trait variation and nitrogen use efficiency in temperate coastal phytoplankton, *Marine Ecology Progress Series*, 563, 35-49.
- Peperzak L., Zetsche E.M., Gollasch S., Artigas L.F., Bonato S., Creach V., de Vré P., Dubelaar G. B.J., Henneghien J., Hess-Erga O.K., Langelaar R., Larsen A., Maurer B.N., Mosselaar A., Reavie E.D., Rijkeboer M. and Tobiesen A. (2018) Comparing flow cytometry and microscopy in the quantification of vital aquatic organisms in ballast water. *Journal of Marine Engineering & Technology*, doi : 10.1080/20464177.2018.1525806.
- Phan H., A. Bigand, Poisson Caillault E., 2018. A new fuzzy logic based similarity measure applied to large gap imputation for uncorrelated multivariate time series, *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2018, 9095683.
- Lefebvre A., E. Poisson-Caillault, 2019. High resolution overview of phytoplankton spectral groups and hydrological conditions in the eastern English Channel using unsupervised clustering, *Marine Ecology Progress Series* 608, 73-92.
- Lombard F., Boss E., Waite A. M., Vogt M., Uitz J., Stemann L., Sosik H. M., Schulz J., Romagnan J.-B., Picheral M., Pearlman J., Ohman M. D., Niehoff B., Möller K. O., Miloslavich P., Lara-López A., Kudela R., Lopes R. M., Kiko R., Karp-Boss L., Jaffe J. S., Iversen M. H., Irisson J.-O., Fennel K., Hauss H., Guidi L., Gorsky G., Giering S. L. C., Gaube P., Gallagher S., Dubelaar G., Cowen R. K., Carlotti F., Briseño-Avena C., Berline L., Benoit-Bird K., Bax N., Batten S., Ayata S. D., Artigas L. F., Appeltans W. (2019) Globally Consistent Quantitative Observations of Planktonic Ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 6 : 196 doi : 10.3389/fmars.2019.00196.
- Rombouts I., Simon N., Aubert A., Cariou T., Feunteun E., Guérin L., Hoebeke M., McQuatters-Gollop A., Rigaut-Jalabert F., Artigas L.F. (2019) Changes in marine phytoplankton diversity : assessment under the Marine Strategy Framework Directive. *Ecological Indicators*, 102 : 265-277 doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.009.
- Gohin, F.; Bryère, P.; Lefebvre, A.; Sauriau, P.-G.; Savoye, N.; Vantrepotte, V.; Bozec, Y.; Cariou, T.; Conan, P.; Coudray, S.; Courtay, G.; Françoise, S.; Goffart, A.; Hernández Fariñas, T.; Lemoine, M.; Piraud, A.; Raimbault, P.; Rétho, M. Satellite and In Situ Monitoring of Chl-a, Turbidity, and Total Suspended Matter in Coastal Waters: Experience of the Year 2017 along the French Coasts. *J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8, 665. <https://doi.org/10.3390/jmse8090665> [Action 1.1]
- Gómez F., Artigas L.F., Gast R., 2020. Phylogeny and Synonymy of *Gyrodinium heterostriatum* comb. nov. (Dinophyceae), a Common Unarmored Dinoflagellate in the World Oceans. *Acta Protozoologica*, 59: 77–87.
- Gómez F., Courcot L. & Artigas L. F. (2020) Observations of the diatoms *Sceptronema orientale* Takano and *Tabularia parva* (Kützing) D.M. Williams & Round on the exoskeleton of copepods in the English Channel and coastal Celtic Seas. *Cryptogamie, Algologie* 41 (4): 25-30.
- Grassi K., Poisson-Caillault É., Bigand A., Lefebvre A., 2020. Comparative Study of Clustering Approaches Applied to Spatial or Temporal Pattern Discovery. *J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8, 713.
- Lefebvre A. Dezechache C., 2020. Trajectories of changes in phytoplankton biomass, *Phaeocystis globosa* and diatoms (incl. *Pseudo-nitzschia* sp.) abundances related to nutrient pressures in the eastern English Channel, southern North Sea. *Journal of Marine Science and Engineering. J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8(6), 401; <https://doi.org/10.3390/jmse8060401>

- Louchart A., F. Lizon, A. Lefebvre, M. Didry, F.G. Schmitt, L.F. Artigas, 2020. Phytoplankton distribution from Western to Central English Channel, revealed by automated flow cytometry during the summer-fall transition, *Continental Shelf Research*, 195, 104056
- Phan H., Poisson Caillault E., Lefebvre A., Bigand A., 2020. Dynamic Time Warping-based imputation for univariate time series data, *Pattern Recognition Letters*, 139, 139-147.
- Dávila X., Rubio A., Artigas L.F., Puillat I., Manso-Narvarte I., Lazure P., Caballero A., 2021. Coastal submesoscale processes and their effect on phytoplankton distribution in the southeastern Bay of Biscay. *Ocean Sci.*, 17, 849–870 - <https://doi.org/10.5194/os-17-849-2021>
- Ostle C., Paxman K., Graves C.A., Arnold M., Artigas F., Atkinson A., Aubert A., Baptie M., Bear B., Bedford J., Best M., Bresnan E., Brittain R., Broughton D., Budria A., Cook K., Devlin M., Graham G., Halliday N., Helaouet P., Johansen M., Johns D.G., Lear D., Machairopoulou M., McKinney A., Mellor A., Milligan A., Pitois S., Rombouts I., Scherer C., Tett P., Widdicombe C., McQuatters-Gollop A., 2021. The Plankton Lifeform Extraction Tool: A digital tool to increase the discoverability and usability of plankton time-series data. *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 5617–5642, 2021 <https://doi.org/10.5194/essd-13-5617-2021>
- Karasiewicz S., Lefebvre A., 2022. Environmental Impact on Harmful Species *Pseudo-nitzschia* spp. and *Phaeocystis globosa* Phenology and Niche. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 174. <https://doi.org/10.3390/jmse10020174>

Rapports :

- Artigas L.-F., Karlson B., Seppala J., Blauw A., Brosnahan M., Créach V., Dugenne M., Grégori G., Grosjean Ph., Guiselin N., Hamad D., Hébert P.-A., Kromkamp J., Lahbib S., Lawrenz E., Lefebvre A., Lizon F., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman W. International Workshop on current advances in the application of (semi-) automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters. Workshop report, Work package 3.1 (link with WP 2.4.2, WP4.1- JRAP#1, WP4.5-JRAP#5), 2016.2017
- Duflos M., Wacquet G., Aubert A., Rombouts I., Budria A., Devreker D., Lefebvre A., Artigas L.F. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin : Evaluation de l'état écologique des habitats pélagiques 2018- Décembre 2017
- Seppälä J, Lefebvre A, Lizon F, Artigas F, Rytövuori S, Ylöstalo P and Möller K. (2017). Bio-optical instrumentation for phytoplankton monitoring. Rapport d'expertise JericoNext (UE, H2020), 19p. Karlson B., Artigas L.-F., Louchart A., Seppälä J., Claquin P., Colas F., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Grégori G., Kromkamp J., Lefebvre A., Lizon F., Möller K., Rijkeboer M., Stemmann L., Thyssen M., Tyberghein L., Wacquet G. (2017). Contribution to the JRAP#1: Phytoplankton biodiversity and HAB (Biodiversity of phytoplankton, harmful algal blooms and eutrophication), Progress Report #2. Work package 4, Deliverable 4.3 of JERICO-Next project, 66 pages.
- Lizon F., Artigas F., Louchart A., Michel-Rodriguez M. et Pernak M. (2020). Résultats des campagnes océanographiques 2017-2019 en Mers Celtiques et Manche Mer du Nord : Test pour la mise en place du Programme de surveillance DCSMM: Apports de la Fluorescence Variable FV de type FRRF (Fast Repetition Rate fluorometer), sur la caractérisation biologique des masses d'eau (campagnes préliminaires et exploratoires 2017-2019). Convention n° 2101893310 relative à la mission d'appui scientifique et technique à la mise en œuvre de la Directive-Cadre Stratégie pour les Milieux Marins – DCSMM., 45p.
- Wacquet G. (coll. Louchart A. et supervision L.F. Artigas) Amélioration de l'étude et du suivi des espèces phytoplanctoniques dominantes dans la Manche orientale, en focalisant à la fois sur les petites cellules et les espèces coloniales. Rapport d'allocataire de recherche « Jeunes Chercheurs » du Conseil Régional des Hauts-de-France. Direction de la Recherche, Enseignement Supérieur, Santé et Technologies de l'Information et de la Communication. 2018
- Artigas F., Créach V., Houliez H., Karlson B., Lizon F., Seppälä J., Wacquet G. (2019) Novel methods for automated in situ observations of phytoplankton diversity and productivity: synthesis of exploration, inter comparisons and improvements. JERICO-NEXT-WP3-D3.2, 85 pp.
- Gremare A., Puillat I., Karlson B., Artigas F., Nizzetto., Rubio A., Laakso L., Mourre B. (2019). JERICO-NEXT. JRAP Synthesis and contribution to the strategy for the future. JERICO-NEXT-WP4-D4.5-220919-V5.0. <https://doi.org/10.13155/68871>
- Jouandet M.P., Petit L., Wacquet G., Dédécker C., Duflos M., Aubert A., Rombouts I., Mialet B., Lebourg E., Bruaut M., Gómez F., Delarbre J., Didry M., Artigas L.F. Mise en œuvre du programme de surveillance "Habitats

Pelagiques" : test de mise en place des campagnes saisonnières sur le site atelier Manche Mer du Nord et Mers Celtiques. Rapport sur les campagnes DCSMM 2017-2019 – SRM MMN, CNRS LOG-MTES, 126 pages, 2019.

Rubio A., Artigas F., Lefebvre A., Karlson B., Seppala J., King A., Nizzetto L., Berta, Griffa A., Moure B., Nair R., Petihakis G. D4.4: First valorisation results for each region. JERICO-NEXT-WP4-D4.4, 247 pp.

Lebourg E., A. Louchart, M. Bruaut, C. Dedécker, F. Lizon, L. F. Artigas (2019). Note technique pour la mise en place du Programme de surveillance de la DCSMM en SRM Manche Mer du Nord. PdS 1 DCSMM MTES - CNRS INSU (LOG) - IFREMER LER/BL. 25pp.

Devreker D., Lefebvre A., 2021. Résultats de la mise en oeuvre des réseaux REPHY (Réseau Phytoplancton et Phycotoxines) et SRN (Suivi Régional des Nutriments). Zones côtières de la Manche orientale et de la baie sud de la Mer du Nord. Bilan de l'année 2020. ODE/LITTORAL/LER.BL/21.10. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00718/82997/>

Production de jeux de données

SRN - Regional Observation and Monitoring program for Phytoplankton and Hydrology in the eastern English Channel (2021). SRN dataset - Regional Observation and Monitoring Program for Phytoplankton and Hydrology in the eastern English Channel. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/50832>

Karasiewicz Stephane, Lefebvre Alain (2021). Environmental impact on harmful species', Pseudo-nitzschia spp. and Phaeocystis globosa, phenology and niche: Dataset. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/85097>

REPHYTOX - French Monitoring program for Phycotoxins in marine organisms (2021). REPHYTOX dataset. French Monitoring program for Phycotoxins in marine organisms. Data since 1987. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/47251>

REPHY – French Observation and Monitoring program for Phytoplankton and Hydrology in coastal waters (2021). REPHY dataset - French Observation and Monitoring program for Phytoplankton and Hydrology in coastal waters. Metropolitan data. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/47248>

PHYTOBS (2021). PHYTOBS dataset - French National Service of Observation for Phytoplankton in coastal waters. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/85178>

Effet levier :

Effet levier du CPER MARCO de par l'achat d'équipements, financement de fonctionnement et de CDD complétant ceux supportés par des projets de la liste ci-dessous (récemment terminés ou en cours) :

Projet européen d'infrastructure de recherche international H2020 (Project n° : 654410) JERICO-Next (2015-2019)- "Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatories – Novel European eXpertise for coastal observatories" – www.jerico-ri.eu - co-coordination actions WP3.1 et WP4.1 - participation action WP2.4

Projet européen d'infrastructure de recherche international H2020 (Project n° : 654410) JERICO-S3 (2020-2024)- "Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatories – Science, Service, Sustainability" – www.jerico-ri.eu - co-coordination WP4 et deux actions PSS EC NS, coordination groupe scientifique Best Practices in Biological Sensors (WP5.3 – ST7), participant WP7 & WP11 (responsable Virtual Access facilities).

Projet européen "DG ENV/MSFD 2020" Marine Strategy Framework NEA PANACEA (2021-2023) - North East Atlantic project on biodiversity and eutrophication assessment integration and creation of effective measures. Responsible actions 1.3 et 1.5.

Projet InterReg France-Angleterre S3-EUROHAB (2017-2022) Détection de l'eutrophisation et des efflorescences algales nuisibles (HAB) dans la Manche en utilisant les données du satellite Sentinel-3 (S3).

Ecological Approach to (sub) Regional Habitat Assessments (EcApRHA - EU DG Environment) Coordination of the OSPAR Secretariat (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic). 2015-2017.

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM, actuel MTES) – CNRS INSU pour le co-pilotage scientifique et la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin, Descripteur 1- Biodiversité, Thème « Habitats Pélagiques » 2016-2019.

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et IFREMER pour le co-pilotage scientifique et la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin, Descripteur 1- Biodiversité, Thème « Habitats Pélagiques ».

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et IFREMER pour le pilotage scientifique et la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin, Descripteur 5- Eutrophisation.

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM), IFREMER et Agence de l'Eau Artois Picardie pour la coordination des activités scientifiques et techniques en lien avec la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) sur le bassin Artois Picardie.

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et IFREMER pour le pilotage des activités françaises au sein des groupes OSPAR ICG EUT (Eutrophisation) et TG COMP (Mise à jour de la Procédure Commune d'évaluation de l'eutrophisation).

Conseil Régional Nord Pas de Calais Picardie – Hauts de France (2016-2017). Convention allocation de recherche accueil jeune chercheur Guillaume Wacquet : Amélioration de l'étude et du suivi des espèces phytoplanctoniques dominantes dans la Manche orientale, en focalisant à la fois sur les petites cellules et les espèces coloniales.

Effet levier pour Guillaume Wacquet post-doctorant Région Hauts de France puis Post-doctorant (IR) CNRS Convention MEEM-MTES et INSU pour la mise en place de la DCSMM et du programme de surveillance habitats pélagiques et Post-doctorant CNRS JERICO S3 et été recruté comme IR au LER IFREMER Centre Manche Mer du Nord depuis septembre 2020.

Effet levier pour Morgane Didry qui a été ASI CNRS Convention MEEM-MTES et INSU en 2016 et 2018 en accompagnement du CPER MARCO pour la mise en place de la DCSMM et du programme de surveillance habitats pélagiques – recrutée en CDI comme Technicienne supérieur de la plateforme PRECYM de cytométrie AMU MOI à Marseille.

Effet levier pour Elise Caillard ayant fait son stage de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Cadre Technique Génie de l'environnement marin, CNAM INTECHMER gratifiée dans le cadre de MARCO en 2020 et a été embauchée comme Technicienne phyto à au LER/IFREMER Sète.

Effet levier pour la consolidation du plateau Observation, géomatique et Télédétection du CPER IDEAL et poursuite des travaux et de certains CDD comme celui de Clémentine Gallot (IE CPER MARCO P5 et actuellement IE CPER IDEAL plateau OGT.

Action 1.2 : Analyse et cartographie des sédiments côtiers

Participants

Responsables : Charles Verpoorter (MCF LOG) et Jacinthe Caillaud (MCF LOG)

Permanents : Charles Verpoorter, Jacinthe Caillaud, Sylvie Philippe (MCF LOG), Lionel denis (PR LOG), Swanne Gontharêt (MCF LOG), Gwendoline Duong (IE LOG), Lucie Courcot (IR LOG), Laurent Brutier (IE, LOG).

Post-doc : F. Cesbron (Post-Doc Marco 6 mois)

Doctorants : Benoît Menuge, Florian Douay, Marine Casetta, Baptiste Voltz, Marvin Meresse

Stages : Picabea (DEUST2/ULCO, 2017), Augustin Leprêtre (M1, SCM 2020/2021), Thomas Combe (M2 2018-19), Benoît Martel (M1 2019-20), Marie Debeaumont (M2 2020-21), E. Lefranc (M2)

Collaborations : Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles (SPPPI) ; Communauté Urbaine de Dunkerque (CUD) ; Municipalité de Gravelines ; Syndicat Mixte Eden62 ; Conservatoire du Littoral.

Résumé des activités

Les sédiments constituent un compartiment clé de l'environnement marin et littoral. Leur caractérisation physique, chimique et biologique revêt un caractère essentiel dans un contexte côtier, de plus en plus anthropisé et très dynamique en termes de sédimentation, d'érosion ou encore de processus d'échanges. Devant l'importance écologique de nos côtes mais aussi leur vulnérabilité, une approche multidisciplinaire est proposée dans une action commune **d'analyse et de cartographie des sédiments côtiers**. Les objectifs de l'action 1.2 de l'Axe 1 sont de réaliser un suivi quantitatif et qualitatif de la distribution des paramètres bio-géo-chimiques des sédiments le long des côtes et selon un transect terre-mer incluant ainsi les sédiments marins, côtiers et les sols littoraux. En effet, ces paramètres (*e.g.* composition minérale et chimique, granulométrie, teneur en eau, végétation, microphytobentos, benthos, algues, composés organiques) sont des indicateurs précieux de la dynamique sédimentaire et leur variabilité spatiale au cours du temps informe des processus naturels et/ou anthropiques qui en sont à l'origine et influe sur les échanges entre le substrat et la colonne d'eau. Pour répondre à ces objectifs, trois plateformes ont été développées au cours des programmations du CPER MARCO :

(1) La plateforme hyperspectrale contribue à apporter une dimension spatiale et maintenant temporelle à haute résolution pour chacun des paramètres analysés en vue d'établir des bilans sédimentaires et écologiques toujours plus précis. Par couplage de mesures (station benthique, HPLC, XRF, etc.), la caméra permet indéniablement d'améliorer la représentativité des mesures ponctuelles et notre connaissance de la dynamique sédimentaire. Elle permet d'établir des cartographies exhaustives et quantitatives des paramètres inhérents aux sédiments biotiques (microphytobenthos, végétation, macro-algues) et abiotiques (granulométrie, teneur en eau, composition) et cela pour différentes échelles d'observation allant de la mesure en laboratoire à la mesure de terrain, et aux conditions aéroportées par un vecteur drone. La nouvelle plateforme aéroportée-drone-caméra a offert la possibilité d'éprouver nos modèles sur des zones intertidales difficiles d'accès (vasière) soumises aux rythmes des marées. Elle a permis de faciliter et d'accroître la flexibilité liée à la mesure pour des mesures fréquentes. En domaine

subtidal, et aux interfaces littoraux/côtiers, la plateforme drone-caméra permet de cartographier par observations directes les flux de matières en suspension, qu'ils soient organiques ou inorganiques selon le continuum Terre-Mer en Manche Mer du Nord.

(2) La plateforme « spectrométrie de fluorescence X » permet d'obtenir les compositions chimiques des surfaces (sédiments et sols). Les éléments majeurs sont corrélés à la nature des minéraux constitutifs de la matière alors que les éléments mineurs et traces constituent des traceurs des conditions environnementales et de l'activité anthropique. Leur étude couplée avec les paramètres sédimentaires et pédologiques (e.g. granulométrie, teneur en matière organique) permet de comprendre les processus de leur intégration dans le milieu et de prévoir leurs comportements à plus ou moins long terme.

(3) Dans le cadre de cette action, nous avons effectué une description spatiale des principales caractéristiques des sédiments superficiels de la Baie de Canche et d'Authie. Nous avons à la fois travaillé sur la caractérisation sédimentaire (sédiments superficiels), la quantité et la qualité de la matière organique, ainsi que plusieurs paramètres biogéochimiques, avec une emprise spatiale importante, puisque dans chaque estuaire, plus de 30 stations ont été échantillonnées. Après une étude préliminaire, les stations ont été positionnées sous forme de radiales perpendiculaires au chenal principal des fleuves (5 à 7 radiales selon l'estuaire). Cette approche avait comme objet de quantifier la variabilité spatiale des sédiments rencontrés, et à ce titre, les échantillonnages ont été effectués au cours de 3 campagnes très brèves, au printemps (une seule journée de terrain pour chacun des estuaires), mais nécessitant de nombreux participants (près d'une dizaine de personnes simultanément sur le terrain, sous forme de plusieurs équipes). Nous avons par ailleurs commencé à développer une station benthique instrumentée, avec l'objectif de compléter cette vision spatiale par une approche temporelle automatisée à haute fréquence.

Equipements acquis

Tableau 1.2.1 Equipements acquis dans le cadre de l'action 1.2.

Programmation	Equipement	Utilisation
MARCO P5	Armoire sécurité et station de géoréférencement	Indispensable à la sécurité (batterie) et aux bon géoréférencement des surfaces de terrain
MARCO P4	Caméra Nanohyperspec et set de lentilles	Permet la cartographie par spectro-imagerie UAV
MARCO P4	Drone DJI M600	Permet de mettre la caméra nano en condition aéroporté
MARCO P3-P4	Pantilt et système acquisition	Spectro-imagerie de surface en condition in situ
MARCO P1	Caméra VNIR et banc d'analyse	Cartographie en laboratoire des sédiments
MARCO P5	Bol pour broyeur planétaire à bille de marque Retsch	Pièce d'usure pour le broyage des sédiments. Contenant (pour sols/sédiments+ billes) adapté au broyeur Retsch.
MARCO P4	Fusionneuse perleuse	Fusion en toute sécurité de sols/sédiments avec chauffage et refroidissement contrôlés
MARCO P4	Moule à pastiller (presse)	Moule de la presse manuelle pour fabriquer les pastilles
MARCO P3-P4	Creusets et coupelles en platine	Contenants et moules pour la fabrication des perles
MARCO P1	Spectromètre de fluorescence X	Instrument d'analyse chimique des Sols/ sédiments

Dans le cadre de l'Action 1.2 de l'Axe 1, différents équipements ont été acquis, listés dans le [tableau 1.2.1](#).

Une plateforme hyperspectrale a été dimensionnée pour différentes conditions d'acquisitions afin de cartographier les surfaces sédimentaires par spectro-imagerie. Une caméra hyperspectrale pour des analyses en laboratoire obtenue en P1 – a été mis en œuvre pour des

mesures sur le terrain en P3 en complément avec un BQR ULCO et une mise en œuvre en condition aéroportés en P4 et du matériel de sécurité de stockage de batterie ainsi que du matériel de mesure de coordonnées spatiale GPS indispensable au bon géoréférencement des surfaces analysées en P5. Un spectromètre de fluorescence X (ED-XRF), acquis en P1, est une technique rapide et non destructive pour l'analyse qualitative et quantitative des éléments majeurs et mineurs contenus dans les sols/sédiments. Depuis son installation, la plateforme s'est développée avec la mise en place d'un laboratoire de préparation spécifique des sols/sédiments. Ces derniers sont analysés soit sous forme de perles (obtenues par fusion des échantillons) pour l'analyse des majeurs, soit sous forme de pastilles (obtenues par compression des échantillons broyés) pour celle des mineurs et traces. Pour les préparer, plusieurs équipements déjà présents au LOG (étuves, broyeur) ont été complétés par le biais de diverses subventions (presse, four à moufle, microbroyeur) et des programmations MARCO P3-P4 (creuset/coupelle en platine, moule de la presse), P4 (fusionneuse perleuse en système clos) et P5 (bol de broyage). Une station Benthique Instrumentée : L'approche de Eddy Correlation qui constitue le cadre principal de la Station Benthique Instrumentée est une technique innovante, qui permet de quantifier les échanges à l'interface eau-sédiment en prenant en compte l'hydrodynamisme ambiant, mais sans aucun contact avec le sédiment. C'est actuellement la seule technique permettant de quantifier sans biais les flux à l'interface eau-sédiment dans des sédiments grossiers intertidaux ou subtidaux. Cet appareillage comporte un vélocimètre 3D acoustique ultra rapide, permettant de mesurer les vitesses verticales de courant à une fréquence élevée, un enregistreur de données, amplificateur, des optodes pour une mesure à haute fréquence des concentrations d'oxygène dans l'eau.

Travaux réalisés

Plusieurs travaux multidisciplinaires (télé-détection, bio-géo-chimie) ont été entrepris afin de caractériser la variabilité des paramètres sédimentaires côtiers et leur influence sur les échanges avec la colonne d'eau et le milieu terrestre. Trois approches complémentaires ont été proposées.

Plateforme hyperspectrale

Des travaux par télé-détection ont été entrepris afin de caractériser la variabilité spatiale et temporelle au niveau de la frange littorale. Une plateforme aéroportée par vecteur drone embarquant une caméra hyperspectrale a été mise en œuvre au LOG/ULCO offrant la possibilité de cartographier avec précision et de façon synoptique les surfaces naturelles d'intérêts majeurs (type de sédiments, taille des grains, teneur en eau, algues, végétation dunaire, herbues, présalés, microphytobenthos, etc.). Le projet Marco a permis, tout d'abord, la mise en œuvre d'une caméra hyperspectrale en condition de laboratoire (Resp : C. Verpoorter). Le but premier est de définir les caractéristiques spectrales des sédiments, de la végétation, du microphytobenthos ou d'autres paramètres biotiques en environnement contrôlé. Une étape d'acquisition et de calibration a été nécessaire pour acquérir les images de ces surfaces sédimentaires et générer ainsi des modèles spectraux indispensables à la cartographie de ces surfaces. Pour ce faire, plusieurs travaux ont été conduits dans les estuaires picards, et plus particulièrement en baie d'Authie, en septembre 2016 et 2017. Des analyses radiométriques sur le terrain (ADS FR4) couplées à des analyses sédimentaires en laboratoire ont été réalisées. Concernant ces dernières, la teneur en eau, la granulométrie et la biomasse ont été quantifiées en vue de générer des algorithmes optiques applicables aux images (laboratoire et issu de la télé-détection spatiale).

Pour l'analyse plus spécifique du microphytobenthos, une collaboration avec l'université de Nantes a été réalisée (Launeau et al., 2018). Les caractéristiques spectrales modélisées en laboratoire ont permis de générer des algorithmes de teneur en eau ou de granulométrie applicables aux images satellites. En parallèle, il a été montré pour la première fois, qu'il était possible de réaliser des cartes de potentiel de transport à partir des propriétés spectrales des sédiments. Ces cartes sont essentielles pour une meilleure gestion du littoral et espaces estuariens (Menuge et al., 2019 ; Verpoorter et al., 2019). Ces algorithmes pourront être en partie validés grâce à la caméra hyperspectrale. La caméra hyperspectrale contribue à apporter une dimension spatiale et maintenant temporelle (P3 & BQR ULCO TéléEST) à haute résolution pour chacun des paramètres analysés en vue d'établir des bilans sédimentaires et écologiques toujours plus précis. La caméra permet indéniablement d'améliorer la représentativité des mesures ponctuelles et notre connaissance de la dynamique sédimentaire. Elle permet d'établir des cartographies exhaustives et quantitatives des paramètres inhérents aux sédiments biotiques (microphytobenthos, végétation, macro-algues) et abiotiques (granulométrie, teneur en eau, composition) et cela pour différentes échelles d'observation allant de la mesure en laboratoire (P1) à la mesure de terrain (P3). L'un des objectifs était de réaliser des cartographies par vecteur drone et cela à plus large échelle par rapport aux mesures hyperspectrales *in situ* ou en laboratoire effectuées. La mesure hyperspectrale a été opérée pour des petites échelles d'observations allant du micromètre au mètre et en condition aéroportée (P4-P5), donc à plus large échelle ce qui a permis d'accroître la représentativité de la mesure et une meilleure quantification.

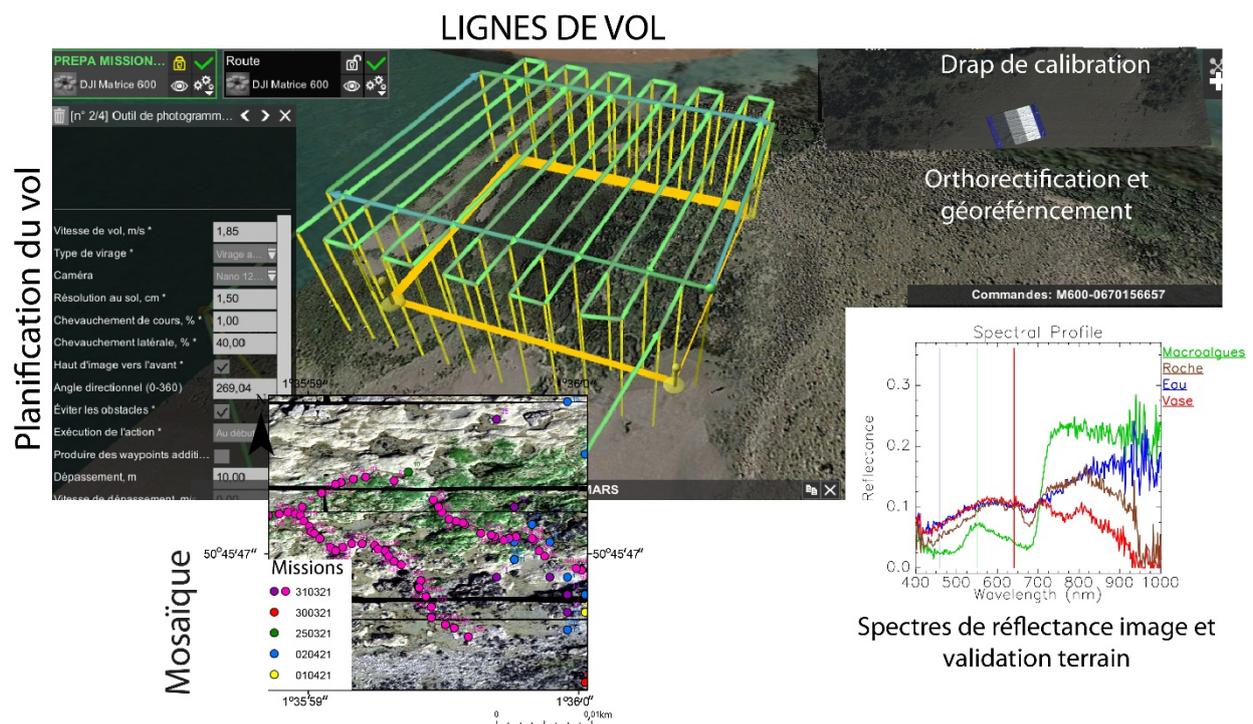


Figure 1.2.1 Prétraitements, planification du vol, calibration, orthorectification, mosaïque d'image et validation par comparaison de spectres de réflectance acquis de manière concomitantes au survol par vecteur drone

Après de nombreux développements méthodologiques et des tests de survols aéroportés (vols et traitements d'images) nous avons pu rendre opérationnel l'acquisition de données hyperspectrales en condition aéroportée, et une chaîne d'analyse a donc été opérée (Figure 1.2.1). Les lignes de vols géoréférencées sont calculées. Les paramètres de vol sont ensuite transmis à l'ordinateur de control. Les images sont calibrées en niveau de réflectance puis

orthorectifiées. Des spectres de terrain co-registrés et acquis en concomitance aux survols au moyen d'un spectroradiomètre permette d'appréhender la vérité terrain. Enfin des survols ont été effectués pour diverse altitudes afin d'appréhender les mélanges surfaciques, les mélanges intimes et le facteur d'échelle. Une stratégie de mesure novatrice a été utilisée pour mettre à bien ces perspectives de traitements pour différentes échelles d'observations en réalisant de façon concomitante le couplage entre la mesure hyperspectrale de terrain à celle acquise par cette nouvelle plateforme drone-caméra. Les images sont traitées via des modèles adaptés et implémentés dans un système d'information géographique.

Par ailleurs, une méthodologie a été développée à partir de mesures de terrain pour identifier les espèces de macroalgues et in fine publiée (Douay et al., 2022). Parallèlement l'équipement acquis a permis de concrétiser un projet INSU EC2CO (2021-2022) dont le but est d'étudier la signature hyperspectrale d'une macroalgue brune intertidale en condition aéroportée par vecteur drone et d'intégrer l'étude de la variabilité à différentes échelles temporelles et spatiales. Des cartographies fines sur de nombreux paramètres sont d'ores et déjà réalisées et continues d'être traitées (figure 1.2.2). Les produits générés sont d'autant d'indicateurs des milieux (substrats, habitats et dans un futur la qualité des eaux) pouvant être implémentés dans un SIG en vue d'une meilleure gestion des espaces.

En termes de perspectives : Les observations réalisées via la plateforme aéroportée permettent et dans la continuité permettront d'évaluer les zones à risques et de réaliser des bilans de santé de nos littoraux pour une meilleure gestion de ses espaces parfois sensibles aux aléas climatiques par exemple. Les résultats obtenus permettront d'améliorer incontestablement la connaissance des environnements pour établir une meilleure gestion des espaces. Nous pouvons citer ici l'enjeu que présente le suivi des faciès sédimentaires en lien avec l'évolution du trait de côte et la prise de conscience accrue pour les riverains, les collectivités locales et les régions autour de la vulnérabilité des populations et de la résilience des territoires littoraux.

Spectromètre de fluorescence X

Depuis l'installation du spectromètre de fluorescence X (2016, P1), la plateforme d'analyse chimique des sols et sédiments s'est développée avec l'achat consécutif d'équipements et de nombreux consommables dans le but (i) d'adapter l'analyse à des échantillons de sols/sédiments de nature diverse et (ii) d'accroître la gamme des éléments chimiques mais aussi (iii) d'améliorer la précision de ces analyses grâce la calibration des mesures à partir de standards certifiés. Le spectromètre est maintenant opérationnel pour l'analyse d'un certain nombre d'éléments majeurs (Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe) constitutifs des phases minérales majeures qui caractérisent les sols et sédiments côtiers. Les éléments mineurs et traces associés (V, Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Pb) peuvent tracer des conditions environnementales particulières ou être corrélés à des apports anthropiques (pollution). En pratique, cet équipement permet un gain d'efficacité grâce à des analyses rapides et à la présence d'un passeur automatique d'une série de 20 échantillons. Il permet ainsi de dégrossir rapidement des niveaux ou zones sur lesquels cibler des analyses plus fines (mesure des éléments traces ou des rapports isotopiques, du plomb notamment). De même, la cartographie chimique à plus haute résolution spatiale des sols ou sédiments d'une zone donnée est désormais possible et vient conforter une stratégie d'échantillonnage ou démontrer des anomalies locales. Par exemple, dans le cadre du projet *VolTransMESKONG* (PI: C. Verpoorter), les analyses des sédiments profonds du lac Tonlé Sap, alimenté principalement par le Mékong, présente une signature particulière en fer et en manganèse dont la présence est reliée à des apports terrigènes locaux (figure 1.2.2, stage T. Combes, M2 2018).

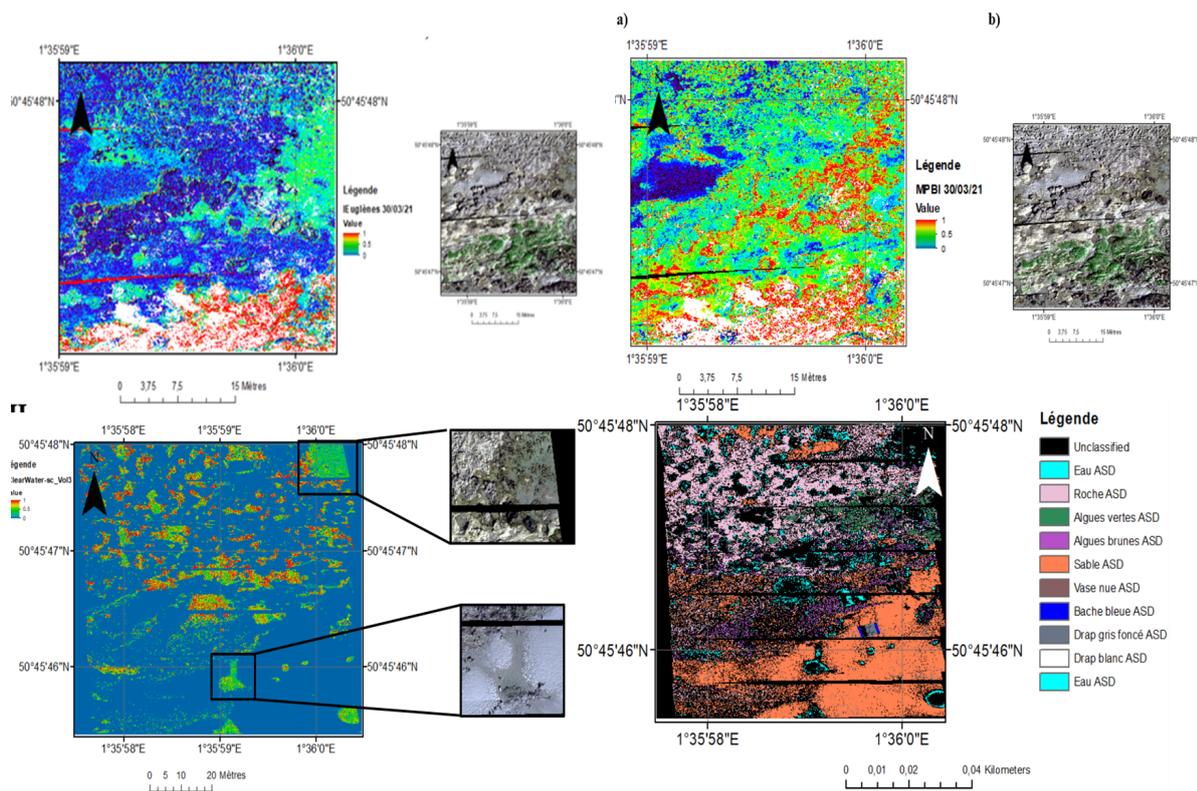


Figure 1.2.2 Exemples de paramètres cartographiés par vecteur drone (Euglènes, microphytobenthos, humidité, types de couvertures sédimentaires et macro-végétations)

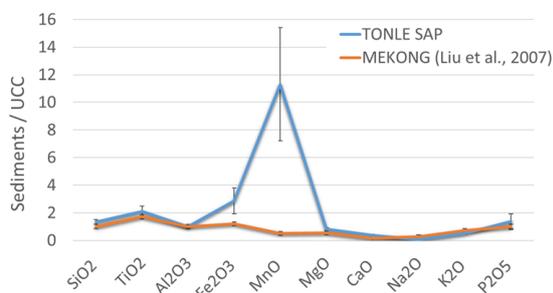


Figure 1.2.3 Ratios élémentaires de sédiments dans le lac Tonlé sap et le bassin de la rivière Mekong. Travaux provenant du stage de T. Combes, 2018.

L'analyse d'échantillons d'épaisseur centimétrique le long de carottes de sols ou sédiments permet aussi de mieux comprendre la dynamique du remplissage sédimentaire ou le fonctionnement d'un sol, les analyses des éléments peuvent être ainsi utilisés comme indicateurs. Dans un contexte de contamination, il est également possible de calculer les facteurs d'enrichissement des éléments considérés anthropiques et de comparer différents sites comme réalisé dans l'étude suivante (figure 1.2.3). La corrélation des concentrations chimiques avec les caractéristiques du sol permet également de prévoir le comportement à long terme de ces contaminants. Ce nouvel équipement a également eu un effet moteur sur le projet Poussières qui vise à établir un bilan entre les retombées de poussières d'origine industrielle et leur impact sur la qualité des sédiments et sols de la ville de Gravelines (figure 1.2.3) lors des épisodes de vent provenant du NE. Le projet s'est tout d'abord construit grâce à un partenariat mis en place avec les collègues chimistes du laboratoire UCEIV et les acteurs locaux ainsi que sur la reconstitution de l'historique d'utilisation des surfaces et des caractéristiques des sédiments/sols de la zone (M1 Benoit Martel, 2019-2020).

L'étude proposée en grande partie sur l'utilisation de la plateforme XRF a permis le co-financement (Région HDF/PMCO) de la thèse de Marine Casetta (2020-2023). La production d'une cartographie chimique a été réalisée sur l'ensemble des prélèvements dès sa première année, lui permettant ainsi de cibler des zones d'intérêt. Elle bénéficie aussi des données des capteurs automatiques de poussières. Un stage de Master 2 est venu en support du projet en 2021 (Marie Debeaumont, M2). En 2022, un appel d'offre en support du projet a été accepté (SFR Campus de la mer, PI ; S. Philippe) et des stages sont aussi programmés dès mars 2022. Ce projet poussières a, par ailleurs, permis de nombreuses collaborations avec des partenaires territoriaux (CUD, SPPPI, Mairie de Gravelines, Eden62, Conservatoire du Littoral).

Dans le cadre d'une collaboration (projet ANR EDENs 2021-2025, TABUCE R. (PI) ; U. Montpellier), il est également prévu d'utiliser la spectrométrie de fluorescence X (LOG, ULCO). Ce projet vise à comprendre la relation entre les événements de réchauffement climatique passés et les processus d'évolution des faunes de mammifères. L'étude des minéraux argileux dans ces séries sédimentaires anciennes riches en fossiles, permet de retracer les conditions paléoclimatiques et participe à la reconstitution des événements hyperthermaux. Pour coupler avec la minéralogie, certaines couches repères seront analysées grâce à la spectrométrie de fluorescence X (LOG, ULCO) pour permettre le calcul d'indices d'altération et contraindre davantage le signal.

En conclusion, le projet CPER MARCO a permis via la mise en place de la plateforme XRF et du budget alloué au fonctionnement, d'améliorer considérablement i) les préparations des échantillons, ii) la sécurité des manipulateurs, iii) l'optimisation de l'appareil (calibration), iv) l'accès de la plateforme à un public plus élargi, et v) l'effet levier sur des projets de recherche structurants (avec différents acteurs territoriaux), sur la formation à la recherche (stages, thèse) ainsi que des collaborations extérieures.

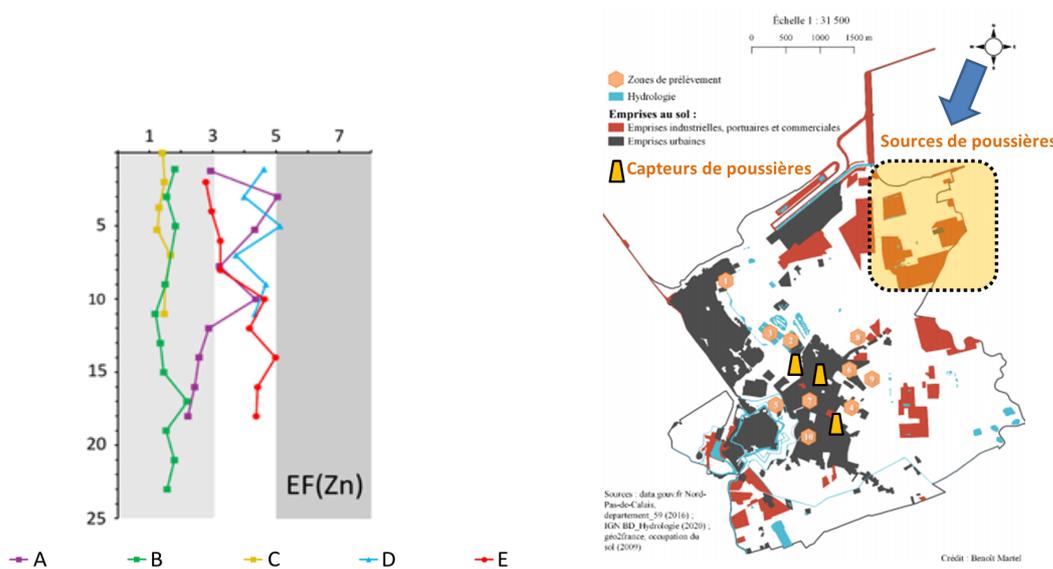


Figure 1.2.4 Gauche : Facteur d'enrichissement (EF) pour Zn dans cinq zones (A, B, C, D et E) au platier d'Oye. Des valeurs <3 indiquent un enrichissement mineur, entre 3 et 5 un enrichissement modéré, et entre 5 et 10 un enrichissement important. Droite : Choix des zones de prélèvement dans la région de Gravelines et localisation des capteurs de poussières. Projet Poussières : Stage M1 B. Martel (2020).

Station benthique

Les systèmes estuariens intertidaux sont d'un intérêt majeur en domaine côtier, car ils sont localisés aux interfaces entre continent/océan/atmosphère, et constituent de ce fait des écosystèmes très productifs, mais aussi des sites clefs pour de nombreuses espèces, dont les plus emblématiques sont les oiseaux (zones de reposoir, d'alimentation) et les poissons (zone de nurserie, d'alimentation). Toutefois, ces systèmes estuariens subissent aussi une pression anthropique très forte, en raison de la multitude d'activités qui y sont concentrées (tourisme, chasse, pêche, nautisme...). Ces systèmes estuariens intertidaux sont aussi caractérisés par la présence de gradients très marqués (eau douce / marine, émergence / immersion, apports du bassin versant / apports marins). Or, si les principaux types de sédiments ont déjà été décrits de manière générale, l'emprise spatiale de ceux-ci au sein des estuaires picards était encore très parcellaire. C'est principalement dans ce contexte que la présente action a été développée.

Sur la base de la totalité des paramètres analysés, nous avons pu identifier pour chacun des estuaires et le long de la majorité des radiales, 4 groupes de stations correspondant respectivement (du chenal vers le haut de l'estran) à 1) la proximité sableuse du chenal (Sand flat), 2) les vasières latérales nues sans végétation (Mud flat), 3) le bas du schorre végétalisé (Low marsh) et le haut du schorre végétalisé (High marsh). La distinction entre les types de stations est relativement marquée, mais montre une répartition différente entre les deux estuaires lorsque toutes les caractéristiques analysées sont prises en compte dans les analyses multivariées ([figure 1.2.5](#)). Ainsi, ces groupes ont montré une meilleure discrimination pour les stations échantillonnées dans l'estuaire de la Canche que dans l'estuaire de l'Authie (en forme de U caractéristique). Pour les deux estuaires, le groupe I est composé uniquement de stations sableuses montrant une distribution plus large le long de l'axe PC2 que l'axe PC1. Le groupe II rassemble des stations situées en haut du schorre dans les deux estuaires étudiés, caractérisées par des sédiments avec des teneurs totales en MO et des rapports atomiques TOC/TN élevés. Le groupe III est principalement composé de stations situées dans la partie haute du schorre pour l'estuaire de la Canche et dans l'ensemble du schorre pour l'estuaire de l'Authie. Enfin, le dernier groupe (IV) a montré différences de composition et de localisation entre les deux estuaires. Dans l'estuaire de l'Authie, le groupe IV comprend un groupe hétérogène de stations appartenant à différents milieux (stations sableuses, vasière et bas du schorre). Il se positionne entre les groupes I et III, révélant la survenue d'un milieu sédimentaire de transition entre les stations sableuses (groupe I) et du schorre (groupe III). Dans l'estuaire de la Canche, le groupe IV est plus homogène avec des stations de vasière et du bas schorre associées à deux stations localisées sur le haut du schorre à proximité d'une mare de chasse. Ce groupe était à peu près similaire au groupe III (stations du haut du schorre) en termes de scores PC1 mais avaient des scores PC2 inférieurs, correspondant à des valeurs de rapport atomique COT/TN inférieures à celles du groupe III.

Les contributions des différentes sources de matière organique présentées sur la [figure 1.2.6](#) varient de 12 à 67% pour les Matières Particulaires en Suspension (SPM) d'origine marine, de 13 à 63% pour les SPM d'origine fluviale, et de 0 à 50% pour la végétation du schorre. Alors que la matière organique provenant des SPM fluviales est prédominante dans le groupe I (moyenne de $60 \pm 4,2$ %) dans l'estuaire de la Canche, une plus forte abondance matière organique provenant de végétaux en C3 du schorre est observée dans les sédiments recueillis dans le groupe II dans les deux estuaires (moyenne de 44 ± 6 % et 49 ± 2 %, respectivement). Dans les groupes III et IV, les SPM marins et d'eau douce correspondent à des apports plus importants de matière organique que les plantes halophiles en C3, sauf dans le groupe III de l'estuaire de la Canche.

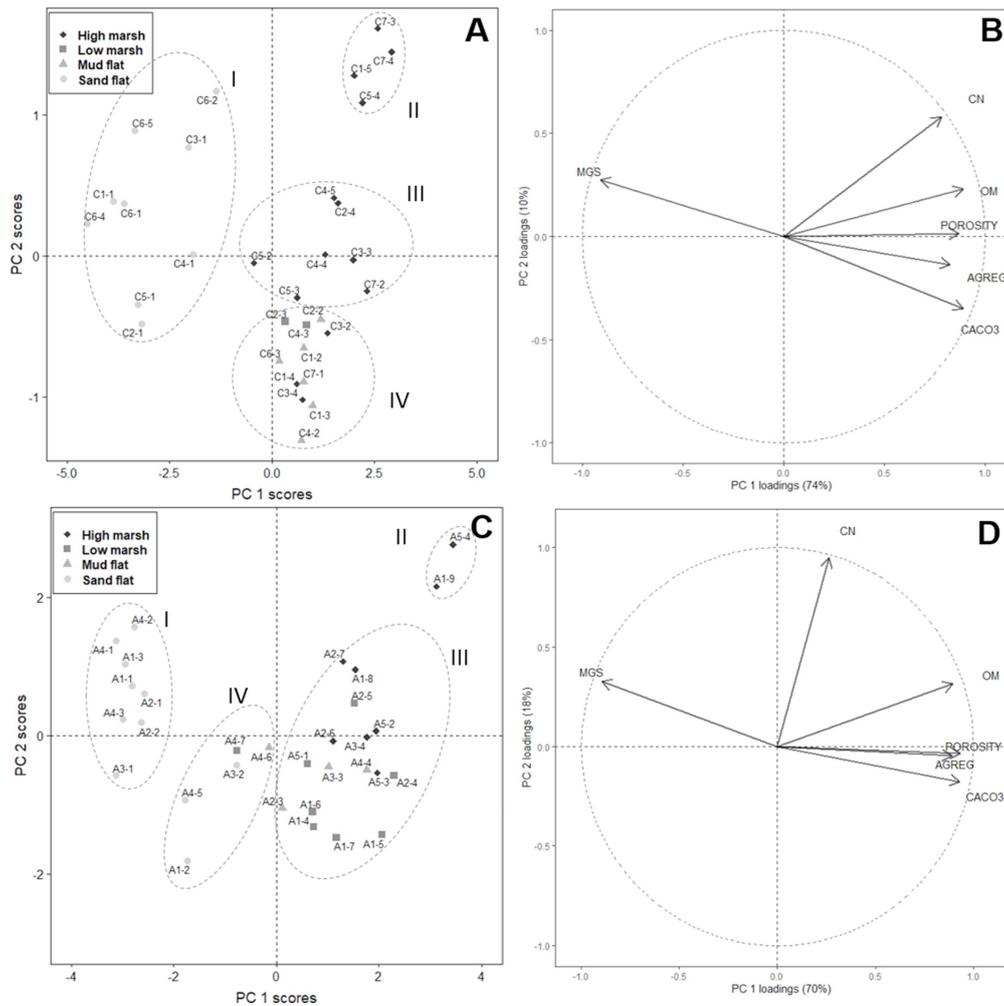


Figure 1.2.5 Projections des stations le long des axes 1 et 2 de l'ACP (A, C) et cercle de corrélation (B, D), pour les estuaires de la Canche (A, B) et l'Authie (C, D). Les variables utilisées comprennent la taille moyenne des grains (MGS), le contenu en carbonates (CACO₃), la porosité (POROSITY), le contenu total en matière organique (OM), le rapport atomique TOC/TN (CN) et la proportion d'agrégats au sein des sédiments (AGREG).

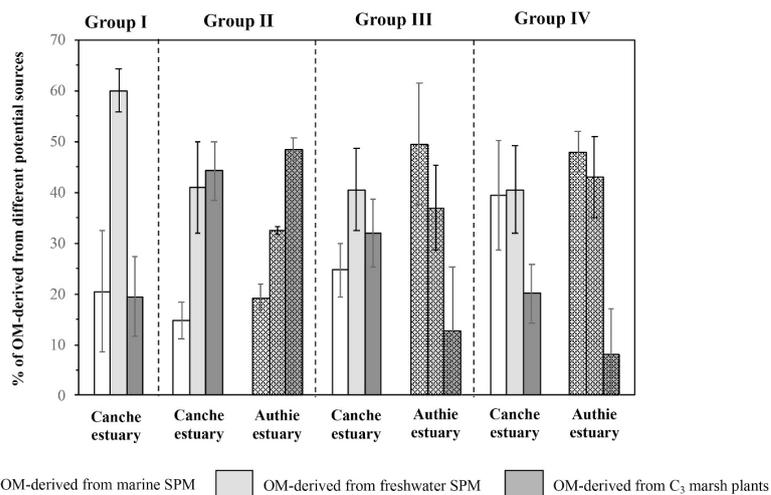


Figure 1.2.6 Variation des pourcentages relatifs de matière organique provenant des 3 sources potentielles (plantes en C₃ du schorre, matière particulaire en suspension d'origine marine et d'eau douce) entre les différents groupes identifiés en utilisant l'Analyse en Composantes Principales.

Même s'il existe de nombreuses structures et fonctionnements communs aux deux estuaires, plusieurs caractéristiques diffèrent largement entre les estuaires de la Canche et de l'Authie. Dans l'estuaire de la Canche, les différents groupes de stations sont nettement différenciées, ce qui reflète une structure en « étages » ayant comme base une géomorphologie de succession se par rapport au chenal fluvial, induisant des conditions hydrodynamiques particulières. En conséquence, l'accrétion de particules fines, l'expansion latérale de celles-ci et enfin la progradation vers la mer du schorre sont restreints. Il en résulte une ceinture de type vasière érodée, séparée du schorre par une microfalaise témoignant d'événements érosifs passés. Le bas du schorre est bien établi localement près de l'embouchure, adjacent à la partie affleurant de la digue nord, protégeant la vasière des événements d'érosion et permettant une expansion vers la mer du schorre, comme observé dans l'estuaire de la Seine. De plus, la flèche sableuse est isolée de la rive sud par l'aménagement local (base nautique) entraînant un mélange complexe entre petits bancs de sable et vasières. Dans l'estuaire de l'Authie, un effet Guttman, exprimé par une forme en U (**figure 1.2.5**), reflète une succession géomorphologique graduelle. En rive nord, le dépôt sableux correspond à une pente faible, permettant l'accrétion de particules fines, constituant une transition de dépôts sablo-vaseux (groupe IV). Un tel environnement a facilité la colonisation de la spartine *Spartina anglica*. En conséquence, un schorre étendu est observé dans l'estuaire de l'Authie et son expansion vers la mer augmente l'intensité du dépôt de matière organique allochtone (marine ou fluviale), entraîne une plus grande capacité de rétention des sédiments et une production autochtone plus élevée. De plus, la flèche de sable située dans l'estuaire de l'Authie est directement adjacente à la rive sud, permettant un enrichissement en sable bien trié, typique des environnements de dépôt hautement hydrodynamiques.

La répartition spatiale de la matière organique dans les sédiments de surface (allant de 0,6 à 26,9 % en poids sec) présente des teneurs plus élevées le long du schorre que dans les vasières et les abords sableux du chenal, et le pool de cette matière organique est principalement constitué d'un mélange de plantes vasculaires terrestres en C3, de phytoplancton marin et fluvial. La comparaison entre les deux estuaires a mis en évidence le fait que la géomorphologie impactée par des facteurs naturels et anthropiques joue un rôle prépondérant dans la distribution et les sources de MO sédimentaire en influençant les communautés végétales et les processus hydrodynamiques.

Dans le contexte de l'augmentation du niveau de la mer, une meilleure compréhension de la dynamique de la matière organique au sein de chaque faciès biosédimentaire est cruciale pour mieux contraindre et évaluer le rôle des estuaires macrotidaux dans le cycle du carbone. Les bilans actuels tirés de cette étude ne prennent en compte que les processus de distribution et de dégradation de la matière organique, et doivent donc être complétés par des estimations des mécanismes de production biologique (production primaire en particulier), afin d'estimer précisément le bilan de carbone dans ces estuaires.

Valorisations

Stages:

Benoît Martel, 2020. Inventaire de l'usage historique et de la gestion actuelle des sols et des sédiments autour de Gravelines, en lien avec les retombées de poussières industrielles. Stage de Master 1 GAED parcours Transition Environnementale des Territoires, Université de Toulouse. Co-encadrement : J. Caillaud, S. Philippe et L. Courcot.

Marie Debeaumont, 2021. Étude des sols et sédiments de Gravelines : propriétés des matrices sédimentaires et pédologiques et analyses géochimiques par spectrométrie de fluorescence X (XRF). Stage M2, 6 mois, du 01/03 au 01/09/2021. Co-encadrement par Marine Casetta, S. Phillippe et J. Caillaud.

Eugénie Lefranc (mai-juin 2021, 2 mois) : « Quantification de la dégradation de la matière organique dans les sédiments intertidaux et influence de la laisse de mer », Stage de Master 2, FOGEM, Université de Lille. (Encadrement L. Denis).

Menuge B., 2017. « Cartographie des espaces estuariens par télédétection HR et hyperspectrale ». Stage Master 2 FOGEM-Université ULCO-Lille, janvier-juin 2017. Encadrement C. Verpoorter.

Thomas Combes, 2018 « Variabilité spatio-temporelle des matières en suspension par télédétection et caractérisation de la matière sédimentée superficielle – Application au lac de Tonlé Sap (Cambodge), février à Août, 6 mois, stage de M2, ULCO et UBS. Co-encadrement C. Verpoorter, J. Caillaud et S. Philippe.

Piccabea, P. A., 2018, Utilisation de la télédétection dans l'analyse du substrat au sein des estuaires Picards. DEUST2 GAEL (ULCO) Responsable du stage C. Verpoorter

Augustin Leprêtre, 2021 (6 semaines). Potentiel de l'imagerie hyperspectral par vecteur drone pour la cartographie du littoral, application aux macroalgues et au microphytobenthos durant l'émersion », stage de M1 (co-encadré par Charles Verpoorter et Laurent Brutier)

Doctorats :

Baptiste Voltz : « Bilan de la matière organique au sein des sédiments estuariens de Manche Orientale : Apports, production et reminéralisation ». Encadrement L. Denis (directeur) et S. Gontharet (co-encadrante). Cofinancement ULCO-Région. Thèse 2017-2020. Soutenue publiquement le vendredi 11 décembre 2020.

Marvin Meresse : « Dynamique des mécanismes de production microphytobenthique dans les estuaires picards au regard des forçages anthropiques et naturels. » Financement MENESR. Thèse 2020-2023. En cours.

Benoît Menuge: "Evolution des Estuaires Picards, bilans sédimentaires et évaluation des zones à risques : intégration de la télédétection multi-capteurs à une analyse multi-échelle ». C. Verpoorter (coencadrant); A. Héquette (directeur).

Florian Douay : « Caractérisation de la réponse des macroalgues aux stress de la zone intertidale : impact sur la distribution des espèces et sur les rendements de production », F Gevaert (co-encadrant), N. Spilmont (directeur), et C. Verpoorter ; (co-encadrant) Thèse 2018-2022 (en cours).

Marine Casetta : « Impact et devenir des retombées de poussières industrielles dans les sédiments et sols de la région de Gravelines (Flandre maritime) ». Directeur: M. Hermoso ; co-encadrants J. Caillaud & S. Philippe (ULCO) – Financement Région/PMCO, 2020-2023 (en cours).

Post-Doctorats :

Florian Cesbron (février –août 2019, 6 mois) Environmental Marine Biogeochemistry – Exchanges at the Sediment-water and sediment-air interfaces" (Démission pour recrutement Poste de Mdc, CNAM, Cherbourg – Direction L. Denis)

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

Henry F, Philippe S, Gontharet S, Courcot C, Dörr W, Caillaud J. 2016. First investigations of metal contents and Pb isotopes in protected salt marsh sediments (North Sea coast of France). 18 th International conference on Heavy Metals in the Environment (ICHMET). 12 - 15 September 2016. Ghent.

Caillaud J., Philippe S., Courcot L., Gontharet S., Dörr W., Dessailly D., Cornille V., Henry F. Etat de contamination métallique des sédiments de vasières dans un secteur anthropisé : cas du platier d'oye (Hauts de France). 3ème Colloque International Francophone en Environnement et Santé : 23 et 24 octobre 2017, Dunkerque, France.

Philippe S., Alary C., Dörr, W., Ouddane B., Courcot L., Caillaud, J., Billon, G., 2018. Isotopes du plomb et caractérisation de la contamination de sédiments de rivière au voisinage de fonderies historiques: cas du canal de la Deûle (Région Haut de France). 26e Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France.

Philippe S., L. Courcot, J. Caillaud, F. Henry, S. Lesourd, S. Gontharet, A. Bory, L. Denis, V. Cornille, 2019. Indication de l'état de contamination métallique de zones à fonctionnement estuarien par le biais des isotopes du plomb. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.

M. Casetta, J. Caillaud, S. Philippe, L. Courcot, V. Cornille, M. Hermoso, Optimisation de la plateforme XRF, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021.

- M. Casetta, J. Caillaud, S. Philippe, L. Courcot, V. Cornille, M. Hermoso**, Étude préliminaire des retombées de poussières industrielles sur les sols de Gravelines (Hauts-de-France), 27ème édition de la Réunion des Sciences de la Terre, Lyon, 1-5 novembre 2021.
- Denis L., Gontharet S., Gevaert F., Duong G., Goulard F., Arminot du Chatelet E., Artigas F., Bolhuis H., Brotas V., Caillaud J., Gommeaux M., Lefebvre S., Philippe S., Ribeiro L., Trentesaux A., Verpoorter C. (2016)** Microphytobenthic behaviour and productivity as estimated through automated oxygen microprofiling system: capabilities and perspectives. 25th Earth Science Meeting, Caen, France, 24-28 Octobre 2016.
- Denis L., Gontharet S., Duong G., Goulard F., Gevaert F., Lefebvre S. Artigas L. F., Philippe S., Caillaud J., Verpoorter C., Arminot du Chatelet E., Trentesaux A., Brotas V., Ribeiro L., Gommeaux M., Bolhuis H. (2017)** Microphytobenthic diversity (functional & biological) in intertidal estuarine mudflats (MIDIEM project, Authie estuary, English Channel, France). 13rd International Congress on The interactions between Sediments and Water, Taormina, Italie, 17-22 Juin 2017. (Oral)
- Voltz B., Duong, G et al. (2019).** Minéralisation benthique dans l'estuaire de la Canche et de l'Authie. Journée CPER MARCO, 10 Octobre 2019, Boulogne-sur-mer, France.
- Voltz B, Denis L, Gontharet S, Duong G, Artigas LF, Courcot L, Delegrange A., Crouvoisier M., Tallobre C., Cornille V., Henry F., Philippe S. (2019).** Variation spatiale des caractéristiques sédimentologiques, géochimiques et biologiques des sédiments de surface provenant de trois estuaires picards de la région Hauts-de-France. Congrès Avenir Littoral 13-14 mars 2019.
- Menuge B., C. Verpoorter, A. Hequette, V. Sipka, 2018.** Mapping of estuarine transport from spatial remote-sensing products: application to Authie bay (France). *Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018)*, August 20-23 2018, Caen, France.
- Verpoorter C., B. Menuge, P. Launeau, V. Méléder, A. Héquette, A. Cartier, V. Sipka, 2018.** Synergy between hyperspectral (HYSPEX), multispectral (SPOT 6/7, Sentinel-2) remotely sensed data and LiDAR data for mapping the Authie estuary (France). *Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018)*, August 20-23 2018, Caen, France.
- Menuge, B., Verpoorter C., et Héquette, A., 2019.** La télédétection : un outil puissant pour comprendre l'évolution spatiale des espaces estuariens. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Verpoorter C., Menuge, B. et Combes, T. (2016)** Cartographie des Estuaires Picards par télédétection HR SPOT-/7. Application à la baie d'Authie. Séminaire THEIA (com. poster), Toulouse
- Verpoorter C.,** Cartographie des Estuaires Picards par télédétection HR SPOT-/7. Séminaire ROLNP (Réseau Observation du Littoral Normand Picards), communication poster, Wimereux, Novembre 2016.
- Verpoorter C., Menuge, B., Denis, L., Héquette, A. Méléder V., Cartier, A., Gevaert, F. Duong, G. Gontharet, S., Goulard F. et Launeau P. (2017).** Observation du microphytobenthos intertidal par télédétection à haute résolution spectrale et spatiale en baie d'Authie. Intégration des mesures in situ. *EEC*, Wimereux, France, 6-8 juin 2017
- Verpoorter C., Menuge, B., Héquette, A. Méléder V. et Launeau P. (2017).** Exploitation de la télédétection spatiale à haute résolution spatiale (SPOT6/7) et modérée (Sentinelle-2) pour la cartographie des espaces estuariens en Manche Mer du Nord. *EEC*, Wimereux, France, 6-8 juin 2017
- Douay F, Verpoorter C, Spilmont N & Gevaert F.** To what extent spectral imagery and reflectance can be used to map intertidal marine macroalgae? 7th European Phycological Congress, 25-30 aout 2019, Zagreb, Croatie

Présentations orales à des groupes de travail et ateliers

- J. Caillaud, S. Philippe, L. Courcot, M. Casetta.** « Méthodologie d'analyses chimiques des sédiments par XRF. Application aux sols et sédiments de la région de Gravelines (Flandre maritime) soumis aux retombées de poussières industrielles. » – Journée MARCO 2020, 10 décembre 2020.
- M. Casetta,** « Impact et devenir des retombées de poussières industrielles sur les sols de Gravelines ». Comité de suivi individuel (Bilan des résultats de la 1ere année de thèse) – 13 septembre 2021.
- M. Casetta,** « Impact et devenir des retombées de poussières industrielles sur les sols de Gravelines » Bilan avec les partenaires du Secrétariat Permanent pour la Prévention aux Pollutions Industrielles (SPPPI) – 6 décembre 2021.

Menuge B., C. Verpoorter, P.A. Picabea, 2018. Action 1.2 Analyse et cartographie du sédiment : application de modèles sur image satellite et camera hyperspectrale. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.

Verpoorter C., Brutier L., 2019. Focus sur l'imagerie hyperspectrale en milieu littoral : Etude des propriétés physiques et biologiques des surfaces dites 'naturelles' pour différentes échelles d'observation. AEI Atelier Expérimentation et Instrumentation, 9-11 juillet 2019, Polytech Lille, Villeneuve D'Ascq.

Actes de conférences non publiés

Henry F, **Philippe S**, Gontharet S, **Courcot C**, Dörr W, **Caillaud J.** (2016) First investigations of metal contents and Pb isotopes in protected salt marsh sediments (North Sea coast of France). *Open Journal Systems*, 407-408. 18 th International conference on Heavy Metals in the Environment (ICHMET). 12 - 15 September 2016.

Articles : (en gras les auteurs MARCO)

Launeau P., V. Méléder, **C. Verpoorter**, L. Barillé, F. Kazemipour-Ricci, M. Giraud, B. Jesus, E. Le Menn, 2018. Microphytobenthos biomass and diversity mapping at different spatial scales with a hyperspectral optical model, *Remote Sensing* 10,716

Douay, F.; Verpoorter, C.; Duong, G.; Spilmont, N.; Gevaert, F. 2022. New Hyperspectral Procedure to Discriminate Intertidal Macroalgae. *Remote Sens.*, 14, 346. <https://doi.org/10.3390/rs14020346>

Voltz B., Denis L., Duong G., Santoni A-L. Artigas F., Cornille V., Henry F., Mathieu O., Tallobre C., Gontharet S. 2021. A multiproxy study of intertidal surface sediments from two macrotidal estuarine systems (Canche, Authie) in northern France: Insights into environmental processes. *Cont. Shelf Res.* 230, 104554. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104554>

Ouvrage publiés:

Menuge, B. Verpoorter C., Launeau P., Héquette, A. et Sipka V. 2018. Mapping of estuary transport from spatial remote-sensing products: application to Authie bay (France). In: *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Nguyen et al. Eds., Springer, pp. 809-830

Phan T.-T.-H., Poisson Caillaud E., Bigand A., 2018. Comparative study on univariate forecasting methods for meteorological time series. 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp.2380-2384. ISBN 978-90-827970-1-5

Verpoorter C., Menuge, B. Launeau P., Héquette, A. et Méléder V., 2018. Synergy Between Hyperspectral (HYSPEX), Multispectral (SPOT 6/7, Sentinel-2) Remotely Sensed Data and LiDAR Data for Mapping the Authie Estuary (France), *Water*, In: *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Nguyen et al. Eds., Springer, pp. 769-788. ISBN:978-981-15-2080-8.

Article de vulgarisation :

Menuge., B. 2021. Comment l'imagerie satellite peut contribuer à protéger notre littoral, *The Conversation* <https://theconversation.com/comment-limagerie-satellite-peut-contribuer-a-protger-notre-littoral-143489>

Effets levier sur les projets en cours ou futurs :

Projet TéléEST. BQR Bonus Quality Research ULCO, Cartographie des estuaires Picards par télédétection à très haute résolution spatiale (Pléiades, 50cm/pixel & SPOT6/7, 150cm/pixel) et par imagerie hyperspectrale multi-capteurs (satellite, aéroportée et *in situ*). 20k€ 2017-2018. PI C. Verpoorter

EC2CO-HYBIGE HyperFUCUS (2021-2022) Signature hyperspectrale d'une macroalgue brune intertidale : étude de la variabilité à différentes échelles temporelles et spatiales, PI Verpoorter

MI CNRS Défi Littoral OMPBI Observation du MicroPhytoBenthos Intertidal par modèle de transfert radiatif V-IR: interactions producteur primaire, biogéochimie et socio-écosystème. 2016. PI P. Launeau, Participant, C.Verpoorter

Projet ESA, Cartographie des espaces estuariens par télédétection hyperspectrale (PROBA-CHRIS). 2016-2017, PI Verpoorter

ANR MANA (2017-2020) ANR PRC (projet de recherche collaborative). MANagement of Atolls. Coordonné par S. Andréfouët (IRD). Participant. Montant de l'aide accordée 20 k€, Participants : S.Lefebvre et C. Verpoorter.

Projet TOSCA « VolTransMESKONG » : Variabilité hydro-sédimentaire du bassin hydrologique du MEKONG par télédétection. 2016-2023. PI C. Verpoorter

Projet GeoSUD/THEIA : Cartographie des espaces estuariens par télédétection SPOT-HR. 2015-2017.PI C. Verpoorter

Projet THEIA/CNES « TransMESKONG » : Transfert de matières en suspension du bassin versant du bas Mékong à la côte sous l'influence des variations de volumes de flux d'eau. 2016-2018. PI C Verpoorter

AAR ULCO 2018 : Aide à la Recherche, petits équipements. Acquisition d'un four à moufle pour la mesure de la perte au feu et fabrication des perles. PI : S. Philippe

Projet SFR Campus de la Mer, 2022 « Evolution des Métaux de POussières Industrielles dans les Sols de la zone de Gravelines » (Haut de France) (EMPOIS) : Co-PI : S. Philippe et J. Caillaud (stage de master).

Autre Levier (recrutements) :

F. Cesbron : Post-Doctorant dans le cadre du projet Marco de février à août 2019, de retour des USA, a été recruté pendant son Post-Doc au CNAM Intechmer en tant que MCF.

B. Voltz : Doctorant dans le cadre du projet Marco de 2017 à 2020, a été recruté en CDI dans une entreprise privée en lien avec la dégradation de la matière organique dès la fin de son Doctorat.

B. Menuge : Doctorant dans le cadre du projet Marco de 2017 à 2021, a été recruté en CDI dans une entreprise privée en tant que Géomaticien à CitéGestion.

Action 1.3 : Suivi du carbone particulaire et organique à partir de mesures in-situ et satellitaires

Participants

Responsable : Cédric Jamet (MCF ULCO, LOG)

Permanents : Séverine Alvain (CR CNRS, LOG), Arnaud Cauvin (IE CNRS, LOG), Lucile Duforêt-Gaurier (MCF ULCO, LOG), David Dessailly (IE ULCO, LOG), Hubert Loisel (PR ULCO, LOG), Xavier Mériaux (IE ULCO, LOG), Vincent Vantrepotte (CR CNRS, LOG)

Résumé des activités

La discipline intitulée « couleur de l'océan » étudie l'interaction de la lumière avec les particules marines (bulles d'air, le phytoplancton, la matière organique dissoute colorée et la matière en suspension). La mesure de la lumière rétro-diffusée par l'océan est liée aux propriétés de diffusion et d'absorption de l'eau de mer, qui sont liées aux particules marines. Ces propriétés optiques et biogéochimiques de l'eau de mer permettent d'étudier le cycle du carbone dans l'océan à travers des paramètres biogéochimiques. Il existe trois manières de l'étudier: mesures et analyse d'échantillons de mer, modélisation de la propagation de la lumière et outil satellite.

Les mesures in-situ permettent de connaître la variabilité des paramètres optiques et biogéochimiques dans diverses régions côtières. La modélisation permet de comprendre la relation entre ces paramètres. Ces relations peuvent ensuite être appliquées aux données satellite afin d'avoir une vue globale des eaux mondiales du large et côtières. Des méthodes de relation entre les paramètres précédemment citées ont été développées au sein du LOG depuis des années à partir de mesure en mer et de modélisation.

Cependant, la partie « mesures en mer » nécessite un nombre d'instruments conséquents que l'équipe 3 du LOG possède en partie. Une partie de ce matériel a été acheté il y a plusieurs années et commence à se détériorer. C'est le cas de l'analyseur TOC/TN et de la sphère intégratrice. Si nous souhaitons continuer à acquérir des données de très grande qualité, ces deux instruments sont indispensables.

La multiplication des capteurs disponibles et l'amélioration de leurs résolutions engendrent un flux de données qui doit être stocké et qui nécessite une puissance de calcul adéquate. C'est la raison de la demande d'un serveur de calcul et de stockage. Actuellement, l'équipe 3 « Télédétection et Hydrodynamique » a développé une grande quantité d'algorithmes permettant d'étudier la couleur de l'océan et le cycle du carbone océanique et héberge plus de 40 To de données satellite. Le serveur actuel de calcul, acheté il y a 6 ans, devient obsolète et l'espace de stockage est saturé. Il est donc nécessaire de les mettre à niveau et à jour afin de pouvoir continuer nos activités.

Cependant, ces produits ne sont pas disponibles par ailleurs et l'équipe reçoit de nombreuses sollicitations auxquelles elle a tenté de répondre au cas par cas. Cela est chronophage et une interface internet adaptée et dédiée à la valorisation des produits est donc devenue indispensable. Il n'existe pas à ce jour de lieu dédié et ouvert pour la distribution des produits de l'équipe en couleur de l'eau à l'échelle nationale. Le site de distribution demandé ici répondra donc à cette forte demande et sera évolutif. Cette plateforme permettra de sélectionner les produits optiques et/ou biogéochimiques sur une zone géographique et une période de temps donnée.

Equipements acquis

Les équipements acquis sont les suivants:

- Analyseur TOC-Shimadzu
- Serveurs de calcul et de stockage
- Sphère intégratrice
- Développement d'une plate-forme de distribution des produits satellite

Travaux réalisés

Les différents instruments acquis ont permis de réaliser les activités suivantes :

Analyseur TOC

L'analyseur TOC-Shimadzu récemment acquis a permis l'analyse d'une série de mesures de la concentration en carbone organique dissous (DOC) sur la base de prélèvements effectués dans différents sites côtiers. Des mesures ont été notamment acquises au sein des eaux de la Manche orientale (campagnes ECOPEL) ainsi qu'au niveau de la Guyane française (campagnes DYCOCO nov. 2017, janvier 2019). Les données acquises via les précédentes mesures sont exploitées dans le but de valider des modèles d'inversion du DOC depuis les informations fournies par la télédétection couleur de l'eau, ce qui permettra de cartographier et d'étudier la dynamique depuis l'espace de cet élément majeur du cycle du carbone océanique, à l'échelle de la région mais également au niveau d'écosystèmes spécifiques comme les mangroves.

Des mesures de la concentration en carbone organique dissous (DOC) ont été effectuées dans le cadre de divers projets de recherche qui portent sur l'étude de la dynamique de ce stock de carbone soit via l'observation in-situ soit via l'observation spatiale de la couleur de l'eau et ce au niveau des différents sites ateliers du LOG (Manche, Guyane). Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des échantillons qui ont été analysés sur cet instrument.

Tableau 1.3.1 Récapitulatif des missions océanographiques et du nombre d'échantillons pour lesquels l'analyseur TOC a été utilisé.

Projet	Porteur du projet	Nombre d'analyses
HARDECOT (CNES TOSCA)	Vincent VANTREPOTTE	7 stations x 3* = <u>21</u>
MERIS 4th reprocessing (ESA)	Cédric JAMET	18 stations x 3 = <u>54</u>
Campagnes ECOPEL : Mise en place du Plan de Surveillance (PdS) de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM) (MTES/CNRS-INSU - CPER MARCO - H2020 JERICO- NEXT)	Felipe ARTIGAS	111 stations x 3 = <u>333</u>
Projet interdisciplinaire de Guyane (PIG) - Dynamique du carbone organique dans les eaux côtières de Guyane (DYCOCO)	Hubert LOISEL	53 stations x 3 = <u>159</u>
		67 stations x 1 = <u>67</u>
Mares des Terrils (IRePSE)	Annette Hofmann	21 stations x 3 = <u>63</u>
Projet office de l'eau Guyane, OFB, DEAL : "Suivi de la qualité des masses d'eau"	Vincent VANTREPOTTE	19 stations x 3 = <u>57</u>
* : (x 3) toutes les stations ont été échantillonnées en triplicats.		<u>Total : 754</u>

Serveurs de calcul et de stockage

Les serveurs de calcul et de stockage ont été transférés au centre de calcul de l'ULCO (CALCULCO) pour mutualisation. Le serveur de calcul permet un traitement rapide et efficace des données satellite pour estimer des propriétés optiques et biogéochimiques. Le serveur de stockage permet l'hébergement des archives satellite des capteurs européens et américains (plusieurs dizaines de To de données). Ils permettent d'étudier la Manche Orientale et d'autres zones côtières sur des périodes de temps longues (typiquement 10-20 ans).

Les serveurs ont été utilisés pour l'exploitation des données satellites issues du projet ANR GlobCoast porté par Hubert Loisel (2012-2015), pour la génération des produits satellite liés au carbone bleu (carbone organique particulaire Carbone phytoplanctonique) à l'échelle globale, pour le développement et la validation d'un algorithme d'estimation des propriétés optiques de l'eau de mer (projet EUMETSAT porté par Hubert Loisel, pour le traitement des données satellites de Sentinel-2 et pour le développement d'un algorithme de détection des groupes phytoplanctoniques (PHYSAT). Ces serveurs ont été mutualisés avec le centre de calcul de l'ULCO, CALCULCO.

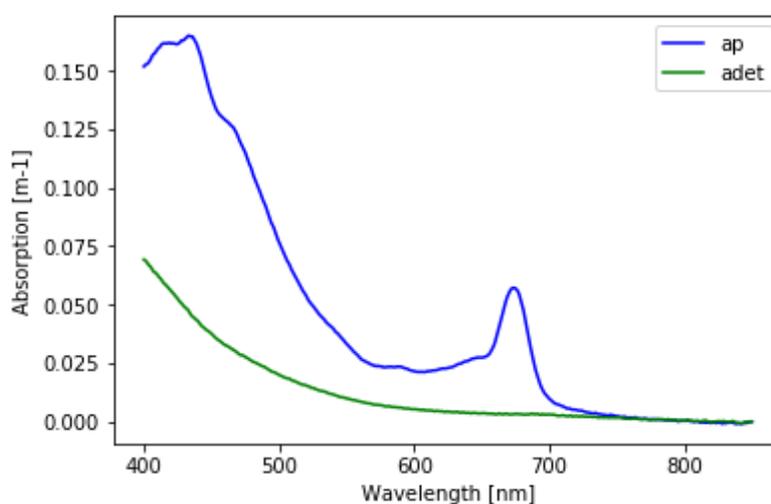


Figure 1.3.1 Comparaison de spectres d'absorption dû au phytoplancton et dû aux détritiques. En bleu : coefficient d'absorption obtenu après passage du filtre en transmission puis en réflectance ; en vert : Même mesure après blanchiment des filtres avec HClO (Eau de javel).

Tableau 1.3.2 Ensemble des missions océanographiques pour lesquelles la sphère a été utilisée

Projet	Porteur du projet	Nbre stations
Manche – Pelrad	Felipe Artigas	22
Manche – Phyco	Felipe Artigas	92
Manche – S3VT	Cedric Jamet	10
Manche – Campagnes ECOPEL	Felipe Artigas	109
Guyane – MERIS 4th reprocessing 2017	Cedric Jamet	27
Guyane – Dycoco	Vincent Vantrepotte	43
Guyane - Hardecot	Hubert Loisel	18

Sphère intégratrice :

Cet instrument est mutualisé au sein du LOG. L'équipe « Télédétection et Hydrodynamisme » en a la charge. Elle a été utilisée pour la campagne ECOPEL à bord du navire « Antea » dirigée par Felipe Artigas et en collaboration avec des membres de l'équipe « Diversité, processus et interactions dans les écosystèmes marins » mais aussi pour analyser des échantillons prélevés lors de précédentes campagnes en mer en Manche Orientale (PHYCO et PELRAD en 2017) et en Guyane (Juillet et Novembre 2017 en collaboration avec le CNRS Guyane). Au total, 321 échantillons ont été analysés à l'aide de la sphère intégratrice sur ces deux zones (**tableau 1.3.2**).

Certaines analyses ont été effectuées sur des échantillons acquis antérieurement à l'acquisition de la nouvelle sphère. Ils étaient en attente, au surgélateur, d'une solution pour remplacer l'ancien système qui était dégradé. La figure suivante montre l'importance de l'utilisation de la sphère intégratrice afin d'avoir des spectres d'absorption de l'eau de mer réalistes. Cet instrument est indispensable pour l'étude du suivi des particules marines car c'est le seul équipement permettant d'évaluer la contribution strictement phytoplanctonique à l'absorption particulaire (comme le montre la **figure 1.3.1**).

Développement d'une plate-forme de distribution des produits satellite

Une tentative de sous-traitance avec l'entreprise HYGEOSS a été effectuée pour réaliser un site de distribution des données. Malgré plusieurs réunions et de nombreuses relances téléphoniques et par mails l'entreprise a échoué à prendre en charge les données et formats. L'entreprise avait a priori sous-estimé l'ampleur de la demande et ne disposait pas des compétences nécessaires. Il n'a donc pas été possible de mener à bien le travail demandé. La facture a été malgré tout réglée suite à une décision de la direction du laboratoire. Une solution alternative est en cours de mise en place avec une autre entreprise (ACRI) qui dispose depuis 2021 de la chaîne de traitement des données.

Valorisations

Articles

- Bonelli AG, Vantrepotte V, Jorge DSF, Demaria J, Jamet C, Dessailly D, Mangin A, Fanton d'Andon O, Kwiatkowska O, Loisel H. 2021. Colored dissolved organic matter absorption at global scale from ocean color radiometry observation: Spatio-temporal variability and contribution to the absorption budget. *Remote Sensing of Environment*, 265, 112637, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112637>
- Jorge DSF, Loisel H, Jamet C, Dessailly D, Demaria J, Bricaud A, Maritorena S, Zhang X, Antoine D, Kutser T, Bélanger S, Brando VO, Werdell J, Kwiatkowska E, Mangin A, Fanton d'Andon O. 2021. A three-step semi analytical algorithm (3SAA) for estimating inherent optical properties over oceanic, coastal, and inland waters from remote sensing reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 263, 112537, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112537>
- Ray R, Thouzeau G, Walcker R, Vantrepotte V, Gleixner G, Morvan S, Devesa J, Michaud E. 2020. Mangrove-Derived Organic and Inorganic Carbon Exchanges Between the Sinnamary Estuarine System (French Guiana, South America) and Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125, e2020JG005739, <https://doi.org/10.1029/2020JG005739>
- Ray R, Michaud E, Aller RC, Vantrepotte V, Gleixner G, Walcker R, Devesa J, Le Goff M, Morvan S, Thouzeau G. 2018. The sources and distribution of carbon (DOC, POC, DIC) in a mangrove dominated estuary (French Guiana, South America). *Biogeochemistry*, <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0447-9>

Action 1.4 Dynamique et transport de particules et plancton

Participants

Responsable : François Schmitt

Permanents : Alexei Sentchev (PR LOG) ; Sami Souissi (PR LOG) ; Xavier Mériaux (IE LOG) ; Guillaume Fromant MCF (LISIC)

Personnels recrutés : Angela Garzia (M2, février-juin 2019) ; Hanh Nguyen (M2, février-août 2020) ; Sarah Guilbaud (post-doc, février-juin 2019) ; Clotilde Le Quiniou (post-doc, novembre 2019-avril 2021)

Collaborations : Yongxiang Huang (Xiamen University, China); Enrico Calzavarini (Unité de Mécanique de Lille)

Résumé des activités

L'objectif de cette action est de caractériser les couplages entre le comportement du zooplancton (copépodes, larves de poissons) et la turbulence. Les résultats attendus sont de disposer d'informations quantifiées sur l'attraction, la fuite, ou l'indifférence, de copépodes et larves de poissons face à une situation donnée de turbulence locale. Ce type de mesure n'existe pas à l'heure actuelle, en raison du caractère très interdisciplinaire de ce type d'étude, demandant des compétences dans les domaines de l'acoustique, de l'écologie du zooplancton (variabilité spatio-temporelle in situ, impacts des forçages environnementaux, cycle de vie et comportement) et de la dynamique des fluides (turbulence des écoulements).

L'action 1.4 a pu commencer en pratique en février 2019, en raison du retard du recrutement d'une post-doc lié au retard structurel du démarrage de la programmation, puis aux difficultés à sélectionner un bon candidat. Depuis, cette action a bénéficié de 2 stages de Master 2 (en 2019 et 2020) et d'un contrat post-doctoral de 18 mois, séparé en deux bénéficiaires suite à une démission.

Les activités expérimentales ont été réalisées depuis fin 2019 et surtout en 2020 sous l'impulsion de Clotilde Le Quiniou, arrivée au LOG en novembre 2019.

Les activités in situ ont pu se réaliser dans le cadre du stage de Hahn Nguyen, avec les contributions de Alexei Sentchev, Clotilde Le Quiniou, Xavier Mériaux et Guillaume Fromant.

Equipements acquis

Dans le cadre de cette action, plusieurs équipements ont été acquis : un **vélocimètre vectrino** (P2) pour les mesures de la turbulence en laboratoire et in situ, un **profileur Signature 1000** (P3, FEDER) pour les mesures in situ de la vitesse turbulente et de la concentration en biomasse zooplanctonique, une **caméra rapide** Phantom C210 (P2) et des panneaux LED infra-rouge (P2) pour le suivi des particules en laboratoire. D'autres équipements ont été acquis dans le cadre du projet MARCO : des consommables en P2 (loupe binoculaire, filets à plancton, loupe de laboratoire, particules pour l'ensemencement, disque dur externe pour le stockage des images

issues de la caméra rapide), et des équipements en P3 (Etat) : **2 largueurs ainsi qu'une télécommande acoustique pour déclencher les largueurs.**

Expérimentations au laboratoire :

- Nortek Vectrino pour des mesures de vitesse (P2)
- Caméra rapide Phantom Miro C210 pour enregistrer les trajectoires (P2)
- Lampes infrarouge pour illuminer le système (P2)

Activités d'observation *in situ*:

- Nortek Signature 1000 ADCP pour enregistrer les profils de vitesse et biomasse (P3)
- Largueurs IXBlue Oceano 500 pour retrouver le système immergé (P3)
- Télécommande acoustique IXBlue pour déclencher les largueurs (P3)

			
Vélocimètre vectrino	Caméra Phantom	ADCP Signature 1000	Largueur

Travaux réalisés

Personnels impliqués

En 2019 une stagiaire M2 (Angela Garzia) a travaillé sur le projet en laboratoire, aidée par une post-doc (Sarah Guilbaud), qui a travaillé sur *l'in situ*. Cette dernière a trouvé un emploi pérenne (CDI) dans la région, et a donc démissionné. Elle a été remplacée à partir du 1er novembre 2019 par Clotilde Le Quiniou. Une stagiaire M2 (Hanh Nguyen) a également été sur le projet, sur la partie *in situ*, de février à août 2020.

Francois Schmitt assure l'encadrement des stagiaires et post-doc, aidé de Alexei Sentchev et Clotilde Le Quiniou pour l'encadrement du stage de Hanh Nguyen. A. Sentchev est particulièrement impliqué dans l'activité *in situ*, avec le déploiement du profileur Signature 1000 à l'aide des largueurs, en juin 2020. Sur cette partie *in situ*, G. Fromant a été impliqué en participant à certaines missions en mer, et en contribuant au déploiement d'appareils de mesures et à l'analyse des données.

Sami Souissi et son groupe sont également mis à contribution dans ce projet, pour la fourniture de copépodes pour l'expérience en laboratoire, et le conseil quant au maintien de ceux-ci en bonne condition le temps de l'expérience.



Figure 1.4.1 Déploiement intertidal du signature 1000 sur un spider, avec d'autres instruments, en mai 2020.

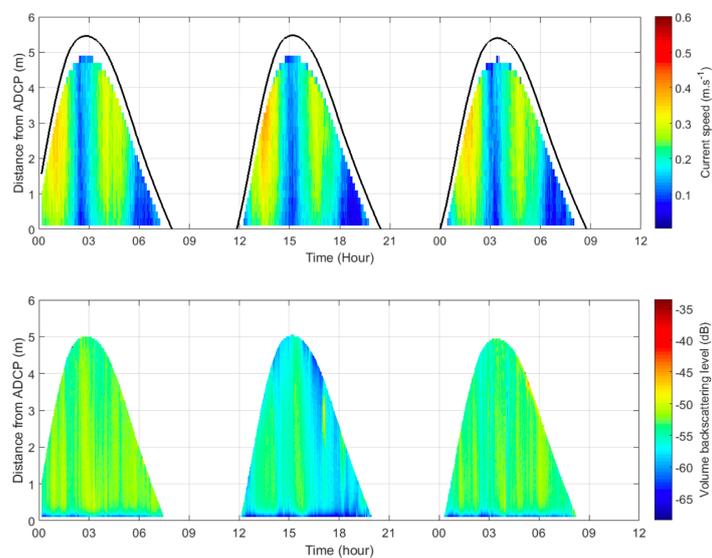


Figure 1.4.2 En haut : la vitesse du courant, et en bas, le résultat de l'échogramme, lors du déploiement du Signature 1000 en intertidal en mai 2020.

Activités in situ

La première partie de cette action vise à réaliser des mesures sur le terrain, de façon simultanée : turbulence et concentration en zooplancton, avec communautés zooplanctoniques (taxinomie et abondance). En particulier, la relation entre turbulence et larves de poissons vise à être étudiée. Le nouveau système Signature 1000 a été déployé en intertidal pour des premiers tests, dans le cadre du travail de Sarah Guilbaud. Ceci a permis de se familiariser avec les logiciels, et aussi les signaux obtenus en sortie. Un nouveau déploiement en intertidal a été réalisé en mai 2020, à la sortie du premier confinement, dans le cadre du stage M2 de Hanh Nguyen. Enfin, toujours dans le cadre de ce stage, un déploiement immergé pendant 3 semaines a été réalisé. Nous présentons ici certains des résultats obtenus lors de ces deux déploiements, au cours de ce stage récent de Master.

Dès la fin du premier confinement, une sortie en intertidal devant le laboratoire, à Wimereux, a été planifiée ([figure 1.4.1](#)). Un système spider a été mis en place, sur lequel ont été installés le Signature 1000, une CTD et différents capteurs optiques. Ce système a été déployé sur la plage à marée basse, et a été laissé pendant la nuit, sur 3 marées. Les mesures du Signature 1000 sont

représentées en [figure 1.4.2](#). On identifie clairement les 3 marées via le niveau d'eau. Le système fournit la vitesse du courant, selon un profil vertical, et aussi l'information du signal rétrodiffusé, indicatif de la présence de particules dans la colonne d'eau.

La question importante qui se pose ensuite, est de pouvoir identifier la nature de ces particules : celles-ci peuvent être de nature minérale (sédiments en resuspension) ou de nature organique (plancton ou poissons). Pour permettre de différencier ces deux catégories, pour le déploiement suivant, des instruments optiques ont également été installés sur la structure spider : en plus d'une CTD pour la mesure de la température, de la profondeur et de la salinité, un LISST, et un AQUAscat 1000 s (en plus d'autres instruments optiques) ont été installés sur la structure, comme visualisé en [figure 1.4.3](#). Le déploiement choisi était dans la zone côtière, en face de l'embouchure de la Slack, à Ambleteuse ([figure 1.4.4a](#)). Le déploiement a été mis en place à l'aide du navire de station Sepia II, le 18 juin 2020 ([figure 1.4.4b-c](#)). Le système est resté déployé pendant 3 semaines. En raison des limites des batteries, les mesures réalisées ont été d'une durée moindre. Certains des premiers résultats sont visibles en [figure 1.4.5](#) : on visualise le diamètre moyen des particules, la vitesse moyenne du courant sur l'ensemble de la colonne, le signal rétrodiffusé et le profil de vitesse selon la verticale. Les mesures sont représentées ici entre le 18 et le 25 juin, sur plusieurs cycles de marées.

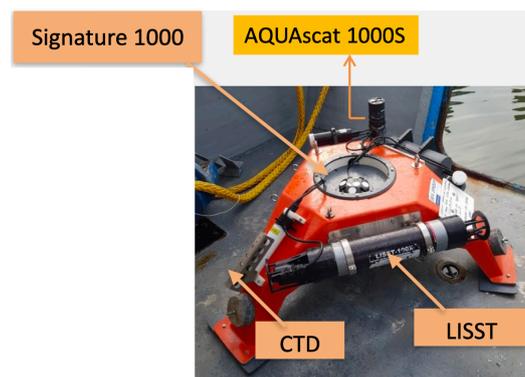


Figure 1.4.3 Le spider tel que déployé in situ le 18 juin 2020, avec le Signature 1000 au centre, la CTD, le LISST (instrument optique), l'AQUAscat (autres instruments optiques).

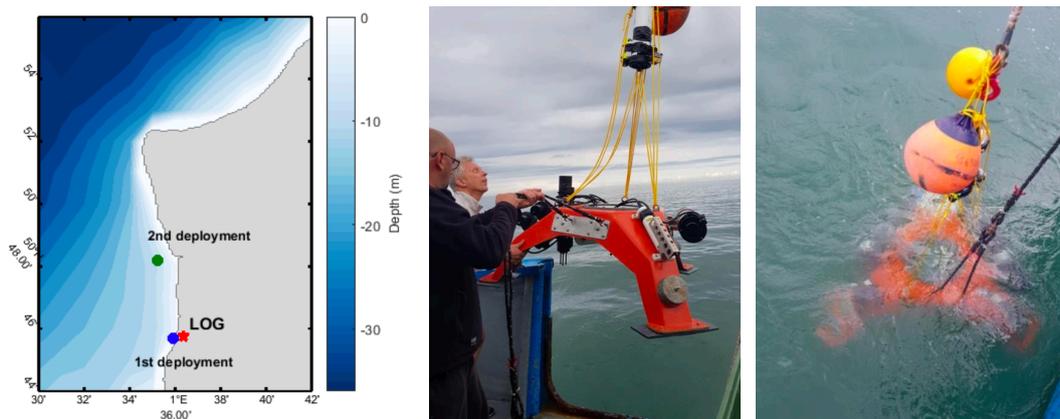


Figure 1.4.4 Déploiement immergé du 18 juin 2020 : Gauche : position du déploiement, au large d'Ambleteuse (point vert). Milieu et droite : installation au fond de la structure, avec la largueur acoustique et les bouées permettant de le remonter en laissant la structure sur le fond marin. La structure a été immergée pendant 3 semaines.

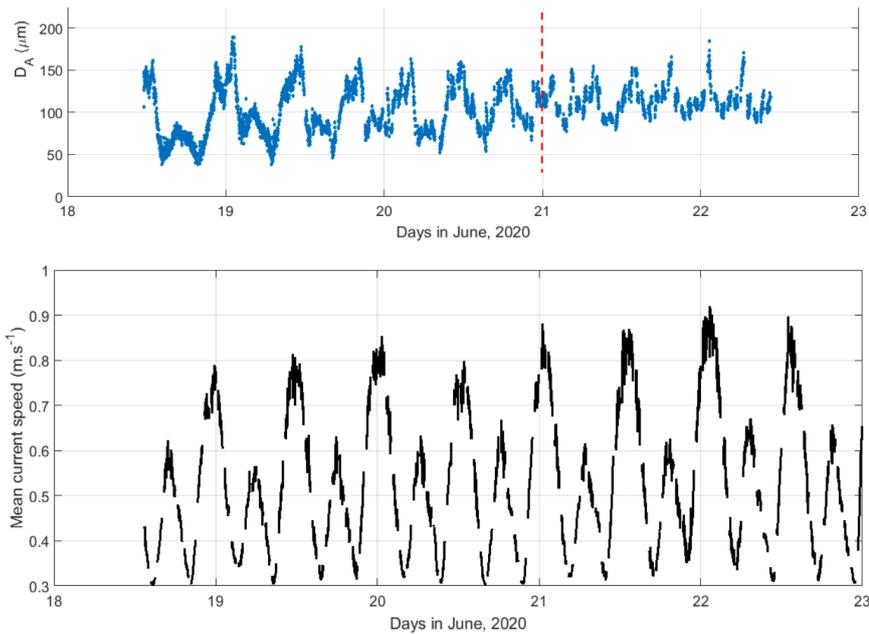


Figure 1.4.5 Premiers résultats obtenus lors du déploiement du 18 juin 2020 : diamètre moyen des particules, vitesse moyenne sur toute la colonne, entre le 18 juin et le 25 juin.

On peut constater que le diamètre moyen des particules est en relation avec la marée : à marée haute la vitesse est plus importante et les particules sont de plus grosse taille, et à marée basse les vitesses sont les plus faibles avec aussi des particules de plus petite taille. Les analyses à l'aide des signaux optiques ont permis d'extraire un indicateur dont la valeur indique la dominance en particules organiques ou minérales (pour ne pas alourdir ce rapport, non représenté ici). Le résultat a été que les particules en présence lors de ce déploiement étaient surtout de nature minérale.

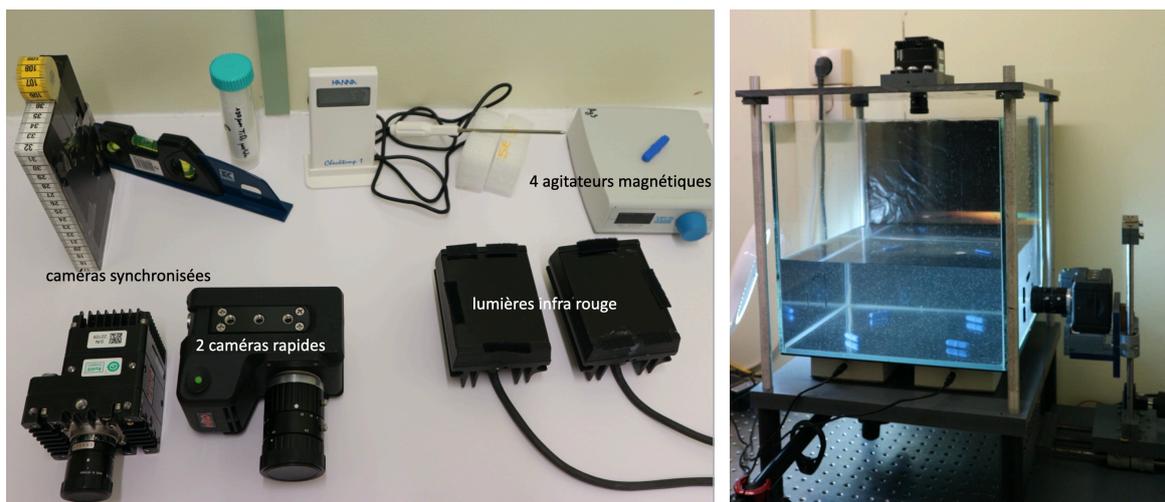


Figure 1.4.6 Les différents éléments utilisés pour l'expérience en laboratoire : caméras rapides, agitateurs magnétiques, lumières infrarouge. A droite : le système utilisé pour générer la turbulence, avec 4 agitateurs situés sous l'aquarium.

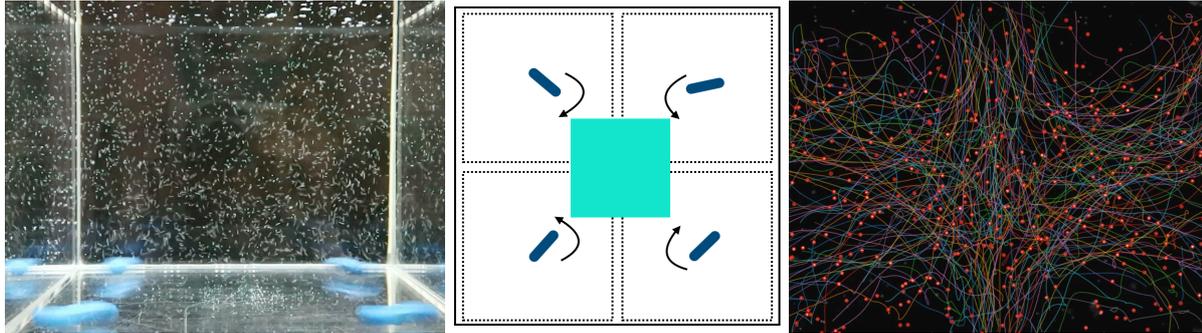


Figure 1.4.7 Exemple d'utilisation du système avec des particules. Au centre : schéma du système. A droite : identification des particules par le logiciel écrit en python, et suivi de la dynamique de ces particules, et de leurs trajectoires.

Activités en laboratoire

La seconde phase, en laboratoire, de cette action, se focalise sur la relation entre copépodes et turbulence. Les copépodes, petits crustacés planctoniques, occupent une place fondamentale dans le réseau trophique côtier, étant intermédiaires entre le phytoplancton et les larves de poisson. Pourtant, malgré plusieurs décennies de recherche, les relations entre turbulence et copépodes sont encore mal connues. On ne sait pas si les copépodes sont attirés par la turbulence, ou alors la fuient, on ne sait pas quel est le seuil de turbulence qui serait éventuellement en jeu pour passer d'un comportement d'attraction à un comportement d'évitement.

Début 2019, dans le cadre du stage de Angela Garzia, un nouveau système pour générer de la turbulence a été construit. La turbulence est générée par un agitateur, et les copépodes ont été éclairés par des lampes infra-rouge, et filmés par une caméra rapide. Les statistiques extraites sont estimées en fonction du taux de turbulence du milieu. Des expériences ont été réalisées avec des copépodes vivants et morts, pour comparaison et mise en évidence du comportement nataoire. Par la suite, ce système a été perfectionné après l'arrivée de Clotilde Le Quiniou. Au lieu d'un seul agitateur, 4 agitateurs ont été utilisés, avec des sens contra-rotatifs de façon à générer un écoulement complexe, symétrique, ayant une zone centrale approximativement homogène et isotrope (figures 1.4.6 et 1.4.7).

Les caractéristiques de ce système sont les suivantes :

- Un aquarium de 35 x 35 cm est utilisé ;
- Deux caméras rapides Phantom sont disposées perpendiculairement (voir la figure 1.4.6) ;
- Au moment des prises de vue, le système est placé dans l'obscurité, éclairé par des lumières infrarouge (figure 1.4.6), de façon à éviter le phototropisme des copépodes ;
- La turbulence est générée par les agitateurs placés sous l'aquarium.

Il s'agit de la première expérience menée du comportement des copépodes avec des caméras rapides, sous l'effet de la turbulence, et avec des lumières infrarouges.

Les agitateurs ont différentes rotations, indiquées par un système numérique précis. La fréquence de rotation est reliée au niveau de turbulence, et donc au nombre de Reynolds qui caractérise l'écoulement turbulent. Plus les agitateurs tournent vite, plus la turbulence est d'un

niveau élevé. Pour les vitesses les plus rapides, le niveau de turbulence correspond à celui rencontré dans le milieu marin (figure 1.4.8a-b).

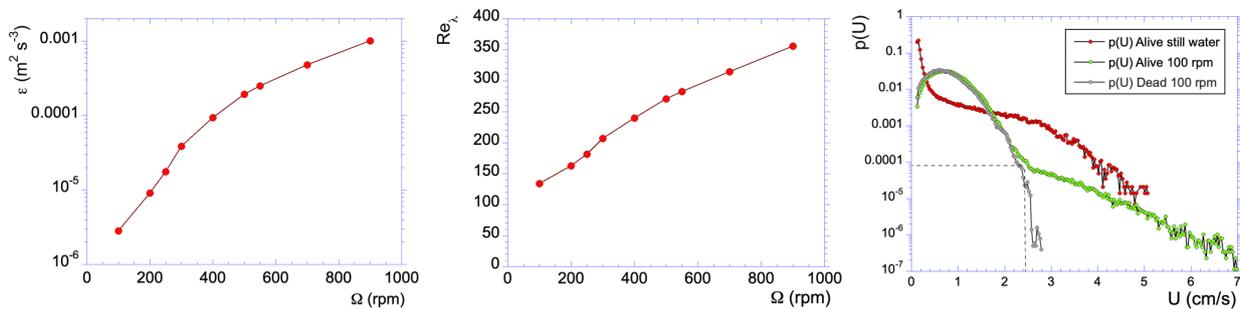


Figure 1.4.8 A gauche, le taux de dissipation moyen obtenu dans le système, pour différents niveaux de rotation des agitateurs. Au centre, le nombre de Reynolds, qui prend différentes valeurs rencontrées dans le milieu marin (mer épicontinentale, jusqu'à zone de surf). A droite la densité de probabilité de la vitesse des copépodes morts (gris) et vivants (vert), montrant à partir d'un certain seuil, une différence, correspondant à leur comportement natatoire.

Ensuite les caméras rapides enregistrent des images, à haute fréquence (1000 images par seconde). Cette haute fréquence permet de capturer les sauts réalisés par les copépodes. Un programme python, mis en place en collaboration avec Yongxiang Huang (Xiamen University) permet d'extraire des images les particules représentant les copépodes, et de les suivre, ce qui permet de sauvegarder des portions de trajectoires. Par la suite un traitement du signal approprié, utilisant un filtrage, permet d'extraire de ces portions de trajectoire (figure 1.4.8c), la vitesse et l'accélération des particules. Un total de l'ordre de 10.000 copépodes a été utilisé, pour réaliser les mesures à différentes rotations et donc différents nombres de Reynolds.

Le résultat principal obtenu est que, à relativement faible nombre de Reynolds, on constate une différence dans la densité de probabilité de la vitesse, entre copépodes vivants et copépodes morts, montrant une activité natatoire (figure 1.4.8c). Pour des nombres de Reynolds plus élevés, cette différence disparaît. Ceci est une mise en évidence directe d'un effet de dôme dans la réaction des copépodes à la turbulence.

Conclusions et perspectives

Concernant les travaux d'observation in situ, ces premiers résultats permettent de mieux comprendre comment utiliser le signal rétrodiffusé par le Signature 1000. A terme nous pourrions adjoindre un seul équipement optique et, via un traitement du signal adéquat, savoir identifier la nature organique ou minérale des rétrodiffusions issues de cet instrument. Ensuite, dans nos perspectives, cet instrument sera déployé à la sortie d'estuaires pour suivre les larves de poisson et leur comportement en relation avec la marée.

Concernant les travaux expérimentaux en laboratoire, les premiers résultats mettent en évidence un comportement natatoire des copépodes pour une turbulence modérée, ce comportement disparaissant pour des niveaux de turbulence plus importants. Ceci met en évidence un effet de dôme, comme souvent supposé dans la littérature, mais jamais montré directement. Nos perspectives portent sur l'extraction de trajectoires 3D, et aussi sur des

analyses complémentaires des trajectoires : influence de l'intermittence, dynamique multi-échelles des trajectoires. Le système AGITURB peut également être utilisé pour des expériences portant sur la réaction du phytoplancton dans un système turbulent.

Valorisations

Stages :

Angela Garzia (février-juin 2019, 5 mois) : « Coupling between turbulence and plankton : laboratory experimentations and in situ measurements », Stage de Master 2, FOGEM, Université de Lille et Université de Salengro, Italie. (encadrement F. Schmitt).

Hanh Nguyen (février-juin 2020, 5 mois) : « Turbulence influence on plankton behaviour: laboratory experimentations and in situ measurements », Stage de Master 2, Water Environment Oceanography - WEO, Université des Sciences et Technologies de Hanoi. (encadrement F. Schmitt & A. Sentchev).

Amélie Chedru (12 avril-21 mai 2021, 6 semaines) : « Effets de la turbulence sur la croissance et la morphologie des diatomées », stage de M1 (co-encadré avec Emilie Houliez et Urania Christaki).

Ken Kivuvu Lubaga (mai-juin 2021, 8 semaines) : « Etude expérimentale d'un écoulement turbulent en laboratoire : aspects Eulériens », stage de 4^e année de Polytech Lille (co-encadré avec Enrico Calzavarini).

Johnny Nam (mai-juin 2021, 8 semaines) : « Etude expérimentale d'un écoulement turbulent en laboratoire : aspects Lagrangiens », stage de 4^e année de Polytech Lille (co-encadré avec Enrico Calzavarini).

Post-doc :

Sarah Guilbaud (février-juin 2019, 4 mois) : Turbulence-plankton coupling : experimental and in situ measurements and analysis (direction: F. Schmitt).

Clotilde Le Quiniou (novembre 2019 – juin 2020, 8 mois) : Turbulence-plankton coupling : experimental and in situ measurements and analysis (direction: F. Schmitt).

Emilie Houliez (janvier 2020 – décembre 2020, 12 mois) : Diatomée et turbulence : étude expérimentale (direction: F. Schmitt, U. Christaki).

Présentation orale ou poster à des conférences internationales et nationales :

Schmitt, F. G., C. Le Quiniou : « Analyse expérimentale de l'influence de la turbulence sur le plancton: construction d'un système pour générer la turbulence: le AGITURB », Journée MARCO 2020, 10 décembre 2020. (présentation orale online)

Le Quiniou C., Schmitt F. G., Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides, 24^{ème} Rencontre du Non-linéaire, Paris, 24-26 mars 2021. (poster)

C. Le Quiniou, F.G. Schmitt, E. Calzavarini, S. Souissi, Y. Huang, Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021. (présentation orale)

Le Quiniou, C., Schmitt, F.G., Huang, Y., Calzavarini, E., and Souissi, S.: Copepods in turbulence: laboratory velocity and acceleration studies using high speed cameras, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-4860 (presentation orale online) <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-4860>

Le Quiniou C., F. G. Schmitt, Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, "Comparisons of alive and dead copepod velocity statistics in various turbulence intensities: laboratory study using high speed cameras", *American Geophysical union Fall meeting*, New Orleans, 13-17 December 2021. (poster)

Le Quiniou C., F. G. Schmitt, Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, « Copepod behaviour in turbulence: laboratory study using a high-speed camera », Ocean Sciences Meeting, virtual conference, 27 February-4 March 2022. (presentation orale online)

Schmitt, F.G., Le Quiniou, C., Huang, Y., Calzavarini, E., Souissi, S., Houliez E., Christaki U., The Agiturb laboratory turbulence generation system and its application to plankton studies: zooplankton and phytoplankton, EGU General Assembly 2022, hybrid, 23–27 May 2022, EGU22-8638 (presentation orale) <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8638>.

Présentations orales à des groupes de travail :

François G Schmitt, Clotilde Le Quiniou: « AGITURB and applications : the turbulence experimental system of Wimereux and associated projects », Présentation interne à l'équipe 3 du LOG, 25 septembre 2020.

François G Schmitt, Guillaume Fromant: « MTP-FAO, Mesure turbulence-plancton et fusion d'informations acoustiques et optiques », Présentation interne à la SFR Campus de la mer, 1^{er} décembre 2020.

François G Schmitt, Clotilde Le Quiniou: « Analyse expérimentale de l'influence de la turbulence sur le plancton : construction d'un système pour générer la turbulence : le AGITURB », Journée MARCO 2020, 10 décembre 2020.

Article :

Le Quiniou, C., Schmitt, F.G., E. Calzavarini, **S. Souissi,** Y. Huang, Copepod swimming activity and turbulence intensity study in the Agiturb turbulence generator system, *European Physical Journal Plus*, 137, 250, 2022. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-02455-7>.

Séminaires invités:

Clotilde Le Quiniou : « Du photosystème I au couplage entre plancton et turbulence », Séminaire du LOG, 12 février 2020.

Clotilde Le Quiniou, François G Schmitt : « Copepods in turbulence : how to benefit from a chaotic environment ? », Séminaire de l'Unité de Mécanique de Lille, zoom seminar, 14 décembre 2020.

Effet levier : projets venant en accompagnement

« MTP-FAO, Mesure turbulence-plancton et fusion d'informations acoustiques et optiques », Projet SFR Campus de la mer action 2020-6 : PI Alexei Sentchev, Guillaume Fromant, participants F. Schmitt, C. Le Quiniou. 3900 € (année 2020).

« Construction de 3 AGITURB pour expérimentation turbulente sur le phytoplancton », Projet SFR Campus de la mer action 2020-8 : PI François Schmitt, Urania Christaki, participation C. Le Quiniou. 2000 € (année 2020).

« Effets de la turbulence sur la toxicité et la prolifération du phytoplancton : TURBU-DIATOX », Projet CNRS LEFE 2021 : PI Urania Christaki, François Schmitt, participation C. Le Quiniou, E. Houliez. 18650 € (2020-2021).

« Effets de la turbulence sur la morphologie et la physiologie des diatomées du genre *Pseudo-nitzschia* spp. », financé par le GDR Phycotox (PI Emilie Houliez) : 2500 € (2021)

Axe 2: Structure, fonctionnement et dynamique des écosystèmes

Action 2.1 : Biogéochimie et interactions avec la biodiversité

Participants

Permanents : L. Denis, S. Gontharet, G. Duong, J. Caillaud, S. Philippe, S. Lefebvre, F. Gevaert, F. Goulard, A. Héquette

Post-doctorant : F. Cesbron (Post-Doc Marco 6 mois)

Doctorants : B. Voltz, M. Meresse

Stagiaires : E. Lefranc (Master 1, 2 mois), G. Tueux (Master 1, 2 mois), J. Roth (Master 1, 2 mois), M. Meresse (Master 1, 2 mois), stagiaires de Licence ou satges libres

Résumé des activités

A la confluence des domaines océanique, terrestre et atmosphérique, le système côtier intertidal est une zone fortement exploitée mais dont le fonctionnement est paradoxalement mal connu car fort complexe. La caractéristique principale du domaine intertidal est la diversité des processus qui s'exercent dans les sédiments superficiels à des échelles de temps très courtes : alternance immersion/émersion, déferlement, variations élevées des paramètres abiotiques : (température, lumière, salinité, potentiel redox, minéralogie, granulométrie, contenu en eau et en matière organique, contaminants...) et biotiques (production primaire, intensité de l'activité des bactéries et de l'endofaune). Ceci est encore plus vrai pour les zones estuariennes, où les gradients mer/fleuve gouvernent une majeure partie des mécanismes du cycle du carbone et des éléments dissous. C'est typiquement dans ce contexte que cette action avait pour objectif de mieux comprendre les processus mis en jeu dans l'interaction entre la biogéochimie des sédiments superficiels et la biodiversité des macro- et micro-organismes présents dans les estuaires picards étudiés, l'estuaire de la Canche et celui de l'Authie.

Les processus d'échanges de matières dissoutes (CO₂, O₂, composés azotés) entre le sédiment, l'eau, l'air, et les organismes benthiques en domaine intertidal ont été plus spécifiquement étudiés en fonction de différents types de substrats (meubles cohésifs et perméables) et de leur caractéristiques sédimentologiques, telles que définies dans le sous axe 1-2 (Cartographie des sédiments côtiers) complémentaire de cette action 2-1. Les mécanismes ayant un lien direct avec le cycle du carbone, en particulier la production primaire et la minéralisation du carbone organique, ont été au centre de nos préoccupations, mais les conditions géochimiques ambiantes et le contexte sédimentaire ont aussi été analysés. Nous avons donc étudié ces mécanismes sur des stations jugées représentatives des différents types d'habitats, du chenal sableux aux vasières nues et au schorre végétalisé.

Pour chacun de ces habitats, après l'établissement des principaux mécanismes mis en jeu lors de la production et la minéralisation de carbone, par l'intermédiaire d'expérimentations, qui permettront aussi de définir les principales variables forçantes du système et comment elles agissent.

Au sein de l'action 2.1, de nombreux travaux ont été réalisés au niveau de trois estuaires picards (Authie, Canche notamment) durant la période 2017-2020, en particulier dans le cadre de la thèse de Baptiste Voltz (2017- 2020) qui a travaillé sur la minéralisation de la matière organique. En revanche, le volet de production primaire n'a pas pu être abordé dans le cadre de ce travail de doctorat, et fait l'objet du Doctorat en cours de Marvin Meresse (2020-2023). Sur la base des données acquises dans le sous-axe 1-2 (Cartographie des sédiments côtiers), un transect s'étendant de la partie la plus haute de l'estran (prés-salés ou schorre) au chenal du fleuve en passant par la vasière nue (slikke), a été étudié pour l'estuaire de la Canche et de l'Authie, avec une étude approfondie des mécanismes de minéralisation dans ces sédiments superficiels intertidaux. Les mécanismes de production primaire sont abordés principalement en Baie de Canche, mais en conservant les mêmes types d'habitats comme cibles de nos investigations.

Lors de ces campagnes, nous avons notamment mis en œuvre au laboratoire ou sur le terrain les appareillages acquis dans le cadre du projet Marco. Il est néanmoins à souligner que la pandémie nous a contraint à sensiblement diminuer le nombre de campagnes de terrain, tout particulièrement parce que le printemps est une période clef du fonctionnement des écosystèmes et que les prélèvements ont été impossibles au printemps 2020.

Equipements acquis

- Analyseur élémentaire CHNS
- Enceintes thermostatées et chambres climatiques
- Analyseur de CO₂ dissous – analyseur de CO₂ gazeux
- Micromanipulateur de laboratoire
- Capteur de lumière active pour la photosynthèse (PAR)
- Analyseur de Carbone Inorganique dissous
- Benthos-Torch – micro-optodes
- Titrateur automatique
- Etuve

Travaux réalisés

En ce qui concerne les processus de minéralisation à l'émersion, les échanges d'oxygène et de CO₂ mesurés lors des incubations montrent des allures parfaitement semblables, même si la variabilité spatiale observée pour les flux de dioxyde de carbone est plus élevée que pour les flux d'oxygène. Néanmoins, il est clair que l'intensité de la minéralisation de la MO est nettement plus faible dans les stations chenal. Si les vasières montrent des valeurs moyennes de minéralisation de la MO plus élevées que sur le schorre, la différence entre ces deux zones est moins marquée, principalement en raison de la forte variabilité enregistrée en termes de flux de CO₂ sur les vasières et le schorre. Sur le schorre, la variabilité s'explique par l'hétérogénéité du substrat et l'importance des végétaux supérieurs qui occupent cette zone, alors que sur la vasière, la variabilité est probablement due à l'hétérogénéité de la répartition de la MO et des macroorganismes. L'échantillonnage des zones intertidales donne une bonne image des caractéristiques des sédiments superficiels et de la répartition de la MO dans le continuum

chenal – slikke –schorre. Avec ces bases de données, nous montrons que les fonctionnements des baies de Canche et d’Authie sont semblables, à ceci près qu’une zone de schorre peu végétalisée, intermédiaire entre la vasière et le schorre végétalisé est identifié en baie d’Authie, et absente en baie de Canche. Nous mettons aussi en évidence un gradient des processus de dégradation de la MO très net entre le chenal principal, les vasières et le schorre végétalisé (station intermédiaire typique présente seulement en Baie d’Authie et Schorre) (figure 2.1.1).

Sur ce même paramètre des échanges d’oxygène à l’interface eau-sédiment, des expérimentations effectuées à différentes saisons au printemps et en été (figure 2.1.2), permettent de mettre en évidence des évolutions temporelles assez peu marquées, mise à part une station localisée en Baie d’Authie (Station 1A) qui était caractéristique d’une station sableuse de bordure de chenal au printemps, mais qui a subi un dépôt massif de particules fines, entre le printemps et l’été 2019. La réponse observée dans cette station était donc typique d’une vasière avec accumulation de matière organique. Cette évolution, certes ponctuelle, illustre bien d’influence de l’évolution des méandres du chenal principal dans la zone estuarienne sur le fonctionnement des écosystèmes intertidaux adjacents.

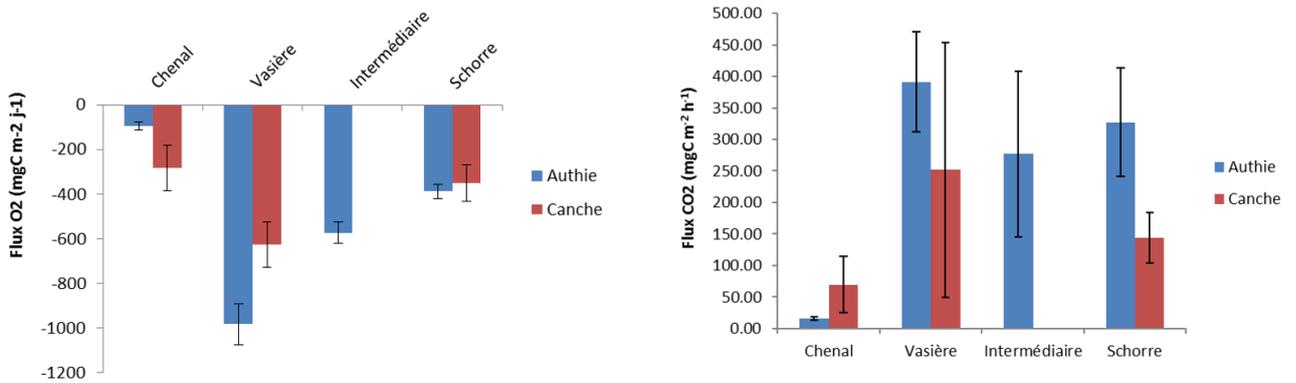


Figure 2.1.1 Flux d’oxygène (à gauche) et de dioxyde de carbone (à droite) obtenus par la méthode d’incubation de carottes à l’immersion dans les différentes stations de la Baie de Canche et de la Baie d’Authie.

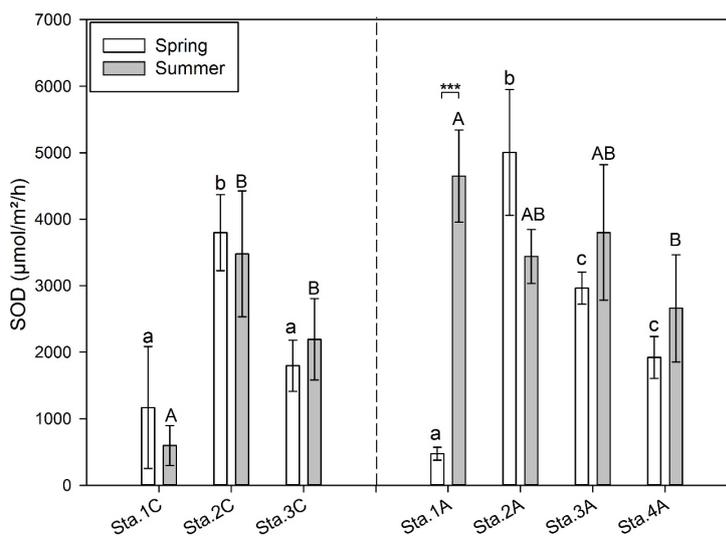


Figure 2.1.2 Evolution temporelle entre le printemps (avril 2019, en blanc) et l’été (Août-sept 2019, en grisé) des flux d’oxygène à l’immersion dans les différentes stations de la Baie de

Canche (1C : Chenal sableux, 2C : Vasière, 3C Schorre) et de la Baie d'Authie (1A : Chenal sableux, 2A : Vasière, 3A, Bas schorre-intermédiaire, 4A : Schorre).

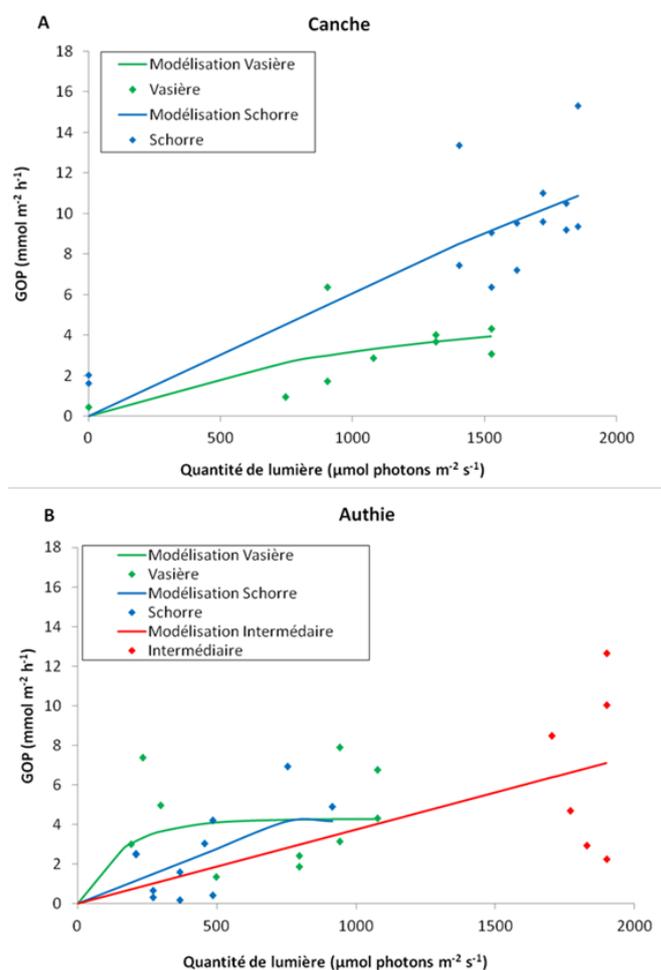


Figure 2.1.3 Courbes photosynthèse-énergie (courbe PE) montrant l'évolution de la production d'oxygène nette : GOP (Gross Oxygen Production) en fonction de la quantité de lumière incidente. Courbes PE réalisées sur les données de flux d'oxygène intégrés par profils sur les sites Vasière et Schorre de la baie de Canche (A) et sur les sites Vasière, Intermédiaire et Schorre de la baie d'Authie (B).

Outre les mécanismes de minéralisation de la matière organique, les processus de production primaire ont aussi été étudiés, en particulier la production primaire microphytobenthique. Sur l'ensemble des sorties de terrain, 114 profils d'oxygène ont été réalisés simultanément à l'analyse des processus de minéralisation, afin de mesurer la production microphytobenthique et 90 ont pu être exploités. Par cette approche, nous avons pu mettre en évidence la présence de production primaire par les microalgues (microphytobenthos) dans les sédiments superficiels des vasières, de la station intermédiaire (en Authie) et du schorre, tant en Baie de Canche que d'Authie. L'intensité de la production dépend directement de la quantité de lumière incidente et ses caractéristiques peuvent être décrites au travers des courbes P/E (Photosynthèse / Energie incidente, [figure 2.1.3](#)). Il est à noter qu'aucune production significative n'a pu être mise en évidence sur les stations localisées dans les chenaux, ce qui est en accord avec les très faibles quantités de chlorophylle relevées sur ces sites, et suggère donc la quasi absence de production

dans ces sites. En revanche, il est à noter que les stations localisées sur le schorre ont des capacités de production microphytobenthique tout aussi élevées que celles enregistrées sur les vasières. Bien que des différences dans les caractéristiques des courbes P/E apparaissent, elles sont principalement liées au fait que les différentes quantités de lumière incidente n'étaient pas observées au cours de chaque journée (journées plus nuageuses, marée basse tardive...). Il convient donc de considérer que les caractéristiques de production des communautés microphytobenthiques sont semblables entre les sédiments de la vasière et du schorre, ce qui suggère que les communautés présentes sont semblables. La principale différence entre les sites vasière et schorre serait donc la quantité d'énergie lumineuse disponible à la surface des sédiments, plus faible sur le schorre en raison de la végétation supérieure rencontrée sur le schorre, qui utilise une majeure partie de cette énergie lumineuse et provoque un important ombrage sur le sédiment en raison de la présence de ces plantes dressées.

Par ailleurs, des études expérimentales effectuées sur des sédiments ramenés au laboratoire et soumis à des intensités croissantes de lumière ont permis de démontrer que la réponse physiologique du microphytobenthos est largement liée au positionnement des sédiments le long du gradient amont/aval au sein de l'écosystème intertidal de l'estuaire de la Canche. Pour mettre en évidence ces mécanismes, nous avons tout d'abord mesuré la salinité lors de l'étal de marée haute dans l'estuaire de la Canche, puis avons effectué des prélèvements de sédiment dans chacune des 3 zones (amont/intermédiaire/aval). L'analyse expérimentale des capacités de production primaire benthique (donc en lumière contrôlée) montre que les communautés microphytobenthiques situées en aval de l'estuaire ont capacité de production beaucoup plus élevée, mais sont aussi plus adaptées pour produire dans des conditions de faible luminosité. En revanche, les stations situées plus en amont montrent une moindre performance en termes de production, et en plus sont peu efficaces aux faibles niveaux de luminosité. Si les communautés des sédiments intermédiaires montrent aussi une faible efficacité pour les faibles éclaircements, les niveaux maximaux de production sont intermédiaires entre sédiments amont et aval.

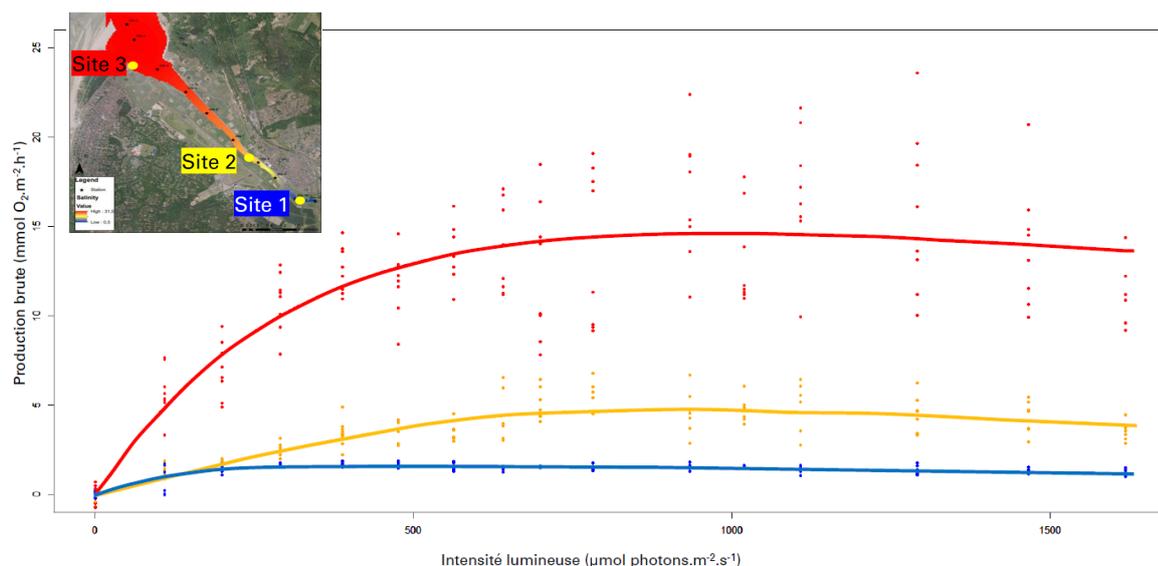


Figure 2.1.4 Courbes photosynthèse-énergie (courbe PE) montrant l'évolution de la production brute d'oxygène : en fonction de l'intensité lumineuse incidente obtenue au laboratoire en conditions contrôlées de température, humidité, et intensité lumineuse. Ces courbes PE ont été calculées sur la base des données de flux d'oxygène intégrés par profils verticaux sur les sites 1, 2 et 3 de la baie de Canche (constituant un gradient

amont/intermédiaire/aval. Les différents points pour une intensité donnée correspondent à des réplicats permettant de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale à petite échelle.

Tableau 2.1.1 Bilan général (en tonnes de C) de la minéralisation benthique dans les estuaires de la Canche et de l'Authie en tenant compte du temps relatif d'immersion et d'émersion pour la saison printanière (20/03/2019 au 21/06/2019) et estivale (21/06/2019 au 23/09/2019) en fonction de la superficie des sédiments nus (sédiments perméables + vasières) et des sédiments de la plateforme végétalisée (prés salés).

	Faciès biosédimentaires	Surface (hectare)	Bilan de C minéralisé	
			printemps	tC été
Canche	Sédiment nu (sédiments perméables + vasières)	105	64 ± 44	61 ± 54
	Prés salés	164	215 ± 61	513 ± 143
	Total	269	279 ± 75	574 ± 153
Authie	Sédiment nu (sédiments perméables + vasières)	164	223 ± 46	378 ± 120
	Prés salés	398	1275 ± 378	2113 ± 701
	Total	563	1498 ± 380	2491 ± 711

En conclusion de ces travaux, nous avons pu établir des bilans de la minéralisation carbonée, prenant en compte non seulement les surfaces couvertes par chacun des faciès, mais aussi les alternances immersion/émersion relatives au cycle des marées ainsi qu'au cycle jour/nuit. Cependant, si nous disposons d'ores et déjà d'estimation des niveaux de production primaire microphytobenthique, il nous semble prématuré d'intégrer la production microphytobenthique dans les bilans, et des travaux sont actuellement en cours (doctorat de M. Meresse) afin de combler ces lacunes. A ce stade, toutefois, les calculs montrent que les sédiments nus (chenal et slikke) de la Canche et de l'Authie minéralisent pendant la saison printanière environ 64 et 223 tC respectivement, alors que le schorre minéralise pendant les mêmes périodes 215 et 1275 tC. Les mêmes mesures effectuées en été montrent une augmentation nette des bilans de carbone minéralisés (61 et 378tC sur les sédiments nus, 513 et 2113tC sur le schorre, respectivement pour la Canche et l'Authie).

Perspectives

L'échantillonnage des zones intertidales donne une bonne image des caractéristiques des sédiments superficiels et de la répartition de la MO dans le continuum chenal – slikke –schorre. Avec ces bases de données, nous montrons que les fonctionnements des baies de Canche et d'Authie sont semblables, à ceci près qu'une zone de schorre peu végétalisée, intermédiaire entre la vasière et le schorre végétalisé est identifié en baie d'Authie, et absent en baie de Canche. Nous mettons aussi en évidence un gradient des processus de dégradation de la MO très net entre le chenal principal les vasières et le schorre végétalisé.

Néanmoins, si toutes les données accumulées ne sont pas encore totalement exploitées, nous avons d'ores et déjà relevé la nécessité de travailler sur les « mares » de chasse localisées dans

chacun des deux estuaires, car les surfaces couvertes sont loin d'être négligeables, et nous avons pu observer que le fonctionnement de ces mares, entretenues pour la plupart, disposant de conditions de production primaire idéales, est très particulier. Ces systèmes doivent probablement être le siège d'une très forte production primaire, et il serait particulièrement intéressant de quantifier l'importance de ces structures dans le fonctionnement biologique de l'estuaire.

En ce qui concerne la production microphytobenthique, des données sont en cours d'acquisition afin de disposer d'une vision plus synoptique sur le système étudié. L'objectif de standardiser la procédure de détermination de l'efficacité photosynthétique en utilisant la fluorescence modulée (PAM) et les microélectrodes est maintenant atteint. Ce travail devrait permettre d'intégrer au bilan fourni l'effet de la production du microphytobenthos, ce qui semble primordial au regard de l'influence du gradient de salinité dans la répartition de la production le long de l'estran.

Valorisations

Stages:

Guillaume Tueux (mai-juin 2021, 2 mois) : « La production microphytobenthique dans la zone intertidale estuarienne de la Canche », Stage de Master 1, BEE, Université de Lille. (encadrement L. Denis).

Justine Roth (mai-juin 2021, 2 mois) : « Le quotient respiratoire : estimation et variabilité dans les communautés intertidales de Manche Orientale », Stage de Master 1, BEE, Université de Lille. (encadrement L. Denis).

Eugénie Lefranc (mai-juin 2021, 2 mois) : « Quantification de la dégradation de la matière organique dans les sédiments intertidaux et influence de la laisse de mer », Stage de Master 1, BEE, Université de Lille. (encadrement L. Denis).

Doctorants:

Baptiste Voltz (Doctorat) : « Bilan de la matière organique au sein des sédiments estuariens de Manche Orientale : Apports, production et reminéralisation ». Encadrement L. Denis (directeur) et S. Gontharet (co-encadrante). Cofinancement ULCO-Région. Thèse 2017-2020. Soutenue publiquement le vendredi 11 décembre 2020.

Marvin Meresse (Doctorat) : « Dynamique des mécanismes de production microphytobenthique dans les estuaires picards au regard des forçages anthropiques et naturels. » Financement MENESR. Thèse 2020-2023. En cours.

Post-doc :

Florian Cesbron (février –août 2019, 6 mois) Environmental Marine Biogeochemistry – Exchanges at the Sediment-water and sediment-air interfaces” (Démission pour recrutement Poste de Mdc, CNAM, Cherbourg – Direction L. Denis)

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

Voltz, B., Duong, G et al. (2019). Minéralisation benthique dans l'estuaire de la Canche et de l'Authie. Journée CPER MARCO, 10 Octobre 2019, Boulogne-sur-mer, France.

Voltz B, Denis L, Gontharet S, Duong G, Artigas LF, Courcot L, Delegrange A., Crouvoisier M., Tallobre C., Cornille V., Henry F., Philippe S. (2019). Variation spatiale des caractéristiques sédimentologiques, géochimiques et biologiques des sédiments de surface provenant de trois estuaires picards de la région Hauts-de-France. Congrès Avenir Littoral 13-14 mars 2019.

Article :

Voltz B., Denis L., Duong G., Santoni A-L. Artigas F., Cornille V., Henry F., Mathieu O., Tallobre C., Gontharet S.
(2021) A multiproxy study of intertidal surface sediments from two macrotidal estuarine systems (Canche, Authie) in northern France: Insights into environmental processes. Cont. Shelf Res. 230 : 104554.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104554>

Effet levier :

- F. Cesbron : Post-Doctorant dans le cadre du projet Marco de février à août 2019, de retour des USA, a été recruté pendant son Post-Doc au CNAM Intechmer en tant que MCF.
- B. Voltz : Doctorant dans le cadre du projet Marco de 2017 à 2020, a été recruté en CDI dans une entreprise privée en lien avec la dégradation de la matière organique dès la fin de son Doctorat.

Action 2.2 : Activité photosynthétique et production primaire

Participants

Responsables : Fabrice Lizon (MCF LOG) & François Gevaert (MCF LOG)

Permanents : Sébastien Lefebvre (PR LOG), Dominique Menu (AI LOG), Gwendoline Duong (IE LOG)

Doctorants : Monica Michel-Rodriguez, Florian Douay

CDD MARCO : Emeline Lebourg (IE CDD)

Stagiaire: Marvin Meresse (Stagiaire M2)

Résumé des activités

L'objectif de cette action est de comprendre la réponse des micro-algues et des macro-algues à la variabilité des changements environnementaux (intensité de l'éclairement et sa qualité, température ...) dans les écosystèmes marins côtiers soumis à un fort hydrodynamisme ; réponses en termes de régulation, d'acclimatation et/ou d'adaptation (photoprotection, photoacclimatation ou détoxification).

Dans le cadre de cette action et **concernant les microalgues**, les travaux réalisés se sont focalisés sur l'étude de la variabilité spatiale (à l'échelle de la Manche) d'une part et temporelle (à l'échelle saisonnière) d'autre part, de la dépendance spectrale de l'activité photosynthétique des microalgues en conditions non contrôlées de lumière (*in situ*). Avec l'acquisition d'un fluorimètre de type MultiColor PAM (Walz), nous avons étudiée la variabilité des relations photosynthèse-lumière pour cinq qualités/couleurs de lumières différentes. Etant donnée la complexité des résultats obtenus, nous avons combinés trois types d'outils statistiques pour analyser la dépendance spectrale de la photosynthèse chez les microalgues, afin de comprendre le lien fonctionnel entre les paramètres photosynthétiques des microalgues et la qualité du climat lumineux régnant dans différentes masses d'eau d'un écosystème côtier tempéré et pour des saisons différentes. Cette étude a été conduite via des échantillonnages effectués sur une grande campagne labellisée DCSMM-Ministère de l'Ecologie et depuis l'estran de Wimereux conjointement à des prélèvements journaliers effectuées en mer sur navire de Station. Ces travaux ont été réalisés de façon connexe avec l'axe 1.1 dans le cadre de la thèse de M. Michel-Rodriguez (bourse MESR) et avec le soutien d'un ingénieur d'étude (CDD MARCO). Les travaux concernant la dépendance spectrale des communautés naturelles de microalgues à l'échelle de la Manche ont été publiés en 2021 (Michel-Rodriguez et al, 2021), ceux concernant la variabilité saisonnière seront soumis très prochainement pour publication.

Concernant les macroalgues, des travaux ont été réalisés sur des communautés à Fucales (*Fucus serratus*) pour tester la complémentarité des thalles de la canopée dans l'utilisation de la lumière pour la production photosynthétique pendant l'émersion, à la fois en Manche occidentale (Roscoff) et orientale (Wimereux). Des mesures ont ainsi été effectuées tout au long de la période d'émersion des thalles et à différentes saisons. Il apparait clairement qu'au sein de la communauté, les thalles jouent des rôles complémentaires. En particulier, les thalles à la surface de la canopée assurent la protection des thalles sous-jacents, en particulier lors de la période estivale, en formant une barrière aux radiations lumineuses directes et en maintenant un certain

degré d'humidité nécessaire au métabolisme des thalles des couches inférieures. Ces thalles de surface, en partie impactés par l'exposition à de forts éclaircissements et températures, parviennent néanmoins à faire face à ces stress en activant des mécanismes de photoprotection. Ainsi, les canopées de *Fucus serratus* modifient les conditions environnementales et atténuent les niveaux de stress subis dans les couches inférieures du même peuplement lors de l'émersion, tandis que diverses stratégies d'acclimatation permettent l'ajustement de sa capacité photosynthétique. La présente étude montre l'importance de l'effet d'atténuation de la canopée et de l'acclimatation biochimique dans la physiologie de cette espèce d'eaux tempérées froides et sa capacité à résister aux stress environnementaux.

Equipements acquis

- Fluorimètre MultiColor PAM Walz (37 k€)
- Chromatographie liquide haute performance HPLC (39 k€)
- Fluorimètre de terrain immergeable Monitoring PAM (25 k€)
- Deux fibres optiques pour fluorimètre Diving-PAM (2 k€)
- Analyseur en imagerie 2D Visisens pour la mesure des échanges gazeux d'oxygène et de CO₂ (10 k€)
- Analyseur de gaz par infra rouge (IRGA LI-830) pour la mesure de la fixation du CO₂ (13 k€)

Travaux réalisés

Concernant les microalgues, la question posée au départ de notre étude était : les communautés naturelles de microalgues présentent-elles des propriétés photosynthétiques en résonance avec la qualité du climat de lumière disponible dans les eaux des écosystèmes côtiers tempérée ? Les eaux côtières de ces systèmes sont en effet soumises à des apports fluviaux plus ou moins importants selon les saisons et les années, qui se diluent plus ou moins le long des gradients environnementaux côtes-large, et changent ainsi les équilibres spectraux de la lumière dans l'eau ; c'est-à-dire les rapports entre les longueurs bleues et rouges par exemple (longueurs d'onde essentiels pour la photosynthèse). Le changement des équilibres climatiques régionaux et des régimes hydrologiques seraient ainsi susceptibles de modifier la turbidité et le climat lumineux des eaux côtières et donc la biodiversité microalgale et par conséquent la productivité des microalgues.

Pour conduire ce travail nous avons fait l'acquisition d'un fluorimètre de type MultiColor PAM (Walz), qui permet d'étudier la relation photosynthèse-énergie lumineuse (PE) à cinq longueurs d'onde différente (440, 480, 540, 590 and 625 nm). Il permet également d'estimer aux mêmes longueurs d'onde la section d'absorption fonctionnelle des photosystèmes II (en nm⁻²), paramètre photophysique appelé communément Sigma_{PSII}. Ce paramètre permet ensuite de relativiser les paramètres photosynthétiques mesurés par les relations PE à la capacité d'absorption de la lumière spectrale des microalgues échantillonnées. Ce sont ces paramètres photosynthétiques dits « absolus » qui peuvent être ensuite étudiés en lien avec la qualité spectrale de la lumière *in situ*, mesuré par un spectroradiomètre de terrain (ici TRIOS Ramses).

Pour répondre à la question posée, nous avons réalisé deux échantillonnages distincts : un premier échantillonnage spatial à l'échelle de la Manche, de Dunkerque à Brest lors des campagnes ECOPEL 2018 (DCSMM-Ministère de l'Ecologie), un second échantillonnage temporel durant l'année 2019 à partir de l'estran de Wimereux, en lien avec un échantillonnage en mer sur le navire de station Sepia II dans le cadre des campagnes d'observation DYPHYRAD (Axe 1.1), sur le gradient environnemental côte-large de la Baie St Jean. L'objectif de cette action était de vérifier les patrons de variation des cycles temporels de la photophysologie étudiée à l'estran avec ceux des masses d'eau libre du milieu côtier. Etant donnée la complexité des résultats obtenus, nous avons combinés trois types d'outils statistiques [des modèles linéaires à effet mixte (LME), des analyses triadiques partielles (PTA) et des analyses de redondance (RDA)] pour analyser la dépendance spectrale de la photosynthèse chez les microalgues afin de comprendre le lien fonctionnel entre les paramètres photosynthétiques des microalgues et la qualité du climat lumineux régnant dans différentes masses d'eau d'un écosystème côtier tempéré et pour des saisons différentes.

Ce travail a permis de montrer la dépendance spectrale de la photosynthèse des communautés naturelles de microalgues et sa variabilité à l'échelle d'un même écosystème côtier tempéré, en conditions de lumière non contrôlées (*in situ*). Spatialement, l'état réel de photoacclimatation des cellules au climat de lumière de la Manche a été caractérisé à travers la comparaison spectrale des paramètres photosynthétiques des relations PE (plus particulièrement l'efficacité d'utilisation de la lumière $\alpha(II)$ en unité absolue) et grâce aux calculs d'indices spécifiques impliquant le paramètre de saturation de la lumière $E_k(II)$ et la lumière moyenne de la couche de mélange (Michel-Rodriguez et al, 2021). L'état de photoacclimatation du phytoplancton a été caractérisé comme un état général de photoprotection aux longueurs d'onde bleu, quel que soit la masse d'eau de cette mer côtière. Temporellement, à l'échelle saisonnière, ce travail a montré que les variations de la dépendance spectrale de la photoacclimatation et de la photorégulation étaient contrôlées par la structure et la succession des communautés phytoplanctoniques. La série temporelle a révélé qu'une photoacclimatation aux fortes lumières avec une optimisation de la capacité photosynthétique maximale ($ETR(II)_{max}$) des cellules était possible au printemps, pendant le bloom de *Phaeocystis globosa*. Ceci a été observé parallèlement à l'activation du cycle rapide des xanthophylles. Pendant l'été, caractérisée par l'augmentation du pool de caroténoïdes photoprotecteurs, l'optimisation de $ETR(II)_{max}$ n'était plus observée. De façon simultanée au changement du mode de photoprotection, une transition brutale de la pente spectrale de la capacité d'absorption fonctionnelle de la lumière ($\Sigma(II)_{625-440}$) a été observé en lien avec une augmentation du quenching non-photochimique ($NPQ_{625-440}$). De plus, à chaque saison, chaque communauté phytoplanctonique aurait une stratégie différenciée pour assurer également une photorégulation/photoacclimatation aux variations du climat de lumière en fonction du cycle de marée, entre haute et basse mer (Michel-Rodriguez et al, en finalisation avant soumission).

En conclusion, ce travail a permis de caractériser pour la première fois en condition de lumière non contrôlée (*in situ*) le lien fonctionnel entre l'absorption réelle de la lumière par les microalgues (via des mesures optiques et des pigments par HPLC), les mécanismes de régulation énergétique photochimique et non-photochimique, la structure des communautés et enfin et surtout la qualité du climat lumineux régnant dans les colonnes d'eau côtières échantillonnées. Ces travaux ont été réalisés de façon connexe avec l'axe 1.1 dans le cadre de la thèse de M. Michel-Rodriguez (bourse MESR) et avec le soutien d'un ingénieur d'étude (CDD MARCO). Les travaux concernant la dépendance spectrale des communautés naturelles de microalgues vont

se poursuivre dans le cadre du nouveau CPER IDEAL qui nous permettra d'acquérir un incubateur spectral multicolore afin d'évaluer sur quelles échelles de temps les communautés naturelles de microalgues répondent à des changements du climat lumineux spectrale.



Figure 2.2.1 Mesures de la fluorescence de la chlorophylle *a* en lumière modulée sur des communautés à *F. serratus*

Concernant les macroalgues, l'algue brune *Fucus serratus* forme des peuplements denses sur les rivages rocheux intertidaux dans les parties basses et abritées des côtes de l'Atlantique Nord-Est. En Manche, ces peuplements se sont révélés très productifs, en particulier pendant les périodes d'émergence. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à l'effet « amortisseur » de la couverture de la canopée, associé aux processus d'acclimatation physiologiques et biochimiques, qui permet à cette espèce de résister au stress de l'émergence. La production primaire de la communauté de *F. serratus* et les performances photosynthétiques des thalles ont été suivies simultanément *in situ*, tout au long de la période d'émergence, en différentes saisons et dans diverses conditions météorologiques. Des échantillons de thalles ont été prélevés à différents stades de la marée afin de déterminer leur contenu en composés biochimiques impliqués dans les mécanismes photoprotecteurs.

L'évolution de l'activité photosynthétique de thalles des strates supérieure et inférieure de la canopée ont ainsi été suivies simultanément au cours de l'émergence *in situ* par des mesures de fluorescence de la chlorophylle *a* en lumière modulée (figures 2.2.1). Le signal de fluorescence a été mesuré au milieu du thalle sur trois individus choisis au hasard parmi les thalles du haut de la canopée et trois autres individus situés dans une couche intermédiaire de la canopée. Les thalles ont été sélectionnés en fonction de l'éclairage incident les atteignant : environ 20 % des PAR incidents dans la couche intermédiaire de la canopée. Le rendement quantique effectif du photosystème II (Φ_{PSII}) a été mesuré sous lumière ambiante. Φ_{PSII} a été calculé comme $(F_M' - F_t)/F_M'$, où F_M' est le niveau maximal de fluorescence mesuré grâce à un flash de lumière saturante (0,8 s), et F_t est le niveau stationnaire de fluorescence mesuré immédiatement avant le flash, sous lumière actinique. Φ_{PSII} permet d'estimer la vitesse relative de transport des électrons (rETR en $\mu\text{mol électrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) comme $\Phi_{PSII} \times \text{PAR} \times 0,5$, où PAR est le rayonnement disponible pour la photosynthèse (en $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$), et 0,5 est un facteur de correction basé sur l'hypothèse que les photons incidents sont absorbés de manière égale par les pigments des deux photosystèmes. rETR a ainsi été estimé depuis le début de la période d'émergence jusqu'au retour de l'eau de mer à des intervalles d'environ 30 min. Le rendement quantique optimal a été mesuré sur des thalles adaptés à l'obscurité pendant 10 min et a été calculé comme $F_v/F_M = (F_M - F_0)/F_M$, où F_v est la fluorescence variable, F_0 est le niveau minimal de fluorescence, et F_M la fluorescence maximale obtenue grâce à l'application d'un flash de lumière saturante

(0,8 s). F_V/F_M permet d'évaluer l'étendue de la photoinhibition et a été mesuré au début, au milieu et à la fin de la période d'émersion.

Pour mesurer leur teneur en eau relative (RWC), six thalles de *F. serratus* choisis au hasard ont été détachés de la roche au début de l'émersion pendant la période d'émersion. Trois ont été placés à l'intérieur de la canopée, les trois autres étant disposés au sommet de la canopée. Le poids (P) de chaque thalle a été mesuré sur le terrain au début, au milieu et à la fin de la période d'émersion. Ramenés au laboratoire, les thalles ont été réhydratés pendant la nuit pour évaluer leur poids frais (PF), puis séchés pendant 48 heures à 60°C pour évaluer leur poids sec (PS). La teneur en eau relative d'un thalle a été calculée comme la partie de la teneur en eau totale $[(P-PS)/(PF-PS)]$ au début, au milieu et à la fin de l'émersion. Pour l'analyse des pigments chlorophylliens et du cycle des xanthophylles, des échantillons de thalles (disques de 8 mm de diamètre) ont été prélevés au début, au milieu et à la fin de la période d'émersion, sur trois individus choisis au hasard au sommet et dans la couche intermédiaire de la canopée puis immédiatement placés dans l'obscurité et congelés dans l'azote liquide jusqu'à l'analyse biochimique ultérieure. Les pigments ont été extraits en broyant les disques dans un mortier froid avec du méthanol et de dichlorométhane sous faible lumière. Les extraits ont été centrifugés (5 min, 13 000 rpm) et les surnageants recueillis puis filtrés sur membranes de PTFE (0,2 µm) et évaporés à sec sous azote. Les sels contenus dans l'extrait ont été éliminés de la solution de pigment dans un mélange de dichlorométhane et d'eau (50:50, v/v). La phase organique contenant les pigments a ensuite été évaporée sous azote puis reprise dans 40 µL de méthanol en vue de l'injection. L'analyse des pigments a été réalisée par chromatographie liquide haute performance (HPLC) (Shimadzu, Nexera XR), équipée d'une colonne phase inverse (C18 Allure, Restek). La conversion de la violaxanthine (V), un pigment sans propriétés photoprotectrices, en anthéranthine (A) et zéaxanthine (Z), pigments impliqués dans la dissipation de l'énergie lumineuse en excès sous forme de chaleur, a été estimée en calculant le taux de dé-époxydation : $DR = (A + Z)/(V + A + Z)$.

Ces mesures ont été réalisées aux quatre saisons, à la fois à Roscoff et Wimereux. En réalisant ces suivis *in situ* de la photosynthèse des thalles des différentes strates de la canopée dans des conditions de luminosité et de température variées (estivale et automnale), nous avons pu montrer que les adaptations morphologiques et physiologiques de *Fucus serratus* lui permettaient d'acquérir une grande quantité de carbone pendant les périodes d'émersion. Ainsi, les *F. serratus* de Roscoff, grâce à leurs thalles dentelés à ramifications pseudo-dichotomiques, longs et vrillés, forment une canopée de structure complexe, laissant passer la lumière entre les strates, et contrairement aux autres communautés de macroalgues, la production de la communauté de *Fucus serratus* est systématiquement plus élevée à l'émersion qu'à l'immersion et ne diminue que d'environ 20 % au cours de l'émersion, période réputée source de stress hydriques et lumineux limitant la photosynthèse des macroalgues intertidales.

Ici sont présentés les résultats d'une manipe type, celle d'aout à Roscoff. Les résultats obtenus démontrent que la production de la communauté, qui est maintenue à un taux relativement élevé, l'est grâce à l'effet modérateur de la canopée sur la température et la lumière et à divers mécanismes d'acclimatation. En effet, comme on peut le voir ici lors de l'émersion dans des conditions difficiles, le rendement quantique effectif (Φ_{PSII}) et l'efficacité de la photochimie du photosystème II mesurée par la vitesse de transport des électrons (rETR) ont considérablement diminué chez les thalles situés au sommet de la canopée (figures 2.2.2a et 2.2.2b). Dans ces conditions, l'efficacité de la photochimie du photosystème II est néanmoins restée élevée dans les thalles situés à l'intérieur de la canopée. La morphologie des thalles de *Fucus serratus* aide à

distribuer les PAR disponibles dans la canopée et protège les tissus photosynthétiques de la canopée du stress de l'émergence. Le rendement quantique optimal (F_v/F_m) a diminué de façon spectaculaire dans les thalles au sommet de la canopée pendant la période d'émergence, atteignant même une valeur nulle tandis que dans les couches intermédiaires de la canopée, le F_v/F_m moyen est toujours resté supérieur à 0,65 (figures 2.2.2c). La photoinactivation du PSII semble principalement gouvernée par la déshydratation du thalle.

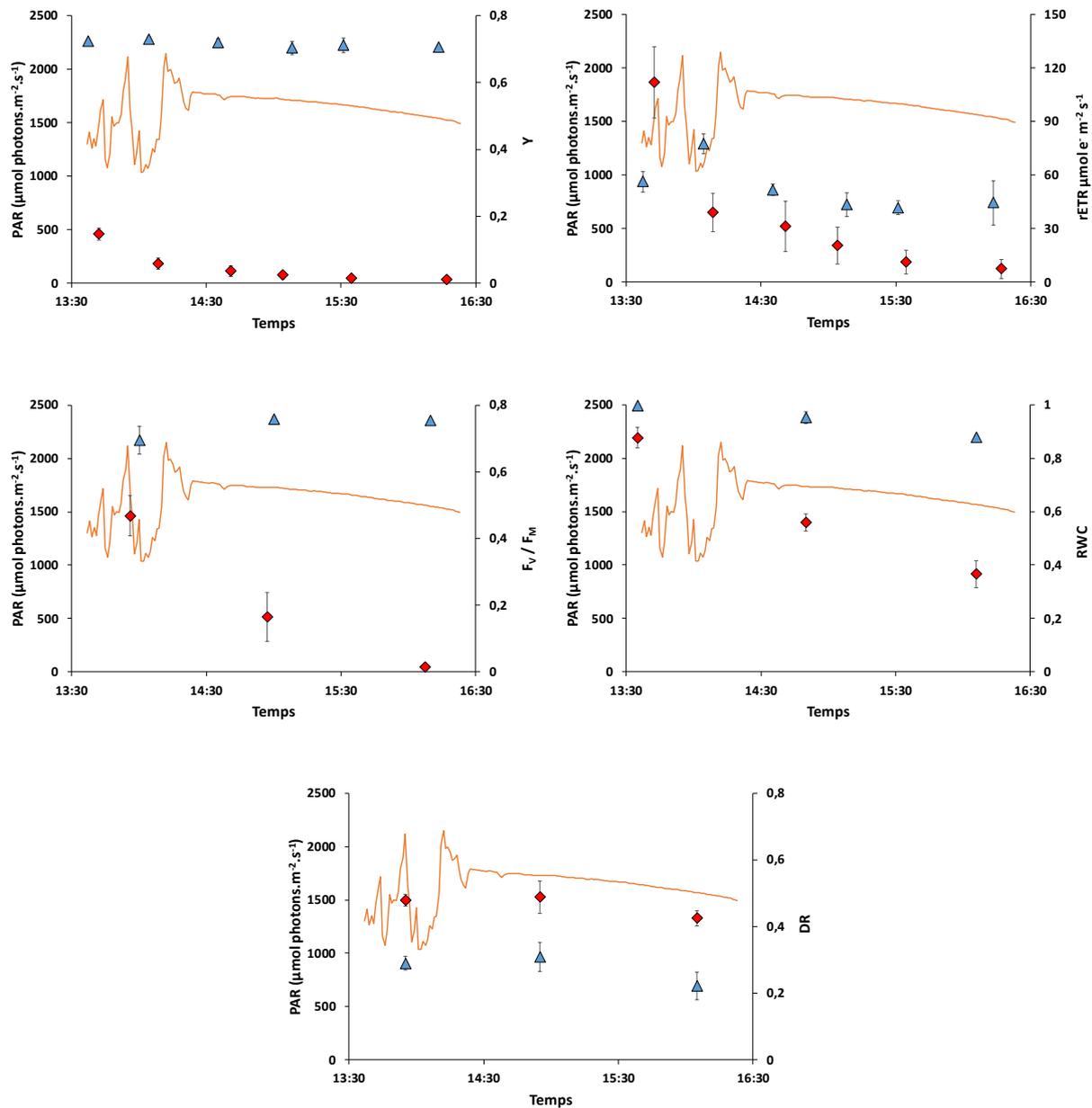


Figure 2.2.2 (a-haut gauche) rendement quantique effectif (Y ou ϕ_{PSII}), (b-haut droite) vitesse de transport des électrons (rETR), (c-milieu gauche) rendement quantique optimal (F_v/F_m), (d-milieu droite) teneur relative en eau des thalles (e-bas) taux de dé-époxydation de la violaxanthine en antheraxanthine et zéaxanthine (DR) en fonction de la lumière incidente (PAR en $\mu\text{mol photons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) et durant une émergence estivale (mois d'août) de thalles *F. serratus* de sur- (losange rouge) et sous- (triangle bleu) canopée (moyenne et erreur standard) (Migné et al, 2021).

En effet, la teneur en eau relative (RWC) a diminué beaucoup plus rapidement et sensiblement pendant les périodes d'émersion dans les thalles au sommet de la canopée qu'à l'intérieur de celle-ci (**figure 2.2.2d**). L'ombrage fourni par la canopée permet ainsi d'empêcher la surchauffe des thalles et de retenir l'humidité pendant l'émersion. L'auto-couverture dans cette communauté intertidale de macroalgues peut être considérée comme un mécanisme de facilitation intraspécifique qui protège les algues de la photoinhibition. Cet effet d'amortissement de la canopée est confirmé par la teneur en eau relative (RWC) plus élevée dans les thalles placés sous la canopée que dans les thalles situés au sommet de celle-ci. L'hypothèse précédemment proposée de facilitation intraspécifique comme mécanisme régulant la production des communautés de macroalgues intertidales est validée par les mesures physiologiques.

Par ailleurs, nous avons démontré que le taux de dé-époxydation (DR) était plus important pour les thalles situés au sommet de la canopée qu'à l'intérieur de celle-ci (Figure 2.6e). La dé-époxydation de la violaxanthine est un mécanisme de photoprotection rapide de l'appareil photosynthétique par la dissipation sous forme de chaleur de l'énergie lumineuse en excès atteignant l'appareil photosynthétique. Chez les algues brunes, le cycle des xanthophylles (transformation de la violaxanthine en anthéroxanthine puis zéaxanthine) est le principal mécanisme photoprotecteur, dont l'efficacité suffirait ici à maintenir l'activité photosynthétique.

Conclusion et perspectives

Les canopées de *F. serratus* modifient les conditions environnementales et atténuent les niveaux de stress subis dans les couches inférieures du même peuplement pendant l'émersion, tandis que diverses stratégies d'acclimatation permettent l'ajustement de sa capacité photosynthétique. Nous avons montré que la structure de cette canopée, organisée en strates superposées et la capacité de régulation de son appareil photosynthétique permettent d'optimiser la capture de la lumière via la complémentarité des thalles des différentes strates. Si les thalles de la strate supérieure sont susceptibles d'être soumis aux stress hydriques et lumineux, l'auto ombrage de la canopée peut atténuer l'effet de la dessiccation et laisser passer suffisamment de lumière pour permettre l'activité photosynthétique des thalles des strates inférieures. Des mécanismes impliqués dans la régulation de l'appareil photosynthétique des thalles des différentes strates de la canopée de *Fucus serratus* à l'émersion ont également été mis en évidence.

Le potentiel de cette espèce fondatrice à répondre aux vagues de chaleur fréquentes - que l'on prévoit à l'avenir en raison du changement climatique - reste à déterminer. Si elle est incapable de s'adapter, l'espèce pourrait disparaître, ce qui aurait des conséquences catastrophiques sur l'ensemble de la communauté, entraînant l'appauvrissement du système côtier.

Nous envisageons par la suite de reproduire ce type de suivis sur d'autres communautés de macroalgues, qui se développent dans des conditions environnementales différentes et présentent une morphologie et une structuration de la canopée différentes. Ce projet contribuera ainsi à une meilleure compréhension de la production des communautés de macroalgues intertidales.

Valorisations

Stages :

Marvin Meresse (janvier-juillet 2020, 6 mois). Mesure du métabolisme d'une algue brune du domaine intertidal en Manche orientale au cours d'un cycle de marée : *Fucus serratus*. Stage de Master 2, FOGEM, Université Lille (encadrement 75% F. Gevaert, 25 % L. Denis).

Senaffe A. (2017). Etude de la photoacclimatation spectrale des microalgues en milieu côtier dominé par la marée: approche in situ et expérimentale. Stage de Master 2, FOGEM, Université Lille (encadrement F. Lizon).

Thèse(s) accompagnant l'action :

Florian Douay (octobre 2018 – avril 2022). Caractérisation de la réponse des macroalgues aux stress de la zone intertidale : impact sur la distribution des espèces et sur les rendements de production. ULCO / PMCO (50% F. Gevaert, 25% N. Spilmont, 25% C. Verpoorter).

Monika Michel-Rodriguez (Oct. 2017 - janv. 2021). Dépendance spectrale de la photosynthèse du phytoplancton: processus de photorégulation et de photoacclimatation en mers côtières. MESR (50% F. Lizon, 50 % S. Lefebvre).

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

Douay F., Duong G, Menu D & Gevaert F. "Suivi de la production primaire à l'émersion chez deux espèces de Fucales: *Fucus spiralis* et *Fucus serratus*". Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre 2021, Boulogne-sur-mer, France (présentation orale)

Gevaert F, Douay F, Menu D & Brutier L. "A new fully automated benthic chamber for measuring photosynthesis via the production of oxygen of whole aquatic organisms under natural field conditions during immersion". 7th European Phycological Congress, 25-30 aout 2019, Zagreb, Croatie (poster)

Douay F, Verpoorter C, Spilmont N & Gevaert F. "To what extent spectral imagery and reflectance can be used to map intertidal marine macroalgae?" 7th European Phycological Congress, 25-30 aout 2019, Zagreb, Croatie (poster)

Douay F, Verpoorter C, Spilmont N & Gevaert F. To what extent spectral imagery and reflectance can be used to map intertidal marine macroalgae? 7th European Phycological Congress, 25-30 aout 2019, Zagreb, Croatie (flash talk)

Michel-Rodriguez M., **Lefebvre S., Duong G.,** Courvoisier M., Merieux X., **Gevaert F.,** and **Lizon F.** (2021). Time scales of wavelength- dependent photosynthesis from tides to seasons in a coastal sea. ASLO (Association for the Sciences of Limnology and Oceanography) 2021 Aquatic Sciences Meeting (com. orale).

Michel-Rodriguez M., **Lizon F., Lefebvre S.** (janv. 2020). Wavelength-dependency of photosynthesis on coastal seas: insights for chromatic light climate change. British Phycological Society, Plymouth (GB) (com. orale).

Article :

Douay F, Verpoorter C, Duong G, Spilmont N, Gevaert F. 2022. New hyperspectral procedure to discriminate intertidal macroalgae. *Remote Sensing*, 14, 346.

Michel-Rodriguez M, **Lefebvre S, Crouvoisier M, Duong G., Gevaert F., Mériaux X, Lizon F.** (finalisation avant soum.). Time scales of wavelength-dependent photosynthesis: from tides to seasons in a coastal sea.

Michel-Rodriguez M, **Lefebvre S, Crouvoisier M, Mériaux X, Lizon F.** (2021). Underwater light climate and wavelength dependence of microalgae photosynthetic parameters in a temperate sea. *PeerJ* 9: e12101 DOI 10.7717/peerj.12101.

Migné A, **Duong G, Menu D, Davoult D & Gevaert F.** 2021. Dynamics of *Fucus serratus* thallus photosynthesis and community primary production during emersion across seasons: canopy dampening and biochemical acclimation. *Peer Community Journal*, 1: e32

Effet levier :

L'HPLC a été utilisée pour des analyses pigmentaires sur d'autres thématiques, notamment sur une thématique concernant l'effet de contaminants sur une espèce de microalgue, thématique qui va se poursuivre dans le cadre du CPER IDEAL ; et qui déjà donné lieu à publication :

Das S, **Gevaert F**, Ouddane B, **Duong G** & Souissi S (2021) Single toxicity of arsenic and combined trace metal exposure to a microalga of ecological and commercial interest: *Diacronema lutheri*. Chemosphere, 132949

Action 2.3 Diversité taxonomique

Participants

Responsable : Urania Christaki (LOG ULCO)

Permanents : Vincent Cornille (T ULCO), Elsa Breton (IR ULCO), François Schmitt (DR CNRS, LOG), Alice Delegrange (MCF ESPE), Tristan Biard (MCF ULCO), Lucie Courcot (IR ULCO), Eric Lecuyer (T CNRS), Felipe Artigas (MCF ULCO)

Doctorants : Dimitra-Ioli Skouroliakou, Solène Irion

Post-doc : Ingrid Sassenhagen, Emilie Houliez

Résumé des activités

Rappel des objectifs : l'action 2.3 visait à mieux cerner les processus biologiques qui contribuent au fonctionnement de la pompe biologique océanique (i.e. séquestration du CO₂ atmosphérique et son transfert dans l'océan profond). Ces processus sont assurés exclusivement par les organismes planctoniques. Notre proposition pendant la programmation 2 avait pour objectif d'étudier la partie la plus petite (<100 µm) du réseau trophique planctonique c'est à dire les virus, bactéries et protistes eucaryotes par des méthodes classiques (microscopie, culture, cytométrie) et moléculaires. La programmation 3 du CPER MARCO a été en continuité directe en incluant aussi un maillon trophique plus élevé, le zooplancton.

La Manche orientale est un système côtier méso-eutrophe caractérisé par de fortes proliférations de *Phaeocystis globosa*. Cependant, cette succession écologique est également marquée par d'autres taxons planctoniques opportunistes qui prolifèrent momentanément. Ces organismes appartiennent à des groupes fonctionnels différents (voir différents groupes phylogénétiques ou domaines du vivant) comme des bactéries hétérotrophes, eucaryotes microbiens hétérotrophes, phytoplancton. Ils peuvent être par ailleurs potentiellement toxiques et parasites avec comme points communs une petite taille et des taux de croissance rapides. Au cours des programmations 4 et 5, on a travaillé sur deux volets: un premier volet expérimental qui porte sur l'effet de la turbulence sur la prolifération et la toxicité des diatomées du genre *Pseudo-nitzschia* et un volet d'analyse de données de séries temporelles microscopiques.

En plus du soutien MARCO, d'autres soutiens financiers et/ou logistiques ont contribué aux travaux réalisés entre Novembre 2018 et Octobre 2019 : SOMLIT, RESOMAR, ANR, INSU- CNRS, ULCO, Région Haut de France, PMCO (détaillés en fin du rapport).

Equipements acquis

Un **cytomètre en flux CYTOFLEX BECKMAN COULTER (figure 2.3.1)** a été acquis en Octobre 2017 dans le cadre du MARCO. Ce cytomètre est équipé de 3 lasers (Violet 405 nm, Blue 488nm, and Red 638 nm). Cet appareil a pour particularité de bien cibler les particules/cellules de très petite taille comme les virus, bactéries, cyanobactéries et nano-eucaryotes.

Un **MACROSCOPE AXIOZOOM V16 Zeiss (figure 2.3.1)** a été installé en fin mai 2019 dans le cadre du MARCO P3. Ce microscope possède un champ visuel large permettant l'observation d'organismes planctoniques appartenant à un large spectre de taille (du microplancton :

quelques dizaines de micromètres au macroplancton : quelques centimètres) et une large profondeur de champ facilitant l'observation d'échantillons épais.

Un module de coupes optiques par imagerie structurée **APOTOME** permet de réaliser des sections sur échantillons fluorescents (sans artéfacts) et de reconstituer une visualisation 3D des échantillons les plus épais par superposition automatiques d'images.

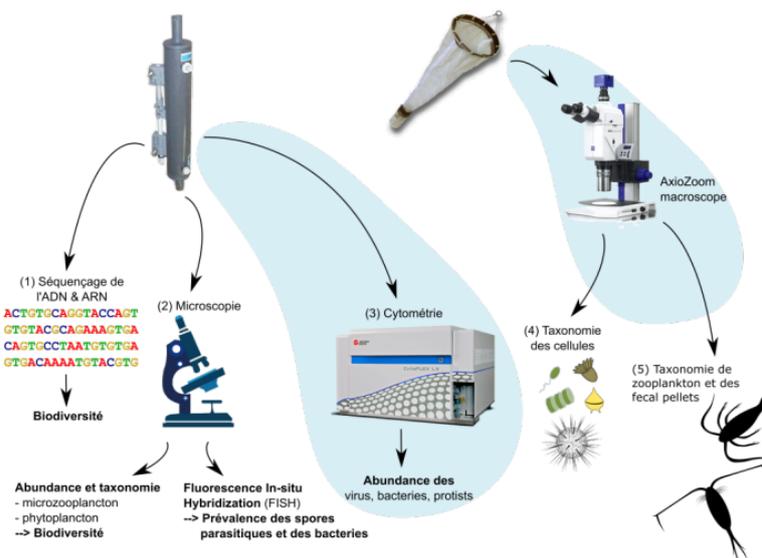


Figure 2.3.1 Prélèvement par NISKIN: (1) Filtration et séquençage haut-débit : diversité totale ADN (2) Microscopie inversée et epifluorescence, microscopie électronique (3) Cytométrie en flux = dénombrement virus, bactéries, pico et nanoplacton auto- et hétérotrophe. (4) Prélèvement par filet plancton 20 µm pour les organismes unicellulaires et filet 200 µm pour le zooplankton: taxonomie et dénombrement du mesozooplankton.

Travaux réalisés

Echantillonnage de phytoplancton

Entre Novembre 2017 et Février 2018, un travail conséquent a visé à établir des protocoles pour le cytoflex à partir de cultures des différents organismes planctoniques, puis à vérifier les signaux obtenus sur des échantillons récupérés lors des sorties en mer SOMLIT (Système d'observation du Milieu Littoral). Entre Février et fin Octobre 2018, en Manche orientale 40 sorties en mer ont été effectuées et 80 échantillons ont été récupérés sur les différentes stations (**figure 2.3.2**). Les échantillons ont été prélevés chaque semaine dans la Manche avec le programme d'échantillonnage DYPHYRAD dans trois stations (R1: 50°47N, 1°33'3E; R2: 50°48N, 1°35'3E; R4: 50°48N, 1°27'E), ainsi qu'une fois par mois dans deux stations (C: 50°40'75N, 1°31'17E; L: 50°40'75N, 1°24'60E) dans le cadre du programme de surveillance SOMLIT utilisant le navire de recherche Sepia II. Entre février et juillet 2018, des échantillonnages ont été réalisés à 33 reprises avec le Sepia II (intervalles hebdomadaires / bihebdomadaires). Du 6 au 29 juin 2018, un échantillonnage à fréquence plus élevée a été entrepris (13 campagnes d'échantillonnage en 23 jours).

Outre l'échantillonnage de la communauté du plancton dans la Manche orientale (CEE), nous avons eu la rare occasion de procéder à un échantillonnage dans l'océan Austral au cours de la campagne MOBYDICK (48 jours en mer, 4 stations, 2-3 visites par station février-mars 2018. Ces

2 systèmes très éloignés ont quelques caractéristiques communes : (i) Systèmes de haute productivité, importants pour la pêche ; (ii) Hydrodynamisme élevé (vent, marée, courants) ; (iii) Efflorescences phytoplanctoniques massives récurrentes (diatomées – *Phaeocystis*). Les échantillons provenant des deux écosystèmes, la Manche et l'océan Austral, ont été traités de la même manière et seront analysés selon les mêmes méthodes.

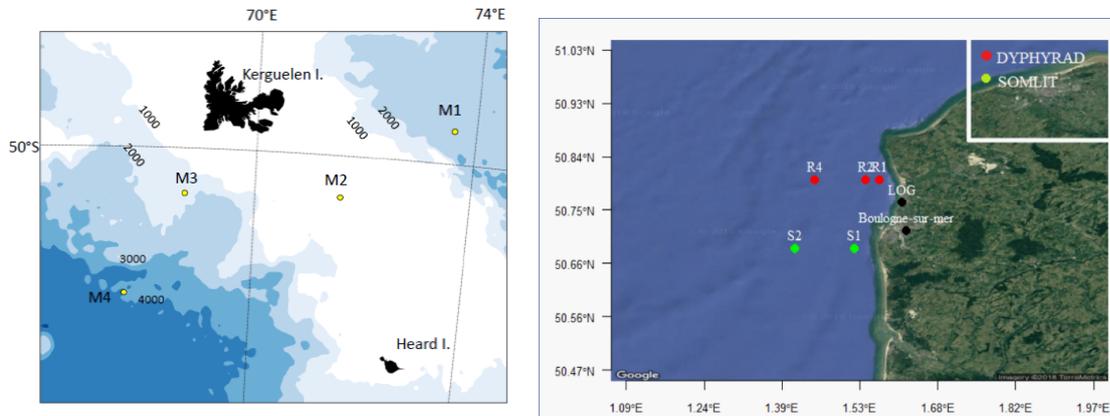


Figure 2.3.2 Stations d'échantillonnage, océan Austral (gauche), Manche Orientale (droite).

L'originalité du travail d'observation effectué dans l'axe 2.3 est l'analyse d'échantillons par différentes approches, avec une fréquence d'échantillonnage la plus élevée possible. Trois exemples de résultats directement liés à l'appareil acquis sont décrits ci-dessous.

1. En 2018, *Phaeocystis* a atteint le 23 Mai une population de l'ordre de 9 millions de cellules par litre. L'algue *Phaeocystis globosa* a pu être identifiée et dénombrée par cytométrie. On a été même en mesure de distinguer les cellules flagellées (haploïdes) des cellules coloniales (diploïdes). Ces résultats étaient en parfaite adéquation avec les comptages en microscopie. Cependant un comptage par cytométrie représente l'immense avantage d'être rapide (quelques minutes), à l'inverse des comptages par microscopie qui prennent jusqu'à plusieurs heures. L'appareil acquis permettra donc de suivre *Phaeocystis* dès son apparition dans l'eau et de suivre son évolution, de son efflorescence à sa sénescence. Des vérifications par microscopie ponctuelles resteront néanmoins indispensables.

2. Ce 2^{ème} exemple illustre bien la complémentarité de méthodes utilisées. Quelques jours après le pic de *Phaeocystis*, on a observé par cytométrie une « signature » de petites cellules hétérotrophes (ne contenant pas de chlorophylle) de l'ordre de 2 millions de cellules par litre et de taille de 2-3 μm . En même temps, on a observé en microscopie optique des colonies qui ne s'organisaient pas de la même façon que *Phaeocystis*. Une préparation en microscopie électronique nous a permis d'identifier ces organismes (des Choanoflagellés) consommateurs de bactéries. Cette observation s'explique par l'abondance de matière organique dégradable présente dans l'eau après l'efflorescence de *Phaeocystis* qui a favorisé la croissance des bactéries qui ont atteint 3 milliards de cellules par litre. La présence des choanoflagellés consommateurs de bactéries fait donc partie de la succession écologique attendue dans le système. Ce groupe de choanoflagellés avait d'ailleurs précédemment été trouvé dans nos données de séquençage de l'ADN, on a pu donc ici confirmer leur présence et également les dénombrer pour la première fois.

3. Une autre efflorescence exceptionnelle atteignant 4,8 millions de cellules par litre, attribuée à 2 espèces du genre *Pseudonitzschia*, a été enregistrée en mi-Juin 2018. Des études antérieures ont montré que l'abondance de cette diatomée coloniale, potentiellement toxique, en printemps-été a augmenté au cours des 20 dernières années dans la Manche et la Mer du Nord, probablement en raison de la température accrue de l'eau de mer. En mer du Nord,

Pseudonitzschia spp. était généralement présente pendant et après la floraison de *P. globosa*. Dans notre étude, la prolifération de *Pseudonitzschia* spp a également coïncidé avec les températures les plus élevées mesurées au cours de la période d'échantillonnage. De légères augmentations de PO_4 et de SiO_4 auraient pu initier la prolifération de cette espèce de diatomée côtière cosmopolite, bien que les NO_3 et NO_2 soient toujours épuisés. *Pseudonitzschia* spp. peut compenser les faibles concentrations d'azote inorganique par l'utilisation mixotrophe d'azote organique libérées à la fin de la prolifération de *Phaeocystis*. *Pseudonitzschia* spp. peut produire de l'acide domoïque (AD) toxique qui cause l'empoisonnement par les mollusques et les crustacés (ASP). Contrairement à la Manche occidentale l'AD n'a jamais été signalé dans la zone d'étude, malgré l'abondance élevée de *Pseudonitzschia* spp. Certaines études suggèrent que la limitation en éléments nutritifs est responsable de la production d'AD dans le cadre de la réponse au stress d'une cellule. Cependant, la synthèse de l'AD nécessite de l'azote et les faibles concentrations d'azote observées dans cette étude pourraient empêcher la production d'AD. En outre, plusieurs études ont signalé de grandes différences dans la production d'AD selon les souches de *Pseudonitzschia*.

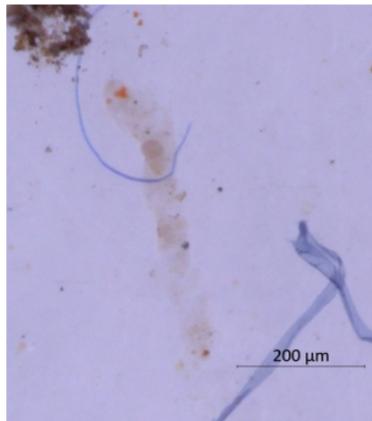


Figure 2.3.3 Photographie d'une pelote fécale de copécope prise à l'aide de l'Axiozoom.

Suivi du méso-zooplancton

L'analyse des échantillons de méso-zooplancton est réalisée tous les ans, au niveau taxonomique le plus faible possible à une fréquence mensuelle ou bi-hebdomadaire en fonction des conditions météorologiques et permet une meilleure compréhension de la dynamique temporelle des communautés méso-zooplanctoniques en Manche Orientale. Ce travail s'intègre dans la dynamique du travail à l'échelle nationale vers la création d'un réseau d'observation spécifique du zooplancton dans les stations marines. Dans ce contexte, l'utilisation de l'Axiozoom permet d'affiner l'identification taxonomique réalisée sous loupe binoculaire classique. D'autre part, l'acquisition de l'Axiozoom a permis d'affiner l'analyse des flux de carbone liés au méso-zooplancton dans l'océan austral (ANR MOBYDICK) caractérisés au cours d'une expérience de broutage sur un assemblage naturel de proies. Les flux ingérés ont été caractérisés par l'analyse de la fluorescence de la chlorophylle a mais, l'Axiozoom permet l'automatisation de l'analyse (énumération et mesure) des pelotes fécales rejetées par les copépodes étudiés.

Les résultats issus de l'expérience de broutage du copécope *Calanus simillimus* sur un assemblage naturel de proies indique que ces copépodes ne se nourrissent pas toujours sur des proies phytoplanctoniques (pas de broutage mis en évidence par dosage de la chlorophylle a). Lorsque du broutage a pu être mesuré par le biais du dosage de la chlorophylle a, on a constaté que la pression de broutage était très faible puisqu'elle atteignait au maximum 0.008% du stock in situ de chlorophylle a. Les premiers résultats en ce qui concerne les pelotes fécales ([figure](#)

2.3.3) produites lors de l'expérience vont dans le même sens puisque très peu de pelotes fécales ont pu être observées. L'analyse des échantillons de zooplancton prélevés au cours des campagnes SOMLIT montre une succession classique des communautés avec par exemple une proportion élevée de méroplancton (ex : larves de décapodes) en été. Ceci contribue à mieux comprendre la phénologie des communautés planctoniques en Manche orientale.

Turbulence et diatomées : approche expérimentale

La forte turbulence et les nutriments abondants de la Manche et de la Mer du Nord favorisent le succès des diatomées, qui peuvent atteindre des concentrations de l'ordre de plusieurs millions de cellules par litre. Il s'agissait ici d'explorer pour la première fois les effets de la turbulence sur la prolifération de diatomées cosmopolites et potentiellement toxiques du genre *Pseudo-nitzschia*. On a mis en culture deux espèces de *Pseudo-nitzschia* (*Pseudo-nitzschia fraudulenta* et *Pseudo-nitzschia multiseries*) et on a effectué des expérimentations de courte durée dans des dispositifs générant différents niveaux de turbulence à l'aide d'un système prototype déjà disponible au LOG: le système AGITURB (figure 2.3.4). Cinq niveaux de turbulence ont ainsi été considérés:

- Pas de turbulence (contrôle, « état immobile »)
- Rotation faible: faible turbulence;
- Rotation medium représentative du milieu marin en période calme;
- Rotation rapide représentative du milieu marin agité;
- Rotation très rapide représentative de tempêtes.

Chaque niveau de turbulence a été testé sur des triplicats de culture et plusieurs paramètres ont été étudiés: (i) le taux de croissance et la formation des colonies en fonction du niveau de turbulence par comptage en microscopie, (ii) la morphologie des cellules par microscopie électronique, (iii) la concentration en acide domoïque extracellulaire et intracellulaire par spectro-fluorimétrie et (iv) l'expression différentielle de gènes en absence et en présence de turbulence via des analyses de Metatranscriptomique (assuré par des collaborateurs extérieurs). Les premiers résultats de ce travail en cours montrent qu'une exposition à certains niveaux de turbulence modifie la croissance et la formation des chaînes chez les deux espèces de *Pseudo-nitzschia* (*Pseudo-nitzschia fraudulenta*) et *Pseudo-nitzschia multiseries*).

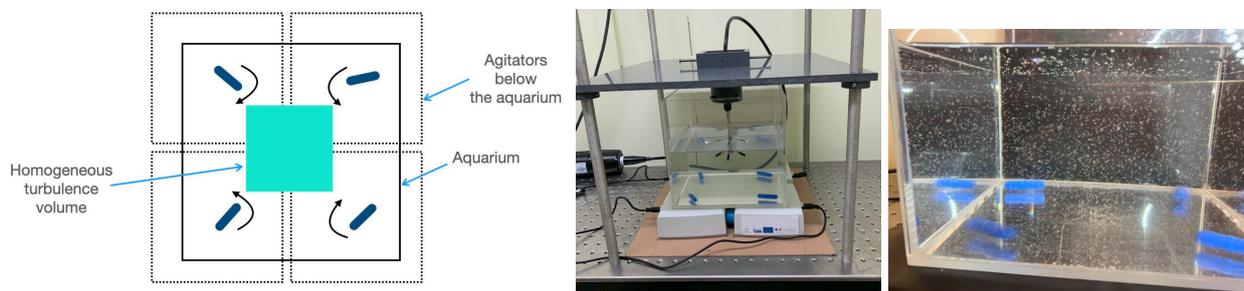


Figure 2.3.4 De gauche à droite: schéma du dispositif AGITURB vu de dessus, avec les 4 agitateurs situés sous l'aquarium. Deux agitateurs tournent dans le sens des aiguilles d'une montre et les deux autres de façon contrarotative pour générer une zone de turbulence homogène et isotrope représentative du milieu marin. Cette turbulence est caractérisée par le nombre de Reynolds (R_{λ}), l'énergie cinétique (K) et la dissipation (ϵ). Photographies du dispositif avec un support pour la mesure par micro-ADV de la vitesse du fluide. A droite : le système en marche avec des billes de polystyrène.

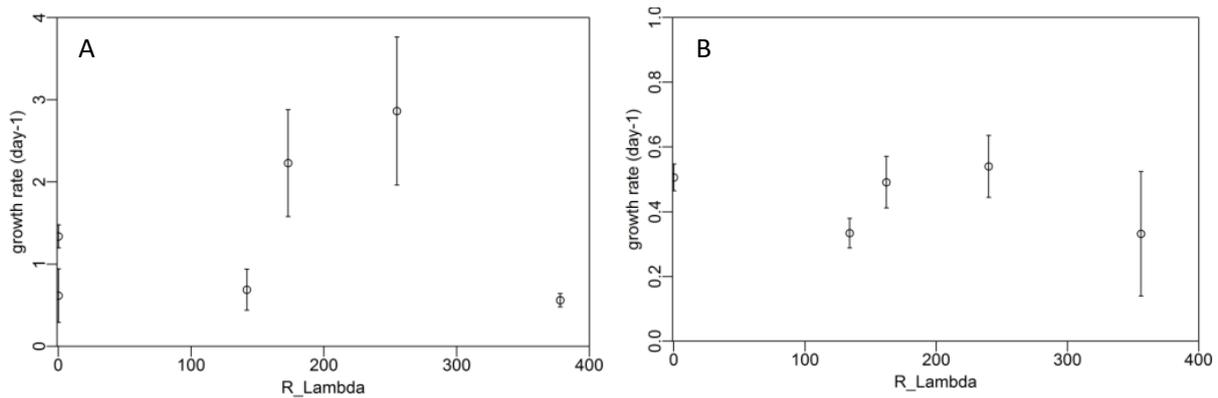


Figure 2.3.5 Taux de croissance en fonction du nombre de Reynolds (R_λ) pour les différents niveaux de turbulence chez A) *Pseudo-nitzschia fraudulenta* et B) *Pseudo-nitzschia multiseriis*.

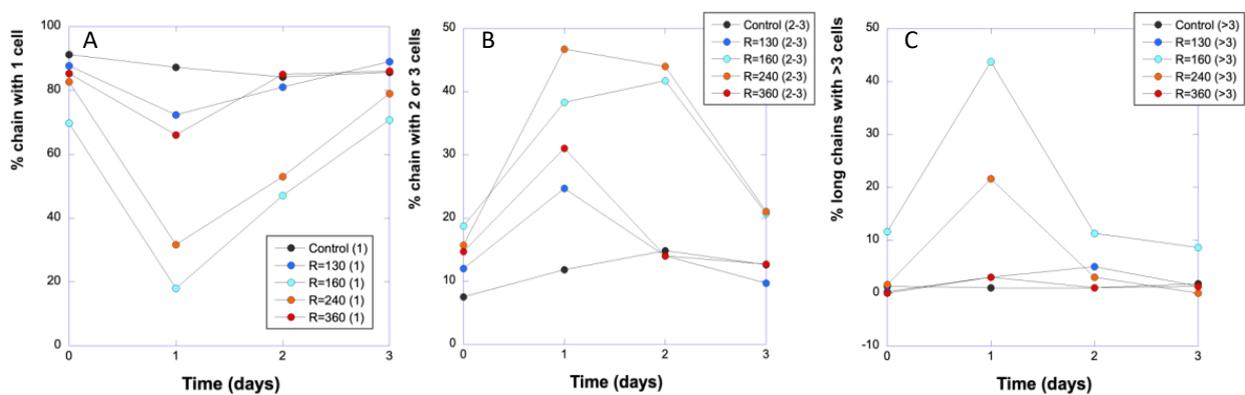


Figure 2.3.6 Variations temporelles du pourcentage de A) cellules isolées, B) chaînes courtes (2-3 cellules par chaîne) et C) chaînes longues (≥ 3 cellules par chaîne) en fonction des différents niveaux de turbulence: pas de turbulence (contrôle), faible turbulence ($R_\lambda=130$), calme ($R_\lambda=160$), agité ($R_\lambda=240$) et tempête ($R_\lambda=360$).

Le taux de croissance représenté en fonction du nombre de Reynolds R_λ pour les différents niveaux de turbulence a une forme de dôme indiquant qu'il y a des niveaux de turbulence optimum pour la croissance (**figure 2.3.5**). Le taux de croissance pour les conditions « contrôle » ($R_\lambda=0$) et faible turbulence ($R_\lambda=130$) était similaire. La croissance a ensuite été favorisée par les niveaux de turbulence « calme » ($R_\lambda=160$) et « agité » ($R_\lambda=240$) qui présentent les taux de croissance les plus élevés, puis la croissance a de nouveau diminué pour le plus fort niveau de turbulence « tempête » ($R_\lambda=360$).

Les *Pseudo-nitzschia* spp. ont la capacité de modifier la longueur de leurs chaînes en fonction des conditions environnementales et peuvent ainsi être présentes sous la forme de cellules isolées ou sous forme de chaînes plus ou moins longues. En début d'expérimentation, *P. fraudulenta* était présente sous forme de cellules isolées (**figures 2.3.6A-C**). Les conditions « contrôle » n'ont pas modifié cette morphologie. A l'inverse, l'exposition à la turbulence a diminué le nombre de cellules isolées et a favorisé la formation de chaînes après 24 à 48 h. Pour les chaînes courtes (2 à 3 cellules par chaîne), la formation des chaînes était maximale pour les niveaux de turbulence « calme » et « agité », tandis que les niveaux « faible turbulence » et « tempête » présentaient un nombre de chaînes plus faible et relativement similaire. La formation de chaînes longues (≥ 3 cellules par chaîne) n'a été observée qu'après 24h d'exposition aux niveaux de turbulence « calme » et « agité ». Au-delà de 48h d'exposition à la turbulence, la formation des chaînes s'est arrêtée et une majorité de cellules isolées a de nouveau été observée sur l'ensemble des niveaux de turbulence.

Ce travail sera complété par l'analyse de la longueur des chaînes chez *P. multiseriata*. La toxicité des deux espèces sera également vérifiée et en cas de formation d'acide domoïque, les variations temporelles des concentrations intracellulaires et extracellulaires en acide domoïque sera étudiée. La metatranscriptomique permettra également de suivre l'expression différentielle de certains gènes en absence et en présence de turbulence.

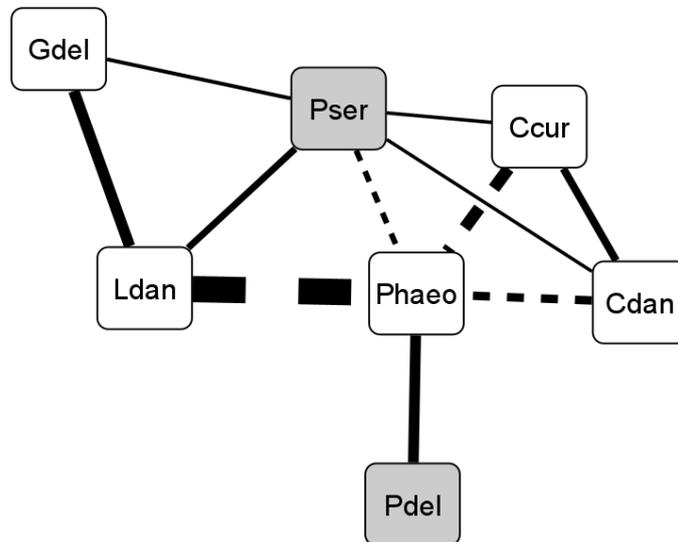


Figure 2.3.7 Réseau d'interactions basé sur un modèle PLN représentant les taxons qui interagissent avec les complexes *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Pdel) et *Pseudo-nitzschia seriata* (Pser). Les traits pleins représentent des interactions positives. Les traits en pointillés sont des interactions négatives. L'épaisseur des traits est proportionnelle à la force de la covariation. Gdel = *Guinardia delicatula*, Ccur = *Chaetoceros curvisetus*, Ldan = *Leptocylindrus danicus* et Cdan = *Chaetoceros danicus*

Turbulence et diatomées : analyse de données d'observation

L'objectif de ce volet était de démêler les effets de perturbations globales et locales sur la dynamique du plancton. Le laboratoire disposait d'une série temporelle d'observations côtières du plancton d'environ 25 ans (1996-2020) acquise par le SNO SOMLIT-Wimereux par microscopie. Ce jeu de données a été complété par une série de 5 ans (2015-2020) avec des périodes de haute fréquence d'échantillonnage sur un réseau de 5 stations côtières en microscopie et metarbarcoding (procaryotes, eukaryotes) acquise dans le cadre du CPER MARCO. En parallèle, un jeu de données d'une dizaine de variables environnementales est également disponible. Un intérêt particulier a été porté aux diatomées potentiellement toxiques du genre *Pseudo-nitzschia* spp. et une étude des conditions favorisant les efflorescences des complexes *Pseudo-nitzschia delicatissima* et *Pseudo-nitzschia seriata* en Manche orientale et sud de la Mer du Nord a été réalisée.

Afin de prendre en considération à la fois l'influence des conditions environnementales et celle des interactions biotiques entre les deux complexes de *Pseudo-nitzschia* spp. et les autres espèces phytoplanctoniques, une approche par niches écologiques a été employée. Les résultats montrent que les deux complexes de *Pseudo-nitzschia* peuvent être présents tout au long de l'année mais puisqu'ils n'occupent pas la même niche écologique, ils présentent des périodes d'efflorescence différentes. Les efflorescences de *Pseudo-nitzschia delicatissima* sont majoritairement observées en même que les efflorescences de *Phaeocystis globosa* entre Avril et Mai tandis que les efflorescences de *Pseudo-nitzschia seriata* sont plus fréquemment

observées en Juin durant le déclin des efflorescences de *Phaeocystis globosa* et le développement de l'efflorescence estivale de diatomées. Les conditions environnementales influencent fortement le développement des efflorescences des deux complexes. Les complexes *Pseudo-nitzschia delicatissima* et *Pseudo-nitzschia seriata* sont ainsi favorisées par des conditions de température, de lumière et de concentrations en nitrites + nitrates différentes.

Cette étude montre, cependant, que pour une meilleure compréhension des conditions favorisant ces efflorescences, il est primordial de prendre en considération la communauté phytoplanctonique environnante et d'étudier les potentielles interactions biotiques. En effet, en Manche orientale et sud de la Mer du Nord, les interactions biotiques avec les efflorescences de *Phaeocystis globosa* semblent jouer un rôle important dans le contrôle des efflorescences des deux complexes de *Pseudo-nitzschia*. Il a ainsi été montré que les deux complexes de *Pseudo-nitzschia* interagissent avec *Phaeocystis globosa* mais l'interaction entre *Phaeocystis globosa* et *Pseudo-nitzschia delicatissima* est positive tandis que l'interaction entre *Phaeocystis globosa* et *Pseudo-nitzschia seriata* est négative (figure 2.3.7). D'autres diatomées interagissent également avec *Pseudo-nitzschia seriata*.

Valorisations

Article rang A (les noms des étudiants et post doc sont en gras)

Houliez E, Breton E, Schmitt F.G, Christaki U, Disentangling conditions promoting blooms of two *Pseudo-nitzschia* complexes in the eastern English Channel and southern North Sea - à soumettre prochainement au journal Harmful algae

Sassenhagen I, **Irion S**, Jardillier L, Moreira D, Christaki U, 2020. Protist Interactions and Community Structure During Early Autumn in the Kerguelen region (Southern Ocean), *Protist*, 171, 125709. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2019.125709>

Irion S, Jardillier L, **Sassenhagen I**, Christaki U. (2020). Marked spatiotemporal variations in small phytoplankton structure in contrasted waters of the Southern Ocean (Kerguelen area) *Limnology and Oceanography* 65(11), 2835-2852 <https://doi.org/10.1002/lno.11555>

Christaki, U., Guenegues, A., Liu, Y., Blain, S., Catala C., Colombet, J., Debeljak, P., Jardillier, L., **Irion, S.**, Planchon, F., **Sassenhagen, I.**, Sime-Ngando, T., Ingrid Obernosterer I., 2021. Seasonal microbial food web dynamics in contrasting Southern Ocean productivity regimes. *Limnology and Oceanography*, 66(1), 108-122 <https://doi.org/10.1002/lno.11591>

Irion S, Christaki U, Berthelot H, L'Helguen S, Jardillier L., 2021. Small phytoplankton contribute greatly to CO₂-fixation after the diatom bloom in the Southern Ocean, *ISME Journal*, 15, 2509-2522 <https://www.nature.com/articles/s41396-021-00915-z>

Rachik S, Christaki U, Li LL, Genitsaris S, Breton E, Monchy S (2018) Diversity and potential activity patterns of planktonic eukaryotic microbes in a mesoeutrophic coastal area (eastern English Channel). *PLoS ONE* 13(5): e0196987. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196987>

Christaki U, **Skouroliaou I-D**, Delegrange A, **Irion S**, Courcot L, Jardillier L, **Sassenhagen I**. 2021. Microzooplankton diversity and potential role in carbon cycling of contrasting Southern Ocean productivity regimes. *Journal of Marine Systems* 219, 103531 <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2021.103531>

Présentations dans des colloques et conférences nationaux et internationaux

Houliez E., Breton E., **Skouroliaou D-I**, Schmitt F. G., Christaki U. Conditions favorisant le développement des *Pseudo-nitzschia* spp. en Manche orientale et sud de la Mer du Nord: apports des réseaux d'observation et des analyses de niches - Colloque ILICO / EVOLECO 2021, 2 - 5 November 2021 (<https://ilicoevoleco.sciencesconf.org/resource/page/id/9>), France (Oral presentation)

Houliez E., Breton E., **Skouroliaou D-I**, Schmitt F. G., Christaki U. Conditions promoting *Pseudo-nitzschia* spp. blooms in the eastern English Channel and southern North Sea: lessons from the realized ecological niches – 19th International Conference on Harmful Algae, 10 - 15 October 2021 (<https://www.icha2021.com/Secciones/inicio>), Mexique (Oral presentation)

Houliez E., Breton E., **Skouroliaou D-I**, Schmitt F. G., Christaki U. Conditions favorisant les efflorescences des diatomées du genre *Pseudo-nitzschia* spp. en Manche orientale et sud de la Mer du Nord. MARCO meeting, 13 – 15 October 2021 (<https://marco.univ-littoral.fr>), France (Oral presentation)

Skouroliaou D-I, **Irion S**, Christaki U. Ecological processes driving phytoplankton blooming taxa in a coastal meso-eutrophic ecosystem: a phylogenetic approach. MARCO meeting, 13 – 15 October 2021 (<https://marco.univ-littoral.fr>), France.(Poster presentation)

Skouroliaou D-I, **Irion S**, Christaki U.«Ecological processes driving phytoplankton blooming taxa in a coastal meso-eutrophic ecosystem: a phylogenetic approach», 10th Hellenic conference of ecology 14 – 17 October 2021, online conference (<https://helecos10.gr/en/>), Greece (Oral presentation)

Skouroliaou D-I, Breton E, **Irion S**, Christaki U. Ecological processes driving phytoplankton assemblages with null model approach based on phylogenetic information, Ocean sciences meeting 27 February – 4 March 2022, online conference, (<https://www.aslo.org/osm2022/>),USA (Oral presentation)

Organisation d'une session: Special session 'Viruses and parasites in food web interactions' à ASLO (American Society for Limnology and Oceanography), 26 Feb - Mar 3 2017, Honoloulou, Hawaii USA. Urania Christaki & Telesphore Sime-Ngando

<http://www.sgmeet.com/aslo/honolulu2017/sessionschedule.asp?SessionID=052>

Christaki U. Parasitic eukaryotes in a meso-eutrophic coastal system with marked phytoplankton blooms 2017: The Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, Present, Future, June 6-8, 2017.

Sassenhagen, I., Breton E., Skouroliaou, I., Cornille, V., Jardillier, L. & Christaki, U. 2018. Species specific interactions among microalgae and parasitic marine alveolates. The 17th ISME meeting 12-17 August in Leipzig, Germany. Poster

Irion, S., Jardillier, L. & Christaki, U. An integrated view of phytoplankton's diversity and function in the carbon cycling in contrasted areas of the Austral ocean: from community to single cell. The 17th ISME meeting 12-17 August in Leipzig, Germany. Poster

Sassenhagen, I., Breton E., Skouroliaou, I., Cornille, V., Jardillier, L. & Christaki, U. 2018. Species specific interactions among microalgae and parasitic marine alveolates. The 18th ICHA meeting 21 -16 October in Nantes. Poster

Irion, S., Berthelot, H., Sassenhagen, I., Jardillier, L., Christaki, U., Diversity and contribution of pico- and nanophytoplankton to the carbon uptake in contrasted areas of the Austral ocean. Oral presentation, IMBeR Open Science Conference, Brest, France, 17-21 June 2019 oral presentation

Sassenhagen, I., Irion, S., Jardillier, L., Christaki, U: Protist communities and biotic interactions in the Southern Ocean. June 2019. Integrated Marine Biosphere Research (IMBeR). Brest, France, oral presentation

Présentations orales à des groupes de travail

Sassenhagen Ingrid, Solène Irion, Ioli Skouroliaou, Elsa Breton, Vincent Cornille, Eric Lecuyer, Lucie Courcot, Felipe Artigas, Urania Christaki. Succesion temporelle et interactions spécifiques au sein du réseau trophique planctonique. Journée MARCO, 11 Octobre 2018, Nausicaa, Boulogne sur Mer

Solène Irion, Biodiversité de l'écosystème marin et flux de carbone autour de Kerguelen : le rôle du petit phytoplancton à l'échelle de la cellule. Journée des doctorants 2018 du LOG – 2^{ème} prix.

Skouroliaou I.,Christaki U: Diversity and biomass of the microzooplankton during MOBYDICK,comparison with KEOPS data. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019.

Christaki U, Obernosterer Ingrid et al. Microbial carbon cycling during late summer in the Kerguelen area (SouthernOcean), comparison with spring and early summer dynamics. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019

Irion, S., Jardillier, L., Christaki, U., Pico- and nanoplankton: Dynamic throughout the bloom, diversity and carbon uptake during late summer. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019

Sassenhagen, I., Irion, S., Jardillier, L., Christaki, U: Microplankton and parasitic marine alveolate communities during late phytoplankton blooms in the Kerguelen area. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019.

Delegrange A, Calvayrac P. Zooplankton abundance and diversity, Calanus similimus grazing in the Kerguelen area. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019

Séminaires

Solène Irion, Biodiversité de l'écosystème marin et flux de carbone autour de Kerguelen : le rôle du petit phytoplancton à l'échelle de la cellule 2018. Laboratoire d'écologie systématique et évolution, Université Paris-Sud, Orsay.

Ingrid Sassenhagen: The impact of local processes on microalgal population structure and community composition: from population genetics to host-parasite interactions. November 2018. Aquatic Ecology, Lund University, Swede

Stages

Ioli Skouropoulou 2018. "Temporal succession and small scale variability of planktonic microbial communities in a meso-eutrophic coastal system." University of Ioannina (Grèce), Master II , Resp. du stage U Christaki, financement Erasmus+.

Laura Cocquebert 2020. Suivi de l'abondance des populations virales en Manche Orientale par la méthode de la Cytométrie en flux . L3, ULCO

Lola Miro Solé 2020. Succession temporelle et variabilité à petite échelle des Communautés microbiennes planctoniques dans un système côtier meso-eutrophe (Manche orientale) Etude par cytométrie en flux. M1 ULCO.

Lea Fouchaut 2020. Communautés microbiennes planctoniques: Approches moléculaires et cytométriques. L3 Univ. St Andrews, Ecosse

Nicolas Delatre 2020. Diversité et structuration des communautés microbiennes en Manche : approches complémentaires de biologie moléculaire et de cytométrie en flux M2 Univ. La Rochelle

Marion Leroulier 2020: Phénologie inter-annuelle des copépodes du genre Centropages en Manche Orientale M1 ULCO

Amelie Chedru 2021. Conditions environnementales favorisant les efflorescences des diatomées du genre *Pseudo-nitzschia* spp. en Manche orientale et sud de la mer du Nord. M1 Univ. La Rochelle, Projet TURBUDIATOX

Paula Gauvin Dynamics of the parasites Marine Alveolates (MALV) in the Eastern English Channel M1 Univ. Bordeaux

Pauline Calvayrac 2019, Contribution du zooplancton aux flux de carbone dans l'Océan Austral via la caractérisation de la pression de broutage. Université de la Méditerranée (Aix-Marseille) (encadrement A. Delegrange, financé par MOBYDICK Urania Christaki)

Aurelie Libeau 2019: Structure des Communautés microbiennes planctoniques en Manche orientale: Etude par cytométrie en flux. L3 Université de la Rochelle, Avril-Mai 2019 (encadrement U. Christaki)

Patrick Kagerer 2019: Introduction à l'Ecologie Planctoniques: Échantillonnage et Observation. L2 Université de Franche-Comté, Juin-Juillet 2019. (encadrement U. Christaki)

Océane Niogret 2019: Communautés microbiennes planctoniques: Approches microscopiques. L3, Université de Lyon I, Avril-Mai 2019. (encadrement U. Christaki)

Laurelaï Debergue, 2019. Broutage du microzooplancton sur les communautés planctoniques dans le secteur Est des Iles Kerguelen. L3, Université de Lyon I, Avril-Mai 2019 (encadrement A. Delegrange)

Thèse accompagnant l'action :

Solène Irion (2017-2020) Biodiversité de l'écosystème marin et flux de carbone autour de Kerguelen : le rôle du petit phytoplancton à l'échelle de la cellule – ED SMRE – financement Région Hauts de France (50%) / ULCO (50%). Soutenue le 17/11/2020

Ioli Skouroliaou (2019-2022) Organisation saisonnière des communautés microbiennes planctoniques en relation avec la diversité et l'écologie d'espèces responsables d'efflorescences – ED SMRE – financement Région Hauts de France (50%) / PMCO (50%), en cours

Les projets venant en accompagnement de MARCO

ANR: MOBYDICK (2018 – 2022) Marine Ecosystem Biodiversity and Dynamics of Carbon around Kerguelen: an integrated view, Urania Christaki coordination de 2 works packages. 407k€, (107 k€ pour le LOG) <https://www.mio.univ-amu.fr/mobydick/>

ANR: RhiCycle: 2020-2024 Role of Rhizaria in biogeochemical Cycles in the epi- and mesopelagic ocean PI Tristan Biard (254 ke)

INSU-CNRS: via l'appel CYBER-LEFE MOBYDICK (2018 – 2021) - Marine ecosystem biodiversity and dynamics of carbon around Kerguelen: an integrated view. U Christaki Participant (90k€ for the cruise logistics of MOBYDICK) <http://www.insu.cnrs.fr/lefe/presentation-cyber>

INSU-CNRS: via l'appel EC2CO-LEFE, PLANKTON-PARTY (2018-2019): PLANKTONic Eukaryotic PARasites: the parTicular case of PhaeocYstis blooms, PI U Christaki 34ke.

EU Erasmus + :Bourse de 9 mois pour Ioli Skouroliaou (convention Erasmus ULCO, Ioannina GR)

ULCO: Post-doc sur support ATER de 12 mois (2018) pour Ingrid Sassenhagen.

Région Hauts de France, PMCO, ULCO Thèses de Solène Irion (2018-2020) et Ioli Skouroliaou (2020-2022)

Appel à projets exploratoires collaboratifs entre laboratoires du GDR Phycotox (2021-2022) Effets de la turbulence sur la morphologie et la physiologie des diatomées du genre *Pseudo-nitzschia* spp. (2.5 k€) <https://www.phycotox.fr/>

Effet levier : Projets rédigés et acquis pendant la P5 en relation directe avec le CPER MARCO

Un projet CYBER-LEFE (2021-2022, INSU-CNRS) acquis par U. Christaki et F. Schmitt intitulé "*Effets de la turbulence sur la prolifération et la toxicité des diatomées*" dans le cadre du projet MARCO a permis de cofinancer les travaux MARCO. Le financement de 6 mois MARCO et le projet LEFE ont servi comme levier pour avoir un complément de 6 mois de post-doc ULCO.

INSU-CNRS, projet LEFE-CYBER: 2021-2022: Turbu-diatox *Effets de la turbulence sur la prolifération et la toxicité des diatomées*. PIs U Christaki, F Schmitt LOG 20k€

AFB: 2021-2023. INDIGENE Données génétiques et indicateurs de biodiversité microbienne pélagique (INDIGENE) PI N Simon (Roscoff) , U Christaki (Wimereux), L Maignen (Brest). 140k€

ULCO: Post-doc sur support ATER 6 mois 2021. Emilie Houliez Planktonic blooming taxa and turbulence.25k€

Action 2.4: Variabilité des réseaux trophiques marins le long des gradients environnementaux

Participants

Responsables : Morgane Travers-Trolet (2016-2018) puis Pierre Cresson (2018-2022) pour Ifremer/LRH; Sébastien Lefebvre (2016-2018) puis Sylvie Gaudron (2019-2022) pour UMR8197 LOG/ULCO/Univ. Lille

Personnels permanents :

Ifremer/LRH: Josselin Caboche (Tech), Clémence Couvreur (Tech), Pierre Cresson (CR), Rémy Cordier (Tech), Margaux Denamiel (Tech), Bruno Ernande (CR), Carolina Giraldo (CR), Raphaël Girardin (CR), Ghassen Halouani (CR), Valérie Lefebvre (Tech), Christophe Loots (CR), Philippe Koubbi (Prof.), Paul Marchal (CR), Manuel Rouquette (Tech), Morgane Travers-Trolet (CR)

UMR8187 LOG: Sébastien Lefebvre (Prof.), Sylvie Gaudron (MCU HDR), Dominique Menu (IE), Gwendoline Duong (IE), Lionel Denis (Prof.), Hubert Loisel (Prof.), Lucie Courcot (IR)

CDD financés par MARCO:

Ifremer/LRH: Maysa Ito (PostDoc - Prog 4 et 5), Fabien Lebon (Tech - Prog 2)

UMR8187 LOG: Théo Lancelot (IE - Prog 2 et 3), Lola De Cubber (IE - Prog 4), Coralie Broquard (PostDoc - Prog 5)

CDD associés à MARCO, sans financements du CPER:

Ifremer/LRH: Chloe Bracis (PostDoc), Jeremy Denis (Doc), Julien Di Pane (Doc), Hubert du Pontavice (M2), Alexandra Engler (M2), Léa Joly (Doc), Matthieu Genu (M2), Félix Gendrot (M2), Alexandre Lhériaux (M1), Marie-Anaïs Lepretre (Tech), Michele Pernak (M2), Charles-André Timmerman (Doc), Quentin Vallet (M1), Sarah Werquin (L3, M1 et M2)

UMR8187 LOG: Lola De Cubber (Doc), Daniel Schaffer (PostDoc), Carolina Giraldo (PostDoc)

Résumé des activités

Les travaux menés par l’Ifremer dans cette action au long des 5 programmations se découpent en trois grandes sous parties. La première porte (en collaboration avec le LOG) sur une caractérisation empirique de l’impact de la profondeur sur la structure et le fonctionnement des réseaux trophiques en Manche, basée essentiellement sur l’analyse des traceurs trophiques intégrés que sont les contenus stomacaux et les isotopes stables. En parallèle, la même question a été appréhendée par une approche de modélisation écosystémique. Enfin, un intérêt particulier a été accordé à l’effet de la variabilité climatique sur les premiers stades de vie des poissons.

Les travaux menés par le LOG dans cette action au long des 4 programmations (P2 à P5) se sont intéressés à deux espèces ingénieuses de l’écosystème benthique à la base du réseau trophique à savoir les arénicoles *Arenicola marina* et *A. defodiens*. Ces deux espèces sont convoitées pour la pêche à pied de loisir et professionnelle mais aucune mesure de protection n’existait encore pendant les différentes programmations MARCO. Des modèles bioénergétiques basés sur la théorie du DEB (« Dynamic Energy Budget ») ont été développés par des approches de suivi de

terrain, d'expériences en laboratoire et de modélisation dans le but de comprendre différents traits fonctionnels de ces polychètes ainsi que leur dynamique de population dans la Manche pour évaluer les stocks.

Équipements acquis

Programmation 1:

- Equipement informatique, ordinateurs fixes et portable, NAS haute capacité pour archivage (Ifremer)
- Lyophilisateur (Ifremer)
- Microtome (Ifremer)
- Balance (Ifremer)

Programmation 2:

- Stéréomicroscopes pour analyse des contenus stomacaux et accessoire dédiés (caméra, polariseurs, éclairage, interface microscope/ordinateurs) (Ifremer)
- Appareil photo et interface informatique pour photographie standardisée et analyse de morphométrie, paillasse roulante pour prise de photo (Ifremer)
- Histokinette et automate de déshydratation (Ifremer)
- Station de production d'eau ultrapure (Ifremer)
- Congélateur -80°C (Ifremer)
- Iatrosan (Ifremer)

Programmation 3

- Station d'enrobage paraffine (Ifremer)
- Automate de coloration (Ifremer)
- Colleuse de lamelles (Ifremer)
- Microtome (LOG)

Programmation 4

- Microscope à fluorescence (LOG)

Travaux réalisés

Approche empirique des réseaux trophiques:

Les travaux menés sur l'effet de la profondeur sur le couplage benthopélagique ont confirmé les résultats déjà obtenus avant MARCO, dans le cadre d'une collaboration HMMN-LOG. Le compartiment benthique joue un rôle majeur pour la communauté de poissons, y compris pour les poissons pélagiques. L'effet est cependant variable selon les groupes trophiques ([figure 2.4.1](#); Giraldo et al. 2017). La contribution benthique forte observée pour les poissons benthiques

s'explique par le fait que la contribution des proies benthiques reste tout le temps élevée, ou augmente quand la profondeur augmente. Au contraire pour les poissons pélagiques, la baisse de contribution benthique avec la profondeur (i.e. découplage) s'explique par une baisse de la consommation de proies benthiques. L'analyse des proies effectivement consommées par les chinchards et observées dans les estomacs confirme une consommation équivalente de proies benthiques et pélagiques à faible profondeur, et la consommation exclusive de proies pélagiques aux stations les plus profondes. Ces résultats s'inscrivent autant dans cette action que dans l'action 4.2 RECOMANCHE, car cette variation de l'alimentation, liée à l'effet de la profondeur, contribue à expliquer les niveaux de parasitisme dans cette espèce. La réanalyse des résultats des contenus stomacaux, en parallèle de ceux obtenus durant une campagne d'évaluation des invertébrés benthiques, ont également confirmé la possibilité d'utiliser les estomacs de poissons comme proxy relativement correct de la distribution spatiale du benthos, même si les niveaux de précision ne sont pas ceux d'une campagne dédiée, et que ce travail n'a été appliqué qu'à quelques groupes d'invertébrés largement consommés par les poissons (Marchal et al. 2021).

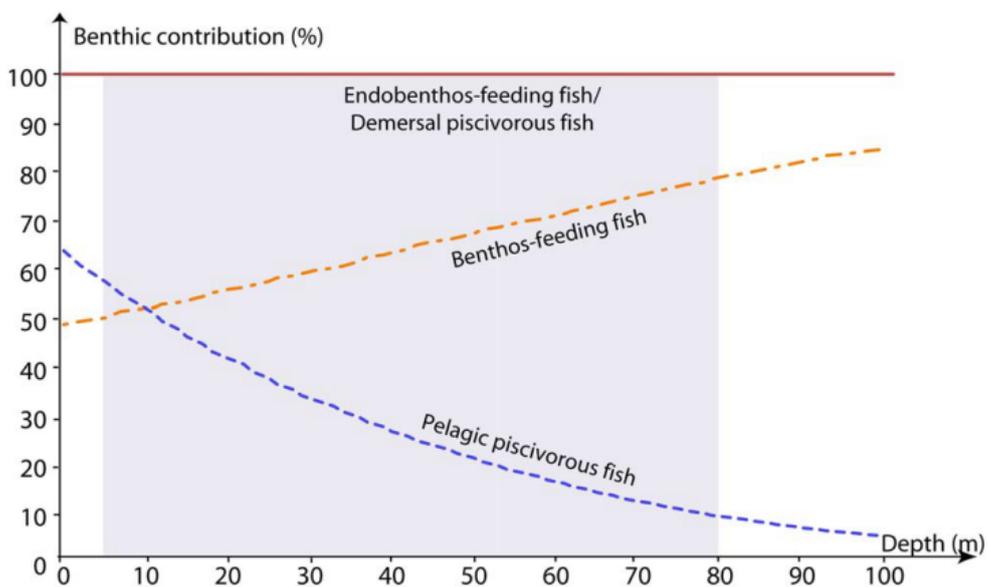


Figure 2.4.1 Effet de la profondeur sur l'importance des proies benthiques dans l'alimentation des quatre groupes fonctionnels de poissons en Manche orientale (rouge: consommateurs d'endobenthos, et piscivores benthiques, orange: consommateurs de benthos; bleu: piscivores pélagiques). La zone grise représente la zone effectivement échantillonnée, les parties de courbes en dehors de cette zone sont basées sur des extrapolations du modèle MixSIAR (d'après Giraldo et al. 2017)

Le travail réalisé dans le cadre de MARCO a également permis d'initier un effort significatif de (ré)-analyse des données, via une approche de comparaison entre écosystèmes mais aussi dans le temps. L'intensité du couplage benthopélagique en Manche est à l'origine d'une communauté de poissons structurellement différente de celle du Golfe de Gascogne et du Golfe du Lion. La forte biomasse pour des espèces occupant les positions trophiques les plus élevées de la communauté (merlan par exemple) s'explique par leur capacité à exploiter les deux voies benthiques et pélagiques, beaucoup moins présentes dans les deux autres écosystèmes (Cresson et al. 2020). Au niveau temporel, l'analyse combinée des différents jeux de données trophiques obtenus depuis 2009 a permis le calcul d'un certain nombre d'indicateurs décrivant la structure trophique des communautés de poisson. La plasticité trophique des poissons leur permet de faire varier leur utilisation des ressources, pour limiter la compétition et permettre la

coexistence des espèces. Au contraire, les changements de composition spécifique ne modifient pas l'intensité du couplage benthopélagique, dans la mesure où la plupart des espèces dominantes sont généralistes (Timmerman et al. 2021)

L'importance du merlan en Manche, tant au niveau écologique qu'économique, explique l'intérêt porté à cette espèce dans plusieurs projets menés en parallèle de MARCO, notamment le projet VARITROPH, qui soutenait la thèse de CA Timmerman. Ces travaux couplant analyse exhaustive des contenus stomacaux d'un grand nombre de poissons, et analyses isotopiques de ces mêmes individus ont révélé plusieurs aspects de l'écologie trophique de cette espèce. Il a d'abord été possible de confirmer un lien direct entre la taille du merlan et la taille de ses proies (Werquin 2019). Cette relation était attendue, mais devait être confirmée, car c'est la principale règle régissant les relations trophiques dans le modèle OSMOSE (voir ci-après). Les travaux ont aussi confirmé l'effet de la taille et de la saisonnalité sur l'alimentation du merlan (Timmerman et al. 2020). Le régime alimentaire est basé sur le zooplancton pour les petits individus et les poissons et les céphalopodes pour les plus gros (figure 2.4.2). Par ailleurs, l'abondance du zooplancton varie entre automne et hiver. Le nombre plus élevé de proies en hiver pourrait s'expliquer par (1) une augmentation des besoins, (2) une activité plus faible du zooplancton en hiver du fait de la température de l'eau, (3) ou une période consacrée à la recherche de nourriture plus importante, vu que le merlan s'alimente essentiellement la nuit. L'effort important de collecte de données trophiques empiriques n'est enfin pas déconnecté des approches de modélisation, vu que ces données permettent de construire ou d'affiner les modèles, ou peuvent être comparées avec des données équivalentes prédites par les modèles (Travers-Trolet et al. 2019; voir section ci-après).

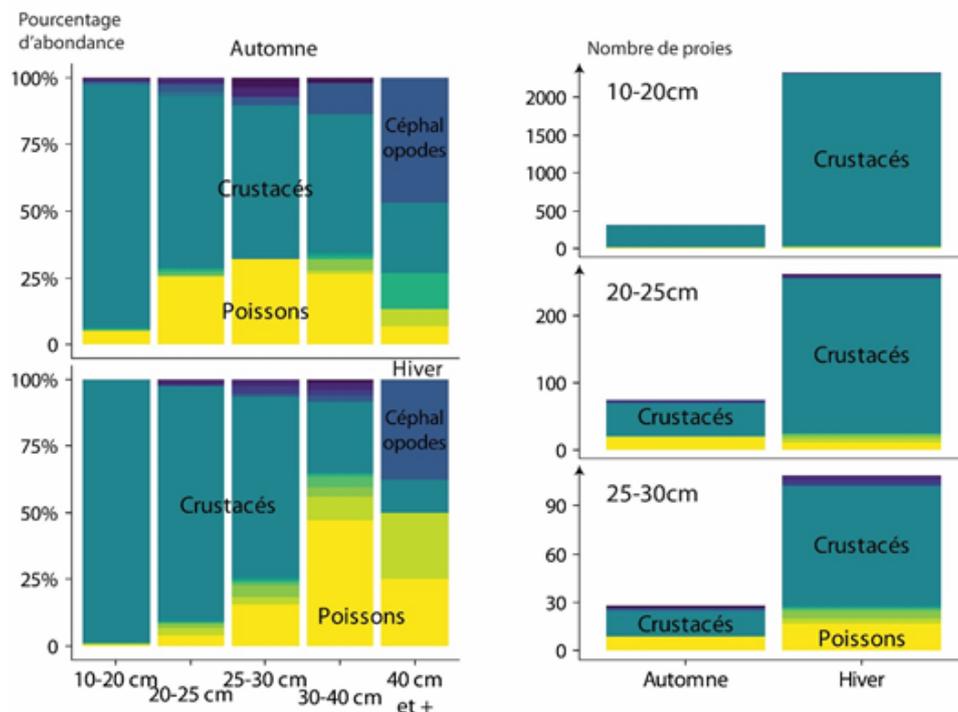


Figure 2.4.2 Changements saisonniers du pourcentage d'abondance (à gauche) et du nombre de proies, par type de proie et pour les proies principales uniquement (à droite). Les crustacés sont essentiellement représentés par du zooplancton pour les petits individus. Les échelles verticales sont différentes pour les trois classes de taille (redessiné d'après Timmerman et al. 2020)

Modélisation des réseaux trophiques

Les travaux menés au sein de MARCO ont notamment abouti au développement du modèle OSMOSE appliqué à la Manche Orientale (Travers-Trolet et al. 2019). Ce modèle individu-centré, multispécifique et spatialement explicite suppose une prédation opportuniste entre les organismes, uniquement basée sur la co-occurrence spatio-temporelle et l'adéquation de taille entre prédateur et proies. Le modèle OSMOSE a été appliqué à la Manche Est en représentant le cycle de vie de 13 espèces de poissons et d'un groupe de calmars, forcés par des champs de proies pélagiques et benthiques variables dans le temps et dans l'espace. Après avoir optimisé quelques paramètres du modèle pour représenter l'état moyen de la communauté de poissons au cours de la période 2000-2009, la structure trophique simulée a été explorée et comparée aux données empiriques disponibles notamment au sein de MARCO (figure 2.4.3). Les niveaux trophiques simulés des poissons concordent relativement bien avec les estimations issues des isotopes stables mesurés en laboratoire. Malgré l'hypothèse d'une prédation opportuniste basée sur la taille, le modèle montre une tendance décroissante du niveau trophique avec la taille pour quatre espèces benthiques, un phénomène observé pour quelques espèces dans l'écosystème. L'exploration des sorties du modèle a montré que ce signal émergent varie dans l'espace et s'explique à la fois par la variabilité spatiale des proies disponibles et par l'indépendance des structures trophiques et de taille des invertébrés benthiques. La combinaison de ce type de modèle, de contenus stomacaux et de traceurs intrinsèques, tels que les isotopes stables, apparaît comme un outil prometteur pour mieux comprendre les causes des signaux trophiques observés.

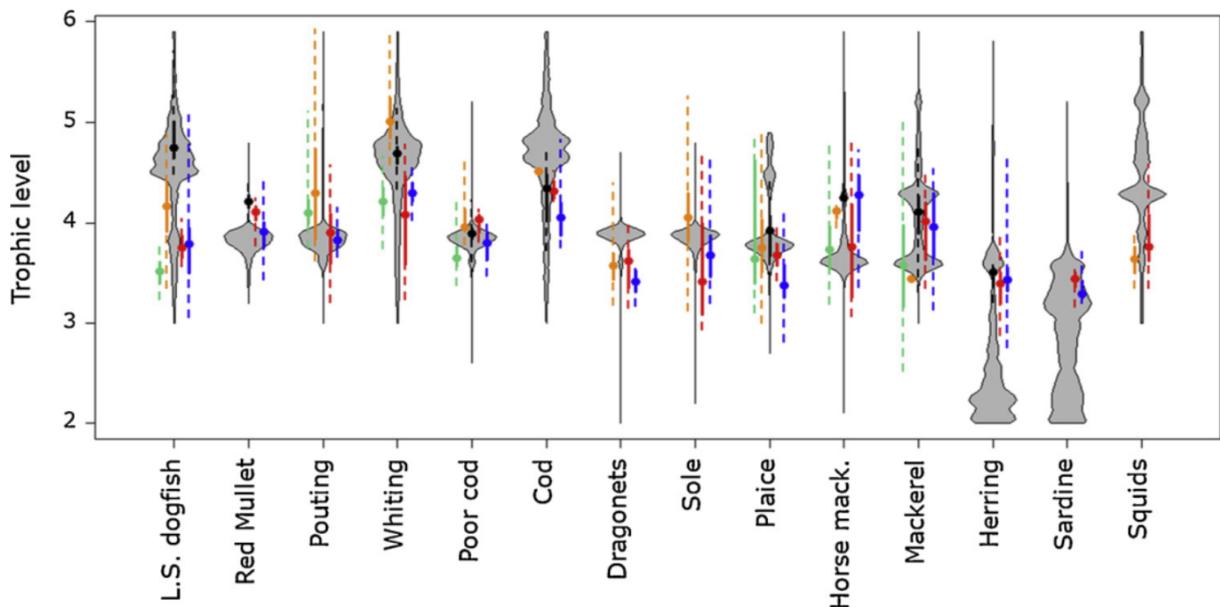


Figure 2.4.3 Distribution de la biomasse des espèces modélisées par OSMOSE en fonction du niveau trophique des individus la composant (en gris). Pour comparaison, les niveaux trophiques estimés à partir des données isotopiques disponibles sur la zone sont également représentés par différents codes couleurs (les données en vert (Cresson et al. 2017) et rouge (Cresson et al. 2018) correspondent à des données acquises dans MARCO).

L'utilisation de modèles écosystémiques mécanistes complexes répond aux enjeux de la gestion écosystémique par l'analyse d'impact de multiples pressions en interactions mais nécessite beaucoup de paramètres, souvent peu ou pas connus. L'analyse de sensibilité fait partie intégrante du développement de simulation afin de mieux comprendre les incertitudes du modèle et l'importance de chaque paramètre sur la réponse du modèle. Une première analyse de sensibilité a été effectuée sur 90 paramètres gouvernant la dynamique de population de

l'ensemble des groupes fonctionnels du modèle Atlantis calibré à la Manche Orientale. Ce travail a mis en évidence 2 paramètres clés sur la dynamique du système et l'évolution de la biomasse des groupes : (1) les paramètres de croissance et de mortalité des groupes planctoniques et (2) le recrutement et la mortalité juvénile des prédateurs supérieurs. Une seconde analyse de sensibilité effectuée en excluant ces groupes montre l'importance de l'ensemble des paramètres, notamment ceux d'un nombre restreint de groupes d'invertébrés benthiques (figure 2.4.4). Les effets non-linéaires et d'interaction entre paramètres sont très communs dans le modèle, montrant la prévalence de boucle de rétroaction dans la structure du réseau trophique ainsi que l'importance des effets bottom-up et dans une moindre mesure top-down. L'information accumulée durant l'analyse de sensibilité nous permet de mieux comprendre la structure du modèle, mettre en avant des recommandations sur la procédure de calibration des modèles Atlantis ainsi que de mettre en évidence les paramètres les plus influent sur la propagation d'incertitudes lors d'évaluation de scénarios par le modèle.

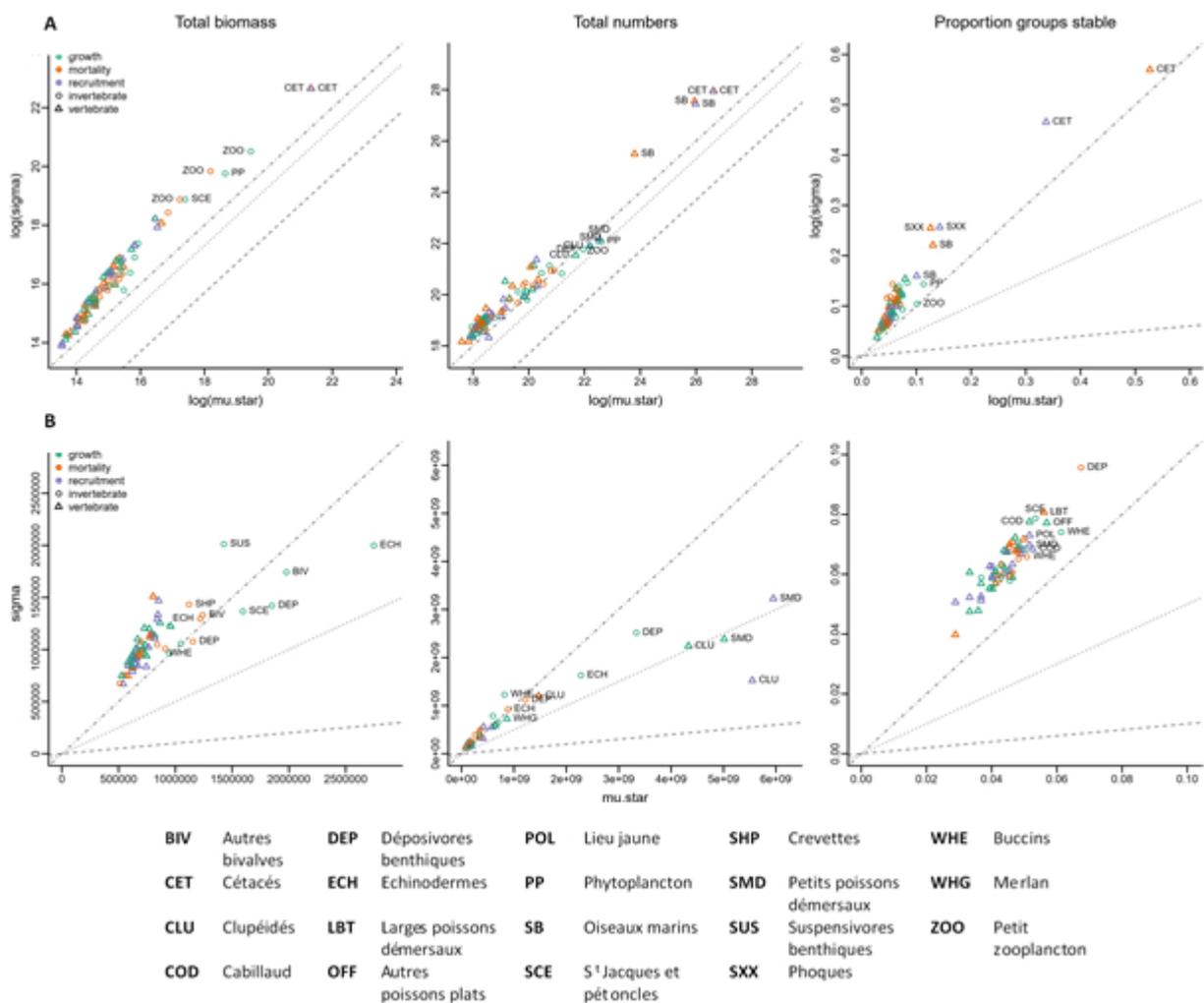


Figure 2.4.4 Relation entre l'effet moyen (μ^*) et sa variabilité (σ) pour la biomasse total (gauche), le nombre total de vertébrés (centre) et la stabilité (droite). Les lignes délimitent les zones $\sigma/\mu^*=0.1$ (presque linéaire, tiret), $\sigma/\mu^*=0.5$ (monotone, pointillés), $\sigma/\mu^*=1$ (presque monotone, tiret-pointillés), avec le triangle supérieur regroupant les effets non-linéaires/d'interactions. (A) analyses incluant les paramètres de tous les groupes fonctionnels avec la biomasse et les nombres totaux présentés en échelle log-log, (B) analyses excluant les paramètres des prédateurs supérieurs et du plancton.

Le modèle OSMOSE développé et validé par les données isotopiques acquises au sein de MARCO a été utilisé pour projeter l'effet du changement climatique sur l'écosystème de Manche Orientale (Genu 2017), sous deux scénarios d'émissions variés. La simulation d'une augmentation de température de +0.83°C à l'horizon 2050-2059 (correspondant au scénario d'émission le plus fort) entraîne la disparition du cabillaud en Manche Est, et la restructuration du réseau trophique en conséquence. L'utilisation d'un modèle a permis d'explorer quels étaient les processus les plus importants pour expliquer les modifications observées au sein du réseau trophique, et ont également montré l'existence de synergie et antagonismes entre les différents impacts du changement climatiques (impacts sur la croissance, reproduction, distribution spatiale, disponibilité en nourriture). La robustesse sous changement climatique des points de référence utilisés en gestion des pêches a été évaluée, en calculant le rendement maximum durable (RMD, ou MSY en anglais) et la mortalité par pêche associée au RMD pour chaque espèce et chaque scénario d'émission (Travers-Trolet et al. 2020). Pour la moitié des espèces, le rendement maximum durable sous changement climatique serait plus grand que le RMD actuel, car la biomasse simulée de ces espèces est plus forte sous changement climatique. Par contre, pour 80% des espèces la mortalité par pêche associée au RMD est plus faible sous scénario climatique que les valeurs actuelles, ce qui constitue un risque pour la gestion des pêches dans cette zone.

Concernant le compartiment benthique de la Manche (LOG)

Le LOG s'est intéressé aux interactions des organismes benthiques avec leur environnement (nourriture et température) en Manche Est à l'échelle individuelle et populationnelle. Les modèles d'étude ont été les vers marins *Arenicola marina* et *A. defodiens* qui sont deux espèces ingénieuses de l'écosystème intertidal augmentant la diversité et permettant le brassage des sels nutritifs dans le sédiment favorisant ainsi la production primaire. De Cubber et al. (2018) ont montré l'importance économique de ces espèces sur la côte d'Opale due à la pêche à pied de loisirs mais jusqu'au début 2022, aucune régulation n'existait quant à la taille de prélèvement, au nombre à prélever ou une période de clôture de la pêche.

Développement de modèle bioénergétique chez les arénicoles (à l'échelle individuelle).

Pour mieux comprendre comment les deux espèces d'arénicoles présentes sur l'estran de la côte d'Opale interagissent avec leur environnement (impactant leur croissance et leur reproduction), la mise en place de deux modèles bioénergétiques type DEB (Dynamic Energy Budget) ont été développés, un pour *Arenicola marina* (De Cubber et al. 2019) et un pour *A. defodiens* (De Cubber et al. in prep.1). Pour ce faire, des expériences variées (fécondation *in vitro*, respiration et croissance) en laboratoire ont été réalisées sur différents stades de vie des arénicoles (des larves aux adultes) ainsi que des suivis sur le terrain des différentes populations d'arénicoles de la côte d'Opale. Des premières expériences de croissance en fonction de différents niveaux de nourriture ont été réalisées sur l'espèce *A. marina* par la mise en place à grande échelle d'aquariums en circuit semi-fermé (figure 2.4.5), ainsi que des expériences de respiration en fonction de différentes températures (à savoir que température et niveau de nourriture sont les deux variables forçantes du modèle DEB). Ces nouvelles données acquises dans le cadre de MARCO ainsi que des données issues de la littérature ont permis de développer un premier modèle bioénergétique sur l'arénicole *A. marina* (De Cubber et al. 2019) qui est actuellement disponible dans la base de données Add-my-Pet¹. Grâce à ce modèle, un certain nombre de traits fonctionnels ont pu être calculés comme par exemple la taille de première maturité sexuelle ou

¹ https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/entries_web/Arenicola_marina/Arenicola_marina_res.html

le temps des larves passé dans la colonne d'eau lors de la dispersion larvaire (PLD: Pelagic Larval Duration). Nous avons pu aussi simuler les croissances des vers (figure 2.4.6) pour différents sites de la côte d'Opale et montrer par exemple que les arénicoles du site de Wimereux avaient une croissance plus réduite que les individus du site de Fort-Mahon avec des tailles maximales plus faibles due à la quantité de nourriture plus faible (De Cubber et al. 2019). Récemment, un autre modèle bioénergétique a été développé sur la deuxième espèce *A. defodiens* qui vit en bas de l'estran et en milieu subtidal grâce à l'utilisation de résultats de la littérature, à des expériences de respiration en fonction de différentes températures et à l'histologie. Le modèle sera déposé prochainement dans la base de données « Add-my-Pet » mais est expliqué dans le Matériel Supplémentaire (De Cubber et al. in prep.1).

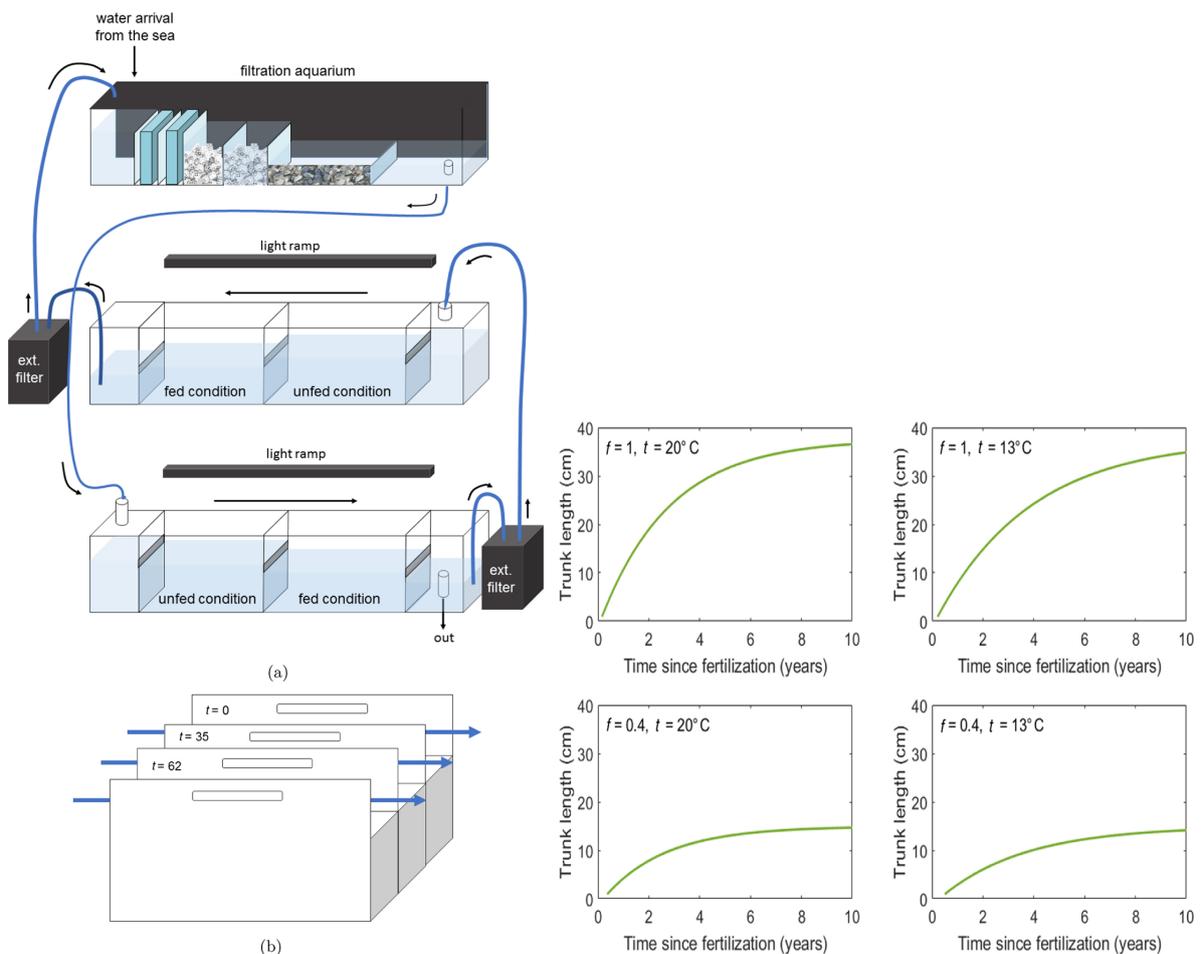


Figure 2.4.5 A gauche, description du circuit semi-fermé développé au cours de MARCO dans une salle thermorégulée du LOG où des expériences de croissance de *Arenicola marina* à différents niveaux de nourriture ont été réalisées. A droite, simulation de la croissance à deux niveaux de nourriture ($f = 0.4$: ce que l'on trouve sur le site de Wimereux et $f = 1$ *ad libitum* site riche trouvé à Fort Mahon) et à deux températures différentes. La température n'influe pas sur la taille maximale mais c'est le niveau de nourriture où l'on trouve des individus de plus petite taille à Wimereux comparés à ceux de Fort Mahon (Figures tirées de De Cubber et al. 2019).

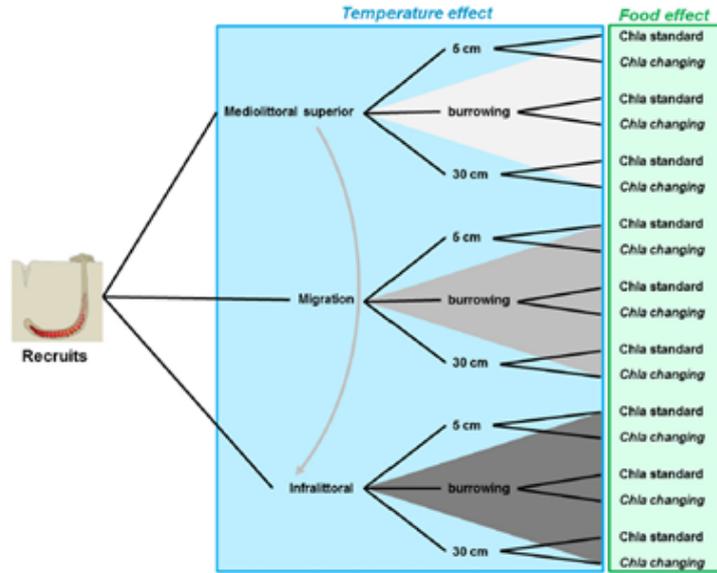


Figure 2.4.6 Différents scénarios envisagés de la migration des arénicoles sur l'estran des sédiments meubles. 1) Les arénicoles restent dans la zone médiolittorale supérieure ; 2) Les arénicoles migrent de la zone médiolittorale à l'infralittoral au cours de leur vie ; 3) Les arénicoles vivent exclusivement dans la zone infralittorale. Figures tirées de De Cubber et al. (2020).

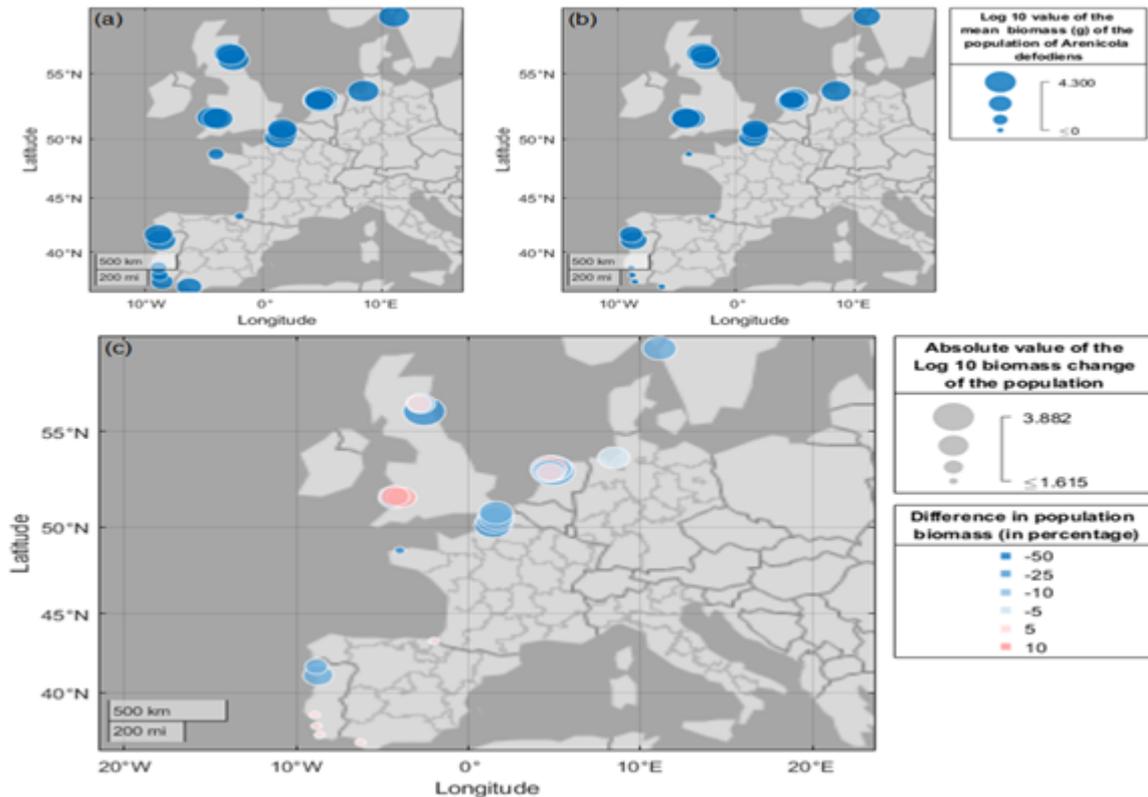


Figure 2.4.7 Simulations des dynamiques de population d'*Arenicola defodiens* représentées par les biomasses en Europe. a) Suivi des populations sur 10 ans (2010-2020) ; b) Projection à l'horizon 2100 ; c) différence en biomasse entre (a) et (b). (données non encore publiées).

Développement d'un modèle de migration des arénicoles sur l'estran.

Durant MARCO, des prélèvements terrain réalisés de façon mensuelle sur le site de Wimereux sur différentes zones de l'estran de différents individus d'*Arenicola marina* ont été réalisés permettant des mesures biométriques des arénicoles en laboratoire ainsi que le niveau de nourriture par la mesure de la composition en matière organique (analyse CHN par spectrométrie de masse). Ces données ont permis de suivre d'une part les différentes cohortes d'arénicoles en fonction du temps et de la zone de l'estran (et d'estimer l'âge de la population) et aussi le niveau de nourriture mensuel. Parallèlement, des enregistrements de température du sédiment ont été réalisés sur un an grâce à des capteurs de température, ce qui a permis de développer un modèle de température du sédiment. Toutes ces données ont permis d'expliquer la migration des arénicoles sur l'estran en fonction du temps et du niveau de nourriture par différents scénarios (**figure 2.4.6**) car les juvéniles en général s'établissent en haut de l'estran (médiorittoral supérieur) et au fur et à mesure que l'arénicole grandit, elle migre plus bas sur l'estran en infralittoral (De Cubber et al. 2020). Cette étude a par ailleurs mis en évidence que la population de *A. marina* à Wimereux subissait certainement une forte pression de pêche car les individus les plus âgés (4 ans, 4ème classe d'âge) ont disparu au cours de l'étude en 2017.

Développement de modèles bioénergétiques chez les arénicoles (à l'échelle populationnelle) (DEB-IBM).

Un nouveau modèle de dynamique de populations (DEB-IBM) utilisant la plateforme Netlogo a été mise en place sur les deux espèces d'arénicoles *Arenicola marina* et *A. defodiens* présentes en Manche prenant en compte un certain nombre de nouveaux paramètres liés à la population (mortalité, recrutement, densités, déclenchement des pontes par la température etc.) couplées aux paramètres calculés par les modèles DEB des deux espèces d'arénicoles (De Cubber et al. 2019; De Cubber et al. in prep.1). Ce modèle inclut la migration sur l'estran de l'espèce *A. marina* qui en zone infralittoral (en bas de l'estran) rentre en compétition pour l'espace avec l'autre espèce *A. defodiens* (De Cubber et al. 2020). La dynamique de population des deux espèces d'arénicoles a été modélisée sur une période de 10 ans de 2010-2020 sur 28 sites côtiers (sédiment meuble où les deux espèces sont présentes) en Europe en calculant les variables forçantes (température et Chl α , un bon proxy du niveau de nourriture; De Cubber et al. 2020) grâce aux données satellites (De Cubber et al. in prep.1). Nous pouvons grâce au modèle en déduire un certain nombre de traits fonctionnels des deux espèces d'arénicoles sur la décennie étudiée suivant les différents sites sélectionnés en Europe: le nombre total d'individus (stock), les biomasses (**figure 2.4.7**), la fécondité totale et les tailles maximales des individus. Certains de ces traits fonctionnels ont des corrélations plus ou moins significatives avec soit la quantité de Chl α , ou/et soit avec la température et l'intensité de la corrélation varie en fonction des deux espèces (De Cubber et al. in prep.1). Les traits corrélés à la température seront donc impactés par un changement de température au cours des prochaines années. C'est pour cela que nous nous sommes intéressés au réchauffement climatique avec un scénario catastrophe à l'horizon 2100 (RCP 8.5°C) avec une augmentation de 3°C. Nous pouvons voir sur la **figure 2.4.7** que pour certaines populations d'arénicole, par exemple pour l'espèce *A. defodiens*, ceci aura un effet plutôt positif sur les biomasses des populations du sud du Portugal et du Pays de Galles mais que d'une façon générale, les populations en Europe seront plutôt perdantes et notamment les populations de la côte d'Opale qui enregistreraient une perte de 25 à 50 % de leur biomasse (**figure 2.4.7**) (De Cubber et al. in prep.2).

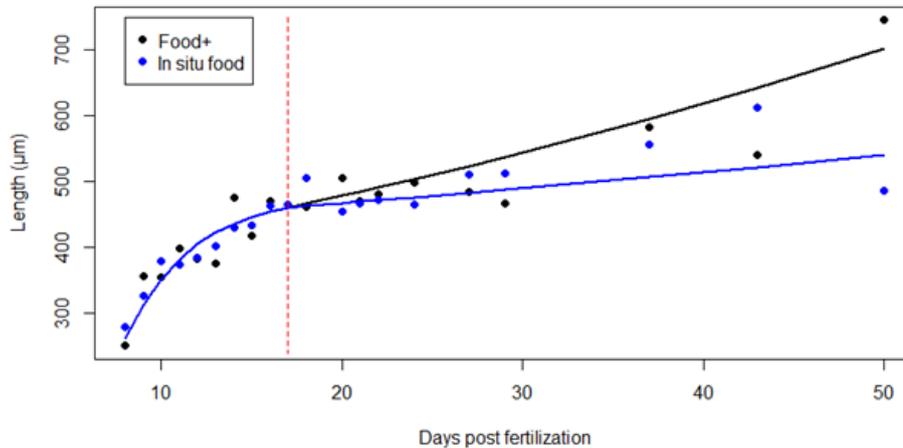


Figure 2.4.8 Evolution de la longueur totale des larves d'arénicoles à 15°C depuis la fécondation. La ligne rouge en pointillé indique le moment où la larve commence à se nourrir (17 jours). Au départ avant la ligne rouge, on observe une croissance classique de von Bertalanffy puis après la ligne rouge la croissance devient exponentielle. La croissance larvaire est meilleure en condition nourrie avec des microalgues (ligne noire; Food+) qu'en condition non nourrie (la ligne bleue; In situ food).

Culture des larves d'arénicoles en fonction de la température et du niveau de nourriture

Les arénicoles se reproduisent une fois par an. Les périodes de pontes varient suivant les populations mais cela se passe en général sur quelques jours (ponte épidémique) à l'automne en octobre/Novembre. Au cours du projet MARCO, à plusieurs reprises (2017 à 2019) des expériences *in vitro* de fécondation (2017-2019) ont été réalisées sur les deux espèces d'arénicoles pour obtenir d'abord les embryons (fructueux) puis ensuite les larves (échec). Il n'y a qu'à l'automne 2019 que les expériences ont pu être conduites à terme avec l'obtention des larves (suite au développement des embryons) dont la croissance a été suivie en fonction du niveau de nourriture et de la température. Le suivi de la croissance des larves nous a permis de modéliser une croissance biphasique; existence d'une croissance type von Bertalanffy durant l'embryogenèse puis au cours de développement larvaire (larve initialement lécithotrophe) jusqu'à ce que la larve se nourrisse puis une croissance exponentielle jusqu'à ce que la larve complète sa métamorphose (post-larve) (figure 2.4.8) (Broquard et al. en soumission). Ces données nous ont montré que la température optimale pour la croissance des larves était autour de 15°C. Ces données avec celles déjà publiées par De Cubber et al. (2020) nous ont permis de recalculer une correction de température (Température d'Arrhenius) pour les larves qui vivent en milieu subtidal qui est différente de celles des juvéniles et des adultes qui vivent en milieu intertidal. Il est donc nécessaire d'introduire deux corrections différentes dans les modèles bioénergétiques chez les Lophotrochozoaires ayant des milieux de vie contrastés comme le milieu intertidal/subtidal lors de l'étude du métabolisme énergétique.

Valorisations

Stages:

Genu Mathieu (2017, 6 mois). Relative importance of different mechanisms underlying fish response to climate change. Mémoire de Fin d'Études de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00643/75513/> (encadrement M. Travers-Trolet)

Post-docs :

Maysa Ito (juillet 2020 - décembre 2021, 18 mois): Variability of benthic-pelagic productivity and fishing pressure effect on fish communities using multi-model approach (encadrement : P. Cresson, R. Girardin, C. Giraldo et G. Halouani).

Broquard Coralie (juin 2021 - décembre 2021, 6 mois). Valorisation des travaux sur les expériences de croissance sur les larves d'arénicole (encadrement : S. Gaudron, S.Lefebvre).

Ingénieur d'études :

Lancelot Théo (janvier 2018 - avril 2020, 25 mois). Expériences en laboratoire sur la bioénergie et les arénicoles (histologie, respiration, croissance et culture larves) (encadrement : S. Gaudron).

De Cubber Lola (mars 2020 - novembre 2020, 8 mois). Modélisation de la dynamique de population et des traits fonctionnels des populations d'arénicole en Europe (encadrement : S. Gaudron).

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

2016

Cresson P, Ernande B, Giraldo C, Lefebvre S, Rouquette M, Travers Trolet M. 2016. Effect of depth gradients on fish trophic relationships in the English Channel. International Conference on Ecological Sciences. Conference of the French Ecological Society 24th-28th October. Marseille

Giraldo C, Ernande B, Cresson P, Kopp D, Cachera M., Travers Trolet M., Lefebvre S. 2016. Feeding ecology and physiology. 41st CIESM Congress – Kiel, Germany 12 -16 September.

Giraldo C, Ernande B, Cresson P, Kopp D, Cachera M, Travers Trolet M, Lefebvre S. 2016. Interactions between habitat use, isotopic niche variation and overlap among fish species in a temperate semi-enclosed sea. International Conference on Ecological Sciences. Conference of the French Ecological Society 24th-28th October. Marseille

2017

Di Pane J. 2017. Spring distribution of flatfish larvae along the French coast of the Eastern English channel. International Flatfish Symposium 2017, 18-24 Novembre, Saint Malo.

Genu M., Travers-Trolet, M. 2017. Relative importance of different mechanisms underlying fish response to climate change. Poster at the AMEMR conference, 3rd-6th July, Plymouth.

Genu M., Travers-Trolet, M. 2017. Evaluation des contributions relatives de différents processus impliqués dans les effets simulés du changement climatique sur les communautés de poissons. Pêche et Changements globaux – colloque AFH, 28-30 juin 2017, Nantes.

Lefebvre S., Giraldo C., Kopp D., Cresson P., Travers-Trolet M., Ernande B, 2017. Depth is a critical environmental driver of the food web structure in the Eastern English Channel. The oceanography and geoscience of the eastern English Channel conference:, 6-8 June 2017, Wimereux, France.

Pernak M. 2017. Winter distribution of plaice (*Pleuronectes platessa*) and lemon sole (*Microstomus kitt*) larvae in the English Channel and North Sea inferred from the 2016 IBTS sampling. International Flatfish Symposium 2017, 18-24 Novembre, Saint Malo.

2018

- De Cubber L, Lefebvre S, Lancelot T, Denis L, Gaudron SM**, 2018. Annelid polychaetes experience metabolic acceleration as other Lophotrochozoans: inferences on the life cycle of *Arenicola marina* with a Dynamic Energy Budget model. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2018, Boulogne-sur-mer.
- Di Pane J, Gendrot F, Loots C, Koubbi P**. Spatial and temporal variations of larval condition during the critical period of three fish species in the Eastern English Channel : a histological-based approach. Meeting of the ICES Working Group on Atlantic Larvae and Egg Surveys (WGALES). Présentation orale. Copenhague 22 – 26 Octobre
- Di Pane J, Giraldo C, Koubbi P, Marchal P, Loots C**. 2018. Action 2.4 Influence environnementale sur la condition des larves de poissons. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2018, Boulogne-sur-mer
- Giraldo C, Joly L, Di Pane J, Tavernier E**. 2018. Lipids components as proxy of plaice larval condition (*Pleuronectes platessa*) in the North Sea and English Channel. Meeting of the ICES Working Group on Atlantic Larvae and Egg Surveys (WGALES). Présentation orale. Copenhague 22 – 26 Octobre 2018
- Joly L, Tavernier E, Di Pane J, Giraldo C**. TAG:Chol and PC:PE as proxy of plaice larval condition (*Pleuronectes platessa*) in the North Sea and English Channel. *Lipids in the Ocean* international conference 20-22 November 2018. Brest, France.
- Lefebvre S, Giraldo C, Kopp D, Cresson P, Travers-Trolet M, Ernande B**. 2018. Benthic-pelagic couplings as key determinants of food web structure along environmental gradients. 11th International conference on the applications of stable isotope techniques to ecological studies (ISOECOL), 30 July - 3 August. Viña del Mar, Chile
- Loots C, Pernak M, Giraldo C, Damme, C., Huwer, B., Klopmann, M., Nash, R., Ritchie, L**. Spatio-temporal variability of winter larval assemblages in the eastern English Channel and North Sea. Meeting of the ICES Working Group on Atlantic Larvae and Egg Surveys (WGALES). Présentation orale. Copenhague 22 – 26 Octobre 2018
- Timmerman CA, Cresson P, Denamiel M, Marchal P**. 2018. A multi-tissue approach for a better understanding of the ecology of commercial fish species. 11th International Conference on the Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies (ISOECOL), 30 July - 3 August. Viña del Mar, Chile
- Timmerman CA, Giraldo C, Rouquette M, Denamiel M, Travers-Trolet M, Lefebvre S, Ernande B, Cresson P**. 2018. Évolution interannuelle de la structure des réseaux trophiques en Manche : approche couplée isotopes stables et contenus stomacaux. 7^{èmes} rencontres de l'ichtyologie en France. 27-30 mars, Paris.
- 2019
- Bracis C, Lehuta S, Savina-Rolland M, Travers-Trolet M, Girardin R**. Improving confidence in complex ecosystem models: the sensitivity analysis of an Atlantis ecosystem model. WGSAM, ICES Working Group on Multispecies Assessment Methods, 14-18 octobre 2019, Rome, Italie.
- Bracis C, Lehuta S, Savina-Rolland M, Travers-Trolet M, Girardin R**. Improving confidence in complex ecosystem models: the sensitivity analysis of an Atlantis ecosystem model. IMBER - Open Science Conference. 17-21 juin 2019, Brest.
- Cresson P, Lefebvre S, Giraldo C, Travers-Trolet M, Gay M, Ernande B**. 2019. Importance trophique du benthos en Manche. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Cresson P** 2019. Fonctionnement trophique et importance du benthos pour la communauté de poissons en Manche : 10 ans (2009-2019) de travaux empiriques et de modélisation. La CGFS a 30 ans. 24-25 avril 2019, Boulogne sur Mer, France.
- De Cubber L, Lefebvre S, Lancelot T, Denis L, Gaudron SM**, 2019. Annelid polychaetes experience metabolic acceleration as other Lophotrochozoans: inferences on the life cycle of *Arenicola marina* with a Dynamic Energy Budget model. 6th international symposium of DEB theory of metabolic organization, 1-12 April 2019, Brest, France.
- Di Pane J, Joly L, Tavernier E, Monchy S, Koubbi P, Giraldo C, Loots C**. 2019. Ontogenic shifts in the nutritional condition and energy allocation strategy of larval plaice (*Pleuronectes platessa*). 43rd Annual Larval Fish conference. May 2019. Palma de Mallorca, Spain
- Engler A, Day L, Chouquet B, Vogel C, Brind'Amour A, Cresson P**. 2019. Variations spatiales de l'alimentation des juvéniles de sole et de plie en Baie de Seine. 14^{ème} colloque de l'AFH "Recherche Halieutique et Développement Durable". 26 -28 juin 2019, Université de Caen Normandie .
- Gaudron SM**, 2019. Intérêts écologique, économique et historique des vers de sable ('la rouge' et 'la noire' de la Côte d'Opale. 13 juillet 2019, 'Fête de la Mer' à Boulogne-sur-mer.

Gaudron SM, Loots C, 2019. Apport de l'histologie en écologie marine. Troisième Journée MARCO, 10 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.

Girardin, R, Fulton EA, Gorton RJ, Savina-Rolland M, Thébaud O, **Travers-Trolet M**, Vermard Y, **Marchal, P**. 2019. Consequences of management measures on fishers' behavior and marine Ecosystems: the Example of the Eastern English Channel flatfish fisheries. IMBER - Open Science Conference. 17-21 juin 2019, Brest.

Timmerman CA, Day L, Brind'amour A, **Cresson P**. 2019. Individual diet specialization in Plaice *Pleuronectes platessa*. ICES annual science conference 9-12 September. Gothenburg, Sweden

2020

De Cubber L, Lefebvre S, Lancelot T, Schaffer D, Loisel H, Gaudron SM, 2020. Effets des changements globaux sur la dynamique de population et les traits de vies de deux ingénieurs de l'écosystème intertidaux le long de la Côte Atlantique Nord-Est. Quatrième Journée MARCO, 10 décembre 2020, en zoom (COVID).

2021

Broquard C, Lefebvre S, Lancelot T, Gaudron SM, 2021. Improvement of the bioenergetic model of *Arenicola marina* using experimentation at larval stages. CEPA – 5 : Colloque d'Ecophysiologie Animale, 5ème édition – Montpellier 2-4 Novembre 2021.

Cresson P. Sous les sunlights du trophique. Pourquoi et comment savoir ce que mangent les poissons. Fêtes de la mer. Boulogne sur Mer. 13 et 15 Juillet 2021

Cresson P, Lefebvre S, Kopp D, Giraldo C, Rouquette M, Denamiel M, Couvreur C, Villanueva MC, Timmerman CA, Marchal P, Travers Trolet M, Ernande B. Isotopes stables, contenus stomacaux et modèles écosystémiques : une approche intégrée du couplage benthopelagique pour les assemblages de poissons en Manche. Conférence MARCO. Boulogne sur Mer, 13-15 Oct 2021.

Cresson P, Lefebvre S, Kopp D, Giraldo C, Rouquette M, Denamiel M, Cure C, Villanueva MC, Timmerman CA, Marchal P, Travers Trolet M, Ernande B. 2021. Intégrer isotopes stables, contenus stomacaux et modèles écosystémiques pour souligner l'influence du couplage benthopelagique dans la structuration des assemblages de poissons en Manche. 8èmes Rencontres de l'Ichtyologie en France, Paris 14-18 mars

De Cubber L, Schaffer D, Lefebvre S, Loisel H, Gaudron SM, 2021. Investigating population dynamics, traits and shore distribution of *Arenicola marina* and *A. defodiens* over a latitudinal gradient with a Dynamic Energy Budget - Individual-Based Model. 7th international symposium of DEB theory of metabolic organization, Halifax Canada, 24-31 May 2021 (en zoom).

Gaudron SM, De Cubber L, Lancelot T, Duong G, Denis L, Cornille V, Crouvoisier M, Loisel H, Schaffer D, Lefebvre S, 2021. Les arénicoles 'la rouge' et 'la noire' de la Côte d'Opale : du cycle de vie à la bioénergie dans le but d'une meilleure gestion et conservation des deux espèces. Colloque MARCO du 13 au 15 octobre 2021, Boulogne-sur-mer.

Gay M, Ernande B, Lefebvre S, Bourgau O, Couvreur C, Denamiel M, Giraldo C, Travers-Trolet M, Rouquette M, Cresson P. 2021. Length and depth are major drivers of *Anisakis* levels in a zooplankton-feeding fish. XIIIth EMOP conference. Oct 12-15th, Hybrid (Belgrade, Croatia/Virtual).

Ito M, Haouani G, Cresson P, Giraldo C, Girardin R. Ecological network indicators response to overfishing. Conférence MARCO. Boulogne sur Mer, 13-15 Oct. 2021.

Articles

2017

Cresson P, Travers-Trolet M, Rouquette M, Timmerman C-A, Giraldo C, Lefebvre S, Ernande B, 2017. Underestimation of chemical contamination in marine fish muscle tissue can be reduced by considering variable wet:dry weight ratios. *Marine Pollution Bulletin*, 123, 279-285.

Giraldo C, Ernande B, Cresson P, Kopp D, Cachera M, Travers-Trolet M, Lefebvre S. 2017. Depth gradient on the resource use of a fish community from a semi enclosed sea. *Limnology and Oceanography*, 62, 2213-2226.

2019

De Cubber L, Lefebvre S, Lancelot T, Denis L, Gaudron SM, 2019. Annelid polychaetes experience metabolic acceleration as other Lophotrochozoans: inferences on the life cycle of *Arenicola marina* with a Dynamic Energy Budget model. *Ecological Modelling*, 411, 108773.

Di Pane J, Joly L, Koubbi P, Giraldo C, Monchy S, Tavernier E, Marchal P, Loots C. (2019). Ontogenetic shift in the energy allocation strategy and physiological condition of larval plaice (*Pleuronectes platessa*). *PLoS One*, 14(9):e0222261

Travers-Trolet M, Coppin , Cresson P, Cugier P, Oliveros-Ramos R, Verley P, 2019. Emergence of negative trophic level-size relationships from a size-based, individual-based multispecies fish model. *Ecological Modelling* 410, 108800. doi:10.1016/j.ecolmodel.2019.108800

2020

Bracis C, Lehuta S, Savina-Rolland M, Travers-Trolet M, Girardin R. 2020. Improving confidence in complex ecosystem models: The sensitivity analysis of an Atlantis ecosystem model. *Ecological Modelling*, 431, 109133. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109133>

Cresson P, Chouvelon T, Bustamante P, Bănaru D, Baudrier J, Le Loc'h F, Mauffret A, Mialet B, Spitz J, Wessel N, Briand MJ, Denamiel M, Doray M, Guillou G, Jadaud A, Lazard C, Noûs C, Prieur S, Rouquette M, Saraux C, Serre S, Timmerman C-A, Verin Y, Harmelin-Vivien M. 2020. Primary production and depth drive different trophic structure and functioning of fish assemblages in French marine ecosystems. *Progress in Oceanography*:102343

De Cubber L, Lefebvre S, Lancelot T, Duong G, Gaudron SM, 2020. Investigating down-shore migration effects on individual growth and reproduction of the ecosystem engineer *Arenicola marina*. *Journal of Marine Systems*, 211, 103420.

Di Pane J, Koubbi P, Giraldo C, Lefebvre V, Caboche J, Marchal P, Loots, C. 2020. Recent changes in ichthyoplanktonic assemblages of the eastern English Channel. *Journal of Sea Research*, 157, 101848.

Di Pane J, Gendrot F, Giraldo C, Marchal P, Koubbi P, Loots C. 2020. Evaluating the histological-based condition of wild collected larval fish: A synthetic approach applied to common sole *Solea solea*. *Journal of Marine Systems*, 204, 103309.

Mammone M, Courcot L, Hilario A, Gaudron SM, 2020. Brooding strategy of the Arctic cold seep polychaete *Oligobranchia haakonmosbiensis*. *Marine Biology*, 167, 42.

Timmerman CA, Marchal P, Denamiel M, Couvreur C, Cresson P.2020. Seasonal and ontogenetic variation of whiting diet in the Eastern English Channel and the Southern North Sea. *PLOS One*, 15(9) e0239436

Travers-Trolet M, Bourdaud P, Genu M, Velez L, Vermard Y (2020). The Risky Decrease of Fishing Reference Points Under Climate Change. *Frontiers In Marine Science*, 7, 568232 (12p.) <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.568232>

2021

Di Pane J, Koubbi P, Gendrot F, Giraldo C, Karasiewicz S, Marchal P, Loots C. 2021. Investigating environmental influence and temporal changes in sole (*Solea solea*) larvae condition using histology. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 250, 107161.

Timmerman C-A, Giraldo C, Cresson P, Ernande B, Travers-Trolet M, Rouquette M, Denamiel M, Lefebvre S. 2021. Plasticity of trophic interactions in fish assemblages results in temporal stability of benthic-pelagic couplings. *Marine Environmental Research* 170, 105412. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105412>

Marchal P, Cresson P, Foveau A, Giraldo C, Lefebvre S, V erin Y. 2021. Using the diet of fish to reflect their benthic prey's spatial patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 677:33-49

Walters A, Robert M, **Cresson P, Le Bris H, Kopp D.** 2021. Food web structure in relation to environmental drivers across a continental shelf ecosystem. *Limnol Oceanogr* 66, 2563–2582. <https://doi.org/10.1002/lno.11773>

2022

Broquard C, Lancelot T, Lefebvre S, Courcot L, Gaudron SM, en soumission. Larval growth of the polychaete *Arenicola marina* under different temperature and food conditions: consequences on bioenergetic model. *Conservation Physiology*.

De Cubber L, Schaffer D, Lefebvre S, Loisel H, Gaudron SM, en pr eparation 1. Investigating population dynamics, traits and shore distribution of two sympatric lugworm species over a latitudinal gradient with a Dynamic Energy Budget - Individual - Based Model. *Frontiers in Marine Sciences*.

De Cubber L, Schaffer D, Lefebvre S, Loisel H, Gaudron SM, en pr eparation 2. Global warming effect on functional traits of two sympatric lugworm species using a Dynamic Energy Budget - Individual - Based Model. *Frontiers in Marine Sciences*.

Jeux de données

Cresson, P., Travers-Trolet, M., Rouquette, M., Denamiel, M., Auber, A., 2018. Individual Isotopic Ratio and Trophic Levels of Fish Species in the Eastern English Channel. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/55585>.

Kooijman B, **De Cubber L, Lefebvre S, Gaudron S**, 2019. AmP *Arenicola marina*, version 2019/05/20. (https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/entries_web/Arenicola_marina/Arenicola_marina_res.html).

Effet levier : projets en cours ou passés:

2016-2017: RETROGRAD "Variations des réseaux trophiques le long des gradients environnementaux". Co-porteurs B. Ernande Ifremer/HMMN et S. Lefebvre LOG/Univ. Lille

2017-2020 : VARITROPH "Variations saisonnières et ontogéniques des paramètres trophiques des principales espèces exploitées en Manche/ Mer du Nord". Porteur: P. Cresson, Ifremer/HMMN, financement FEAMP Mesure 28 et FFP

2018-2019 : APOSTROPH "Approches isotopiques multitissus des relations trophiques en Manche". Porteur: P. Cresson Ifremer/HMMN, financement de la Direction Scientifique Ifremer

Effet levier : recrutement en CDI de personnels non permanents

Fabien Lebon, CDD technicien recruté au LER Boulogne sur Mer

Axe 3 : Productivité et durabilité des ressources halieutiques et aquacoles

Action 3.1. : Fonctionnalité des zones de nourriceries et utilisation des copépodes en aquaculture

Participants

Responsables : Sami SOUISSI (PR UL, LOG) et Rachid Amara (PR ULCO, LOG)

Permanents : Jérémy Denis ; Frida Lasram ; Alexandre Lleriaux ; Quentin Llavori ; Dominique Menu (AI, CNRS)

Post-docs : Mamadou Diop, Yen Ju Pan

Doctorants : Micheline Ghosn, Rym Bouaziz, Esther Kadiene, Shagnika Das, Paul Dayras, Mahammed Zidour, Jérémy Thery

Personnels techniques recrutés : Khalef Rabhi (IE, 36 mois), Capucine Bialais (AI, 24 mois), Franck Pericat (AI, 21 mois)

Stagiaires : Dylan Dufour, Jérémy Thery

Résumé des activités

Les produits de la mer jouent un rôle important dans l'alimentation humaine (au moins 20% de la ration moyenne en protéines animales) et leurs consommations sont en progression continue à travers le monde. L'approvisionnement en produits de la mer est tributaire de la productivité et de la durabilité de la pêche et de l'aquaculture. La région Hauts de France est particulièrement concernée par ces problématiques de productivité et durabilité puisqu'elle abrite le 1^{er} port de pêche français et le 1^{er} centre européen de transformation des produits de la mer. La stagnation, voire la diminution des apports de la pêche implique aujourd'hui le besoin de développer de nouvelles approches pour développer l'aquaculture et exploiter durablement les ressources halieutiques (approche écosystémique).

Parmi les enjeux actuels et futurs, les ressources halieutiques (pêche et aquaculture) doivent faire face au changement global (surexploitation, changement climatique, eutrophisation, dégradation des habitats, pollution, etc.) et au besoin de développer de nouveaux protocoles d'élevage et des aliments alternatifs pour les élevages aquacoles.

L'objectif de l'action 3.1 est d'étudier les processus biologiques et écologiques déterminants pour la durabilité et la productivité de la pêche et l'aquaculture.

Trois thématiques principales ont été développées:

1. Évaluation du rôle des zones intertidales (estrans sableux) et estuariennes pour les poissons et le renouvellement des populations (zones de nourriceries)
2. Analyser les effets individuels et populationnels de la pollution en milieu littoral sur les ressources halieutiques
3. Utilisation des copépodes comme proies vivantes émergentes en aquaculture

Les résultats des recherches des thématiques 1 & 2 de décrire la fonctionnalité écologique des zones côtières peu profondes pour l'ichtyofaune (rôle des frayères, nourriceries) et leurs importances dans le renouvellement des stocks halieutiques. Ces résultats ont aussi permis de localiser les zones de nourriceries sensibles dont la fonctionnalité écologique est menacée. Les données ainsi recueillies contribueront à la réflexion pour la création d'une nouvelle catégorie d'Aire Marine Protégée, appelée « zone de conservation halieutique » (ZCH). Ces études contribuent à la mise à disposition d'éléments (descripteurs de fonctionnement) permettant d'alimenter les réflexions concernant l'évaluation de l'état écologique des zones de nourriceries et l'élaboration de choix stratégiques dans le cadre de la définition des objectifs de gestion environnementale et des ressources halieutiques.

Concernant les résultats de la thématique 3, nous avons perfectionné notre savoir-faire sur le maintien et la production de copépodes dans des volumes croissants pouvant atteindre jusqu'à 1000L. Les résultats scientifiques obtenus ont confirmé la grande qualité nutritive des copépodes et leur rôle croissant dans l'élevage larvaire de poissons. La disponibilité des cultures de copépodes en grandes quantités a bénéficié à l'autre axe de recherche sur les effets des polluants (métaux lourds, sédiment, etc.) sur les copépodes.

Equipements acquis

Equipement	Programmation	Montant
Stéréomicroscope	1	14 077 €
FishFatmer	1	5 635 €
4 cuves	1	7 481 €
Stéréomicroscope	1	9 030 €
Caméra HD	1	1 950 €
Multiparamètre portable	1	2 116 €
Spectro RAMAN	2	110 000 €
Micro ondes de déminéralisation	2	22 470 €
Système de filtration	2	1 334 €
Enceinte thermostatée	3	15 000 €
Système 6 cuves	3	19 764 €
Cuves pour culture	4	10 485 €
Stéréomicroscope	4	11 914 €
Total		231 256 €

Travaux réalisés

L'objectif de l'action 3.1 est d'étudier les processus biologiques et écologiques déterminants pour la durabilité et la productivité de la pêche et l'aquaculture. Les actions ont été initiées dès les première programmation P1 et se sont poursuivies tout au long du projet.

Plusieurs thématiques ont été développées au cours de cette action qui ciblent des observations et expérimentations *in situ* (4 premières actions) et l'aquaculture en masse de copépodes pour diverses applications basées sur l'expérimentation au laboratoire dans des conditions contrôlées (3 dernières actions).

Importance de la zone côtière : actions in situ

Les zones côtières et peu profondes (estuaires, baies,..) situées à l'interface terre-mer sont fortement impactées par les changements globaux (naturels et anthropiques). Or, ces zones côtières ont des fonctions écologiques importantes et jouent un rôle essentiel dans le bon déroulement du cycle de vie de nombreuses espèces halieutiques (nourricerie, frayère, voie de migration). Cela impose de les préserver ou de les restaurer et par conséquent de disposer d'outils performants pour les diagnostiquer. Les travaux de recherche que nous développons dans le cadre du CPER MARCO ont pour objectifs d'évaluer le rôle de la qualité des zones de nourriceries dans le maintien des populations halieutiques. Préserver ces habitats côtiers est donc fondamentale pour maintenir le potentiel de renouvellement des stocks halieutiques. Les recherches développées ont permis de déboucher sur la mise à disposition de méthodologies et d'éléments (descripteurs de fonctionnement) permettant d'alimenter les réflexions concernant l'évaluation de l'état écologique des zones de nourriceries et l'élaboration de choix stratégiques dans le cadre de la définition des objectifs de gestion environnementale et des ressources halieutiques. Trois actions ont été développées dans le cadre de MARCO.

Rôle des estuaires dans l'alimentation des juvéniles de poissons

En prenant l'exemple de l'estuaire de la Canche, qui est considéré comme une référence pour les petits estuaires macrotidaux en France, nous avons étudié la structure et la variabilité saisonnière des réseaux alimentaires des juvéniles de poissons en nous basant sur des mesures des isotopes stables du carbone et de l'azote. Les résultats de notre étude fournissent une nouvelle vision du fonctionnement de l'estuaire de la Canche, qui a été considéré comme une zone d'alimentation majeure pour tous les poissons marins qui y séjournent. Sur la base des résultats $\delta^{13}\text{C}$, nos résultats ont révélé que la matière organique d'origine terrestre a peu d'influence sur le fonctionnement du réseau trophique de la Canche, à l'exception des juvéniles de flets dans la zone amont de l'estuaire (**figure 3.1.1**). A l'inverse, le microphytobenthos et la matière organique particulaire marine contribuent le plus au réseau alimentaire des poissons de l'estuaire. Notre étude a également révélé que certaines espèces de poissons fréquentent l'estuaire pour des raisons autres que l'alimentation comme par exemple pour éviter la prédation ou parce qu'elles sont simplement transportées par la marée. Ce travail a confirmé la pertinence de l'utilisation des isotopes stables pour suivre la fidélité des poissons à des zones d'alimentation distantes de moins de 10 km. Cette étude a fait l'objet d'une publication : « R. Bouaziz et al. (2021). Structure and seasonal variability in fish food webs in a small macrotidal estuary (Canche estuary, Eastern English Channel) based on stable carbon and nitrogen isotope analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101694.

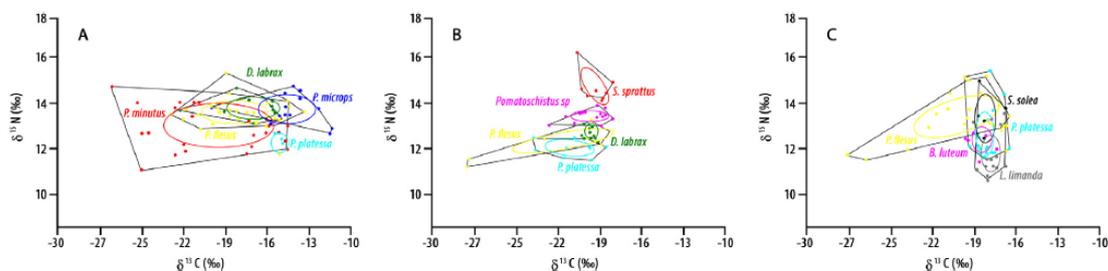


Figure 3.1.1 Convex hull polygons and corrected Standard Ellipse Areas (SEAc) of the fish community. Each convex hull is a measure of the total area, while each SEAc is a proxy of the mean isotopic niche of the core population, which is insensitive to sample size (A: inside the Canche estuary in the fall, B: inside the Canche estuary in spring, C: outside the Canche estuary in spring).

Évaluation du rôle des zones intertidales (estrans sableux) pour les poissons et le renouvellement des populations (zones nourriceries).

L'importance écologique de la zone intertidale pour les espèces marines est encore peu connue et son rôle sous-estimé. C'est le cas notamment en Manche Orientale où l'estran sableux représente environ 74% du littoral. Dans le cadre de MARCO, nous avons étudié la fonctionnalité écologique des estrans sableux pour les peuplements de poissons et de macrocrustacés et exploré le déterminisme des paramètres environnementaux, aussi bien abiotiques que trophiques dans la structuration spatiotemporelle de ces peuplements. L'étude a concerné 8 sites d'échantillonnage couvrant l'ensemble du périmètre du parc marin allant d'Audresselles à Cayeux-sur-Mer. Le suivi s'est déroulé sur 2 années, de mars 2017 à février 2019.

Les résultats montrent que la zone est fréquentée par de nombreuses espèces de poissons et de macrocrustacés (figure 3.1.2). Au total sur les deux années, 34 espèces ont été capturées, 20 espèces de poissons et 14 espèces de macrocrustacés, parmi lesquelles 11 poissons et 3 macrocrustacés sont des espèces d'intérêt halieutique. La majorité des individus capturés sont des juvéniles de moins d'un an. L'intertidal apparaissant comme un maillon essentiel du système composite qu'est une nourricerie. Cette fonction est l'une des composantes écologiques essentielles de l'estran. Les sites de Sainte-Cécile, du Touquet et de Cayeux-sur-Mer présentent une plus grande diversité et de plus fortes abondances de poissons et de macrocrustacés en lien avec les conditions environnementales de ces sites.

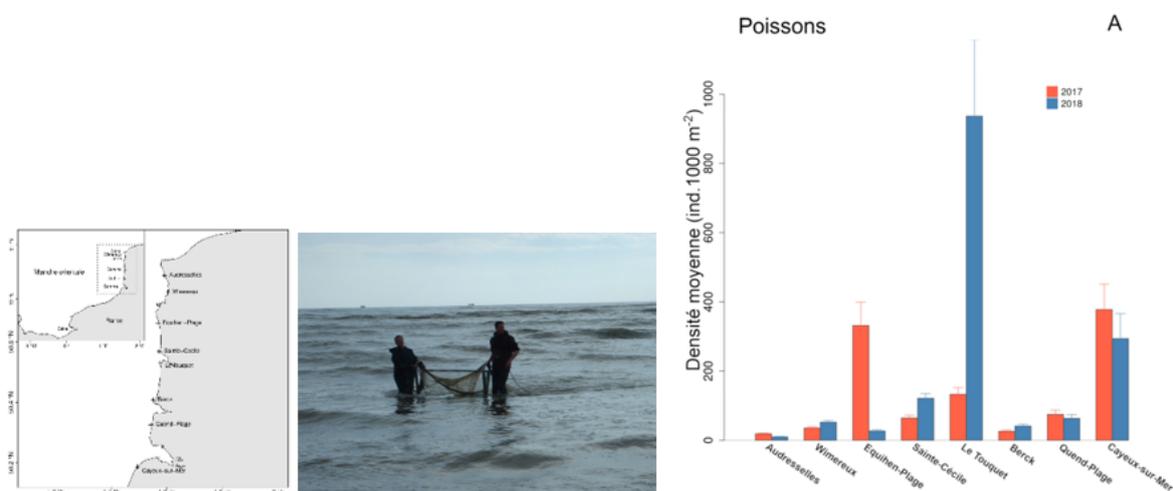


Figure 3.1.2 Localisation des 8 sites d'échantillonnage au niveau de la zone intertidale et variations spatiales de la densité moyenne (ind.1000 m⁻²) de poissons.

Étude du rôle et de la fonctionnalité des milieux estuariens pour les poissons migrateurs : cas de l'anguille européenne.

Un suivi saisonnier sur 2 ans des poissons migrateurs amphihalins a été réalisé au niveau de 6 estuaires (Wimereux, Slack, Liane, Canche, Authie et Somme). Les objectifs de l'étude sont i) d'effectuer un état des lieux des populations de poissons migrateurs sur le PNMEPMO, ii) d'identifier les pressions et les menaces pesant sur ces populations et iii) de caractériser la qualité des milieux estuariens pour la population d'anguilles. Plus précisément, il s'agit d'étudier à partir de l'analyse des contenus digestifs, la stratégie alimentaire des anguilles et de comparer la condition des anguilles (croissance, conditions nutritionnelle et physiologique) en relation

avec les conditions biotiques et abiotiques des estuaires pour mieux comprendre le rôle de la qualité des habitats estuariens dans le maintien des populations d'anguilles.

Cette étude a notamment permis de mettre en évidence l'importance des estuaires de la région pour les populations d'anguilles mais aussi de montrer que ces estuaires ne sont pas que des voies de migrations mais des zones d'alimentation (**figure 3.1.3**). Ces travaux font l'objet d'une publication soumise : Denis, J ; Amara, R et al., Role of estuarine habitats for the feeding ecology of the European eel (*Anguilla anguilla* L.). PlosOne (en révision).

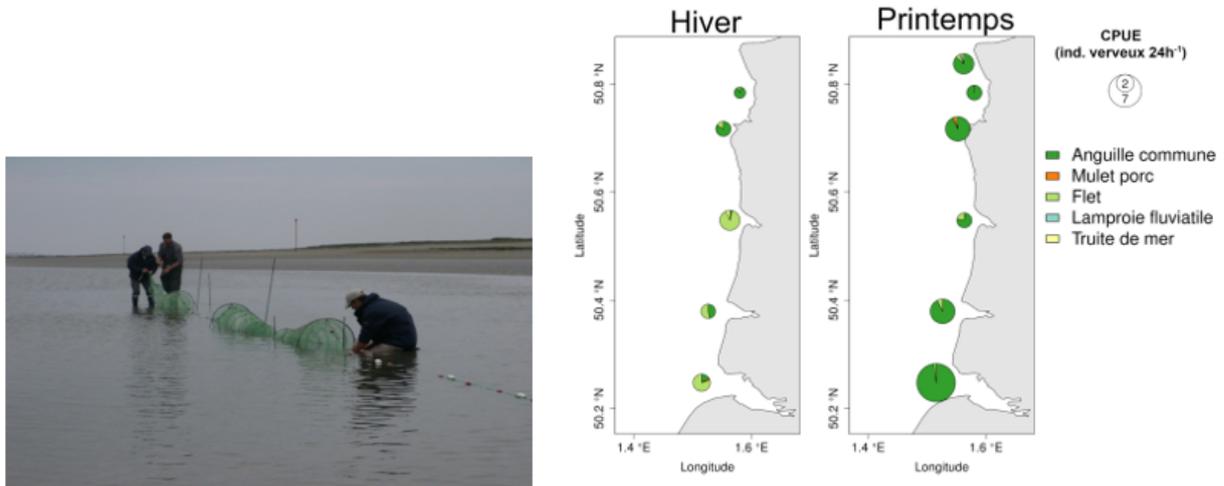


Figure 3.1.3 Mise en place de verveux pour l'échantillonnage des poissons migrateurs dans les estuaires et variation spatiale et saisonnière des CPUE (ind.verveux⁻¹.24h⁻¹) des poissons migrateurs amphihalins capturés dans les 6 estuaires.

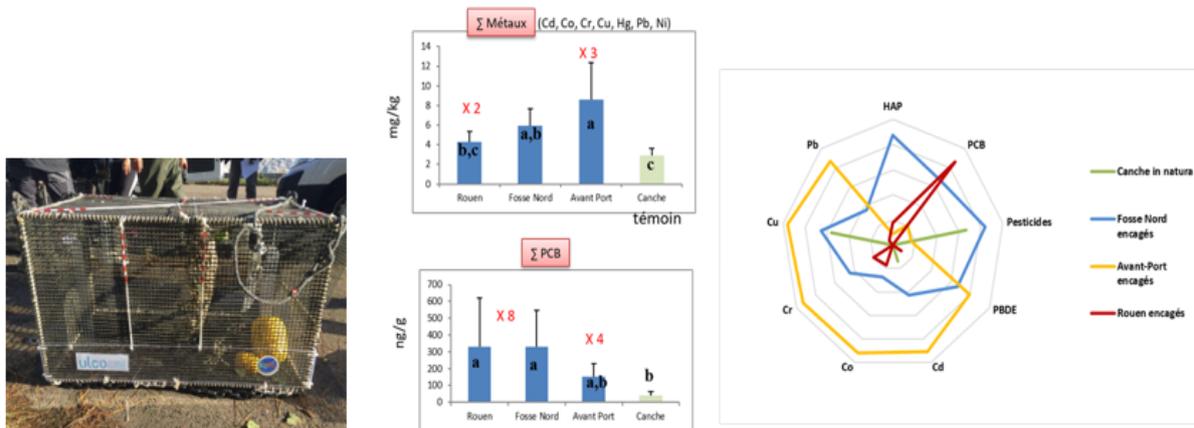


Figure 3.1.4 (a) Cage développée au LOG pour l'encagement des juvéniles de poissons avec différentes améliorations et enrichissement pour favoriser le bien-être des poissons. (b) Concentrations en éléments-traces métalliques et en PCB dans les muscles de juvéniles de flet encagés comparés au témoin (poissons analysés avant la mise en cage).

Le développement de technique de biosurveillance active de la qualité des milieux estuariens et côtiers

Les travaux réalisés ont permis de tester pour la première fois la faisabilité du caging de flets juvéniles, sur un mois, dans différents estuaires, avec un certain succès ; le modèle flet de par ses capacités d'osmorégulation exceptionnelles permettant donc de comparer des secteurs oligohalins, méso et polyhalins. Des améliorations de la méthodologie d'encagement ont été réalisées ; l'enjeu était d'améliorer le bien-être et de réduire le stress du poisson lié à

l'engagement pour ne pas biaiser l'interprétation des réponses biologiques en lien avec la contamination chimique des milieux étudiés.

Les études réalisées démontrent que le biomonitoring actif est un outil en devenir, pour faire du diagnostic sur la qualité des estuaires à l'échelle de l'habitat (**figure 3.1.4**). Cette technique permet de garantir l'obtention d'organismes tests sur l'ensemble des stations étudiées, mais elle permet également d'une part de contrôler l'exposition sur la station d'intérêt et d'autre part d'utiliser des organismes contrôles et calibrés, provenant d'une même population, et ainsi limiter l'impact de nombreux facteurs biologiques, dits de confusion (statut reproducteur, genre, taille, origine, état physiologique), pouvant moduler le niveau des biomarqueurs.

Production en masse de copépodes pour diverses applications

Il existe dans le monde certaines collections de souches de micro-algues comme la RCC (Roscoff Culture Collection) en France (Europe) mais il est très rare de développer une collection de souches de copépodes. En effet, maintenir des organismes multicellulaires comme des petits crustacés (copépodes) ayant un cycle de vie complexe sur le long-terme représente un vrai défi. Le savoir-faire développé au LOG par Sami Souissi depuis plusieurs années a permis de travailler sur plusieurs espèces de copépodes et d'enrichir notre collection unique en Europe. Toutefois, ce travail de maintien des souches de copépodes et surtout les essais de production dans de gros volumes pouvant atteindre 1000L demande une certaine technicité et il est souvent très chronophage. Mais cette étape est indispensable pour développer toutes les applications scientifiques et/ou de maturation utilisant les copépodes. Par conséquent, plusieurs axes de recherche développés dans cette action ciblent directement l'amélioration des cultures de copépodes et leur utilisation en aquaculture. Les actions ci-dessous illustrent des résultats obtenus dans MARCO sur le volet aquaculture et montrent l'utilisation des copépodes produits dans de gros volumes pour étudier les effets des métaux lourds sur les copépodes. A noter que cette action a servi au développement de collaborations avec d'autres axes de MARCO et notamment l'axe 4 (action 4.4 sur les micro-plastiques) et l'axe 1 (action 1.4 sur l'effet de la turbulence sur le comportement de nage des copépodes).

Importance des œufs de résistance des copépodes pour l'aquaculture

L'élevage larvaire des espèces marines pour l'alimentation humaine ou bien pour l'ornementation passe obligatoirement par l'utilisation des Artemias. En effet, la collecte des cystes (œufs de diapause) d'*Artemia* dans des lacs salés a permis le développement de protocoles industriels simples car l'éclosion des nauplii peut être obtenue à tout moment. Malheureusement, la production des cystes d'*Artemia* n'est pas durable (collecte *in situ* tributaire de la variabilité des facteurs environnementaux) et la qualité nutritive de ces derniers est très faible et nécessite un enrichissement souvent coûteux. Contrairement aux Artemias, les copépodes qui représentent les proies naturelles des larves de poissons, produisent des œufs de différents types incluant un pourcentage variable de formes de diapause. Très peu d'espèces comme *Acartia tonsa* peuvent produire en revanche des œufs qu'on peut stocker au froid pendant un certain moment. Nous parlons alors d'œufs quiescents car le développement embryonnaire se trouve ralenti, mais pas du tout stoppé comme dans le cas des œufs de diapause.

La publication Pan et al. (2020) réalisée en collaboration avec deux aquariums Nausicaa localement et Cabrillo Aquarium en Californie a testé notre capacité de produire en grand nombre des œufs de copépodes et les utiliser pour cultiver une espèce emblématique de poisson : le grunion de Californie (**figure 3.1.5**). Durant la saison de reproduction, ce poisson

dépose ses œufs dans le sable des plages de Californie et fait l'objet d'un programme de conservation et d'un intérêt très particulier pour la recherche car son mode de reproduction est unique. Nous avons mis au point un protocole d'élevage larvaire donnant de très bons résultats – ce qui ouvre des perspectives fort intéressantes pour poursuivre l'élevage de cette espèce jusqu'au stade reproducteur.

Dans le but de comprendre les conditions qui favorisent la conservation des œufs de copépodes, nous avons étudié une espèce tropicale du genre *Acartia*. Après avoir mis en évidence pour la première fois la possibilité de maintenir des œufs viables du copépode *Acartia bilobata* pendant plusieurs semaines (Pan et al., 2017), Pan et al. (2019) ont suggéré un rôle majeur de certains acides gras polyinsaturés (i.e., DHA) dans le taux d'éclosion des œufs après une période de stockage à 4°C. Ce dernier résultat a impliqué une collaboration entre le LOG et l'équipe BPA de l'UMRt INRAe BioEcoAgro et il a nécessité un très grand nombre d'œufs pour les analyses biochimiques. Cette thématique de recherche ciblant les œufs de résistance chez les copépodes se poursuit dans le cadre du projet STIMULE COPEFISH et le Laboratoire Associé International (LAI) entre ULille et National Taiwan Ocean University (NTOU) et en particulier le projet de recherche de Yen Ju Pan ancien post-doctorant MARCO qui a obtenu un poste permanent (Assistant Professor) au département d'aquaculture de NTOU et poursuit ses collaborations actives avec le LOG.

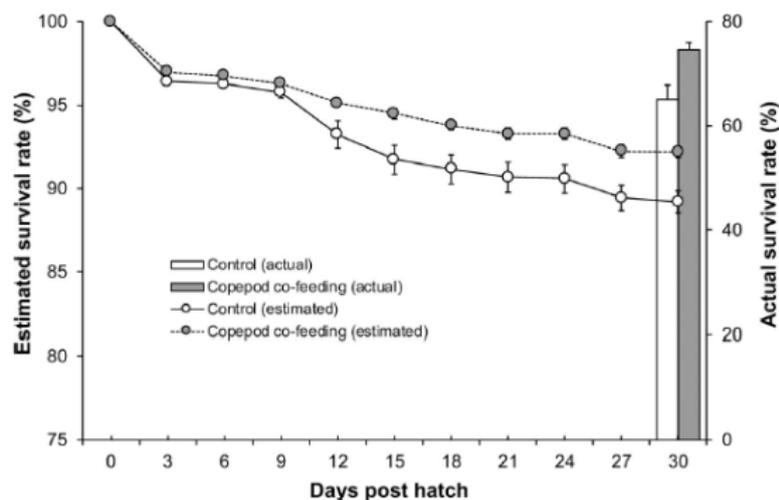


Figure 3.1.5 Evolution temporelle du pourcentage de survie des larves de grunion de Californie selon deux régimes alimentaires (courbes basées sur des comptages d'individus morts dans chaque cuve) et estimation de la survie réelle après 30 jours d'expérimentations (barres dont les valeurs ont été obtenues en comptant les survivants à la fin de l'expérimentation). Les résultats montrent que notre protocole de base donne d'excellents résultats de survie et que l'ajout de copépodes dans le régime alimentaire améliore ces performances. D'après Pan et al. (2020).

Optimisation des cultures de copépodes

Dans le cadre du projet COPEFISH initié en 2011, nous avons testé la mise en place d'un pilote de production de copépodes à Nausicaa pour nourrir les larves de poissons qui se reproduisent dans le lagon tropical de Nausicaa. Malgré le grand succès de ce projet labellisé par le Pôle Aquimer et financé à l'époque par la région, nous avons bien constaté l'importance de maîtriser la culture de plusieurs espèces de copépodes avec des caractéristiques différentes. Nous avons ainsi testé des copépodes calanoides mais également le copépode cyclopoïde *Apocyclops royi*. Durant la dernière décennie, nous avons enrichi notre collection de copépodes par de nouvelles

espèces et notamment le petit cyclopoïde *Paracyclopina nana*. Cette souche a été fournie par le Professeur Jae-Seong Lee (Sungkyunkwan University, Corée du Sud) dans le cadre de notre projet PHC STAR franco-coréen et notre collaboration qui est toujours active. Cette espèce présente un très fort potentiel pour l'aquaculture mais également pour les études en écotoxicologie a été étudiée par Paul Dayras au cours de sa thèse soutenue en décembre 2019. Malgré sa très petite taille, la production d'une grande cuve de *P. nana* a permis de lancer une expérience dans 7 grands bacs de 10L chacun pour tester toutes les combinaisons possibles de 3 espèces d'algues. Les expériences réalisées dans de gros volumes comme dans Zidour et al. (2019) permettent de s'affranchir des biais expérimentaux liés aux utilisations de petits volumes expérimentaux.

Ainsi, notre capacité de produire une grande quantité de copépodes dans un excellent état physiologique (quasiment standardisés) offre des possibilités expérimentales inédites. La Figure 3.1.6 reprise de la publication Dayras et al. (2020a) confirme que le meilleur régime alimentaire monospécifique est basé sur la micro-algue rouge *Rhodomonas sp.* et que l'ajout de la micro-algue *Tisochrysis lutea* améliore les performances de la culture en termes de développement de la population. A partir de la même étude réalisée dans de gros volumes, des échantillons de copépodes ont été utilisés pour réaliser des analyses biochimiques pour estimer leur qualité nutritive (Dayras et al., 2021).

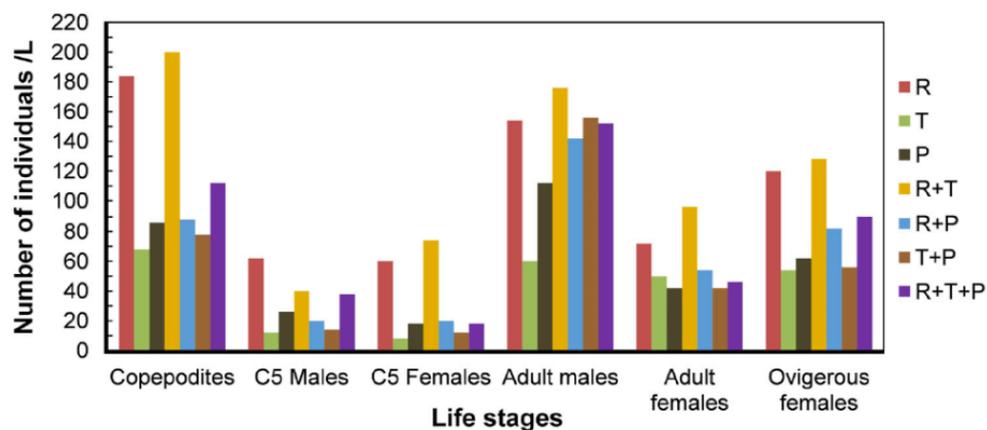


Figure 3.1.6 Comparaison des effets des différents régimes alimentaires sur le nombre d'individus dans chaque stade de développement du copépode *Paracyclopina nana*. R : *Rhodomonas sp.*, T : *Tisochrysis lutea* et P : *Pavlova lutheri*. Seuls les stades juvéniles et adultes sont détaillés dans cette figure. D'après Dayras et al. (2020a).

Les effets de cocktails de métaux lourds sur les copépodes

Les copépodes ont un cycle de vie court (~2 semaines à 18°C) et plusieurs stades de développement, ce qui offre un grand avantage pour des études écotoxicologiques. De plus, notre capacité à produire les copépodes en grand nombre a contribué aux travaux réalisés dans le cadre de 4 thèses soutenues entre 2018 et 2019. Nous allons illustrer une sélection de résultats très originaux et qui représentent une contribution significative des travaux menés dans MARCO sur la compréhension des effets de mélange de métaux lourds sur les copépodes et les écosystèmes marins en général.

La publication Zidour et al. (2019) réalisée à l'interface entre les 2 projets CPER MARCO et ALIBIOTECH a associé 3 laboratoires de la région dont localement le LOG et l'équipe BPA de l'UMRt BioEcoAgro. En effet, des expositions d'un grand nombre d'individus du copépode *Eurytemora affinis* dans des gros bacs de 10L ont permis de suivre la mortalité mais également la bioaccumulation de trois métaux traces Cd, Cu et Ni en doses sub-létales ajoutés

seuls ou en cocktail. Cette étude a confirmé l'existence d'une compétition entre les différentes formes dissoutes de ces métaux traces par rapport aux sites de fixation chez ce copépode. Par exemple, la cinétique de la bioaccumulation du Cd ajouté seul dans le milieu de culture a été toujours supérieure à celle du Cd en présence du Cu et du Ni. Ce résultat original a été confirmé par Dayras et al. (2020b) en utilisant le copépode cyclopoïde *Paracyclopsina nana* et plusieurs conditions expérimentales. Dans la même étude et la thèse de Paul Dayras, nous avons montré que la cinétique de bioaccumulation dépend également de l'état initial de la population exposée. En effet, des copépodes exposés au préalable au cuivre (Cu) sont capables de bioaccumuler de grandes quantités de ce métal et saturer quasiment tous les sites de fixation chez le copépode. Ainsi l'exposition de ces mêmes copépodes à un cocktail de métaux lourds (Cd, Cu et Ni) a montré le relargage du Cu et la bioaccumulation faible des deux autres métaux traces. Ceci confirme la complexité de modéliser les interactions entre cocktails de polluants et organismes vivants comme les copépodes. Par exemple, les travaux menés dans la thèse d'Esther Kadiene ont montré que l'espèce estuarienne tempérée *E. affinis* est plus sensible au Cd par rapport à l'espèce équivalente mais tropicale *Pseudodiaptomus annandalei* (Kadiene et al., 2017). De plus, cette même étude a montré des sensibilités différentes entre mâles et femelles d'une même espèce. Kadiene et al. (2019a) ont étudié avec précision les effets du Cd sur le déroulement du cycle de vie complet d'un copépode depuis la naissance jusqu'à la mort des adultes. Les données expérimentales montrant la différence de sensibilité au cours de l'ontogénèse d'un copépode sont très rares mais très utiles au développement de modèles individu-centrés (travail en cours). Dans le cas d'une pollution chronique, comme dans les milieux estuariens, les effets des polluants peuvent être observés sur plusieurs générations. Une partie de la thèse de Shganika Das s'est consacrée aux effets multigénérationnels du sédiment et d'un cocktail de métaux trace (Cd, Cu, Ni et Pb) sur la population d'*Eurytemora affinis*. Das et al. (2020) ont montré que le protocole multigénérationnel mis au point au LOG pour étudier les effets du changement climatique est très pertinent pour étudier les effets chroniques de la pollution.

Les copépodes ont donc une grande capacité de bioaccumulation de métaux traces mais également une certaine capacité de relargage de ces polluants selon le milieu dans lequel ils se trouvent. Ceci nous a poussé à comparer les deux voies classiques de transfert des polluants vers les copépodes : la voie directe via les échanges entre l'eau et le corps du copépode, et la voie trophique via la nourriture contaminée. Kadiene et al. (2019b) ont mis en évidence la présence d'une troisième voie ; il s'agit de la voie orale négligée chez les copépodes et qui a permis d'expliquer que la bioaccumulation des trois métaux traces Cd, Cu et Ni est plus forte via l'eau que via l'aliment contaminé au préalable. La [figure 3.1.7](#) est une illustration directe de cette nouvelle voie d'accumulation des métaux traces que nous devons intégrer dans les études écotoxicologiques futures.

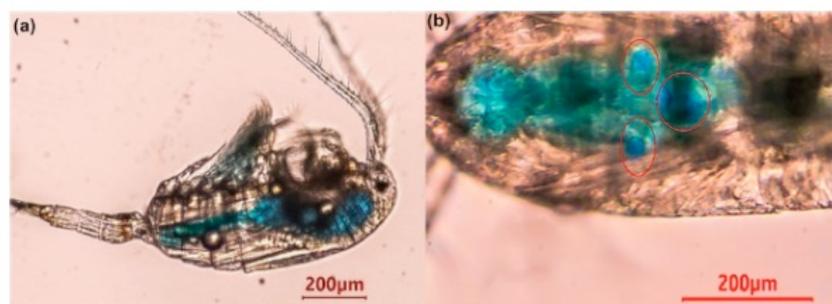


Figure 3.1.7 Photos de copépodes adultes illustrant la concentration de colorants admis oralement au milieu du tube digestif. D'après Kadiene et al. (2019b).

Valorisations

Stages:

- M. Soret. 2016. Master 2, ULCO
S. Terki. 2018. Master 2 ULCO/USTL
C. Issa . 2018. Master 2 Université Libanaise
M. Sarmout. 2019. Master 2 AgroParisTech-Université Paris-Saclay
A. Lhériaux . 2020. Master 2 Université Paris VI

Post-doc :

Yen Ju Pan (juin 2018 – août 2019, 13 mois): étude du potentiel des copépodes en aquaculture (direction: S. Souissi).

Présentation(s) orale(s) ou poster à des conférences nationales :

- Amara 2018. La biosurveillance active comme outil pour le suivi de la qualité des milieux aquatiques. Séminaire AFB, Paris 2018. Estuaires : état de l'art de la recherche appliquée, bilan des travaux soutenus par la Coordination inter-estuaires et perspectives de recherche
Amara et coll. Le biomonitoring actif comme outil pour le suivi de la qualité des milieux aquatiques. Journée MARCO, Nausicaa, Boulogne-sur-Mer, 10 octobre 2019
Amara & Laroche. 2019. Impact de la qualité des habitats estuariens de la Seine sur le fonctionnement d'une population de poisson (du recrutement des juvéniles au processus de reproduction) . Séminaire Seine Aval, Rouen 2019.

Présentation(s) orale(s) ou poster à des conférences internationales :

- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Khalaf G., Guérin T., Jitaru P., Amara R., Evaluation de la contamination en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Hg, As) dans des produits de la pêche du littoral Libanais, 3ème Colloque International Francophone en Environnement et Santé, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 23 -25 Octobre 2017.
Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Marchond N., Khalaf G., Guérin T., Amara R., Jitaru P., Determination of Pb, Cd, Hg and As levels in fishery products from the Lebanese coast and health risk assessment, ICEPRAR 2018 International Conference on Environmental Pollution, Risk Assessment and Remediation, Tunisia, 18-20 Avril 2018.
Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Khalaf G., Guérin T., Jitaru P., Amara R., Metals and Trace Elements in Seafood from the Eastern Mediterranean and Health Risk Assessment, Pollutant Responses in Marine Organisms 20th meeting –PRIMO 20, Charleston SC, USA, 19 –22 Mai 2019.

Articles :

2017

- Kadiene E.U., Bialais C., Ouddane B., Hwang J.S., Souissi S., 2017. Differences in lethal response between male and female calanoid copepods and life cycle traits to cadmium toxicity. *Ecotoxicology*, 26, 1227-1239.
Pan Y.J., Sodovskaya I., Hansen B.W., Hwang J.S., Souissi S., 2017a. Assessment of the fecundity, population growth, and fatty acid composition of *Apocyclops royi* (Cyclopoida, Copepoda) fed on different microalgal diets. *Aquaculture Nutrition*, 24, 970-978.
Pan Y.J., Souissi A., Sodovskaya I., Hansen B.W., Hwang J.S., Souissi S., 2017b. Effects of cold selective breeding on the body length, fatty acid content, and productivity of the tropical copepod *Apocyclops royi* (Cyclopoida, Copepoda). *Journal of Plankton Research*, 39(6), 994-1003.
Zidour M., Chevalier M., Belguesmia Y., Cudennec B., Grard T., Drider D., Souissi S., Flahaut C., 2017. Isolation and characterization of bacteria colonizing *Acartia tonsa* copepod eggs and displaying antagonist effects against

Vibrio anguillarum, *Vibrio alginolyticus* and other pathogenic strains. *Frontiers in Microbiology : Aquatic Microbiology*, 8, 1919.

2018

Pan Y.J., Sodovskaya I., Hansen B.W., Hwang J.S., Souissi S. (2018) Assessment of the fecundity, population growth, and fatty acid composition of *Apocyclops royi* (Cyclopoida, Copepoda) fed on different microalgal diets. *Aquaculture Nutrition*, 24:970-978.

2019

Borcier, E., Artigaud, S., Gaillard, J. C., Armengaud, J., Charrier, G., Couteau, J., R. Amara & Laroche, J. (2019). Coupling caging and proteomics on the European flounder (*Platichthys flesus*) to assess the estuarine water quality at micro scale. *Science of the Total Environment*, 695, 133760.

Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Gaby, K., R, Amara & Petru, J. (2019). Levels of Pb, Cd, Hg and As in Fishery Products from the Eastern Mediterranean and Human Health Risk Assessment due to their Consumption. *International Journal of Environmental Research*, 13(3), 443-455.

Kadiene, E.U., Meng, P. J., Hwang, J. S., Souissi, S. (2019a). Acute and chronic toxicity of cadmium on the copepod *Pseudodiaptomus annandalei*: A life history traits approach. *Chemosphere*, 233:396-404.

Kadiene, E.U., Ouddane, B., Hwang, J. S., Souissi, S. (2019b). Bioaccumulation of metals in calanoid copepods by oral intake. *Scientific Reports*, 9:9492

Mahé, K., Ider, D., Massaro, A., Hamed, O., Jurado-Ruzafa, A., Gonçalves, P., Ramdane, Z, Amara R. (2019). Directional bilateral asymmetry in otolith morphology may affect fish stock discrimination based on otolith shape analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 76(1), 232-243.

Mahé, K., Gourtay, C., Defruit, G. B., Chantre, C., de Pontual, H., Amara, R. & Ernande, B. (2019). Do environmental conditions (temperature and food composition) affect otolith shape during fish early-juvenile phase? An experimental approach applied to European Seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 521, 151239.

Pan Y.J., Souissi A., Sodovskaya I., Hwang J.S., Souissi S., 2019. Egg hatching rate and fatty acid composition of *Acartia bilobata* (Calanoida, Copepoda) across cold storage durations. *Aquaculture Research*, 50, 483-489. Avec 'cover page'

Zidour M., Z. Boubechiche, Y.-J. Pan, C. Bialais, B. Cudennec, T. Grard, D. Drider, C. Flahaut, B. Ouddane, S. Souissi, 2019. Population response of the estuarine copepod *Eurytemora affinis* to its bioaccumulation of trace metals, *Chemosphere* 220, 505-513.

Zidour M., Y. Belguesmia, B. Cudennec, T. Grard, C. Flahaut, S. Souissi, D. Drider (2019). Genome sequencing and analysis of *Bacillus pumilus* ICVB403 isolated from *Acartia tonsa* copepod eggs revealed surfactation and bacteriocin production: insight on anti-*Staphylococcus* activity, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 11, 990-998.

2020

Borcier, E., Charrier, G., Couteau, J., Maillet, G., Le Grand, F., Bideau, A., Amara R & Laroche, J. (2020). An Integrated Biomarker Approach Using Flounder to Improve Chemical Risk Assessments in the Heavily Polluted Seine Estuary. *Journal of Xenobiotics*, 10(2), 14-35.

Das S., Ouddane B., Hwang J.S., Souissi S. (2020) Intergenerational effects of resuspended sediment and trace metal mixtures on life cycle traits of a pelagic copepod. *Environmental Pollution*, 267:115460

Dayras P., Bialais C., Lee J.S., Souissi S. (2020a) Effects of microalgal diet on the population growth and fecundity of the cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51:1386-1401.

Dayras P., Bialais C., Ouddane B., Lee J.S., Souissi S. (2020b) Effects of different routes of exposure to metals on bioaccumulation and population growth of the cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana*. *Chemosphere*, 248:12596.

Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Gaby, K., Guerrin T; Jitaru P & R, Amara (2020). Seasonal and spatial variability of trace elements in livers and muscles of three fish species from the Eastern Mediterranean. *Environmental Science and Pollution Research*: 27, 12428–12438 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07794-5>

Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Guerrin T; Gaby, K., Jitaru P & R, Amara . 2020. Assessment of trace element contamination and bioaccumulation in algae (*Ulva lactuca*), bivalves (*Spondylus spinosus*) and shrimps (*Marsupenaeus japonicus*) from the Eastern Mediterranean. *Regional Studies in Marine Sciences* 101478.

Ghosn, M., Chekri, R., Mahfouz, C., Khalaf, G., Guérin, T., Amara, R., & Jitaru, P. (2020). Toward a routine methodology for speciation analysis of methylmercury in fishery products by HPLC coupled to ICP-MS following the validation based on the accuracy profile approach. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-14.

Kadiene E.U., Ouddane B., Gong H.Y., Kim M.S., Lee J.S., Pan Y.J., Hwang J.S., Souissi S. (2020) Differential gene expression profile of male and female copepods in response to cadmium exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 204:111048

Pan Y.J., Déposé E., Souissi A., Hénard S., Schaadt M., Mastro E., Souissi S. (2020) Assessments of first feeding protocols on the larviculture of California grunion *Leuresthes tenuis* (Osteichthyes: Atherinopsidae). *Aquaculture Research*, 51:3054–3058.

2021

Aissioui, S., Poirier, L., Amara, R., & Ramdane, Z. (2021). Concentrations of lead, cadmium, and mercury in *Mullus barbatus barbatus* (L.) from the Algerian coast and health risks associated to its consumption. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101959.

Bouaziz R., Le Loc'h F., Rolet C., Veillet G., Munaron J.M., Rabhi, K., Djebar A.B., Amara R. & Ben Rais Lasram F. (2021) Structure and seasonal variability in fish food webs in a small macrotidal estuary (Canche estuary, Eastern English Channel) based on stable carbon and nitrogen isotope analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101694. doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101694.

Dayras P., Bialais C., Sadovskaya I., Lee M.-C., Lee J.-S., Souissi S. (2021) Microalgal Diet Influences the Nutritive Quality and Reproductive Investment of the Cyclopoid Copepod *Paracyclops nana*. *Frontiers in Marine Science*, 8: 697561.

Mahé, K., MacKenzie, K., Ider, D., Massaro, A., Hamed, O., Jurado-Ruzafa, A., ... Amara & Ernande, B. (2021). Directional Bilateral Asymmetry in Fish Otolith: A Potential Tool to Evaluate Stock Boundaries?. *Symmetry*, 13(6), 987.

Pan Y.J., Wang W.L., Hwang J.S., Souissi S. (2021) Effects of Epibiotic Diatoms on the Productivity of the Calanoid Copepod *Acartia tonsa* (Dana) in Intensive Aquaculture Systems. *Frontiers in Marine Science*, 8:728779.

2022

Kadiene E.U., Ouddane B., Gong H.Y., Hwang J.S., Souissi S. (2022) Multigenerational study of life history traits, bioaccumulation, and molecular responses of *Pseudodiaptomus annandalei* to cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 230:113171.

Effet levier :

2017-2019 : Contrat AFB/Parc Marin : évaluation du rôle des zones intertidales (estrans sableux) pour les poissons et le renouvellement des populations (zones de frayères et nourriceries) sur le Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale.

2019-2020 : Contrat AFB/Parc Marin : Suivi des poissons migrateurs amphihalins en zone estuarienne.

2017- 2020: Programme Seine Aval VI : Impact de la qualité des habitats estuariens de la Seine sur le fonctionnement d'une population de poisson.

2019-2020 : Projet AFB : Sashimi : Surveillance Active de l'impact de la pression chimique par des biomarqueurs

2021-2022 / Projet FEAMPA (Fonds Européen pour la pêche) : Évaluation de la fonctionnalité et de la qualité des habitats estuariens Picards pour le développement des anguilles européenne.

2019 -2021 : Projet ANR DUNES: Hydraulic dunes dynamics and impact on MRE projects: observations, modelling and ecosystems

2020- 2023: Projet AFB/GIP Seine Aval : BioSurveillance : Proposition d'un pilote basé sur l'utilisation de biomarqueurs pour un appui à la surveillance de la qualité des masses d'eau du district Seine-Normandie.

2017- 2020: Programme Seine Aval VI : projets SENTINELLES et Plastic-Seine.

2020-2022 : GIP Seine Aval et Grand Port Maritime de Rouen : projet SARTRE/GPMR.

2019-2021 : projet TOXIPLANK CNRS IMPTI AAP défi plastiques dans les océans.

2018-2022 : projet Interreg 2 Mers VALGORIZE

2017-2019 & 2020-2023 : 2 mandats du Laboratoire Associé International entre ULille et National Taiwan Ocean University.

2017 & 2019 : PHC ORCHID France-Taiwan

Obtention d'un CDI : Yen Ju Pan a obtenu un poste de 'Assistant Professor' à NTOU, Taiwan dans le département d'aquaculture à partir d'août 2020.

Action 3.2: Écologie expérimentale : un outil essentiel pour la compréhension de la biologie du plancton et des poissons dans le milieu naturel

Participants

Responsable : Carolina Giraldo

Personnels permanents :

Ifremer/LRH (chercheurs): Bruno Ernande, Christophe Loots, Kirsteen MacKenzie, Kélig Mahé, Paul Marchal

Ifremer/LRH (techniciens) : Josselin Caboche, Valérie Lefebvre

CDD financés par MARCO:

Guillaume Lescoute (technicien)

Lola Toomey (post-doctorante)

Résumé des activités

Les recherches menées dans le cadre de l'action 3.2 devaient s'appuyer sur la mise en place d'un plateau expérimental, hébergé au sein d'une salle dédiée à Nausicaa. La mise en place du plateau expérimental a cependant été fortement impactée par la covid-19 notamment pour ce qui est de

- (1) l'avancement des procédures administratives et le démarrage des travaux de la salle à Nausicaa ;
- (2) la date de début du contrat du CDD technicien (Guillaume Lescoute) recruté pour s'occuper des installations et de la mise en route des équipements et élevages (différée au 1/10/2020) ;
- (3) le décalage du recrutement d'une post-doctorante (Lola Toomey) qui devait effectuer les premières expériences et qui a été différé à l'été 2021.

De ce fait, bien que les équipements prévus sur la P4 ont bien été reçus et inspectés, ils ont dû être stockés dans leur emballage dans la salle du grand bassin de Nausicaa en attendant que la salle expérimentale soit opérationnelle (prévue pour Octobre 2022). L'arrivée de Guillaume Lescoute, depuis recruté en CDI, a cependant permis d'avancer considérablement sur les aspects logistiques et la concrétisation du projet expérimental avec les services logistiques de l'IFREMER, l'architecte et les services de Nausicaa. Par ailleurs, l'élevage de poissons à des fins scientifiques nécessite un agrément scientifique et une mise en conformité aux directives de la DRAFF. Guillaume Lescoute suit également ce dossier pour faire en sorte qu'une fois les travaux terminés, l'équipe LRHBL puisse être opérationnelle au plus vite. Finalement, les aquariums, systèmes de filtrations et autres équipements nécessaires aux élevages ont été achetés sur les fonds propres de l'Ifremer.

Malgré les retards pris dans la mise en place du plateau expérimental et des recrutements de personnel, l'arrivée de Lola Toomey (5 mois de financement MARCO et 13 mois de financement Ifremer) a permis de conduire à Nausicaa une étude expérimentale permettant d'évaluer les effets de la température sur les traits fonctionnels du hareng des Downs pendant sa phase embryonnaire. Les premiers résultats de cette étude, décrits ci-dessous, semblent montrer un

impact négatif d'une hausse des températures sur la fertilisation et le bon développement des œufs. Enfin, il convient de noter que ces travaux pourront se poursuivre dans le cadre du CPER IDEAL, qui bénéficiera d'une salle complètement équipée.

Équipements acquis

Rappel des équipements acquis dans le cadre du CPER pour l'action 3.2. Seuls les équipements spécifiques à l'action 3.2 et éligibles à un financement MARCO sont mentionnés ici ; les équipements utilisés transversalement dans le cadre des axes 2 et 3 figurent dans le rapport d'activité de l'axe 2).

libellé	montant HT
1 Coulter counter	45 922,82 €
16 incubateurs	246 110,00 €

Travaux réalisés

Effets de la température sur les traits fonctionnels du hareng des Downs pendant la phase embryonnaire

Le hareng atlantique (*Clupea harengus*) est une des espèces qui a été la plus étudiée dans le cadre de l'étude des effets du changement climatique sur les poissons marins d'intérêt halieutique (Catalán et al., 2019). Les études portant sur les premiers stades de vie du hareng (phases embryonnaire [œufs] et larvaire) se sont principalement focalisées sur l'impact de variations de température et/ou de salinité. Cependant, la plupart de ces travaux se sont concentrés sur les populations norvégiennes et baltiques (ex : Høie et al., 1999, Moyano et al., 2016). Or, des différenciations intraspécifiques géographiques (entre populations conspécifiques géographiquement distinctes) peuvent être attendues dans la réponse aux changements environnementaux. Des travaux complémentaires sur les autres composantes reproductrices, moins étudiées, sont donc essentiels. C'est notamment le cas du hareng des Downs qui présente une importance écologique et socio-économique dans la Manche et la Mer du Nord (ICES, 2021). Cette population se reproduit en hiver le long des côtes de la Normandie et du Nord-Pas-de-Calais. Des travaux ont précédemment été menés par l'unité HMMN sur les larves du hareng des Downs mais des études complémentaires étaient nécessaires sur le stade embryonnaire, considéré comme particulièrement sensible aux changements environnementaux (Dahlke et al., 2020; Rijnsdorp et al., 2009). Dans le contexte actuel de changement climatique, il apparaît crucial de déterminer si les œufs pourront correctement se développer et survivre dans les conditions environnementales futures, notamment vis-à-vis de la température, facteur essentiel dans le développement embryonnaire. Afin de commencer à répondre à cette question, nous avons mené une expérimentation en décembre 2021 sur des œufs du hareng des Downs, suivis entre la fertilisation et l'éclosion, en se focalisant sur l'impact d'un seul facteur: la température. Cette expérimentation a été menée dans un système contrôlé, permettant de réguler les paramètres environnementaux (ex : photopériode, température, luminosité, renouvellement d'eau). Un travail avait été mené en amont afin de concevoir de nouvelles structures d'incubation des œufs pouvant permettre d'étudier en parallèle trois scénarios thermiques. Ces nouvelles structures ont été commandées dans le cadre du projet et installées dans les locaux de l'aquarium Nausicaa (figure 3.2.1). Cette collaboration avec Nausicaa a aussi permis de former les équipes de l'aquarium au protocole de fécondation et incubation des œufs de hareng.

Trois scénarios de température ont été testés: 8°C qui correspond à la température actuelle pendant la ponte en Manche est, 10°C qui est la moyenne de la température sur la période de reproduction et 14°C correspondant aux projections du scénario extrême IPCC RCP8.5 (futurs conditions environnementales). Les objectifs de cette expérimentation étaient de (1) évaluer l'impact de la température sur le développement et la survie des œufs de hareng et (2) illustrer la différenciation intraspécifique en évaluant l'effet maternel (différences de réponse entre œufs issus de différentes femelles ; ex : Høie et al., 1999), en comparant les résultats avec ceux précédemment acquis sur les larves (différences entre stades de vie), mais également avec les données de la littérature pour illustrer la différenciation géographique.



Figure 3.2.1 Structures expérimentales destinées à l'incubation des œufs de hareng.

Des géniteurs (mâles et femelles) fraîchement débarqués ont pu être collectés grâce au soutien de la Coopérative Maritime Etaploise et du FROM Nord. Les poissons les plus matures ont été sélectionnés et une reproduction artificielle a été réalisée en utilisant trois mâles pour fertiliser les œufs de chaque femelle (minimisation des effets paternels). Un protocole de fertilisation des œufs avait été précédemment mis au point dans le laboratoire. Les œufs de 20 femelles ont été déposés sur des plaques en PVC (quatre plaques par femelle et par température), fertilisés et incubés dix minutes aux différentes températures. Après rinçage, les plaques PVC ont ensuite été placées dans les structures expérimentales de manière aléatoire (les œufs de chaque femelle étant incubés dans chaque régime de température). Les paramètres expérimentaux (température, oxygène, pH, salinité) ont été suivis de manière journalière afin de vérifier la stabilité des conditions d'élevage. Suite à de fortes mortalités, les œufs de six femelles ont pu être suivis jusqu'au stade oeillé (coloration des yeux) et les œufs de quatre femelles ont été suivis jusqu'à l'éclosion (début du stade larvaire). Différents traits biologiques ont alors pu être évalués : (1) taux de fertilisation (nombre d'œufs fécondés par rapport au nombre d'œufs total), (2) diamètre moyen des œufs au stade oeillé, (3) taux de survie au stade oeillé (nombre d'œufs fertilisés ayant atteint le stade oeillé par rapport au nombre total d'œufs fertilisés), (4) taux d'éclosion (nombre de larves écloses par rapport au nombre d'œufs ayant atteint le stade oeillé), (5) taille des larves à l'éclosion et (6) taille du sac vitellin à l'éclosion (le sac vitellin constituant les réserves énergétiques de la larve avant qu'elle ne commence à se nourrir). L'ensemble de ces traits constituent des indicateurs essentiels pour comparer le développement des œufs et des larves nouvellement écloses dans les différentes conditions de température. De plus, des données ont été collectées sur les différentes femelles (données morphologiques ; ex : taille,

âge, indice gonado-somatique) afin d’explorer par la suite les liens entre traits des femelles et traits des œufs/larves.

Les analyses de données sont en cours mais les premiers résultats préliminaires (modèles linéaires mixtes avec la température en effet fixe et la femelle et l’unité expérimentale en effets aléatoires) indiquent des différenciations dans plusieurs traits biologiques entre régimes de température (**tableau 3.2.1**). Des analyses statistiques complémentaires doivent être réalisées mais les résultats préliminaires montrent déjà un effet de la température sur différents traits biologiques. Ces résultats démontrent ainsi que le scénario expérimental le plus extrême (14°C) impactera négativement la fertilisation et le bon développement des œufs. L’analyse plus détaillée des résultats permettra de discuter des implications sur le hareng des Downs des scénarios climatiques futurs. Par ailleurs, ces travaux constituent un premier pas vers l’analyse de l’effet maternel pour *in fine* trouver des indices de qualité des œufs, variable capitale pour l’étude du recrutement chez le hareng des Downs. Les données analysées seront par la suite comparées à d’autres stades de vie et autres populations de hareng et feront l’objet d’une publication scientifique. Ces travaux permettront dans le futur, e.g., dans le cadre du nouveau CPER IDEAL, de développer des expérimentations complémentaires permettant d’évaluer les effets du changement climatique sur les premiers stades de vie du hareng en s’intéressant à d’autres facteurs de stress (ex : acidification), individuellement ou en interaction avec la température.

Tableau 3.2.1 Résultats préliminaires obtenus sur l’évaluation de l’effet de la température sur les traits biologiques des œufs et des larves de hareng.

Trait	Effet température ?	Différences entre températures ?
Taux de fertilisation	Oui	8°C > 10°C > 14°C
Taux de survie	Non	-
Diamètre moyen des œufs	Oui	8°C > 10°C - 14°C
Taux d’éclosion	Oui	8°C > 10°C - 14°C
Taille à l’éclosion	Non	-
Volume sac vitellin	Oui	8°C - 10°C > 14°C

Références citées dans le texte :

- Catalán, I. A., Auch, D., Kamermans, P., Morales-Nin, B., Angelopoulos, N. V., Reglero, P., Sandersfeld, T., & Peck, M. A. (2019). Critically examining the knowledge base required to mechanistically project climate impacts: A case study of Europe’s fish and shellfish. *Fish and Fisheries*, 20(3), 501–517. <https://doi.org/10.1111/faf.12359>
- Dahlke, F. T., Wohlrab, S., Butzin, M., & Pörtner, H. O. (2020). Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. *Science*, 369(6499), 65–70. <https://doi.org/10.1126/science.aaz3658>
- Høie, H., Folkvord, A., & Johannessen, A. (1999). Maternal, paternal and temperature effects on otolith size of young herring (*Clupea harengus* L.) larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 234(2), 167–184. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00154-3](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00154-3)
- ICES. (2021). Report of the Herring Assessment Working Group for the Area South of 62°N (HAWG). *ICES Scientific Reports*, 3(12), 1–779. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8214>
- Moyano, M., Illing, B., Peschutter, P., Huebert, K. B., & Peck, M. A. (2016). Thermal impacts on the growth, development and ontogeny of critical swimming speed in Atlantic herring larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 197, 23–34. <https://doi.org/10.1016/J.CBPA.2016.02.020>

Rijnsdorp, A. D., Peck, M. A., Engelhard, G. H., Möllmann, C., & Pinnegar, J. K. (2009). Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science*, 66(7), 1570–1583. <https://doi.org/10.1093/ICESJMS/FSP056>

Valorisations

Post-doctorat

Lola Toomey (août 2021 – janvier 2023, 18 mois) : Impact du réchauffement climatique sur les premiers stades de vie du hareng à partir d'une approche expérimentale (encadrement : Carolina Giraldo, Christophe Loots, Kirsteen Mac Kenzie, Kélig Mahé et Paul Marchal).

Effet levier sur des projets en cours ou passés

2017-2019: Projet ToolBar : « Mieux appréhender l'effet de la température sur les processus de biominéralisation de l'otolithe - approche expérimentale appliquée au bar (*Dicentrarchus labrax*) », Porteurs : Kélig Mahé (Ifremer/HMMN), Bruno Ernande (Ifremer/HMMN) et Rachid Amara (ULCO), financement Direction Scientifique de l'Ifremer.

2018-2021 : COCKTAIL "Climate change effects on fish larvae". Porteurs: Carolina Giraldo (Ifremer/HMMN), Cédric Meunier (Alfred Wegener Institute, Allemagne) ; financement conjoint AMI (Ifremer/Alfred Wegener Institute).

2021-2024 : FORESEA2050 « French seaFood pRoduction Scenarios in 2050". Porteur: Mathieu Doray (Ifremer-HALGO); financement AMI (Direction Scientifique de l'Ifremer)

2021-2027 : CPER IDEAL « approche Intégrée des DEfis maritimes et Littoraux ». Porteur : Sébastien Monchy (UMR LOG). Ifremer-LRH sera particulièrement impliqué dans la « Plateforme halieutique » (co-pilotage avec l'UMR LOG) dédiée à l'expertise biologique, l'innovation et la valorisation des ressources marines vivantes et notamment au niveau du plateau « expérimentation et élevage d'organismes marins ». Financement Etat-Région-Ifremer.

Recrutement en CDI de personnels non permanents

Guillaume Lescoute, recruté en 2022 au laboratoire HMMN Boulogne sur Mer

Axe 4 : Qualité et sécurité des ressources aquatiques

Action 4.1 : Réseau trophique et contaminants en Manche (RECOMANCHE)

Participants

Responsables : Pierre Cresson (Ifremer/HMMN) et Guillaume Duflos (ANSES/LSAI)

Personnels permanents: Thomas Brauge (Chargé de Projets Recherche-Anses), Clémence Couvreur (Technicienne, Ifremer), Alexandre Dehaut (Chargé de Projets Recherche - Anses) – Sabine Delannoy (Chargée de projet, Anses) – Margaux Denamiel (Technicienne, Ifremer) – Patrick Fach (chef d’unité, Anses) - Mélanie Gay (Cheffe d’unité adjointe, Anses) – Charlotte Himber (Technicienne, Anses) - Kelig. Mahe (Cadre de recherche, Ifremer) - Graziella Midelet (Cheffe d’unité -Anses) – Manuel Rouquette (Technicien, Ifremer)

Personnels non permanents, recrutés dans le cadre de MARCO et impliqués dans cette action: Fabien Lebon (Technicien, Ifremer; recruté dans le cadre de l’action 2.4)

Résumé des activités

Dans un contexte où les pressions anthropiques (microplastiques) et biologiques (parasites et antibiorésistance bactérienne) sur les ressources halieutiques sont au coeur des préoccupations sociétales, cette action visait à apporter des facteurs biologiques individuels (niveau trophique, sexe, ou âge des poissons) ou environnementaux (profondeur) permettant d’expliquer les niveaux de contamination en microplastiques, la détection d’antibioresistance, ou l’intensité des parasites du genre *Anisakis*. Au-delà de la caractérisation du risque sanitaire lié à ces menaces, ce couplage permet d’explorer également des aspects plus intégrés, inscrivant ainsi ce travail dans le cadre d’une approche « One Health ». En exploitant des chinchards (*Trachurus trachurus*), espèce clé pour la Manche en automne, collectés durant la campagne CAMANOC 2014, cette action a nécessité en préalable, un gros effort de standardisation et d’homogénéisation des méthodes a été nécessaire, pour intercalibrer les protocoles des équipes Anses et Ifremer Impliquées dans cette action. Les résultats acquis montrent qu’il est possible de mener à bien des projets multidisciplinaires d’une telle ampleur et avec des résultats probants.

Équipements acquis

- Apotome
- PFGE (système pour l’électrophorèse en champs pulsés)
- PSM (poste de sécurité microbiologique)
- Surgélateur

Travaux réalisés

Les chinchards *T. trachurus* inclus dans cette action ont été collectés à 10 stations de Manche Est, couvrant des profondeurs comprises entre 37 et 97 m. L’échantillonnage a lieu durant la

campagne CAMANOC, réalisée par l'Ifremer en octobre 2014. Le choix s'est porté sur le chinchard, car c'est une espèce qui domine l'écosystème à cette saison, et qui a également une importance commerciale, aux vues des débarquements conséquents. Les poissons sont stockés congelés à bord puis pesés, mesurés une fois de retour au laboratoire. La quasi-totalité des tissus du poisson est prélevée, afin de disposer des matrices analytiques propres à chaque type d'analyse.

La compréhension de l'écologie trophique du poisson se base sur l'analyse des rapports isotopiques C et N mesurés dans le muscle dorsal, et sur l'identification et le dénombrement des proies observées dans l'estomac. Ces travaux s'inscrivent en complémentarité de ceux menés dans le cadre de l'action 2.4 « Variabilité des réseaux trophiques marins le long des gradients environnementaux ». Les parasites du genre *Anisakis*, dont la présence dans certains poissons peut représenter un risque pour la santé humaine, via la consommation de poisson cru ou mal cuit, ont été recherchés et dénombrés par observation visuelle, après passage à la presse et sous lumière UV, dans le muscle, le foie, les gonades, l'estomac et la cavité corporelle. La détermination morphologique a ensuite été confirmée par analyse moléculaire pour un sous-échantillon des parasites observés (PCR conventionnelle et séquençage Sanger, PCR quantitative). La communauté bactérienne et la présence de gènes d'antibiorésistance a été caractérisée par des prélèvements effectués sur la peau et les ouïes de 50 individus. À partir de ces 100 échantillons, 250 souches ont été isolées et 217 souches ont pu être identifiées par MALDI-TOF avec une confirmation de l'identification par séquençage de l'ADN 16s. Enfin, les estomacs et intestins ont été analysés pour détecter la présence de microplastiques, après digestion au KOH, et sous loupe binoculaire. La composition chimique des microplastiques collectés a été déterminée par pyrolyse.

En préalable à l'analyse à proprement parler des échantillons, l'adaptation de cet échantillonnage aux protocoles, aux contraintes et aux habitudes de chaque méthode a demandé un effort conséquent de standardisation et d'homogénéisation. En effet, bien que les objets d'étude des deux équipes soient identiques, chaque laboratoire (Anses et Ifremer) suivait des protocoles divergents sur certains points, par exemple la mise en forme de l'échantillon (poisson entier, organe, tissu etc.) et le degré de propreté requis pour chaque analyse. Cette question s'est notamment posée pour l'analyse des microplastiques, afin d'éviter une contamination des échantillons par l'environnement ou la dissection. A ce titre, deux réunions de travail (04/11/2016 et 02/05/2017) et des séances de dissection fictives (sur des poissons pas utilisés dans le projet), impliquant l'ensemble des équipes des deux laboratoires ont eu lieu avant d'engager les différentes expérimentations.

Analyses en parasitologie

Le nombre de parasites est très variable entre stations, avec des charges parasitaires comprises entre 0 et 312 *Anisakis* par poisson, et avec $\frac{2}{3}$ des poissons comprenant moins de 10 parasites. La prévalence moyenne pour toutes les stations (pourcentage de poissons présentant au moins un parasite) est élevée (68%), même si elle est variable. Bien qu'aucune station ne présente une prévalence nulle, les valeurs s'échelonnent entre 30 et 100%. En termes de tissus, on retrouve des *Anisakis* essentiellement dans la cavité corporelle, et dans le muscle et le foie, mais avec des valeurs très variables entre stations (**figure 4.1.1**). Il y a enfin une relation significative entre d'une part la taille des poissons et le nombre de parasites retrouvés dans leurs tissus, et ensuite entre les résidus de cette relation et la profondeur. La relation entre la taille peut-être par ailleurs divisée en deux sous parties, la tendance étant plus prononcée pour les poissons de plus de 20 cm. Ce découpage basé sur la taille se retrouve également pour l'alimentation. Bien que tous les individus mangent du zooplancton, ceux de moins de 20 cm consomment

essentiellement des copépodes, alors que la proie principale pour les plus grands est les euphausiacés. Ces résultats montrent par ailleurs que la part des proies pélagiques dans l'alimentation augmente quand la profondeur, conformément aux attendus dans un système où l'intensité du couplage entre systèmes pélagiques et benthiques est contrôlée par la profondeur.

Ces différences entre stations et individus s'expliquent par les effets combinés de la profondeur et de la taille des poissons, dans le contexte de l'importance du couplage benthopélagique en Manche (cf. Action 2.4). *Anisakis* est un parasite considéré comme pélagique, car son cycle implique successivement des crustacés zooplanctoniques (euphausiacés), des poissons dont le chinchard, puis des cétacés chez qui le cycle est bouclé. L'effet important de la taille sur l'intensité parasitaire est donc tout d'abord expliqué par le changement ontogénique de l'alimentation, et par la prépondérance des euphausiacés pour les poissons de plus de 20 cm. L'absence de consommation d'euphausiacés avant cette taille explique que les poissons ont des intensités parasitaires très faibles, au contraire des plus grands que l'alimentation expose à *Anisakis*. L'effet de la profondeur, via son contrôle sur l'accès ou non aux proies benthiques, explique secondairement les niveaux de parasitisme. La possibilité d'accéder à des proies benthiques aux stations les moins profondes limite l'exposition aux parasites. Enfin, la répartition des parasites entre les tissus pourrait s'expliquer par une capacité du parasite à cibler les tissus les plus riches en lipides, et donc les mieux à même de subvenir à ces besoins alimentaires.

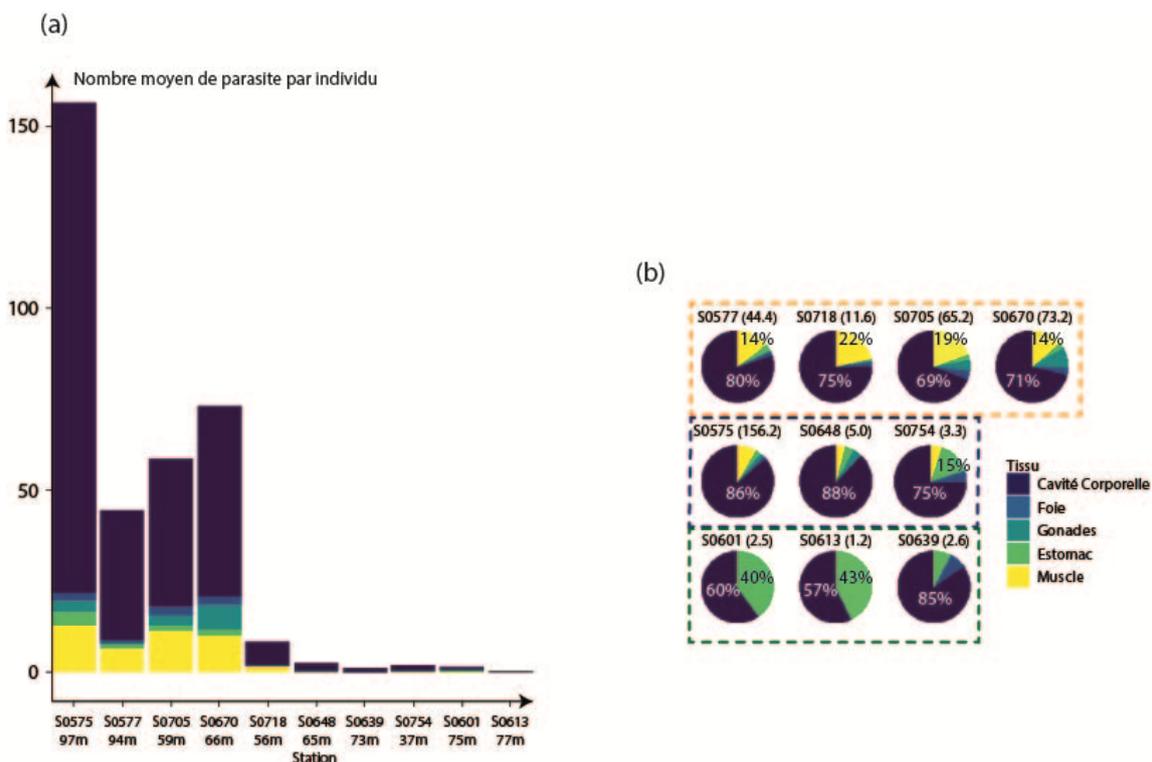


Figure 4.1.1 (a) Nombre moyen d'*Anisakis* par individu en fonction des stations. (b) Importance relative des différents tissus dans la charge parasitaire totale. Le nombre moyen de parasites a été calculé pour tous les poissons, y compris ceux ne présentant pas de parasites, alors que les individus non parasités n'ont pas été inclus pour le calcul des importances relatives.

Analyses en microbiologie

À partir des 100 échantillons de peau et d'ouïes, 250 souches ont été isolées et 217 souches ont pu être identifiées par MALDI TOF avec une confirmation de l'identification par séquençage de l'ADN 16s (tableau 4.1.1). Les flores isolées étaient très largement dominées par le genre

Psychrobacter. L'explication réside dans le fait que les 50 chinchards analysés ont été prélevés en 2014 et ont subi une congélation de plus de trois ans. Les bactéries du genre Psychrobacter sont reconnues pour avoir une forte tolérance à la congélation. C'est donc pour cette raison qu'elles ont été retrouvées majoritairement. Aucune souche provenant de l'espèce *Listeria monocytogenes* n'a été isolée, ce qui n'a pas permis d'utiliser l'outil PFGE permettant un sous-typage des souches provenant de cette espèce.

L'évaluation de l'antibiorésistance des souches bactériennes a été réalisée sur deux aspects : un aspect phénotypique et un aspect génétique. Concernant l'étude phénotypique, la sensibilité de souches provenant du genre Psychrobacter a été testée vis-à-vis de 12 antibiotiques d'intérêt contre les bactéries Gram négatif: β -lactamines (Pénicillines), β -lactamines (C1G/C2G), Oxalodionones, Glycopeptides, Phénicolés, Rifampicine, Aminosides, Sulfamides, Tétracyclines, Macrolides et apparenté, Quinolones et Acide Fusidique. Sur les 175 souches isolées, 120 ont été analysées car 55 souches de Psychrobacter provenaient de même échantillons et représentaient donc des potentiels clones. Après analyse, les 120 Psychrobacter se sont montrés sensibles aux 12 antibiotiques testés.

Tableau 4.1.1 Souches bactériennes identifiées à partir des prélèvements d'ouïe et de peau.

Gram	Genre	Souche	Nom de l'espèce	Nombre de souches
Gram +	<i>Aerococcus</i>	17	<i>viridans</i>	15
			ND	2
	<i>Bacillus</i>	14	<i>licheniformis</i>	9
			<i>vietnamensis</i>	5
	<i>Brachybacterium</i>	1	<i>paraconglomeratum</i>	1
	<i>Kocuria</i>	1	<i>palustris</i>	1
<i>Staphylococcus</i>	3	<i>xylosus</i>	3	
Gram -	<i>Halomonas</i>	3	ND	3
	<i>Psychrobacter</i>	158	<i>celer</i>	87
			<i>faecalis</i>	10
			<i>alimentarius</i>	1
		ND	60	

De même la sensibilité des 3 souches provenant du genre *Staphylococcus* et des 17 souches provenant du genre *Aerococcus* ont été testé vis-à-vis de 12 antibiotiques d'intérêt contre les bactéries Gram positif: Pénicillines, Pénicilline + acide clavulanique, C1G/C2G, C3G, Chloramphénicol, Aminosite, Sulfamide, Tétracycline, Macrolide, Quinolones et Polymyxine. Aucune résistance particulière n'a été observée parmi les trois souches provenant du genre *Staphylococcus*.

Concernant l'étude génétique, 120 souches de *Psychrobacter* ainsi que 100 bouillons d'enrichissement des échantillons de poisson (ouïes + peau) ont été analysé par PCR temps-réel

très haut débit Fluidigm permettant la détection simultanée de 96 gènes de résistance dans 96 échantillons. Les gènes choisis (**Figure 4.1.2**) ont été sélectionnés en fonction de leur importance en santé publique selon la liste de l'OMS répertoriant les classes d'antibiotiques critiques en santé humaine. Nous nous sommes également attachés à sélectionner des gènes qui avaient été décrits dans la littérature comme portés par des éléments génétiques mobiles (donc transférables) dans des bactéries gram négatives.

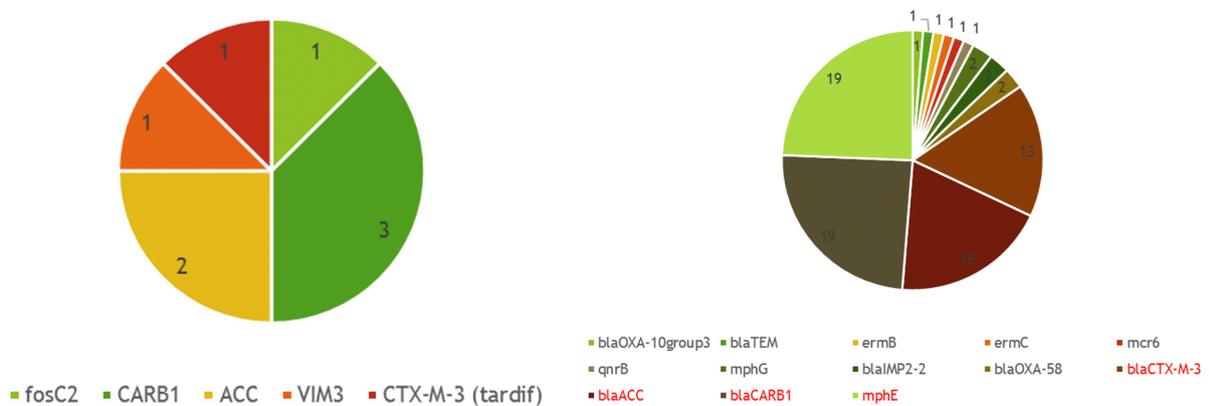


Figure 4.1.2 (a-gauche) Gènes de résistance détectés dans les 28 souches de *Psychrobacter* ; (b-droite) Gènes de résistance détectés dans les 100 bouillons d'enrichissement.



Figure 4.1.3. Mise en évidence d'une particule isolée par filtration des tissus après digestion.

Concernant les *Psychrobacter*, sur les 120 souches analysées, 28 souches ont été positives à la détection de gènes de résistance. Au total, 8 gènes de résistance ont été détectés (**Figure 4.1.2a**) avec la présence systématique dans ces 28 souches d'un gène génétiquement proche de blaCTX-M. Concernant la détection des gènes de résistance directement sur bouillon d'enrichissement, ce sont 78 gènes de résistances qui ont été détectés à partir de 100 bouillons (**figure 4.1.2b**). Il faut cependant être vigilant avec ces données génétiques puisque quelques faux positifs ont été mis en évidence par PCR classique après détection positive par Fluidigm.

Analyse des microplastiques

L'analyse de microplastiques est venue compléter les études précédentes, notamment par l'analyse de 50 intestins ainsi que 100 contenus stomacaux analysés : 44 fragments isolés dans 20 individus (1 seul de nature synthétique). 84 contenus stomacaux ont été analysés en raison

de leur qualité, on a pu observer 4 fragments (1 seule particule a été identifiée comme du Polyéthylène (PE) et retrouvée dans un chinchard) et 4 fragments. Concernant les intestins, 25 fibres et 25 fragments ont été retrouvés (Figures 4.1.3 et 4.1.4).

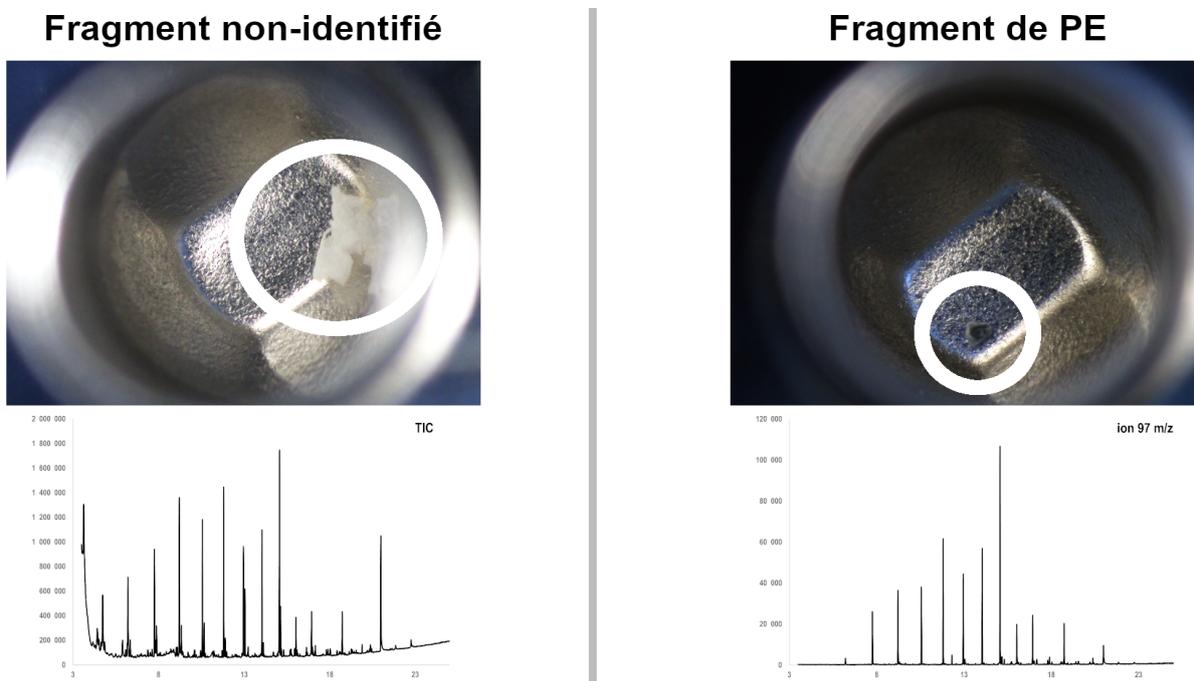


Figure 4.1.4 Analyses de particules réalisées par pyrolyse GS-MS

Valorisations

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

Brisabois A. 2018. High-Throughput Method for Antimicrobial Resistance Genes Detection, CIFSQ, (China International Food safety & Quality Conference), Shanghai, 7-8 novembre 2018

Youf R, Dauvergne E, Webb HE, Delannoy S, Briet A, Brauge T, Bourdin G, Fach P, Granier SA, Brisabois A, 2019 A High-Throughput Method for Antimicrobial Resistance Genes Detection, ARAE, Tours, 1er au 3 juillet 2019

Cresson P, Lefebvre S, Giraldo C, Travers-Trolet M, Gay M, Ernande B. 2019. Importance trophique du benthos en Manche. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.

Gay M, Ernande B, Lefebvre S, Bourgau O, Couvreur C, Denamiel M, Giraldo C, Travers-Trolet M, Rouquette M, Cresson P. 2021. Length and depth are major drivers of *Anisakis* levels in a zooplankton-feeding fish. XIIIth EMOP conference. Oct 12-15th, Hybrid (Belgrade, Serbia/Virtual).

Delannoy S, Hoffer C, Youf R, Dauvergne E, Brauge T, Webb H.E, Tran M.L, Midelet G, Granier S.A, Haenni M, Fach F, Brisabois A. 2021. High-Throughput Molecular Method for the detection of Antimicrobial Resistance markers in seafood Bacteria. Colloque Marco 2021, CCI, 13-15 octobre 2021, Boulogne sur Mer.

Articles :

Brauge T, Midelet-Bourdin G, Soumet C. 2018. Viability Detection of Foodborne Bacterial Pathogens in Food Environment by PMA-qPCR and by Microscopic Observation. Foodborne Bacterial Pathogens, 117-128.

Delanoy S, Hoffer C, Youf R, Dauvergne E, Webb H.E, Brauge T, Tran M.L, Midelet G, Granier S.A, Haenni M, Fach F, Brisabois A. 2022. High-Throughput screening of antimicrobial resistance genes in gram-negative seafood Bacteria. *Microorganisms*, sous presse.

Effet levier :

2018-2020 : RESCAPE “Etude de la résistance bactérienne aux antibiotiques dans les poissons marins et connaissance de leur environnement”. Co- porteurs, P. Cresson, Ifremer/HMMN, G. Bourdin et T. Brauge, LSA/ANSES, financement Ecoantibio/Ministère de l’Agriculture

2020-2022 : PARATROPH “Ecologie Parasitaire et Réseaux trophiques”, co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN et M. Gay ANSES/LSAPPA, financement SFR CAmplus de la Mer

2020-2022 : PATROFLU “Parasites et flux de matière”, co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN et M. Gay ANSES/LSAPPA, financement Direction Scientifique Ifremer

2021-2022: Understanding host-parasite biomass exchanges to better inform fisheries and aquaculture practices. Co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN, M. Gay ANSES/LSAPPA et A. Sabadel (Univ. Otago, Dunedin, Nouvelle Zélande). Financement de l’Ambassade de France en Nouvelle Zélande, “France-Related research Program”

2022-2023: Kai ika in a changing ocean: understanding parasite-fish trophic interactions to inform environmental and human health policies. Co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN, M. Gay ANSES/LSAPPA et A. Sabadel (Univ. Otago, Dunedin, Nouvelle Zélande). Catalyst Seeding Grant, NZ Royal Society

2022-2023 MARESISTOME: Role of coastal ecosystem in the spread of antibiotic resistance and innovative strategies to limit it. Coordination LEMAR (Laboratory of marine environmental sciences), partenaires : Anses, P Fach, S Delannoy (IdentyPath platform, Maisons-Alfort) & G Midelet (Boulogne/Mer)

Recrutement de personnels en CDI

Thomas Brauge, programmation 2

Raphaëlle Youf, programmation 3

Corinne Hoffer , programmation 3

Action 4.2 : Impact des pratiques d'élevage du bar (*Dicentrarchus labrax*) sur la flore microbienne et des populations de *Vibrio* spp. d'intérêt en santé animale et publique (VIBBAR)

Participants

Responsable : Thierry GRARD (PR UMRT BioEcoAgro)

Permanents : Cédric LE BRIS (MCF UMRT BioEcoAgro), Maryse BONNIN-JUSSERAND (MCF UMRT BioEcoAgro), Périne DOYEN (MCF UMRT BioEcoAgro)

Post-doctorante puis MCF : Roxane ROQUIGNY (UMRT BioEcoAgro)

Doctorante puis post-doctorante : Julia MOUGIN (UMRT BioEcoAgro)

Collaborations : Plateforme Identypath de l'Anses, Maison-Alfort, Plate-Forme d'Innovation Nouvelles Vagues, station expérimentale de Wimereux

Résumé des activités

Les vibrions sont des bactéries, particulièrement présentes au sein des estuaires marins. Parmi les espèces pathogènes pour l'Homme, les souches de *Vibrio cholerae* des sérogroupes O1 et O139 sont responsables du choléra, les souches de *V. cholerae* des autres sérogroupes ou appartenant à d'autres espèces de *Vibrio* sont responsables d'infections intestinales et extra-intestinales. C'est le cas notamment de *Vibrio parahaemolyticus* et *Vibrio vulnificus*. Bien que les cas recensés se situent hors de l'Europe, le réchauffement climatique a pour conséquence que nous considérerions le risque Vibrions comme un risque émergent pour l'Homme au niveau européen. Aux côtés des espèces pathogènes pour l'Homme, de nombreuses espèces de vibrions sont pathogènes pour les poissons marins.

Dans le contexte actuel de population mondiale en forte croissance, l'aquaculture fournit actuellement près de la moitié du poisson consommé par l'Homme (FAO (2016)²). Ainsi, l'aquaculture permet de préserver les stocks naturels de poissons mais doit cependant faire face à différentes causes de mortalité. La perte des stocks en aquaculture est souvent due aux infections microbiennes. Parmi la multitude de pathologies décrites, les vibrioses représentent un problème majeur dans le cadre de l'élevage des coquillages, des crustacés et des poissons. Les espèces pathogènes principalement responsables de ces vibrioses en pisciculture sont *Vibrio harveyi* et *Vibrio anguillarum*.

Afin de lutter contre ce fléau, l'action 4.2 VIBBAR du CPER MARCO est basée sur la compréhension des modes de développement des bactéries responsables des vibrioses du bar.

² FAO (2016) dans *The state of world fisheries and aquaculture*, "Food and Agriculture Organization ed". ISBN: 978-92-5-209185-1

Equipements acquis

Programmation	Equipement	Utilisation
MARCO P1	surgélateur -80°C	Stockage des souches de <i>Vibrio</i>
MARCO P2	Séquenceur d'ADN (Illumina)	Etude métagénomique des ARN ribosomiques 16S, présents dans les prélèvements
MARCO P3	Robot extracteur d'ADN	Faciliter et optimiser l'extraction d'ADN du grand nombre d'échantillons collectés
	qPCR 384 puits	Réaliser simultanément un grand nombre de PCR en temps réel
MARCO P4	Agitateur orbital	Préparation des échantillons
	Ensemble de 3 pipettes multicanaux distributrices	Préparation des échantillons
MARCO P5	Centrifugeuse haute capacité	Préparation des échantillons

Description des activités

L'unité Biochimie des Produits Aquatiques (BPA) de l'ULCO de l'[Institut Charles Viollette](#) (EA 7394 puis [UMRt BioEcoAgro](#) n°1158) a fait le choix stratégique de développer des compétences en biologie moléculaire dans le but de comprendre le mécanisme d'adhésion de ces bactéries dans l'environnement aquacole et d'étudier la flore composant ces biofilms à l'état naturel. Plus précisément, les objectifs sont dans un premier temps et à partir de prélèvements réalisés chez les partenaires du projet, d'identifier les différentes espèces bactériennes mais aussi, pour une espèce donnée, les différentes souches, présentes au sein des biofilms.

L'acquisition du **séquenceur d'ADN (Illumina)** nous a permis de débiter la mise en place d'approches moléculaires, complémentaires des approches microbiologiques, dans le but d'identifier la flore bactérienne totale dans des prélèvements issus de la structure aquacole Aquanord-Ichtus. En effet, une étude métagénomique des ARN ribosomiques 16S, présents dans les prélèvements, est actuellement mise en place pour mettre en avant les différentes espèces et les différentes souches bactériennes présentes dans les bassins d'élevage notamment sous forme de biofilms. L'utilisation du séquenceur d'ADN (Illumina) et l'interprétation des données obtenues permettent de suivre l'évolution de ces populations bactériennes au cours du temps mais aussi les interactions inter- et intra-spécifiques. Afin de concrétiser le développement de ces approches moléculaires, une post-doctorante (Roxane ROQUIGNY), formée à l'utilisation de séquenceur Illumina et à l'interprétation des données, a été recrutée en septembre 2018 dans le cadre de la programmation 3 du CPER MARCO.

Au cours de la programmation 3 du CPER MARCO mais aussi de la thèse de Julia MOUGIN (2017-2020), l'objectif a été de comprendre la dynamique spatio-temporelle de *V. harveyi*, sous forme planctonique et sous forme de biofilms, au sein de la structure aquacole Aquanord Ichtus. En effet, les épisodes de vibrioses se développent lors des mois les plus chauds de l'année mais aucune information n'existait dans la littérature sur la dynamique de cette espèce au cours du temps et en fonction des paramètres environnementaux dans les élevages de poissons. Les objectifs étaient donc de répondre aux questions suivantes :

- Les souches de *V. harveyi* sont-elles présentes toute l'année mais davantage virulente lorsque les conditions environnementales (notamment la température) sont optimales ?

- Y-a-t-il une disparition totale des souches de *V. harveyi* lors des mois les plus froids de l'année et si tel est le cas par quel canal les souches recolonisent-elles les bassins d'élevage ?
- L'évolution des populations de *V. harveyi*, notamment sous forme de biofilms, est-elle corrélée à la présence d'autres espèces bactériennes ?

Pour répondre à ces questions, une importante campagne d'échantillonnage a été réalisée dans les bassins aquacoles, sur les parois de ces derniers (pour cibler les biofilms) mais aussi au niveau des arrivées d'eau froide et chaude alimentant les bassins. Ainsi, des prélèvements hebdomadaires ont été réalisés pendant une durée de 7 mois et ont permis de collecter 465 échantillons d'eau et 164 échantillons de biofilms. A partir de ces échantillons, des cultures bactériennes ont été réalisées sur milieu sélectif (TCBS) afin d'isoler les espèces appartenant au genre *Vibrio*. A partir de ces mêmes échantillons, des extractions d'ADN total ont également été pratiquées afin d'une part de détecter et quantifier *V. harveyi* mais aussi d'identifier les autres espèces bactériennes présentes. Pour ce faire, deux approches différentes ont été mises au point : une approche par PCR en temps réel (qPCR) pour la quantification de *V. harveyi* et une approche par séquençage haut débit pour l'identification des différentes espèces bactériennes présentes au sein des échantillons. Cette dernière partie a été réalisée par Roxane ROQUIGNY, recrutée en tant que post-doctorante dans le cadre du CPER MARCO alors que les autres expérimentations ont été menées dans le cadre de la thèse de Julia MOUGIN. Pour faciliter et optimiser l'extraction d'ADN du grand nombre d'échantillons collectés, un robot extracteur d'ADN a été acquis dans le cadre de la programmation 3 du CPER MARCO. Un équipement permettant de réaliser simultanément un grand nombre de PCR en temps réel a également été acquis dans le cadre de cette programmation permettant la quantification de *V. harveyi* dans les différents échantillons. Enfin, l'identification des différentes souches bactériennes présentes a pu être réalisée grâce au séquenceur nouvelle génération Miseq (Illumina) acquis lors de la programmation 2 et aux kits de purification des librairies et de traitement des échantillons acquis lors de la programmation 3.

La collecte des échantillons dans les bassins de la structure aquacole et au niveau des arrivées d'eau a nécessité le développement et l'optimisation d'une technique de PCR en temps réel afin de pouvoir traiter les échantillons d'eau comme de biofilms. Cette technique optimisée et validée a fait l'objet d'une publication (Mougin *et al.*, 2020a). Grâce à cette technique, un suivi spatio-temporel de l'espèce *V. harveyi* a été réalisé et les résultats obtenus montrent que cette espèce, responsable de la vibriose du bar, est présente une grande partie de l'année et pas uniquement lors des mois les plus chauds. Des isolats ont ainsi été trouvés dans l'eau des bassins mais aussi au niveau des arrivées d'eau tout au long de la campagne d'échantillonnage. *V. harveyi* était présent sous forme planctonique dans l'eau des bassins mais également sous forme de biofilms sur les parois de ces derniers permettant ainsi une persistance de l'espèce.

La quantification de *V. harveyi* et le suivi des paramètres environnementaux ont également permis de mettre en avant une corrélation positive entre l'abondance de *V. harveyi* et la température de l'eau. Les résultats ont également montré la présence au sein de la structure aquacole d'autres espèces appartenant au genre *Vibrio* (*Vibrio alginolyticus*, *Vibriooowensii*, *Vibrio rotiferianus*, ...). L'ensemble de ces résultats a fait l'objet d'une publication (figure 4.2.1). De plus, une base de données de spectrométrie de masse a été créée (LUVIBASE) afin d'identifier les différentes espèces au sein du clade Harveyi et une PCR en temps réel a été développée afin de quantifier *V. harveyi* dans des échantillons d'eau et de biofilms. En parallèle, la mise au point d'un protocole de séquençage haut débit a permis d'identifier les différents genres bactériens (*Vibrio* et autres) présents dans les bassins d'élevage. Ces différentes étapes ont permis d'isoler plus d'un millier d'isolats de *Vibrio* et plus de 200 isolats de *V. harveyi*, aussi bien sous forme

planctonique que sous forme de biofilms. La technique de spectrométrie de masse développée et optimisée pour l'identification des différentes espèces de *Vibrio* a fait l'objet d'une publication dans *Frontiers in Microbiology* (Mougin *et al.* 2020b).

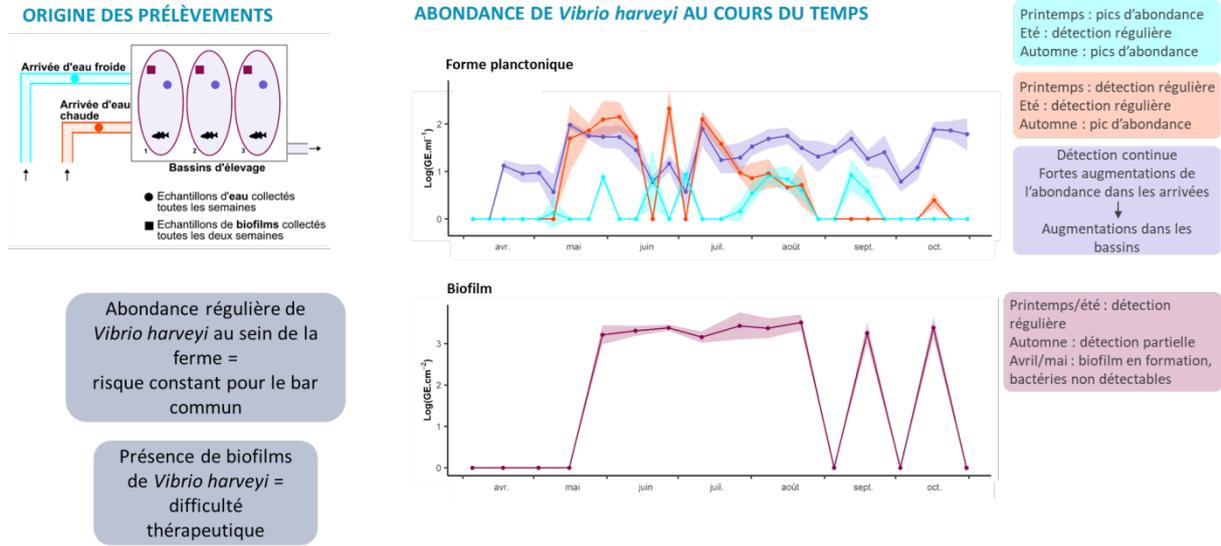


Figure 4.2.1 Abondance de *Vibrio harveyi* au cours du temps dans les échantillons d'eau et le biofilms collectés sur le site d'Aquanord-Ichtus.

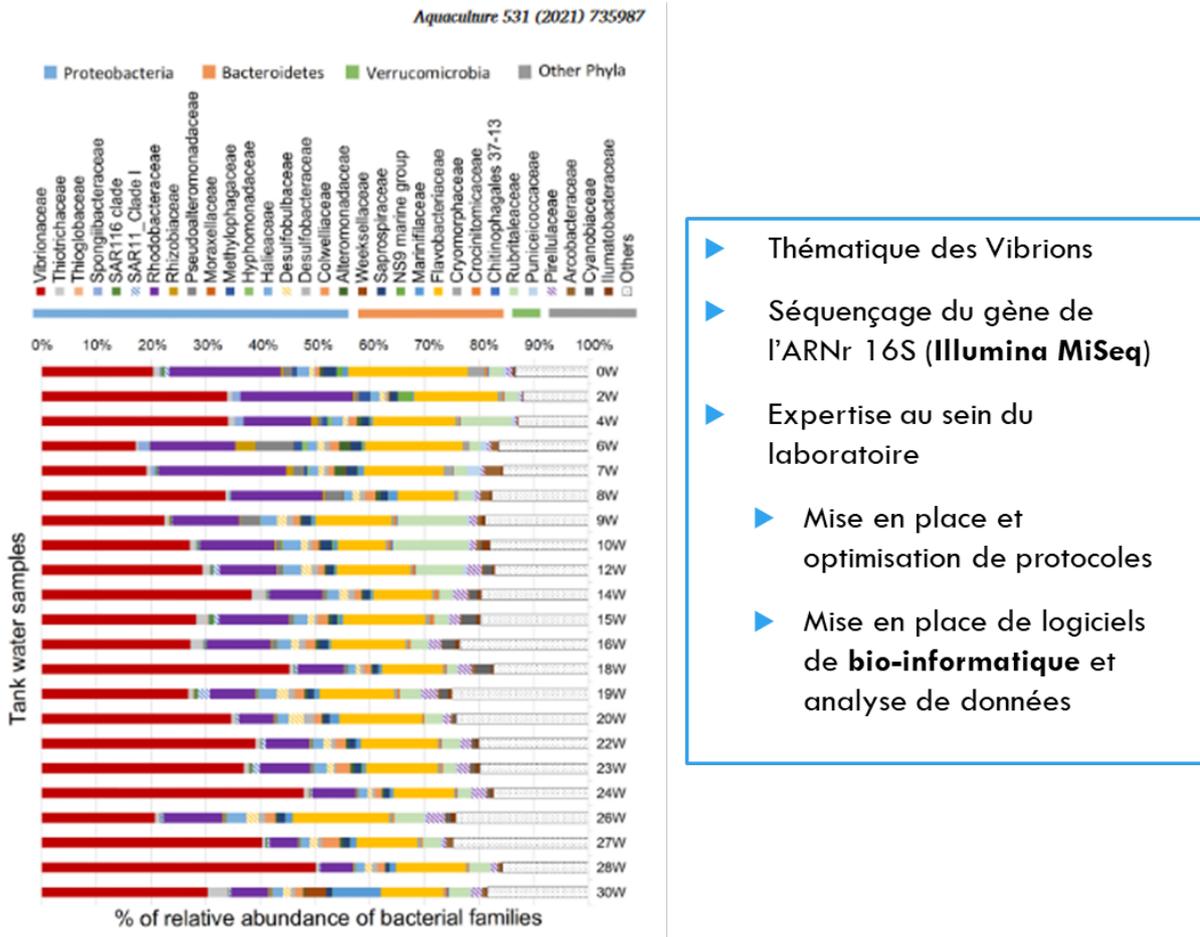


Figure 4.2.2 Caractérisation de la flore bactérienne marine de la ferme Aquanord-Ichtus.

Parallèlement à cette étude de *V. harveyi* et des Vibrionaceae en général, l'étude des populations bactériennes totales a démontré que les protéobactéries ainsi que les bactéroïdes composaient plus de 80 % de la diversité observée. Les résultats ont également mis en avant que certaines familles bactériennes étaient spécifiques d'un compartiment donné. Les indicateurs utilisés ont également permis de souligner que les communautés étaient plus diversifiées au sein des biofilms que dans l'eau des bassins ou des arrivées d'eau. Cette étude du microbiome de la structure aquacole a été valorisée à travers une publication dans *Aquaculture* (Roquigny *et al.*, 2021) (figure 4.2.2).

L'ensemble des résultats obtenus contribue à une meilleure compréhension du développement de la vibriose causée par *V. harveyi* au sein des bassins aquacoles et apportent les premiers éléments de compréhension quant aux interactions entre les différentes espèces bactériennes présentes. Ces interactions, tout comme l'environnement abiotique, sont des facteurs clés dans le développement de la virulence et donc de la maladie pouvant toucher les bars d'élevage.

Toutefois, bien que les épisodes de vibriose se produisent au cours des mois les plus chauds de l'année, aucune information n'était disponible sur la virulence des isolats récoltés. En effet, la simple présence de souches de *V. harveyi* dans les bassins ne se traduit pas systématiquement par le développement de la pathologie et des mortalités de bars associées. Cela dépend d'une part de la souche elle-même et du fait qu'elle est ou non porteuse de gènes de virulence (patrimoine génétique). Cela dépend également de l'environnement biotique et abiotique dans lequel évolue la souche, ce qui va ou non favoriser l'expression des gènes de virulence. C'est pourquoi dans un premier temps, il a fallu étudier la diversité génétique des isolats récoltés dans les bassins d'élevage afin de savoir combien de souches différentes étaient présentes parmi les plus de 200 isolats. Le séquençage complet du génome de l'ensemble de ces isolats représentait un coût trop important et aurait nécessité un traitement bio-informatique considérable. Ainsi, le choix a été porté sur la technique d'ERIC-PCR (Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus PCR) basée sur l'amplification génomique de plusieurs séquences connues. Cela consistait à ne pas rechercher des gènes de virulence chez plus de 200 isolats si la diversité génétique au sein de ce pool d'isolats était très faible.

Une fois cette diversité évaluée, l'objectif était d'être capable de détecter des gènes de virulence potentiels chez les souches de *V. harveyi*. Pour cela, un gros travail bibliographique a été mené afin d'identifier tous les gènes de virulence « candidats » identifiés chez *V. harveyi* mais aussi chez d'autres espèces de *Vibrio*. En effet, le transfert horizontal de gènes, fréquemment observé chez les bactéries du genre *Vibrio*, peut permettre le transfert de gènes d'une espèce à une autre. Afin d'être en mesure de détecter ces gènes « candidats » chez les isolats issus des bassins aquacoles, il a fallu acquérir les amorces nécessaires aux PCR et optimiser ces dernières notamment avec des contrôles positifs (souches identifiées comme porteuses du gène recherché) et des contrôles négatifs (souches identifiées comme ne portant pas le gène recherché).

A partir des gènes identifiés comme potentiellement responsables des mécanismes de virulence chez *V. harveyi*, l'objectif est à terme d'être capable de rechercher, à grande échelle et sur tous les isolats issus de la structure aquacole (formes planctoniques et de biofilms) les souches potentiellement dangereuses car porteuses de ces gènes de virulence. En ce sens, un projet de collaboration a été discuté avec l'Anses et en particulier avec Patrick FACH et Sabine DELANNOY de la plateforme Identypath de Maison-Alfort. En effet, cette plateforme a développé une technique de Digital PCR qui permet de tester simultanément un grand nombre d'échantillons pour détecter des gènes d'intérêt. Il a donc été discuté de l'intégration de nos gènes « candidats » aux micropuces déjà existantes afin qu'à l'avenir il soit possible d'identifier les

souches bactériennes porteuses de gènes de résistance aux antibiotiques (puces actuelles) mais aussi des gènes de virulence potentiellement responsables des épisodes de vibriose.

Lors de la campagne d'échantillonnage menée à Aquanord-Ichtus d'avril à octobre 2018, 1009 isolats appartenant au genre *Vibrio* ont été identifiés. Notre travail s'est focalisé sur les isolats identifiés comme étant des isolats de *V. harveyi*. Ces 223 isolats ont été étudiés par ERIC-PCR afin d'évaluer la diversité génétique au sein de ce pool d'isolats. Les résultats obtenus ont permis de faire ressortir 16 profils d'ERIC-PCR différents dont certains correspondaient aux profils obtenus à partir des souches vaccinales (souches utilisées par Aquanord-Ichtus afin d'élaborer l'autovaccin pour l'année suivante). Ces résultats, actuellement en cours de valorisation, nous ont donc permis de recentrer nos recherches sur une quinzaine de souches pour la recherche de potentiels gènes de virulence.

La recherche de gènes de virulence potentiellement impliqués dans le développement de la vibriose a demandé un important travail bibliographique car les mécanismes de virulence de *V. harveyi* restent à ce jour assez mal connus. Cela dit, dans un premier temps une vingtaine de gènes a été retenue et les amorces associées ont été achetées. Les PCR ont été réalisées sur les 16 profils différents retenus à l'issue de l'étape d'ERIC-PCR. La difficulté majeure de cette étape réside dans l'optimisation des PCR et la recherche de contrôles positifs. En effet, certains facteurs de virulence restent très peu « cartographiés » dans la littérature et il est donc difficile de se procurer des souches identifiées comme porteuses.

Une fois ce travail d'identification des gènes de virulence potentiellement impliqués dans le développement de la vibriose effectué, la collaboration avec la plateforme Identypath de l'Anses va nécessiter un travail d'optimisation. En effet, la Digital PCR mise au point se base sur l'utilisation de la technologie TaqMan ce qui va nécessiter d'adapter les PCR optimisées pour la recherche de gènes de virulence, notamment en termes de taille d'amorces.

Dans la continuité de cette orientation et afin de rester fidèle à l'objectif initialement prévu à travers les 5 programmations du CPER, la programmation 5 a été centrée sur le développement d'une approche permettant l'étude simultanée de la bactérie et du poisson hôte dans le contexte du développement de la vibriose.

Le premier objectif de cette programmation 5 a consisté à aller plus loin dans la recherche de potentiels gènes de virulence en ne se focalisant pas que sur la littérature mais en s'appuyant sur la réalité du terrain et en particulier en s'appuyant sur les souches « vaccinales » dont le génome a été séquencé. Ces souches vaccinales sont les souches retrouvées le plus fréquemment sur la ferme aquacole, sur des poissons morts ou moribonds et qui sont utilisées l'année suivante pour l'élaboration de l'autovaccin administré aux poissons. Ces souches sont donc considérées par les éleveurs et par les vétérinaires avec lesquels ils travaillent comme étant « à risque » du fait de leur occurrence importante et du fait de leur présence sur des poissons présentant des symptômes avancés de vibriose. Le génome complet de 7 souches vaccinales a ainsi été séquencé puis confronté à une base de données en ligne regroupant les informations sur les facteurs de virulence des bactéries pathogènes à travers le monde. Cette base de données, « VFDB » (Virulence Factors DataBase), regroupe les génomes annotés d'un très grand nombre de bactéries parmi lesquels des génomes de *Vibrio*.

Parallèlement à cet objectif centré sur la bactérie et sur son génome, l'objectif initialement fixé pour cette programmation 5 était également d'étudier la vibriose à l'échelle du poisson afin d'évaluer la réelle pathogénie des souches bactériennes sélectionnées. En effet, la présence de plusieurs gènes de virulence chez une souche bactérienne donnée, ne signifie pas que cette souche va induire la vibriose. Cela s'explique par le fait qu'un gène peut être présent mais non-exprimé mais aussi par le fait qu'un gène codant pour un facteur de virulence peut être exprimé

mais ce facteur de virulence est « neutralisé » par le système immunitaire de l'hôte et donc ne contribue pas au développement de la vibriose. Afin de savoir si les souches bactériennes sélectionnées étaient réellement pathogènes pour le bar, c'est-à-dire savoir si elles induisaient la maladie, il fallait donc réaliser des challenge tests sur des poissons. Le second objectif était donc de mettre en place un protocole d'étude permettant d'exposer des bars aux bactéries sélectionnées afin de rechercher l'expression réelle de gènes de virulence bactériens mais aussi de gènes immunitaires du poisson. Afin de cibler cette « expression réelle » et ne pas simplement rechercher la présence de gènes, l'objectif est précisément de développer une approche génomique et transcriptomique et donc d'étudier l'ADN mais aussi l'ARN.

De façon plus globale, ceci devait donc permettre de relier les résultats obtenus à travers les 5 programmations et permettre une approche globale du développement de la vibriose du bar causée par *V. harveyi*. Pour mener à bien les expérimentations de cette programmation le matériel biologique disponible était constitué des 15 profils génétiques différents, mis en avant par ERIC-PCR chez les isolats bactériens issus de la structure aquacole, mais aussi des souches vaccinales ayant servi à l'élaboration des autovaccins des années 2019 à 2021. Le génome de ces 7 souches vaccinales a été totalement séquencé puis confronté à la base de données VFDB afin d'identifier les gènes de virulence présents chez ces souches. Ce travail a permis de mettre en avant plus d'une centaine de gènes présents chez une ou plusieurs des souches vaccinales. Bien que parmi la centaine de gènes identifiés, certains l'avaient déjà été préalablement par l'étude bibliographique, cette approche a permis de passer d'une vingtaine de gènes « candidats » à plus d'une centaine de gènes qui pourraient être impliqués dans la virulence des souches. Cependant, la présence de ces gènes ne signifie pas obligatoirement qu'ils sont exprimés ni qu'ils sont impliqués dans le développement de la vibriose. Néanmoins, cette approche a considérablement élargi le spectre des gènes candidats pour étudier le développement des mécanismes de virulence lors de la vibriose. Cela est d'autant plus important que lors de la programmation 4 des discussions ont été entreprises avec la plateforme Identypath de l'Anses (Maison-Alfort) qui a développé une technique de Digital PCR permettant de tester simultanément un grand nombre de gènes d'intérêt. Ainsi, si parmi la centaine de gènes candidats mis en avant, certains se révèlent par la suite de « bons marqueurs de virulence », ils pourront être intégrés aux micropuces déjà existantes afin qu'à l'avenir il soit possible d'identifier rapidement les souches bactériennes les plus « dangereuses ».

Le second objectif de cette programmation 5 était d'élargir le champ d'étude en ne se cantonnant pas uniquement à l'étude du génome bactérien mais en étudiant le réel pouvoir pathogène des souches bactériennes pour le bar. Ainsi, la programmation 5 a contribué à l'élaboration d'une convention tripartite entre l'Unité de recherche BPA (UMRt BioEcoAgro), Aquanord Ictus et la station expérimentale de PFI Nouvelles Vagues. Cette dernière est en effet habilitée à réaliser des expérimentations sur des poissons vivants et de fait à réaliser des challenge tests. La première étape a donc consisté à définir les conditions expérimentales permettant de tester le pouvoir pathogène et la virulence d'une souche bactérienne de *V. harveyi*. Le choix s'est porté sur une souche vaccinale et différentes concentrations ont été déterminées pour mettre en avant un effet dose mais aussi pour se rapprocher de la réalité du terrain et des concentrations réelles en bactéries dans les bassins aquacoles. Ce sont ainsi deux concentrations bactériennes différentes qui ont été testées dans un premier temps. Des juvéniles de bars ont subi des injections de bactéries ou de tampon (contrôle négatif) et des prélèvements ont été réalisés avant l'injection puis à différents temps post-injection (6, 24, 48, 72 et 96 heures après l'injection). Il a également fallu définir les échantillonnages à réaliser sur ces poissons afin d'être en mesure de détecter *V. harveyi* et de confirmer qu'il s'agissait bien de la souche injectée mais aussi d'être en mesure d'obtenir des informations relatives à l'expression des gènes de *V. harveyi* et des gènes de l'immunité du bar. En ce sens, le choix s'est porté sur

des prélèvements de rate car cet organe filtre le sang de l'organisme. D'une part, des étalements sur milieu gélosé ont été réalisés à partir de la rate des poissons échantillonnés pour mettre en avant la présence ou non de *Vibrio* et ensuite d'identifier spécifiquement *V. harveyi* (par PCR *mreB*) et confirmer qu'il s'agissait bien de la souche injectée (par ERIC-PCR). D'autre part, à partir des prélèvements de rate, des extractions d'ADN et d'ARN ont été pratiquées afin de pouvoir mettre en avant la présence de gènes bactériens de virulence et de gènes de l'immunité du poisson mais aussi de pouvoir étudier leur expression. Ces extractions d'ADN et d'ARN ont ensuite pu être traitées par séquençage haut débit à l'aide du séquenceur haut débit Miseq Illumina acquis lors de la programmation 2. Ce premier challenge test a permis de récolter des données importantes pour optimiser le protocole expérimental mais aussi l'échantillonnage en lui-même et le traitement des données obtenues. Une seconde expérimentation a ensuite pu être menée avec la même souche bactérienne de *V. harveyi* et une seconde souche présentant un profil génétique différent, l'objectif étant de comparer la virulence de ces souches. Les extractions d'ADN et d'ARN sont actuellement en cours à partir des échantillons de rate récoltés pour être en mesure de mieux comprendre d'une part la virulence des souches bactériennes et d'autre part l'immunité des juvéniles de bars. Cette optimisation du protocole expérimental a également permis de définir des conditions standards optimales à la fois pour les juvéniles de bars et pour le développement de la vibriose tout en sachant que par la suite l'objectif sera de faire varier les conditions environnementales abiotiques (température notamment) et biotiques (présence d'autres souches bactériennes) pour tenir compte au mieux du caractère tripartite des interactions Hôte-Pathogène-Environnement.

Conclusion et perspectives

Pour conclure, les contributions des 5 programmations du CPER MARCO ont permis de grandes avancées sur l'étude des *Vibrio* en contexte aquacole et en particulier sur l'étude de la vibriose du bar causée par *Vibrio harveyi*. Pour synthétiser, grâce aux méthodes et techniques développées mais aussi grâce aux équipements acquis, il est aujourd'hui possible de déterminer les populations bactériennes présentes dans les bassins d'élevage, que ce soit sous forme planctonique ou de biofilms. En particulier pour les espèces appartenant au genre *Vibrio*, il est possible de discriminer les différentes espèces qui sont pour certaines très proches génétiquement. Ainsi, il est dorénavant possible de cibler *V. harveyi* et de le quantifier dans les échantillons mais aussi de discriminer les différents profils génétiques de cette espèce bactérienne. Les mécanismes de virulence associés au développement de la vibriose peuvent également être investigués via l'étude du génome complet des souches bactériennes (ADN) ainsi que du transcriptome (ARN) pour refléter l'expression réelle des gènes de virulence. Ces avancées ont permis et vont encore permettre de mieux appréhender la problématique de la vibriose en aquaculture et à plus long terme vont permettre de travailler à l'élaboration de solutions alternatives à l'utilisation des antibiotiques en aquaculture.

Valorisations

Articles

Bonnin-Jusserand, M., Copin, S., Le Bris, C., Brauge, T., Gay, M., Brisabois, A., Grard, T. et Midelet-Bourdin, G. (2019) *Vibrio* species involved in seafood-borne outbreaks (*Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus* and *V. vulnificus*): review of microbiological versus recent molecular detection methods in seafood products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59, 4, pp 597-610.

Mougin, J., Flahaut, C., Roquigny, R., Bonnin-Jusserand, M., Grard, T. et Le Bris, C. (2020a) Rapid identification of *Vibrio* species of the Harveyi clade using MALDI-TOF MS profiling with main spectral profile database implemented with an in-house database: Luvibase. *Frontiers in Microbiology* 11, 2494.

Mougin, J., Roquigny, R., Travers, M.-A., Grard, T., Bonnin-Jusserand, M. et Le Bris, C. (2020b) Development of a *mreB*-targeted real-time PCR method for the quantitative detection of *Vibrio harveyi* in seawater and biofilm from aquaculture systems. *Aquaculture* 525, p 735337.

Roquigny, R., Mougin, J., Le Bris, C., Bonnin-Jusserand, M., Doyen, P. et Grard, T. (2021) Characterization of the marine aquaculture microbiome: A seasonal survey in a seabass farm. *Aquaculture* 531, p 735987.

Mougin, J., Roquigny, R., Flahaut, C., Bonnin-Jusserand, M., Grard, T. et Le Bris, C. (2021) Abundance and spatial patterns over time of Vibrionaceae and *Vibrio harveyi* in water and biofilm from a seabass aquaculture facility. *Aquaculture* 542, p 736862.

Présentations orales ou poster à des conférences :

Stéphanie Copin, Virginie Ragueneau, Maryse Bonnin-Jusserand, Annick Robert-Pillot « L'état viable mais non cultivable chez les *Vibrio* non cholériques », Congrès de la SFM, 9-11 octobre 2017, Paris. (Communication orale)

Julia Mougin, Daline Bojolly, Virginie Ragueneau, Annick Robert-Pillot, Stéphanie Copin, Maryse Bonnin-Jusserand. "Etude de la survie de *Vibrio cholerae* en biofilm", Congrès de la SFM, 9-11 octobre 2017, Paris (Poster)

Julia MOUGIN, Cédric LE BRIS, Thierry GRARD, Maryse BONNIN-JUSSERAND « Microbiological and molecular approaches to control vibriosis in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) », 48th WEFTA, 15-18 octobre 2018, Lisbonne (Portugal) (Poster)

Julia MOUGIN, Cédric LE BRIS, Thierry GRARD, Maryse BONNIN-JUSSERAND « Approches microbiologiques et moléculaires pour lutter contre la vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*) », Journées scientifiques et doctorales de l'Anses, 5-6 décembre 2018, Maisons Alfort (Poster)

Julia MOUGIN, Roxane ROQUIGNY, Périne DOYEN, Thierry GRARD, Maryse Bonnin-JUSSERAND & Cédric LE BRIS : « Finding *Vibrio harveyi* : dynamic of bacterial proliferation in fish farming systems », *Vibrio 2019 The Biology of Vibrios*, 17-20 novembre 2019, Montreal (Canada) (Poster)

Mougin, J., Doyen, P., Roquigny, R. et Grard, T. et **Le Bris, C.** *Vibrio harveyi* en aquaculture : mieux le connaître pour mieux prévenir les risques de vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*) Congrès final MARCO, 14 octobre 2021, Boulogne sur mer, France.

Présentations orales à des groupes de travail :

M. BONNIN, C. LE BRIS, J. MOUGIN, P. DOYEN, R. ROQUIGNY & T. GRARD « Lutte contre la vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*) en aquaculture », Journée MARCO du 11 octobre 2018

Stages M2 :

Julia MOUGIN, stage de Master 2, dans le cadre du projet SURVIB de janvier à juin 2017

Halima-Saadia CHETOUI, Université de Lorraine, Nancy. Sujet de stage : *Vibrio harveyi* isolés d'environnement aquacole : caractérisation de la virulence par approche moléculaire et transcriptomique. Financements : Pôle de recherche Mer & Littoral (50%) et projet FEAMP LUVIBAR (50%).

Thèses ayant accompagné l'action :

Thèse de Julia MOUGIN (2017 – 2020) : dirigée par Thierry GRARD et Cédric LE BRIS. Sujet : « Approches microbiologiques et moléculaires pour lutter contre la vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*) » soutenue le 11 décembre 2020 à l'ULCO. Co-financement 50 % Région Hauts de France, 50 % ULCO. Laboratoire de rattachement : Institut Charles Viollette devenu UMRt INRAe n°1158 BioEcoAgro en 2020. **6 publications**. Julia MOUGIN a obtenu un post-doctorat de janvier à octobre 2021 au sein du laboratoire (financement [CPER MARCO](#)) et un post-doctorat avec l'université de Gothenburg (Suède) depuis novembre 2021.

Thèse de Alix DA FONSECA FERREIRA (2021- 2024) : directeur de thèse. Co-encadrement à 50 % avec Cédric LE BRIS. Sujet : « Etude de la virulence et de la persistance de *Vibrio harveyi* en aquaculture par approche moléculaire et

métatranscriptomique ». Co-financement 50 % Pôle Métropolitain de la Côte d'Opale, 50 % ULCO. Laboratoire de rattachement : UMRt INRAe n°1158 BioEcoAgro.

Post doctorats ayant accompagné l'action :

Roxane ROQUIGNY : 1^{er} septembre 2018 au 30 juin 2019 puis du 1^{er} septembre 2019 au 31 août 2020.

Julia MOUGIN : janvier à octobre 2021

Emploi d'enseignant chercheur émanant de l'action :

Roxane ROQUIGNY : maîtresse de conférences à compter du 30 décembre 2020

Action 4.3 - Altération Fraîcheur

Participants

Responsable : Thierry Grard (PR UMRT BioEcoAgro)

Enseignant-chercheur impliqué : Philippe Lencel (MC UMRT BioEcoAgro)

Personnel recruté : Méline Soret (AI)

Collaborations : plateau de cytométrie de Lille, unité Inserm U 1060 de Lyon et institut de biochimie et génétique cellulaires (UMR CNRS 5095) de Bordeaux

Résumé des activités

La fraîcheur est un paramètre clé de la qualité du poisson. Les méthodes actuelles appliquées en routine pour déterminer la fraîcheur du poisson ne sont pas applicables à toutes les espèces et reflètent davantage un début d'altération du produit. Ainsi, la recherche d'indicateurs précoces de fraîcheur du poisson représente encore un défi majeur et d'actualité dans l'industrie de la pêche.

De plus, alors que la pêche française se caractérise par la vente de produits aquatiques frais, pour les distributeurs, l'approvisionnement en poisson décongelé en « Grandes et Moyennes Surfaces » reste une variable d'ajustement. La décongélation permet de désaisonnaliser la ressource et de stabiliser les prix. D'autre part, la décongélation permet de valoriser des espèces importées, en apportant principalement une valeur ajoutée à un produit bas de gamme. La réglementation oblige l'information du consommateur. La mention « produit décongelé » est obligatoire pour tous les produits décongelés vendus réfrigérés. L'offre de poisson décongelé est une alternative, pour le consommateur, aux produits surgelés. Même si le poisson décongelé bénéficie d'une meilleure image que le poisson surgelé, elle reste néanmoins moins bonne que le poisson frais. L'absence d'outils et de moyens fiables pour faire la différence entre un produit aquatique décongelé et un produit frais laisse une place non négligeable à la fraude dans ce secteur d'activité.

Equipements acquis

- Cytomètre de flux
- Oxygraphe,
- Spectromètre UV visible
- Microscope phase inverse
- Salle de culture cellulaire (PSM, microscope inversé et incubateur CO₂)

Description des activités

L'unité Biochimie des Produits Aquatiques ([BPA](#)) de l'ULCO de l'[institut Charles Violette](#) (EA 7394) de 2015 à 2020 devenue UMRT BioEcoAgro depuis, a fait le choix stratégique de

développer des compétences en biologie cellulaire et moléculaire pour développer des outils permettant de mieux tracer la qualité et la fraîcheur des filets de poisson et de faire la distinction entre les produits frais et les produits décongelés. Pour mieux comprendre les mécanismes d'altération tissulaire et cellulaire, nous travaillons simultanément sur une lignée fibroblastique de daurade royale (*Sparus aurata*) et sur le muscle de poisson (filet de daurade). Ces approches ont pour objectif de mieux comprendre les mécanismes moléculaires de l'altération cellulaire pour pouvoir les transposer, par ailleurs, aux filets et au poisson.

Un premier travail exploratoire a pu précédemment être mené grâce à un projet émergent intitulé « Nécroptose » (2014 –2016). Il a été mis en évidence, par différentes techniques, que la perméabilisation et la lyse cellulaires peuvent constituer des marqueurs d'altération et donc de fraîcheur des filets de poisson. Un deuxième financement (Altfish – France Agrimer : 2015 - 2016) a permis d'affiner l'étude des marqueurs de nécrose et d'apoptose ; marqueurs qui pourraient aussi être utilisés comme marqueurs de fraîcheur. Ce travail a débouché sur l'obtention d'une bourse de thèse cofinancée par la Plateforme d'innovation Nouvelles Vagues ([PFINV](#)) et le Pôle Métropolitain de la Côte d'Opale (PMCO) depuis octobre 2015.

L'objectif du projet est double :

- mieux comprendre sur le plan fondamental les altérations de la matrice poisson conservée à 4°C et les altérations induites par la congélation. Cette approche s'est concrétisée par le développement d'une collaboration avec le Professeur Philippe MARCHETTI (UMR S1172 Lille) et avec le Dr Philippe PASDOIS (Liryc – Université de Bordeaux).
- mettre au point des outils utilisables par la Plateforme d'Innovation Nouvelles Vagues pour mesurer ces altérations (valorisation possible sous forme de brevet).

L'acquisition de l'**analyseur de cellules** nous a permis de développer de nouvelles approches méthodologiques pour analyser la fraîcheur et l'altération des produits de la mer dans le but de développer des outils performants, applicables rapidement au secteur industriel. La collaboration avec le Professeur MARCHETTI et le docteur PASBOIS nous a permis de valoriser nos travaux par deux publications scientifiques.

Résultats obtenus

Nous avons mis en corrélation les résultats obtenus sur la variation du potentiel mitochondrial des cellules SAF-1 (en cytométrie) avec les résultats obtenus par l'analyse de la fluorescence des mitochondries extraites de ces cellules à l'aide d'un fluorimètre (déjà acquis au sein du laboratoire). Nous avons réalisé des analyses en cytométrie de flux des mitochondries extraites de tissus pour évaluer le niveau de fraîcheur des filets ou du poisson par une simple analyse en cytométrie des mitochondries extraites.

L'extraction des mitochondries est restée une étape délicate pour une technique de routine. Cette technique sera complétée par la mise au point de l'extraction des cellules infiltrées dans le tissu musculaire pour une analyse directe en cytométrie de flux. Des résultats préliminaires sur les adipocytes ont été obtenus et des premiers essais avaient été réalisés sur la plateforme de cytométrie du BICEL, mais la mise au point de méthodes a pu être menée grâce à l'appareil à disposition. Le potentiel mitochondrial a ainsi pu être mesuré directement sur ces cellules. Une corrélation a été effectuée entre le temps de conservation et le potentiel mitochondrial de ces cellules.

Cette action a permis de développer et de finaliser la méthode d'analyse des mitochondries en cytométrie de flux et d'appliquer cette méthode sur la mesure de la fraîcheur de nombreux

poissons (Daurade royale , Bar, Merlan, Cabillaud...). Cette méthode originale et fiable permet de mesurer l'état de fraîcheur des poissons de façon objective et dans un temps intéressant (moins d'une heure). Ces travaux ont permis de faire une avancée importante sur le plan technologique : maîtrise d'une technique de pointe appliquée à la mesure de la qualité des produits aquatiques. Un travail de communication doit maintenant être mis en place pour avoir une reconnaissance des actions de l'équipe auprès des industriels de la filière mais également auprès des sociétés de distribution et consommateurs.

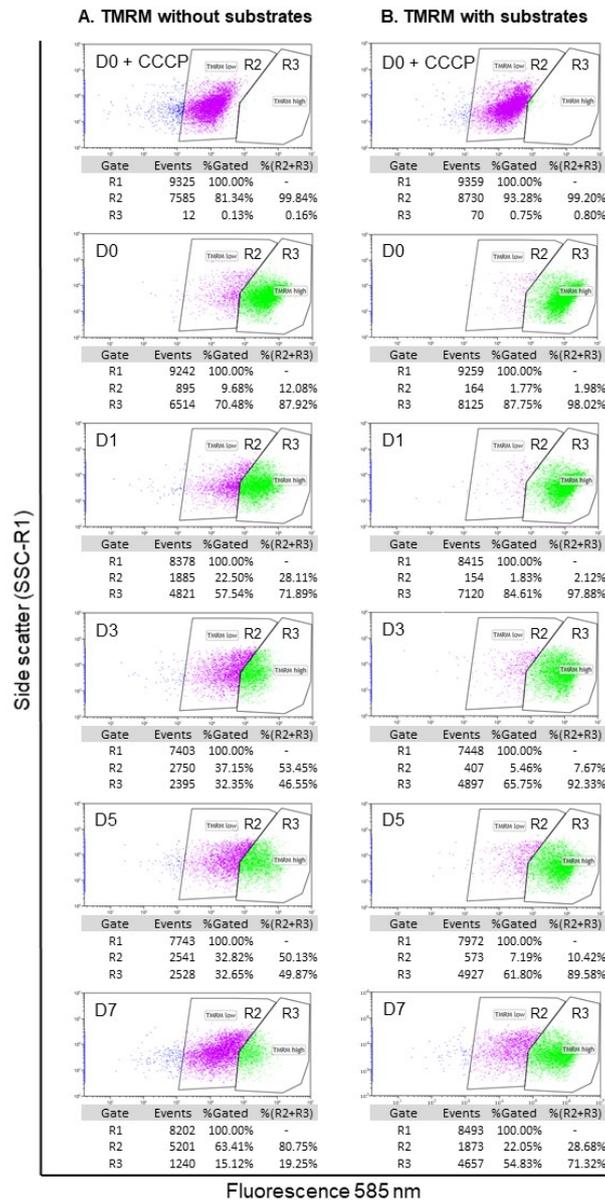


Figure 4.3.1 Mesure du potentiel membranaire avec la sonde TMRM sur des mitochondries isolées de filets de daurade royale à différents temps de stockage (J0 à J7). Source : Soret *et al.*, 2022.

Sur un plan plus fondamental, ces travaux ont permis de montrer que la fraîcheur d'un poisson pouvait être associée à la viabilité des mitochondries du tissu (figure 4.3.1). Ces résultats fondamentaux constituent une base solide sur de futurs travaux. Quels impacts la qualité du produit peut avoir sur la perception et la santé du consommateur ? Même si ces aspirations ne sont pas encore des enjeux pour la filière, elles pourraient redessiner la façon dont le

consommateur perçoit le produit aquatique alimentaire dans un futur proche. Ces résultats ont été valorisés au travers de la rédaction de trois articles (Cléach et al., 2019 ; Cléach et al., 2020 ; Soret et al., 2022). Ils constituent une assise scientifique et technique solides en vue d'autres formes de valorisation.

Le poste d'assistant ingénieur a fortement renforcé l'expertise associée à la cytométrie de flux. Un travail de collaboration avec le plateau de cytométrie de Lille (BICeL) s'est mis en place. L'assistante ingénieure a pu continuer à se former et bénéficier des conseils techniques pour élargir la gamme d'utilisation du cytomètre (multiplication des applications). Un projet de collaboration avec la plateforme d'Innovation Nouvelles Vagues (PFINV) est en cours de validation et a pour objectif de mesurer l'impact des conditions d'abattage sur la qualité des produits. Ce type de projet permet au laboratoire de s'ouvrir à des services de prestation via le transfert de technologies.

D'autre part l'expertise acquise a permis de gagner en crédit et d'attirer de nouvelles collaborations (analyse de l'incorporation de nanoparticules : travail avec le Professeur SOUSSI du LOG ; analyse des types cellules dans la moelle osseuse : travail avec la docteur Olfa GHALI du MabLab...).

Le travail sur l'Oroboros (oxygraphe) a également été développé. Des résultats sur des cellules perméabilisées fraîches et décongelées ont été obtenus. Ces résultats sont particulièrement intéressants car ils nous permettent de nous affranchir de l'étape d'extraction des mitochondries pour mesurer l'état physiologique des cellules via les mitochondries. Après confirmation de ces résultats, nous pourrions passer directement sur tissu. Ce travail devrait permettre à terme de différencier des tissus frais de tissus décongelés par une simple mesure de respiration et ainsi répondre à une attente importante de la filière : discriminer les produits aquatiques frais de produits décongelés. Le spectrophotomètre UV nous a permis de mesurer la disparition des équivalents réducteurs dans les homogénats de tissu. A terme, cette technique nous permettra de différencier les filets de poisson frais des filets de poisson décongelés. L'acquisition du microscope en phase inverse a permis d'amorcer la mise en place de la salle de culture cellulaire et justifie l'importance de développer des modèles cellulaires.

Travaux sur les marqueurs de congélation

Les cultures cellulaires nous ont permis de disposer en temps réel de matériel biologique pour étudier le choc congélation/décongélation afin de développer des marqueurs fiables capables de détecter les filets de poisson ayant subi un choc congélation/décongélation. Un premier travail a donc consisté à cultiver une lignée fibroblastique de daurade royale (*Sparus aurata*) et de mesurer l'impact du choc congélation/décongélation sur la perméabilisation des mitochondries. Les mitochondries ont été extraites et analysées respectivement en oxygraphie et en cytométrie de flux. La méthode oxygraphique nous a permis de montrer que le choc congélation/décongélation augmentait considérablement la perméabilité des mitochondries. Ces résultats ont ensuite été reproduits sur des mitochondries extraites de filets de poisson (respectivement de daurade royale et de bar (*Dicentrarchus labrax*)). Ces résultats ont été soumis pour publication à Food Control en mars 2022 (thèse de Tiffanie BOUCHENDHOMME : 2019 - 2022). Ce travail pourra aussi être étendu à d'autres espèces (cabillaud (*Gadus morhua*), lieu noir (*Pollachius virens*) etc..). L'augmentation de la perméabilité des mitochondries extraites de filets décongelés a également pu être analysée en cytométrie de flux. Nous avons pu montrer que les mitochondries décongelées devenaient perméables à certains substrats fluorescents. Ces résultats sont en cours de validation mais ils devraient permettre de développer une méthode experte fiable de détection des produits décongelés attendue par la filière des produits aquatiques.

Les cultures cellulaires nous ont également permis de développer des essais de perméabilisation sur cellules et le développement d'analyse de la respiration sur fibres. Nous avons montré que la congélation entraînait une rupture des membranes plasmiques et mitochondriales, qui rend directement accessibles les chaînes respiratoires à certains substrats. Ce travail est en cours (thèse de Tiffanie Bouchendhomme) et devrait permettre de discriminer les produits frais des produits décongelés en nous affranchissant de l'étape d'extraction des mitochondries. Ce suivi devrait être réalisé directement sur fibres en oxygraphie.

Dans le cadre de la thèse de Tiffanie BOUCHENDHOMME sur les marqueurs de congélation des produits aquatiques, deux approches ont été développées : une approche spectrophotométrique et une approche oxygraphique. Ce travail a permis de montrer que le choc congélation entraînait une altération des membranes mitochondriales et une augmentation de la perméabilité des mitochondries à certains substrats comme le NADH. La technique qui a été retenue dans un premier temps est l'isolement des mitochondries à partir des filets de poissons. La consommation du NADH par les mitochondries isolées du tissu rouge des filets de poisson a pu être suivie par spectrophotométrie. Une surconsommation de NADH a été observée pour les mitochondries isolées de filets décongelés. Cette méthode permet de discriminer les filets frais, des filets décongelés. Cette méthode doit être étendue au muscle blanc pour pouvoir la rendre ubiquitaire.

La seconde approche (oxygraphique) a montré une augmentation de la consommation d'oxygène pour les mitochondries isolées de filets décongelés et exposées au NADH. Le choc congélation/décongélation entraîne une perméabilisation au substrat qui active la consommation d'oxygène. La perméabilisation des mitochondries via le choc congélation/décongélation est maximale et ne peut plus être amplifiée par des substances perméabilisantes. Ces travaux ont fait l'objet d'une publication qui actuellement en cours de soumission (« Differentiation between fresh and frozen-thawed fish fillets by mitochondrial permeability measurement » soumis à Food Control).

Le travail de thèse de Tiffanie BOUCHENDHOMME a également consisté à développer une méthode de mesure directe sur fibres musculaires. Cette méthode permet de gagner du temps d'analyse et reflète davantage l'état physiologique du tissu étudié. La congélation entraîne une rupture des membranes plasmiques et mitochondriales. Les fibres issues de filets décongelés sont davantage sensibles au substrat (NADH) et ne sont plus sensibles au perméabilisant. Le suivi est réalisé par la consommation d'oxygène des fibres en oxygraphie. Ces résultats ont été réalisés sur du tissu rouge de Daurade royale (*Sparus aurata*) et pourront être étendus à un grand nombre d'autres espèces. Le travail réalisé sur la daurade est en cours de rédaction et sera soumis très prochainement.

Ces méthodes expertes développées au laboratoire viennent en soutien à une méthode d'analyse de l'état de congélation de terrain développée dans le cadre du projet START AIRR Fresh Fish. Un kit de détection de la « fraîcheur et de la congélation des produits aquatiques » a été finalisé durant ce projet. Celui-ci devrait passer prochainement en maturation auprès de la SATTNORD pour un développement futur..

Travaux sur les marqueurs de fraîcheur

Nous avons développé une méthode d'analyse de la fraîcheur du poisson par l'analyse en cytométrie de flux du potentiel membranaire des mitochondries extraites de filets de poisson. L'analyse du potentiel mitochondrial permet en effet de discriminer la fraîcheur des produits aquatiques. Ce travail a été valorisé dans le journal « Food Chemistry » : Soret *et al.*, 2022. Il émane d'une collaboration avec le plateau de cytométrie de Lille, de l'unité Inserm U 1060 de

Lyon (spécialiste de la cytométrie de mitochondries) et de l'institut de biochimie et génétique cellulaires (UMR CNRS 5095) de Bordeaux. Le rôle central des mitochondries dans le métabolisme énergétique *post mortem* nous a également permis de réaliser une étude sur l'influence du type d'abattage sur la qualité et la fraîcheur du poisson en lien avec la Plateforme Nouvelles Vagues de Boulogne sur mer. Cette méthode experte vient en complément de tests de terrain développés pour mesurer l'état de fraîcheur des produits aquatiques. Ces dernières études font l'objet du projet SARTAIRR intitulé « Fresh Fish » (2021). Dans le cadre de ce projet, nous avons fait le lien entre le potentiel mitochondrial des mitochondries isolées de muscle blanc et le marqueur de fraîcheur développé dans le kit. Cette étude a été réalisée sur 3 espèces de poisson : la Daurade royale, le bar (*Dicentrarchus labrax*) et la truite saumonée (*Oncorhynchus mykiss*). Ces techniques expertes et de terrain permettent d'avoir une bonne idée de l'« ultra-fraîcheur » des produits aquatiques. Elles sont également en étude pour une future valorisation.

L'analyse par cytométrie de flux du potentiel mitochondrial est un moyen efficace de tester la fraîcheur et la qualité des produits aquatiques. L'absence de potentiel des mitochondries isolées de produits de la mer est le signe d'une altération membranaire. Cette altération membranaire est soit associée à un temps de conservation trop long (produit altéré) ou à un choc congélation/décongélation. Des travaux sont actuellement en cours pour discriminer les mitochondries isolées de filets frais des mitochondries isolées de filets décongelés. Une méthode basée sur le flux de calcium a été développée et devrait permettre de discriminer le frais du décongelé. Cette méthode est aujourd'hui applicable sur le muscle rouge. Une méthode d'analyse du muscle blanc est également à l'étude.

Travaux sur les microplastiques

Pour montrer le rôle central d'un laboratoire de biologie cellulaire et afin de participer à la dynamique liée aux travaux sur les microplastiques, nous avons étudié la diffusion de nanobilles fluorescentes de polystyrène sur une lignée fibroblastique de daurade royale (SAF-1). La diffusion des nanobilles a été étudiée en microscopie de fluorescence, en cytométrie de flux et en microscopie confocale (en collaboration avec le Bio Imaging Center de Lille). Ce modèle cellulaire artificiel permet de caractériser la grande diffusion des nanoplastiques à travers les membranes cellulaires. Les résultats sont intéressants et seront également valorisés. Ce modèle permet de mieux comprendre les interactions entre les matières plastiques et les différentes barrières membranaires (plasmiques et intracytoplasmiques). Il nous permettra à terme de mieux comprendre les interactions avec les mitochondries animales et humaines et d'appréhender leurs actions biologiques. L'étude du stress oxydatif associé aux nanobilles constitue d'ores et déjà être une perspective intéressante à ce travail.

Travaux sur la mesure du niveau d'oxydation de la matrice alimentaire

Les mitochondries sont le siège de la production d'espèces réactives de l'oxygène (« Reactive Oxygen Species : ROS »). Ces composés sont produits au niveau des chaînes respiratoires mitochondriales et peuvent participer, compte tenu de leur réactivité, à l'oxydation des lipides et des protéines mitochondriales et du tissu. Nous avons commencé à mettre en évidence la production de ROS au niveau des mitochondries isolées de filets de poisson frais et également de mitochondries isolées de filets de poisson décongelés. Cette caractérisation a été effectuée par fluorimétrie et par cytométrie de flux.

L'oxydation des protéines a également été étudiée par deux méthodes : une méthode classique de mesure du niveau de carbonylation des protéines par le dinitrophénol et une seconde

méthode développée au laboratoire qui correspond à la mesure du niveau d'oxydation des protéines par fluorescence *via* une sonde hydrazide. Ces premiers résultats sont très satisfaisants et semblent montrer une oxydation importante des mitochondries et des protéines à l'état décongelé.

La cinétique d'oxydation dépend également de la température et des conditions d'entreposage. Cette problématique semble particulièrement intéresser des entreprises de la filière thon qui souhaiteraient développer des tests permettant de mesurer l'état d'oxydation de leurs produits congelés pour pouvoir se distinguer de la concurrence. Des premiers essais ont été réalisés sur du thon conservé à « ultra basse température » et comparés à des thons conservés à des températures de conservation moins importantes.

Ces travaux réalisés dans le cadre du projet MARCO vont permettre d'avoir un effet levier en ouvrant de nouvelles perspectives à la fois fondamentales et appliquées. Une thèse a été acceptée sur cette thématique et devrait commencer dès octobre 2022. Pour encadrer le partenariat industriel et les applications qui pourraient en découler, un projet FEAMPA sera prochainement déposé.

Valorisations

Articles publiés :

Cléach, J., Watier, D., Le Fur, B., Brauge, T., Duflos, G., Grard, T. et Lencel, P. (2018) Use of ratiometric probes with a spectrofluorometer for bacterial viability measurement. *J. Microbiol. Biotechnol.* **28**, 11, pp 1782-1790

Cléach, J., Pasdois, P., Marchetti, P., Watier, D., Duflos, G., Goffier, E., Lacoste, A.-S., Slomianny, C., Grard, T. et Lencel, P. (2019) Mitochondrial activity as an indicator of fish freshness. *Food Chemistry* **287**, pp 38-45.

Cléach, J., Soret, M., Grard, T. et Lencel, P. (2020) Assessment of fish freshness based on fluorescence measurement of mitochondrial membrane potential. *Food Control* **115**, 107301.

Soret, M., Bouchendhomme, T., Cleach, J., Jouy, N., Crola Da Silva, C., Devin, A., Grard, T. et Lencel, P. (2022) Measurement of fish freshness: flow cytometry analysis of isolated muscle mitochondria. *Food Chemistry* **373**, 131690.

Publication soumise :

Bouchendhomme, T., Soret, M., Devin, A., Pasdois, P., Grard, T. & Lencel, P. Differentiation between fresh and frozen/thawed fish fillets by mitochondrial permeability measurement. Soumis à *Food Control*

Présentations orales ou poster à des conférences :

CLÉACH, J., PASDOIS P., MARCHETTI P., WATIER D., DUFLOS G., GOFFIER E., LACOSTE A.S., SLOMIANNY C., GRARD T. & LENCEL P. Mitochondrial activity as a putative indicator of fish freshness alteration? 18 octobre 2018. Congrès WEFTA – 48^{ème} édition (Lisbonne, Portugal).

CLÉACH, J., PASDOIS P., MARCHETTI P., WATIER D., DUFLOS G., GOFFIER E., LACOSTE A.S., SLOMIANNY C., GRARD T. & LENCEL P. Research and study of early indicators to determine the state of freshness of fish fillets. 30 mai 2018. Journée des doctorants de l'Institut Charles Viollette (ICV) – 2^{ème} édition (Lille).

CLÉACH, J., LE FUR, B., DUFLOS, G., LENCEL, P., GRARD, T. Recherche et étude de marqueurs précoces permettant de déterminer l'état de fraîcheur des filets de poisson. 19 octobre 2017. Journée Doctorale du Campus de la Mer – 5^{ème} édition (Boulogne-sur-Mer).

CLÉACH, J., LE FUR, B., DUFLOS, G., LENCEL, P., GRARD, T. Recherche et étude de marqueurs précoces permettant de déterminer l'état de fraîcheur des filets de poisson. 01 mars 2017. Journée des doctorants de l'unité Qualité Sécurité des Aliments (QSA) (Lille).

Communications écrites

CLÉACH, J., LE FUR, B., DUFLOS, G., LENDEL, P. & GRARD, T. Le potentiel membranaire mitochondrial ($\Delta\Psi_m$), comme marqueur de fraîcheur de filets de poissons ? 4 et 5 mai 2017. Congrès de la Recherche des IUT (Auxerre). 1^{er} prix du poster obtenu.

CLÉACH, J., LE FUR, B., DUFLOS, G., LENDEL, P. & GRARD, T. Étude du potentiel membranaire mitochondrial ($\Delta\Psi_m$) chez la lignée cellulaire de fibroblastes de daurade royale SAF-1. Octobre 2016. Journée des doctorants de l'Anses (Maisons-Alfort).

Thèses ayant accompagné l'action :

Thèse de Jérôme CLEACH (2015 - 2018) dirigée par Thierry GRARD et Philippe LENDEL. Sujet : « Etude et développement de marqueurs moléculaires précoces permettant d'identifier l'état de fraîcheur des filets de poissons » soutenue le 17 décembre 2018 à l'ULCO. Cofinancement à 50 % par le PMCO et à 50 % par PFINV. Laboratoire de rattachement : Institut Charles Viollette. **4 publications.** Jérôme CLEACH a obtenu un post-doctorat de janvier à décembre 2019 au sein du laboratoire (financement [CPER MARCO](#)). Il a intégré, le 1^{er} février 2020, la société [F-Iniciativas](#) en tant que rédacteur scientifique. Il s'agit d'une société spécialisée dans l'accompagnement des entreprises pour le montage de projets de recherche.

Thèse de Tiffany BOUCHENDHOMME (2019 – 2022) dirigée par Thierry GRARD et Philippe LENDEL. Sujet : « Double approche liée à l'intégrité de la mitochondrie et au dosage des enzymes mitochondriales afin de différencier les filets de poisson frais des filets de poisson décongelés ». Co-financement 50 % Région Hauts de France, 50 % ULCO. Laboratoire de rattachement : UMRt INRAe n°1158 BioEcoAgro.

Transfert de technologie

Kit développé au laboratoire dans le cadre du projet START AIRR Fresh Fish (2021) : « Mesure de la Fraîcheur et de la Qualité des produits Aquatiques » et initié par le CPER Marco.

Action 4.4 Contamination des organismes marins par les microplastiques : impacts écologiques et sanitaires

Participants

Responsables : G. Duflos (Anses), R. Amara (LOG)

Permanents : A. Dehaut (Anses), P. Doyen (ULCO), L. Hermabessiere (Anses), C. Himber (Anses), T. Grard (ULCO), S. Souissi (LOG), S. Monchy (LOG), F. Akoueson (Anses)

Doctorants : M. Kazour (LOG), J. Thery (LOG),

CDD finances par MARCO: C. Bialais (LOG-CDD) - K. Rabhi (CDD) - M. Colin (Anses-CDD), M. Effner (LOG-CDD), LL. Li (ANSES/LOG-CDD), C. Chbib (LOG-CDD) - Dorian Lescure (Anses - CDD)

Résumé des activités

La quantité de déchets plastiques entrant dans les océans chaque année est estimée à 6,5 millions de tonnes qui s'ajoutent à un stock difficile à évaluer. La contamination des organismes aquatiques par les MP peut s'opérer par le milieu ambiant (eau ou sédiment) ou par la consommation de proies et d'aliments contaminés. Les MP ont été couramment observés dans les contenus stomacaux de différentes espèces marines de poissons. Devant cette situation, les questions du transfert trophique et de la contamination potentielle des produits de la mer par ces particules synthétiques se posent et peuvent constituer un danger émergent pour les organismes marins et pour le consommateur.

Equipements acquis

- Équipement de Pyrolyse-GC-HRMS (Orbitrap)
- Équipement de microscopie FT-IR
- Équipement de microscopie Raman
- Centrifugeuse haute capacité
- Loupe binoculaire
- Cryobroyeur

Travaux réalisés

Contamination des milieux aquatiques par les microplastiques rejetés par les stations d'épuration et les eaux pluviales et développements de méthodes de biomonitoring

Les connaissances sur la présence et le devenir des microplastiques dans les eaux usées et les eaux pluviales sont très limitées. Les quelques études sur les microplastiques des eaux usées traitées par les stations d'épuration ont montré que la majorité des MP entrants dans la station d'épuration est retenue dans les boues (90-95%, Magnusson et al., 2016), tandis que la fraction rejetée dans l'environnement aquatique est constituée de particules de plastique les plus petites (taille de 40-50 μm). Cela peut représenter pour une STEP de 500 000 habitants, des rejets de l'ordre de 2 à 10 tonnes de MP/an. Ces microplastiques peuvent être de forme (fibres,

fragments, sphérules), couleur, taille et nature différentes (polyéthylène, polypropylène, polycarbonate, polystyrène, etc.). Ils peuvent ensuite se retrouver dans les organismes aquatiques comme les poissons ou les moules.

Dans la plupart des cas, les échantillons prélevés au niveau des stations d'épuration ont été caractérisés visuellement en fonction de leur taille et de leur couleur. Cette approche est raisonnable pour les particules de taille supérieure à 0,5 mm et surtout lorsque des particules organiques autres que les microplastiques sont peu présentes dans l'échantillon. C'est pourquoi il est important d'utiliser les nouvelles techniques telles que la spectroscopie Raman ou la macroscopie (cf Action 2.3) qui permettent de caractériser les microplastiques jusqu'à des tailles de l'ordre du micron. Dans le cadre du CPER MARCO (programmation 1), nous avons acquis un spectro Raman qui nous permet non seulement d'identifier les plus petites particules de plastiques (jusqu'à 1 µm) mais aussi de caractériser leur composition chimique. Aujourd'hui, de plus en plus de pays cherchent à identifier les sources et quantifier les apports de microplastiques vers les milieux aquatiques, en évaluer l'impact sur les milieux aquatiques et les organismes vivants et à trouver des solutions de traitement pour les réduire (Lares et al., 2018).

Les objectifs de la présente action sont d'évaluer le rôle des stations d'épuration et des rejets d'eaux pluviales dans l'apport de microplastiques dans les milieux aquatiques en termes de quantités et de types de polymères plastiques et, si possible, d'évaluer les sources de ces polymères. Les objectifs spécifiques sont

- (i) l'évaluation des concentrations en microplastiques dans les eaux usées en entrée et en sortie de STEP selon les saisons,
- (ii) l'évaluation du pourcentage d'abattement des microplastiques au cours des principales étapes de traitement des eaux usées et l'estimation du taux de rétention total de la STEP,
- (iii) l'estimation des quantités de microplastiques retenues dans les boues d'épurations. Les apports journaliers de microplastiques rejetés dans le milieu naturel seront estimés et comparés aux concentrations de microplastiques retrouvées dans les eaux de la Liane en amont et en aval du point de rejet de la station d'épuration afin de connaître son impact sur la pollution plastique dans les milieux aquatiques. L'assimilation des microplastiques par les organismes aquatiques (moules) a été étudiée à partir d'exposition en cage de moules selon un gradient d'éloignement de la STEP.

Trois stations d'épuration, présentant des caractéristiques différentes, ont été étudiées : Séliane à Boulogne-sur-Mer ; Fort de Scarpe à Douai et Edelweiss au Havre.

Contamination des eaux usées par les microplastiques et rôle de rétention des STEPs

Bien souvent, et mal à propos, il est reporté que les stations d'épuration des eaux usées sont la principale source de contamination par les microplastiques des bassins versants des rivières. Notre étude confirme que les procédés de traitement des eaux usées éliminent la majorité des microplastiques des eaux usées traitées et rejetées dans le milieu aquatique. Le pourcentage de rétention (ou d'abattement) des microplastiques varie selon les étapes de traitement mis en place au niveau des STEPs : il varie entre 89,5% et 98,8%. Grâce aux prélèvements réalisés le long du processus de traitement des eaux nous avons pu montrer que l'élimination des microplastiques se fait au cours des différentes étapes de traitement mais aussi estimer l'abattement après chaque traitement (**figure 4.4.1**). Dans le cas de Séliane, le pourcentage de rétention est de 84,73% après le prétraitement (dessablage et dégraissage) puis augmente de

12,8% pour atteindre 97,53% après la décantation primaire (traitement secondaire). Avant le rejet de l'eau traitée dans la Liane, le pourcentage de rétention augmente de 0.25% pour atteindre 97,78% après le traitement tertiaire. Ceci indique que les étapes de traitement primaire et secondaire éliminent la majorité des microplastiques. Parmi les microplastiques analysés 11 types de polymères ont été identifiés : polystyrène (PS), polyéthylène (PE), polyamide (PA), polyéthylène téréphtalate (PET), Polyuréthane (PUR), PP (polypropylène), PLA (acide polylactique), PTFE (Polytetrafluoroéthylène), Acrylonitrile butadiène copolymère, cellulose d'acétate (CA) et polyvinyle chlorure (PVC) (figures 4.4.2 et 4.4.3).

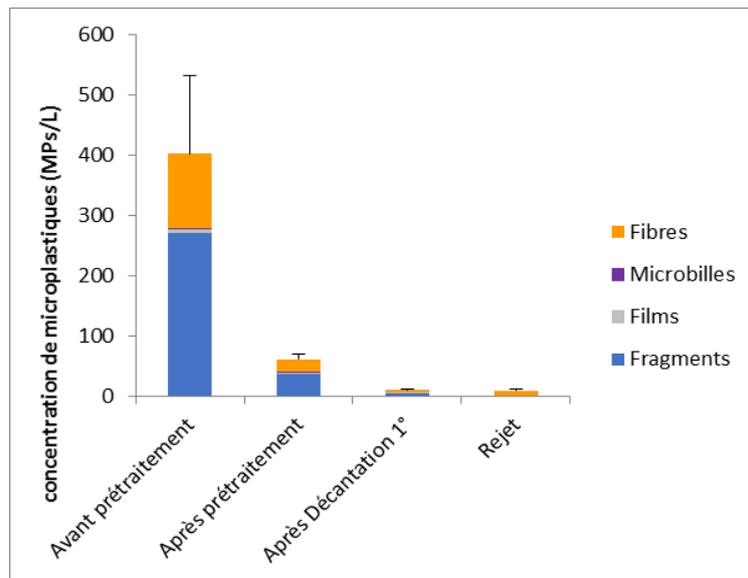


Figure 4.4.1 Concentration moyenne (+ écart-type) de microplastiques dans les échantillons d'eau réalisés au niveau des différents points de prélèvement au sein de la STEP.

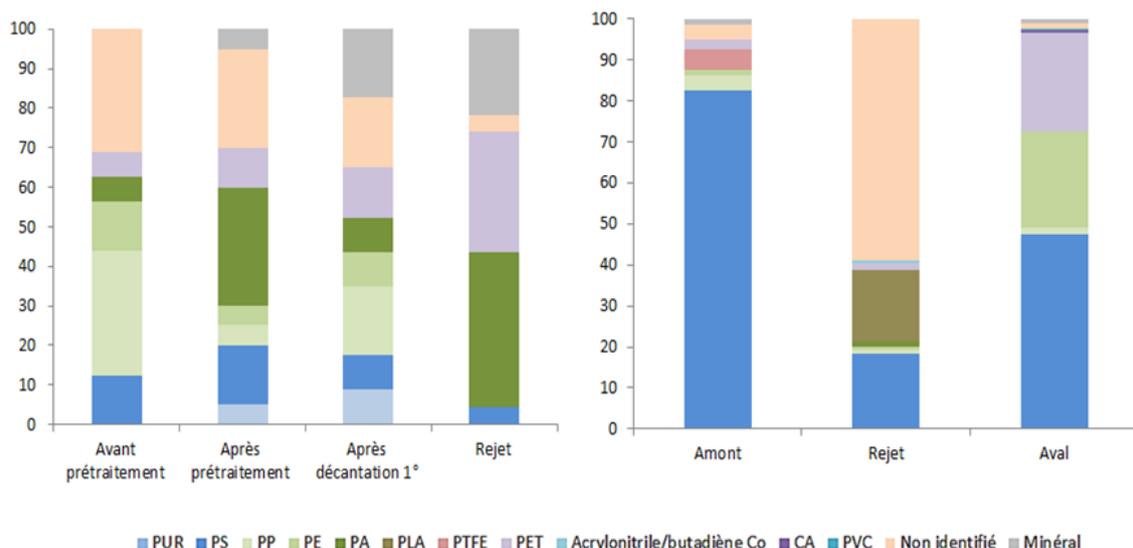


Figure 4.4.2 (A) Pourcentage des différents types de polymères plastiques identifiés au niveau des différents points de prélèvements dans la STEP Séliane et (B) en amont et aval du point de rejet de la STEP dans la Liane.

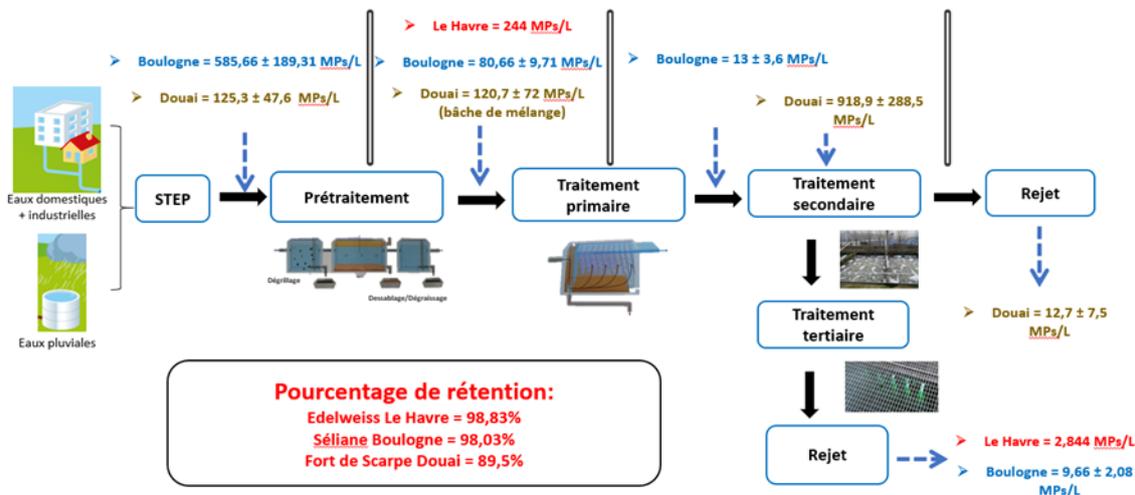


Figure 4.4.3 Schéma représentant les concentrations en microplastiques (nombre/L) et le pourcentage d'abattement des microplastiques entre les différentes étapes de traitements des eaux usées au niveau des 3 stations d'épuration étudiées.

Les STEPs vecteurs de transfert des microplastiques "de la terre vers les milieux aquatiques".

Malgré l'importante rétention des microplastiques lors du traitement des eaux usées, un nombre élevé de microplastiques est rejeté dans le milieu aquatique réceptacle du fait des volumes importants d'eau traitée journalièrement. Dans l'exemple de Séliane, avec un volume d'eau traité rejeté journalièrement de 20 000 m³ et un nombre de microplastiques de 8,92 MPs/L dans l'eau épurée, on estime que 179 millions de MPs sont introduits dans la Liane chaque jour. Les résultats des prélèvements ponctuels réalisés dans la Liane en amont et en aval du rejet de la STEP montrent que les eaux de la Liane sont contaminées par des microplastiques. Le nombre de MPs en amont (1,73 MPs/L) étant inférieur à celui observé en aval (1,9 MPs/L). Les concentrations en MPs trouvées dans la Liane en amont et en aval sont plus faibles que celles trouvées en sortie de STEP (3,23 MPs/L). Cela peut indiquer une dilution des MPs rejetés par la STEP du fait de l'écoulement des eaux dans la Liane. Une partie des microplastiques rejetés par la STEP peuvent aussi avoir sédimenté. L'analyse des prélèvements de sédiments nous permettra de mieux comprendre le devenir des MPs rejetés par la STEP.

En conclusion, les résultats de notre étude montrent que **les STEPs sont efficaces pour éliminer une grande partie de la pollution par les microplastiques**. Ainsi, il peut être considéré que les STEPs **protègent les milieux aquatiques de la pollution par les microplastiques** issus des activités humaines terrestres et véhiculées via les réseaux d'assainissement vers les milieux aquatiques. Toutefois, les résultats de notre étude indiquent aussi que les stations d'épuration sont aussi des **vecteurs de transfert des microplastiques « de la terre vers les milieux aquatiques »**. Étant donné les volumes importants rejetés journalièrement par les STEPs cela peut constituer **une source importante de pollution des milieux aquatiques par les microplastiques**.

Études des interactions des microplastiques avec le zooplancton

Plusieurs travaux ont démontré la capacité du zooplancton à l'instar des copépodes à ingérer des micro- et nano-plastiques. Ces études s'appuient bien souvent sur la microscopie à épifluorescence afin d'identifier des plastiques marqués par fluorescence dans le tube digestif des copépodes. Or, cette technique est difficilement applicable *in situ* et également avec des matériaux non fluorescents. Nous proposons ici d'utiliser des cultures de copépodes (lien avec

l'axe 3) pour réaliser plusieurs expériences de contamination avec différents microplastiques (nature, taille) et les quantifier à l'aide des doubles techniques micro-Raman et Pyrolyse-GC-MS. Ajouté à sa taille relativement faible, la présence d'une carapace en chitine impose une phase de digestion enzymatique qui se veut efficace sur le copépode mais la moins impactante possible envers les polymères ingérés. Nous proposons de développer ce volet méthodologique qui consiste à utiliser une grande quantité de copépodes standards pour identifier la meilleure façon de préparer les échantillons et comparer les performances en observation directe (microscopie et/ou macroscopie) et par les deux méthodes en cours de développement en P2 de MARCO. Ce volet méthodologique est très important avant de passer à une phase opérationnelle pour traiter en routine des échantillons de microcrustacés provenant du milieu naturel. Une méthode de Py-GC-MS visant à quantifier le PS a été développée. Des premières applications sur copépode ont été réalisées.

En plus de ce volet méthodologique, nous allons exposer des copépodes à la même eau prélevée à la sortie de la STEP. En effet, nous allons pouvoir évaluer la toxicité globale (ou pas) du rejet de la STEP en suivant ses effets sur tout le cycle de vie du copépode (comme dans l'axe 3.1). De même, nous essayerons de vérifier si les microplastiques de petites tailles à la sortie de la STEP peuvent être ingérés par les copépodes. Ceci nous donnera une première estimation du risque de transfert des microplastiques dans le réseau trophique pélagique via la consommation des copépodes (en plus de la voie d'ingestion directe de ces particules par les autres organismes du réseau trophique).

La méthode de Py-GC/MS développée ici a permis de réaliser des gammes de concentration en PS relativement faibles avec un signal linéaire (R^2 de 0,98) de 200 ng à 1,6 µg. Néanmoins ces niveaux restent largement supérieurs aux quantités ingérées par les copépodes. Ainsi, le signal spécifique du PS (le dimère de styrène) n'était pas visible lors de la pyrolyse de copépodes entiers ou poolés. L'utilisation du styrène, moins spécifique, mais permettant une mesure de concentration beaucoup plus faible, n'a pu être envisagée car la chitine, composant majoritaire de l'exosquelette, produit un signal de styrène en pyrolyse.

Étude de l'impact des microplastiques sur le microbiote des moules

Les microplastiques, des plastiques dont les particules sont inférieures à 5 mm, ont été trouvés dans presque tous les écosystèmes du monde, avec souvent l'océan comme réceptacle final. En raison de leur petite taille, les microplastiques peuvent être ingérés par les animaux et pénétrer dans la chaîne trophique marine. Ils peuvent ainsi affecter la santé d'une large diversité d'espèces animales en provoquant des dommages physiques au niveau de l'appareil digestif, en relarguant des composés chimiques (issus de leur fabrication), en transportant des polluants environnementaux et/ou des agents pathogènes chez les animaux qui les ingèrent. A l'heure actuelle, il existe très peu d'informations concernant l'impact de l'ingestion de microplastiques sur le microbiote d'espèce aquatique. Une seule étude, réalisée sur des zebrafish adultes, a montré, via l'utilisation d'approche de séquençage à haut débit, que l'ingestion de microplastiques de polystyrène induisent une dysbiose (déséquilibre du microbiote) et une inflammation de l'intestin chez ces poissons modèles.

Les travaux proposés ici ont été réalisés sur des moules sauvages, acclimatées/dépurées puis placées dans des aquariums en laboratoire qui ont, ou non, été mis en présence de microplastiques (polyéthylène – PE) durant 6 semaines (**figure 4.4.4**). Les moules ont été exposées à deux concentrations en microplastiques : une concentration proche de celles actuellement observées dans les environnements naturels (0,2 mg L⁻¹) et une concentration « haute » (20 mg L⁻¹) cohérente avec les projections futures. Par ailleurs, deux types de microplastiques ont été utilisés : « vierge » (n'ayant subi aucun traitement) et « vieilli »

(incubation, sous agitation, dans de l'eau de mer pendant un mois). Après exposition aux microplastiques, une partie des moules a servi à l'évaluation de l'état de santé et du niveau de stress des individus (taux de croissance, rapport taille de la coquille / poids de chair sec) et l'autre partie pour déterminer, par séquençage à haut débit du gène ARNr 16S, la composition du microbiote intestinal, branchial et des pellets fécaux des moules.

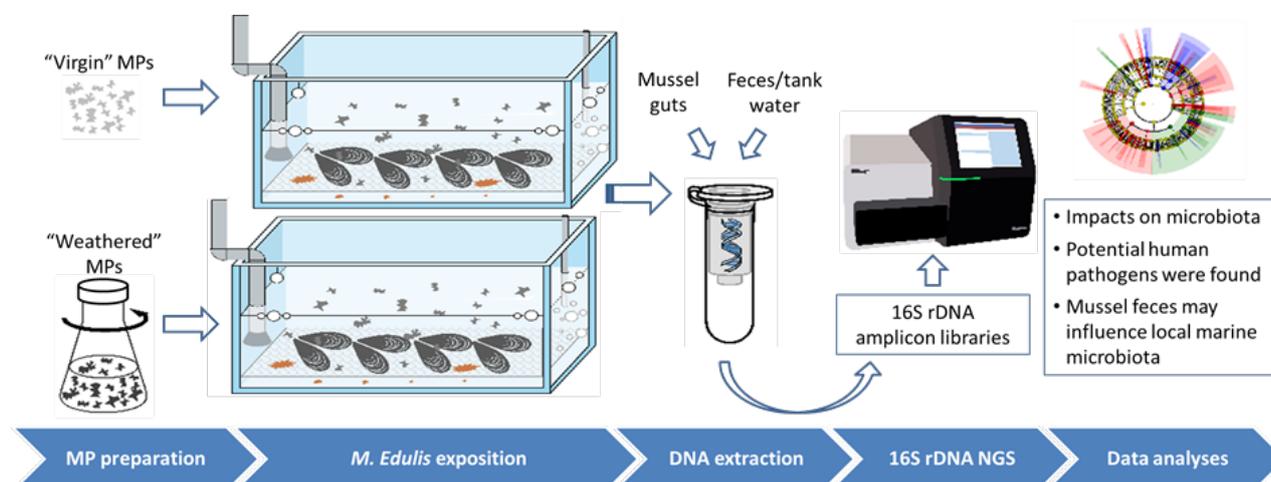


Figure 4.4.4 Schéma général présentant l'étude réalisée sur les moules.

Durant les 8 semaines d'expérience, au regard des indices mesurés, l'état de santé et du niveau de stress des moules ne semblent pas avoir été affecté par l'exposition aux microplastiques. Par contre, la caractérisation du microbiote intestinal a permis de mettre en évidence une modification significative de la biodiversité et/ou de l'équilibre dans la flore microbienne des moules suite à l'exposition aux microplastiques. De manière générale, les analyses statistiques (permanova, nMDS, CAH) ont démontré une influence significative du temps d'exposition, de la concentration et du type de microplastiques (« vierge » ou « vieilli ») sur le microbiote intestinal et fèces des moules, en comparaison avec les organismes non exposés (analyse permanova, pValue<0.05). L'altération du microbiote intestinal a été observée après exposition des moules aux microplastiques pendant 1 semaine, 3 semaines, 6 semaines, et pouvait même se maintenir après 8 jours de dépuración (post-exposition en absence de microplastiques). Cette dysbiose a été à la fois observée au niveau du microbiote intestinal, mais aussi dans le microbiote rejeté par les moules sous forme de boulettes fécales (figure 4.4.5). Une dysbiose a également été observée, mais dans une moindre mesure, au niveau du microbiote branchial avec un effet significatif du temps d'exposition, et des effets cumulés entre le temps d'exposition et la concentration en microplastiques sur la composition de ce microbiote (analyse permanova, pValue<0.05).

Globalement, l'altération du microbiote était plus importante chez les moules exposées à une forte concentration en microplastiques (« VH » et « WH ») par comparaison à une exposition à faible concentration (« VL » et « WL ») (voir figure ci-dessus sur la modification de la structure des communautés des fèces/pseudofèces sur à l'exposition à différentes concentration/type de microplastiques). Par ailleurs, la dysbiose était plus prononcée chez les moules exposées aux microplastiques « vieillis » (incubés durant un mois dans de l'eau de mer) par rapport aux microplastiques « vierges ».

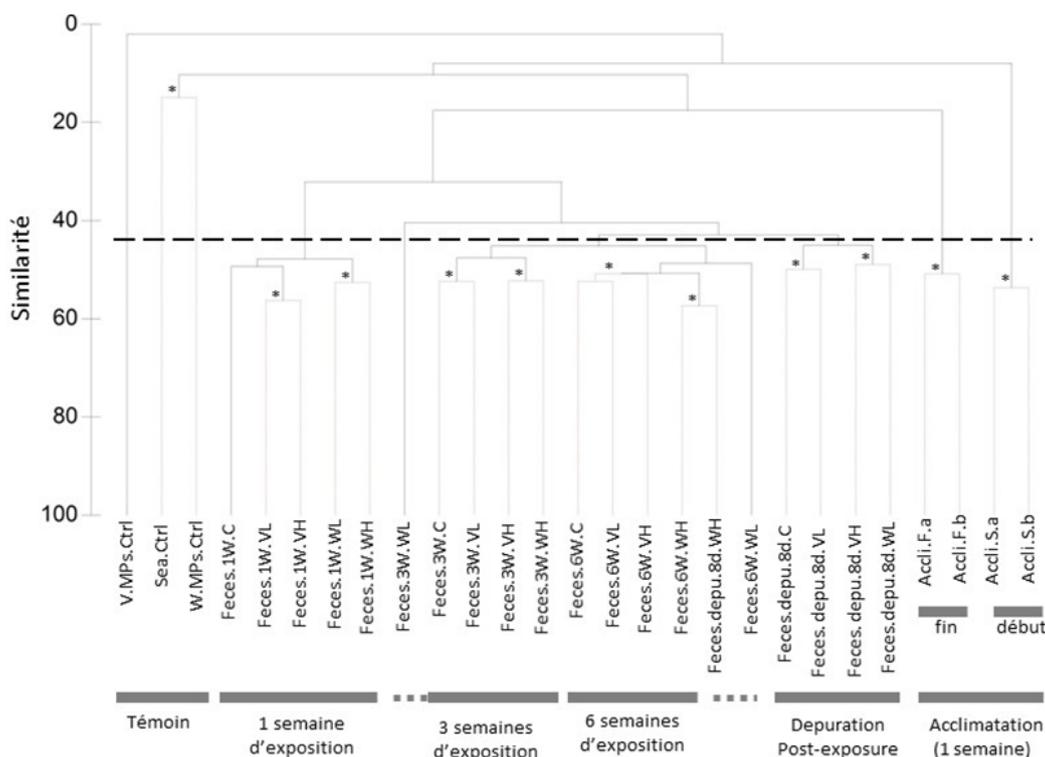


Figure 4.4.5 Structure des communautés microbiennes (OTUs) présentes dans les fèces/pseudofèces par classification ascendante hiérarchique (CAH, basée sur les dissimilarités de Bray-Curtis) suite à différentes conditions d'exposition aux microplastiques. Abréviations : 1W- 1 semaine d'exposition; 3W-3 semaines ; 6 W -6 semaines ; D2d – dépuration (Post-exposition sans microplastiques) de 2 jours ; D8d – dépuration de 8 jours ; C - contrôle ; VL - vierge basse concentration en microplastique; VH - vierge haute ; WL - basse altérée ; WH - haute altérée. "*" indique les similitudes entre les bifurcations / échantillons (basées sur le test SIMPROF).

En ce qui concerne l'analyse fine de la diversité bactérienne, nous avons identifié 6504 OTUs (Unité Taxonomique Opérationnelle, l'équivalent moléculaire de l'espèce) dans le microbiote intestinal des moules, dont 1074 ± 115 OTUs avant l'acclimation, 239 ± 14 OTUs après l'acclimation, 227 ± 37 OTUs durant la période d'exposition aux microplastiques, 220 ± 52 OTUs après dépuration (période post-exposition sans microplastique) et 483 ± 79 OTUs pour les fèces/pseudofèces. Au niveau du microbiote branchial, un total de 30645 OTUs a été identifié, dont 1201 ± 59 OTUs avant l'acclimation, 835 ± 95 OTUs après l'acclimation, 1060 ± 361 OTUs durant la période d'exposition aux microplastiques, et 1570 ± 628 OTUs après dépuration. Il apparaît, sans surprise, que la diversité du microbiote a diminué à la suite de la période d'acclimation. Nous observons également, durant la période d'exposition et de dépuration, une plus grande diversité du microbiote branchial par rapport au microbiote intestinal, bien que ce résultat est à prendre avec précaution étant donné que les deux analyses moléculaires ont été réalisées indépendamment. Enfin, il est notable de remarquer que sur les microplastiques « vierges » seulement 15 OTUs ont été identifiées mais 277 OTUs ont été détectées sur les microplastiques vieillissants, ce qui suggère la formation de biofilm bactérien à la surface des microplastiques lors du vieillissement dans l'eau de mer.

La diversité des grands groupes taxonomiques au niveau des trois microbiotes apparaît comme étant très différente. Le microbiote intestinal montre une dominance du groupe des Flavobacteriales (correspondant à 39.8% de l'ensemble des séquences), Oceanospirillales (19.7%), Vibrionales (9.5%), Alteromonadales (6.0%), Francisellales (3.9%), Rhizobiales (2.3%) et

Rhodobacterales (1.9%). Au contraire, le microbiote branchial montre une dominance des groupes Pseudomonadales (67.9%), Flavobacteriales (8.2%), Rhizobiales (7.1%), Rhodobacterales (4.9%) et Enterobacterales (2.7%). Enfin, au niveau des fèces/pseudofèces, les groupes dominants étant les Flavobacteriales (62.9%), Rhodobacterales (18.3%), Rhizobiales (6.1%), Campylobacterales (3.8%) et Oceanospirillales (1.7%) (figure 4.4.6).

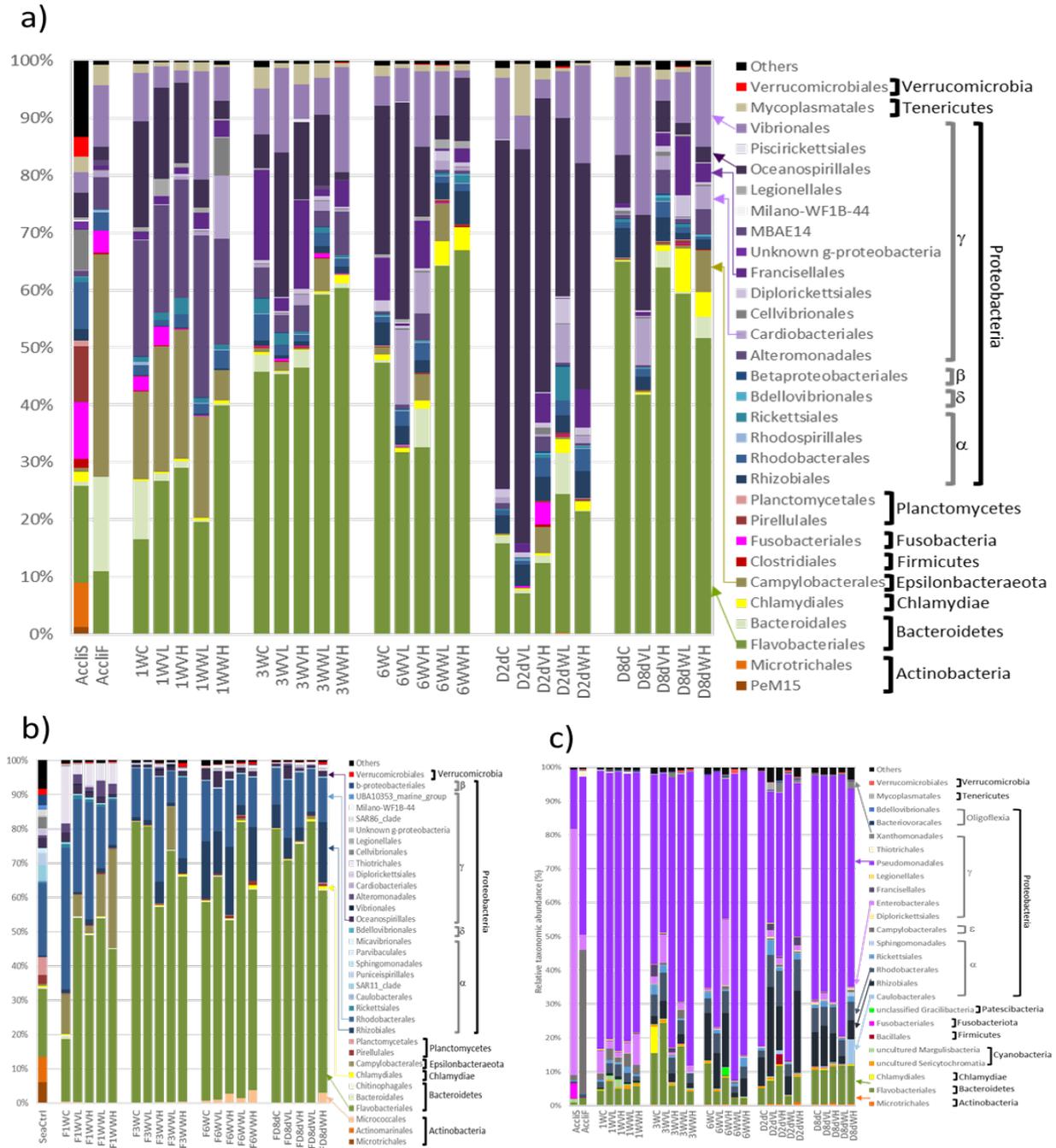


Figure 4.4.6 Composition de la communauté microbienne du microbiote intestinal (a), fèces/pseudofèces de l'eau des aquariums (b) et branchiale (c) des moules . Les taxons ont été regroupés d'abord par embranchement, puis par classe et ordre, avec notamment les Bacteroidetes en vert, Chlamydiae en jaune, Protéobactéries en bleu/violet et Pseudomonadales en mauve. Abréviations : Accli.S - début de l'acclimatation ; Accli.F - fin de l'acclimatation ; 1W - 1 semaine ; 3W - 3 semaines ; 6W - 6 semaines ; D2d – dépuración de 2 jours ; D8d – dépuración de 8 jours ; C - contrôle ; VL - vierge basse ; VH - vierge haute ; WL - basse vieillie ; WH - haute vieillie.

Suite à l'exposition aux microplastiques, et bien que globalement la diversité alpha (indices de Simpson, Shannon et Berger-Parker) du microbiote des moules n'ont pas montré de différence significative, des différences apparaissent au niveau de l'abondance de plusieurs groupes taxonomiques bactériens du microbiote intestinal, parmi lesquelles des pathogènes humains potentiels. Par exemple, l'abondance des Flavobacteriales était plus élevée chez les moules exposées aux microplastiques vieillis, tandis que celle des Oceanospirillales était plus faible, en particulier après exposition aux microplastiques vieillis en forte concentration. De même, l'abondance des Chlamydiales était plus élevée chez les moules exposées aux microplastiques vierges à forte concentration et vieillis à toutes les concentrations après une exposition de 3 et 6 semaines. Par ailleurs, cette augmentation du groupe des Chlamydiales s'est maintenue même après 8 jours de dépuración post-exposition (en absence de microplastiques), suggérant que la présence de ces bactéries potentiellement pathogènes pouvait faire courir un risque au consommateur même après la phase de dépuración réglementaire des moules avant mise sur le marché.

Table 4.4.1 Nombre d'Unité Taxonomique Opérationnelle ((OTU) qui présentent des changements d'abondances (basé sur le test non-paramétrique Wilcoxon) après exposition aux microplastiques (conditions "vierge" or "vieillie", concentration "basse" ou "haute") comparé au control. (a) Changement dans la composition du microbiote intestinal (a) et branchial (b) des moules

a) Gut Microbiota	Virgin Low		Virgin High		Weathered Low		Weathered High	
	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance
1 week exposure	8	1	8	5	4	12	2	13
3 weeks exposure	2	7	1	12	2	9	0	16
6 weeks exposure	1	2	3	8	14	5	9	4
2 days depuration	3	3	18	1	8	1	5	4
8 days depuration	1	2	13	3	10	3	2	6

b) Gill Microbiota	Virgin Low		Virgin High		Weathered Low		Weathered High	
	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance	# OTU with increased abundance	# OTU with decreased abundance
1 week exposure	8	5	7	9	4	17	7	13
3 weeks exposure	21	1	2	5	17	6	13	9
6 weeks exposure	6	13	13	5	12	56	14	33
2 days depuration	96	12	36	5	11	8	99	2
8 days depuration	3	9	11	8	68	27	79	17

En poussant l'analyse de la diversité bactérienne du microbiote de manière encore plus fine (i.e. au niveau des OTUs), nous avons mis en évidence un total de 118 OTUs présentant des abondances statistiquement significativement différentes (test de Wilcoxon, pValue<0.05) entre le microbiote intestinal des moules exposées aux microplastiques par rapport aux témoins non exposés (table 4.4.1) et de 503 OTUs pour le microbiote branchial (tableau b, ci-dessous). Il est toutefois à noter qu'une même OTU peut parfois apparaître avec une abondance plus faible dans une condition et plus forte dans une autre condition d'exposition aux microplastiques. Au regard de ces résultats, l'analyse de la composition du microbiote intestinal a été poussée jusqu'à l'identification d'espèce indicatrice d'une exposition aux microplastiques. Cette analyse a notamment permis l'identification d'espèces bactériennes sur-représentées dans les conditions

d'exposition aux microplastiques pouvant être potentiellement pathogènes pour l'humain (Arcobacter, Candidatus berkiella, Candidatus megaira, Cardiobacteriaceae, Chlamydiales, Candidatus Rhabdochlamydia, Criblamydiaceae, Clostridiales, Legionellaceae, Mycoplasma, Psychrobacter et Shewanella), de bactéries potentiellement pathogènes pour les poissons/mollusques/autres organismes eucaryotes marins (Aquimarina, Candidatus jidaibacter, Francisella, Moritella, Rickettsiella et Tenacibaculum), ainsi que de bactéries pouvant être impliquées dans la dégradation des biopolymères (Colwellia, Oleispira, Polaribacter et Sphingorhabdus) et la formation des biofilm (Arcobacter, Colwellia, Loktanella et Owenweeksia). Parmi les espèces (OTUs) statistiquement moins représentées après exposition aux microplastiques, nous avons également identifié de potentiels pathogènes humains (Legionella, Mycoplasma, Shewanella et Vibrio) et de poissons/mollusques (Aquimarina, Roseovarius et Tenacibaculum). Enfin, l'analyse des voies métaboliques prédites chez les bactéries du microbiote intestinal et des fèces a montré que l'exposition aux microplastiques influencerait aussi la diversité fonctionnelle, avec un impact potentiel sur les cycles biogéochimiques dans l'environnement, en particulier ceux de l'azote et du soufre. Des analyses similaires portant sur le microbiote branchial sont en cours.

En conclusion, nos résultats ont montré que l'exposition aux microplastiques peut altérer le microbiote intestinal, branchial et des fèces des moules et avoir des conséquences (1) sur la santé animale et la qualité des aliments ; (2) favoriser certains pathogènes et donc affecter la sécurité alimentaire ; (3) affecter le microbiote environnemental influençant ainsi la biodiversité taxonomique et fonctionnelle dans l'écosystème local. Enfin, nous avons démontré que l'altération du microbiote était plus importante après exposition par des microplastiques vieillis, ce qui est généralement le cas des microplastiques retrouvés dans l'environnement marin, et lors d'une exposition avec des concentrations en microplastiques élevées. En particulier, le microbiote des moules exposées aux concentrations en microplastiques les plus élevées contenait une proportion plus importante de bactéries pathogènes présentant ainsi un risque pour la santé des consommateurs, la moule étant mangée entière.

Etude des additifs présents dans les (micro)plastiques

La présence des additifs est une problématique connexe à celle des microplastiques. En effet plus de 400 molécules ont été décrites et sont utilisées par les plasturgistes de façon à produire des objets avec des propriétés désirées (flexibilité, résistance au feu, à l'oxydation, aux UV, etc.). Certaines de ces molécules sont dangereuses avec des actions de perturbation endocrinienne, de toxicité, etc. Néanmoins, il existe peu de données concernant l'exposition à ces molécules via les (micro)plastiques. Ceci est primordial pour réaliser une évaluation du risque, néanmoins il manque énormément de données notamment les recettes utilisées par les industriels. Des méthodes de détermination des quantités d'additifs présents dans les (micro)plastiques sont donc nécessaires. La pyrolyse couplée avec la spectrométrie de masse haute-résolution est un outil performant pour produire ce type de données. Une raison complémentaire est que le pyrolyseur permet de thermodésorber les molécules d'additifs et donc de s'affranchir de l'utilisation de solvants organiques qui sont dangereux pour les manipulateurs mais aussi vecteur d'additifs. Peu de données spectrales haute résolution existant sur les additifs plastiques, un premier travail a consisté à créer des bibliothèques spectrales mais aussi identifier la présence d'additifs.

57 molécules d'additifs (plastifiants, retardateurs de flamme, anti-oxidants, stabilisateurs aux UV, etc.) ont été sélectionnées en se basant sur différents critères (ECHA, EFSA). Une méthode a été développée et appliquée notamment sur différents types d'échantillons (emballages plastiques destinés à l'alimentation, microplastiques, etc). Cette méthode permet la détection

de 80% de ces molécules dont notamment des phtalates et des retardateurs de flamme phosphatés. Des différences ont pu être trouvées entre des polymères identiques mais provenant de fabricants différents confirmant des observations réalisées dans d'autres études. Cette méthode est toujours en cours de développement notamment sur le volet quantification des molécules qui est relativement complexe dans le cadre de la pyrolyse.

Valorisations

Stages :

Thomas Hesdoux (Juin-Septembre 2020) : "Développement d'une méthode de quantification de microplastiques par Py-GC/MS", Stage de Master 2, Université d'Artois (encadrement A.Dehaut)

Armance Brémard (Mars - Août 2021) : "Développement d'une méthode de quantification des additifs issus des microplastiques" , Stage de Master 2, Université d'Artois (encadrement A.Dehaut)

Béatrice Boricaud (Mars - Août 2017) : "Mise au point et validation d'une méthode d'analyse de microplastiques par Pyrolyse-GC/MS" Stage de Master 2, Université de Poitiers (Encadrement L.Hermabessiere)

Ane Del Rio (Avril-Juillet 2021): "Etude du microbiote de moule pour le développement de méthodes visant à l'identification du lieu d'élevage pour la détection des fraudes" , échange entre fondation AZTI (Bilbao, Espagne) et l'ULCO (LOG, Wimereux) dans le cadre de thèse de doctorat Européen.

Post-docs :

Luen Luen LI (2018-2021). Sujet : Etude de l'impact des microplastiques sur le microbiote de la moule *Mytilus edulis*

Chaza Chbib (2019-2020). Sujet : Identification et quantification des additifs chimiques aux microplastiques par analyse Pyrolysis-GC/MS.

Maria Kazour (2020-2021) . Etude des flux de microplastiques au sein des stations d'épuration. Impacts sur les milieux aquatiques.

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

Hermabessiere L., Dehaut, A., Cassone, A.N., Frère L., Himber C., Rinnert E., Rivière G., Lambert C., Soudant P., Huvet A., Duflos G., Paul-Pont I. Identification of an optimized protocol for extraction and characterization of microplastics in seafood products. ECSafeSeafood Final Conference. Bruxelles (Belgique), 25-26 janvier 2017.

Hermabessiere L., Zambonino-Infante J.L., Receveur J., Himber C., Paul-Pont I., Dehaut A., Jezequel R., Soudant P., Duflos G. Leaching of a common antioxidant additive (Irgafos 168[®]) from microplastics using an in vitro enzymatic model of digestion. Capri (Italie), 28 septembre 2017.

Hermabessiere, L., C. Himber, B. Boricaud, M. Kazour, R. Amara, M. Laurentie, I. Paul-Pont, P. Soudant, A. Dehaut and G. Duflos. Py-GC/MS method development and application for the identification of microplastics from seafood. 48th WEFTA Conference. Lisbon (Portugal), 15-18 octobre.

Hermabessiere, L., C. Himber, B. Boricaud, M. Kazour, R. Amara, M. Laurentie, I. Paul-Pont, P. Soudant, A. Dehaut and G. Duflos. Development of a Py-GC/MS method and its application to identify marine microplastics. Micro 2018. Lanzarote (Espagne), 19-23 novembre 2018.

Hermabessiere L., Zambonino-Infante J.L., Receveur J., Himber C., Paul-Pont I., Dehaut A., Jezequel R., Soudant P., Duflos G. Study of the leaching from microplastics using an in vitro enzymation digestion model. Sixth International Marine Debris Conference. San Diego (USA), 12-16 Mars 2018.

Kazour, M., Jemaa, S., Khalaf, G., Amara, R. "Microplastics contamination of the Lebanese coast: ingestion by commercial seafood species" in Fish Forum 2018 – Rome, Italy – 10-14 December 2018

Kazour, M., Terki, S., Rabhi, K., Jemaa, S., Khalaf, G., Amara, R. "Sources of microplastics pollution into the marine environment: importance of wastewater treatment plant and coastal dump" in MICRO 2018 – Arrecife, Lanzarote (Spain) – 19-23 November 2018

- Kazour, M., Jemaa, S., El Rakwe, M., Duflos, G., Hermabassiere, L., Dehaut, A., Le Bihanic, F., Cachot, J., Cornille, V., Rabhi, K., Khalaf, G., Amara, R. "Nouvelle approche pour l'étude in situ de la contamination des poissons par les microplastiques: engagement de juvéniles de flets (*Platichthys flesus*) dans des nourriceries estuariennes" in "14ème colloque international francophone en écotoxicologie aquatique EcoBIM 2018" – Bordeaux (France) – 22-25 May 2018
- Dehaut A, Hermabassiere L, Duflos G (2019) Problematic of microplastics in the context on seafood safety. 2019 International Orchid Conference, Lille (France), 9 - 11 Juillet 2019
- Dehaut A, Hermabessiere L, Duflos G (2019) Toward harmonization and good practices for the study of microplastics in seafood? 49th WEFTA conference, Tórshavn (Faroe Island), 15 - 17 October 2019
- Li L-L, Dehaut A, Duflos G, Souissi S, Amara R, Monchy S (2019) Ingestion of microplastics and impacts on gut microbiota in marine bivalves. 2019 International Orchid Conference, Lille (France), 9 - 11 Juillet 2019
- Dehaut A, Hermabassiere L, Duflos G (2019) Analyse des microplastiques dans les produits de la pêche : Proposition du concept de "MIMS". Paper presented at the 1ère rencontres du GDR Polymères et Océans, Créteil (France), 24 - 26 Juin 2019
- Hermabessiere, L., C. Himber, B. Boricaud, G. Duflos and A. Dehaut . Optimization and validation of a Pyrolysis-GC/MS method to identify microplastics. Third International Francophone Conference on Environment and Health. Dunkerque (France) 25-27 octobre 2017.
- Hermabessiere, L., C. Himber, G. Duflos and A. Dehaut. Pyrolysis-GC/MS: a powerful tool for microplastics identification. ECsafeSEAFOOD Conference. Bruxelles (Belgique), 25-26 janvier 2017.
- Kazour, M., Jemaa, S., El Rakwe, M., Duflos, G., Hermabassiere, L., Dehaut, A., Le Bihanic, F., Cachot, J., Cornille, V., Rabhi, K., Khalaf, G., Amara, R. "Nouvelle approche pour l'étude in situ de la contamination des poissons par les microplastiques" in "3ème colloque international Francophone en environnement et santé" – Dunkerque (France) – 23-25 October 2017
- Hermabessiere L., Boricaud B., Himber C., Duflos G., Dehaut A. Microplastics identification by Py-GC/MS: method optimization and validation. Sixth International Marine Debris Conference. San Diego (USA), 12-16 Mars 2018.
- Kazour, M., Terki, S., Rabhi, K., Amara, R. "Développement d'approches de biomonitoring actif (engagement d'organismes) pour l'étude in situ de la contamination des organismes marins par les microplastiques" in "Journées de l'ARCUS-E2D2" – Rabat (Maroc)- 9-11 April 2018

Article et chapitres d'ouvrages :

- Hermabessiere, L., Himber, C., Boricaud, B., Kazour, M., Amara, R., Cassone, A. L., ... Dehaut, A. & Duflos, G. (2018). Optimization, performance, and application of a pyrolysis-GC/MS method for the identification of microplastics. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 410(25), 6663-6676.
- Doyen P, Hermabessiere, L., Dehaut, A., Himber, C., Decodts M., Degraeve T, Delord L, Gaboriaud M., Mone P., Sacco J., Tavernier E., Grard T. & Duflos G. (2019). Occurrence and identification of microplastics in beach sediments from the Hauts-de-France region. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 28010-2802
- Hermabessiere, L., Paul-Pont, I., Cassone, A.-L., Himber, C., Receveur, J., Jesequel, R., El Rakwe, M., Rinnert, E., Riviere, G., Lambert, C., Huvet, A., Dehaut, A., Duflos, G., Soudant, P. (2019). Microplastic contamination and pollutant levels in mussels and cockles collected along the channel coasts. *Environmental Pollution*, 250, 807-819.
- Kazour, M., Jemaa, S., Issa, C., Khalaf, G., & Amara, R. (2019). Microplastics pollution along the Lebanese coast (Eastern Mediterranean Basin): Occurrence in surface water, sediments and biota samples. *Science of The Total Environment*, 696, 133933. [Action 4.1]
- Kazour, M., Terki, S., Rabhi, K., Jemaa, S., Khalaf, G., & Amara, R. (2019). Sources of microplastics pollution in the marine environment: Importance of wastewater treatment plant and coastal landfill. *Marine pollution bulletin*, 146, 608-618
- Cowger W, Booth A, Hamilton B, Primpke S, Munno K, Lusher A, Dehaut A, Vaz VP, Liboiron M, Devriese LI, Hermabessiere L, Rochman C, Steele C, Athey SN, Lynch J, De Frond H, Gray A, Jones O, Brander SM, Thaysen C, Moore S, Sanchez A, Nel H. (2020). Reporting Guidelines to Increase the Reproducibility and Comparability of Research on Microplastics. *Applied Spectroscopy*, 74, 1066-1077.

- Hermabessiere, L., J. Receveur, C. Himber, D. Mazurais, A. Huvet, F. Lagarde, C. Lambert, I. Paul-Pont, A. Dehaut, R. Jézéquel, P. Soudant, and G. Duflos. 2020. "An Irgafos® 168 story: when the ubiquity of an additive prevents studying its leaching from plastics." *Science of the Total Environment* 749:141651.
- Kazour M., S. Jemaa, M. El Rakwe, G. Duflos, L. Hermabassière, A. Dehaut, F. Le Bihanic, J. Cachot, V. Cornille, K. Rabhi, G. Khalaf, R. Amara, 2020. Juvenile fish caging as a tool for assessing microplastics contamination in estuarine fish nursery grounds, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 3548-3559.
- Kazour, M., & Amara, R. 2020. Is blue mussel caging an efficient method for monitoring environmental microplastics pollution? *Science of The Total Environment*. 710, 135649
- Li, L.-L., R. Amara, S. Souissi, A. Dehaut, G. Duflos, and S. Monchy. 2020. "Impacts of microplastics exposure on mussel (*Mytilus edulis*) gut microbiota." *Science of the Total Environment* 745:141018
- Akoueson F., Chbib C., Monchy S., Paul-Pont I., Doyen P., Dehaut A., Duflos G., 2021. Identification and quantification of plastic additives using pyrolysis-GC/MS: a review. *Science of the Total Environment*, 773, 145073.
- Dehaut, A., L. Hermabassiere, and G. Duflos. 2020. "Microplastics detection using Pyrolysis-GC/MS based methods." In *Handbook of Microplastics in the Environment*, edited by Teresa Rocha-Santos, Mónica Costa et Catherine Mouneyrac. : Springer International Publishing. In press.

Effet levier :

- CPER IDEAL « Approche intégrée des défis maritimes et littoraux »
- AMI MicrEAU (Anses)
- Projet Moustic (APR-EST)
- Projet FISHH (ZonMW)
- Projet Plasticolo (STIMuLE-Région des Hauts de France)
- Projet Microscop (FEAMP)

Axe 5 : Vulnérabilité et usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux

Action 5.1 Usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux

Participants

Responsable : Caroline Rufin-Soler

Permanents : Voltaire L., Audouit C., Herbert V., Deboudt Ph., Duflos G., Dehaut A., Rufin-Soler C.

Doctorants : Tannai A. (bourse CR), Guerrero J. (bourse ULCO)

CDD IE : Plouvier Th., Demonchy A., Delbois L., Guidez E., Foucaut T.

Stagiaires de M1 : Beaupuis L-A., Le Roux S.

Description des activités

Afin de collecter de la donnée lors des différentes programmations MARCO, nous avons réalisé des enquêtes, qualitative ou quantitative suivant différents protocoles méthodologiques, sur les littoraux des hauts de France. Plusieurs activités ont été menées lors des différentes programmations.

Etude de la fréquentation des massifs dunaires de Bray-Dunes et du cap Blanc Nez (P2 : 2017-2019)

L'objectif était d'étudier la fréquentation et la perception des espaces naturels côtiers de la côte d'Opale par les visiteurs et d'estimer les bénéfices économiques générés par cette fréquentation. Pour cela, une enquête auprès de 872 usagers des sites a été réalisée.

Fréquentation du Cap Blanc-Nez. Point stratégique du Grand Site des Deux Caps, le Cap Blanc-Nez jouit d'une fréquentation largement internationale et des régions françaises voisines (**figure 5.1.1**). La visite du site s'effectue toute l'année avec des pics durant la saison estivale et les périodes de congés scolaires. Les visiteurs viennent le plus souvent en couple ou en famille et pratiquent la promenade. Le site attire tout particulièrement les classes moyennes et supérieures venues en séjour sur le site des Deux Caps et logeant dans des hôtels, des gîtes ou des chambres d'hôtes. Les excursionnistes sont également nombreux et proviennent principalement du Nord ou du Pas-de-Calais. La quasi-totalité des visiteurs se rendent sur le site avec leur véhicule personnel (voiture et plus rarement camping-car) mais une part non négligeable vient également à pied ou en vélo depuis les villages limitrophes de Wissant, Escalles ou Sangatte. Une majorité des enquêtés ont déjà visité le site auparavant mais ne le visitent pas de manière fréquente. La visite s'inscrit le plus souvent dans une visite plus globale du Grand Site avec notamment la visite du Cap Gris-Nez et des grandes agglomérations proches (Boulogne-sur-Mer et Calais) au cours de la même journée.

Bien que le site soit un des sites touristiques majeurs du département, la plupart des enquêtés ont découvert le site à travers la famille, les proches ou le bouche à oreille. Pour beaucoup de

visiteurs, la visite est motivée par le fait de découvrir le site, mais également par la singularité de celui-ci dans le paysage régional. L'esthétique du site, la vue sur la mer depuis la falaise, et les paysages naturels environnants sont ainsi particulièrement appréciés. La composante naturelle et protégée du site est perçue et soulignée de manière quasi unanime par les enquêtés. En revanche, le statut de protection dont bénéficie le site est très mal connu et les mesures qui incombent aux gestionnaires, selon les visiteurs, se résument bien souvent à l'aménagement et au maintien de la propreté du site. L'insatisfaction des visiteurs est souvent liée aux aménagements et notamment au manque de poubelles et de toilettes sur le site. La perception des menaces qui pèsent sur le site est quant à elle impactée par la morphologie de celui-ci et par le balisage des sentiers qui rappellent de manière récurrente les dangers liés à l'érosion de la falaise.

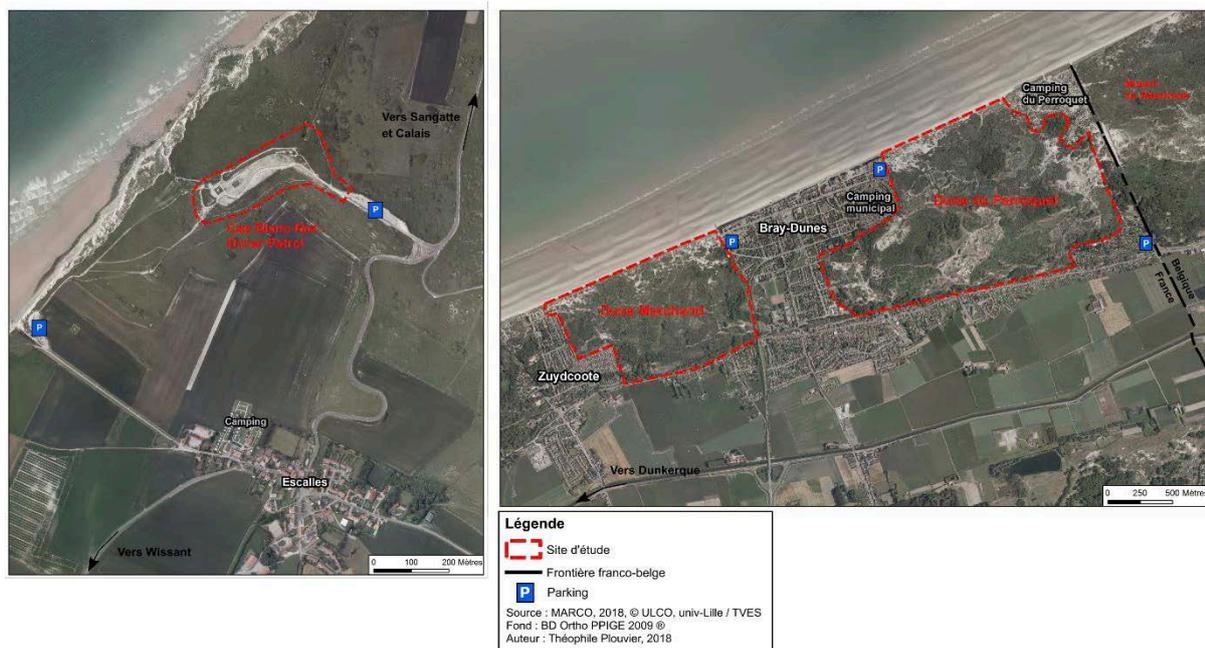


Figure 5.1.1 Les sites d'étude du cap Blanc-Nez et des massifs dunaires de Bray-Dunes.

Fréquentation des massifs dunaires de Bray-Dunes. La visite des massifs dunaires (figure 5.1.1) se rapproche d'un mode de fréquentation balnéaire. La fréquentation provient principalement du département du Nord et de Belgique. Les aléas météorologiques conditionnent fortement la fréquentation du site, celle-ci est donc la plus forte durant la période estivale et les jours de beau temps. Les visiteurs viennent majoritairement à la journée uniquement, en famille ou en couple et dans le cadre d'activités de détente : bronzage, baignade, pique-nique et balade dans les dunes. Les touristes quant à eux, sont moins nombreux mais séjournent à Bray-Dunes durant de longs séjours (supérieur à 1 semaine), le plus souvent chez des particuliers et en camping ou dans des résidences secondaires. Le site attire une population variée, de la classe population à la classe supérieure. Les catégories supérieures sont néanmoins fortement représentées comparativement à leur proportion dans la population départementale. Le plus souvent, la connaissance du site se transmet dans un cadre familial ou amical.

La plupart des enquêtés sont ainsi des habitués et visitent le site régulièrement au cours de l'été. La proximité du site avec le lieu de résidence est un des premiers critères de visite. La voiture demeure le mode de transport privilégié pour la quasi-totalité des visiteurs malgré la possibilité d'accéder au site par les transports en commun. La perception du site par les enquêtés montre que les massifs de Bray-Dunes ne sont pas particulièrement atypiques dans le paysage local. De

nombreux autres sites semblables existent et le critère de sélection principal demeure la proximité et la rapidité d'accès. Le site est perçu comme un espace protégé, d'autant plus en raison de sa proximité avec la digue qui accentue le contraste urbain/naturel. En revanche, le statut de protection est très mal connu. Les menaces perçues liées à l'homme sont ainsi récurrentes, notamment à travers l'urbanisation de la côte et la pollution.

Impact économique des sites protégés. L'enquête a permis de révéler que le panier dépensé par personne et par jour est de 25 euros en moyenne (hors dépense de transport). La dépense est plus élevée au Cap Gris-Nez (30 euros) qu'à Bray-Dunes (17 euros). La fréquentation importante de ces deux sites engendrerait 5,6 millions d'euros de dépenses pour Bray-Dunes et 7,9 millions d'euros pour visiter le Cap Gris-Nez. L'analyse économétrique a permis de définir la part des dépenses réalisées sur ces littoraux imputables aux sites. Celle-ci montre que ces deux sites sont très attractifs d'un point de vue économique car 81% des dépenses réalisées leurs sont imputables.

1. Pour toi, c'est quoi le littoral :

2. Complète la légende des photos à l'aide des mots suivants :

Côte rocheuse	Baie/Estuaire	Côte à falaise	Massif dunaire
---------------	---------------	----------------	----------------









3. Donne le nom de la mer qui borde ton littoral :

4. Explique ce qu'est une dune et à quoi elle peut servir ?

Figure 5.1.2 Questionnaire utilisé lors d'une intervention en milieu scolaire.

Exposition des sociétés littorales aux aléas littoraux (P3 : octobre 2019-octobre 2020)

Cette programmation s'est organisée autour de trois axes de réflexion :

- Évaluer la sensibilisation des élèves d'une école aux risques littoraux ;
- Comprendre l'évolution du marché de l'immobilier en zone exposée aux aléas littoraux (communes de Oye-Plage et de Wissant) ;

- Analyser les systèmes d'assurance immobiliers existants dans des secteurs exposés aux aléas littoraux.

Action 1 : évaluer la connaissance et sensibiliser des élèves aux risques littoraux. Après une première rencontre infructueuse avec l'école primaire de Merlimont, notre choix s'est porté sur l'école primaire de l'Etoile à Oye-Plage, qui se situe à proximité du platier d'Oye. La thématique du « Littoral » étant abordé dans le dernier cycle du primaire nous avons ciblé la classe de Madame Sala qui regroupe 30 élèves de trois niveaux différents (CE2/CM1/CM2). Lors de cette rencontre, Monsieur Tant, guide Nature au sein du Platier d'Oye était également présent. Il représentait le gestionnaire à savoir EDEN 62. Cette réunion a permis de fixer 3 rendez-vous avec les élèves :

- une intervention en classe afin d'évaluer leur connaissance du Littoral (questionnaire puis explications/discussions, [figure 5.1.2](#)) – matinée du 10 mars 2020
- une deuxième intervention envisageait la découverte du milieu dunaire, la RNN, la plage – journée du 27 mars 2020 (annulée)
- une troisième intervention permettait, au travers d'un jeu de piste, que nous avons construit, de mieux connaître les enjeux liés au littoral et à la présence de la réserve – 10 avril 2020 (annulée).

Action 2 : comprendre l'évolution du marché de l'immobilier dans des secteurs exposés aux aléas littoraux (PPRL). Pour comprendre l'évolution du marché, nous avons contacté l'ensemble des professionnels de l'immobilier localisés dans la zone de chalandise de Oye-Plage et Wissant à savoir ceux de Calais, Gravelines, Oye-Plage, Marck, Coquelles, et Marquise. Nous avons, dans le cadre de notre protocole méthodologique, élaboré un guide d'entretien. La collecte des données a eu lieu entre le 27 février et le 11 mars 2020. Nous avons ainsi rencontré 7 agents immobiliers et 6 notaires.

Action 3 : analyser les systèmes d'assurance immobiliers existants. Pour mieux comprendre les enjeux immobiliers des communes d'Oye-Plage et Wissant, analyser la connaissance des habitants face aux risques littoraux et évaluer la connaissance de leurs contrats d'assurance, nous avons élaboré un questionnaire. Sa passation en porte à porte initialement prévue dès les vacances de Pâques a été décalée au mois de juillet.

Connaissance de l'exposition des populations aux microplastiques (P4 : octobre 2020 à mars 2021)

Dans le cadre de cette dernière programmation, nous avons collaboré avec l'ANSES. Ce projet avait pour objet l'étude du milieu marin, de la ressource et de la qualité des produits aquatiques. L'enquête ConsoMicro s'est intéressée à l'exposition aux microplastiques et aux perceptions des risques liés à ses derniers au sein d'une population du littoral. Elle avait pour but d'apporter une dimension sociale à cette problématique ([figure 5.1.3](#)). Ces objectifs étaient donc de :

- mieux cerner les habitudes alimentaires concernant les produits de la mer au sein d'une population d'une commune littorale ;
- évaluer le niveau d'information et de préoccupation de cette population concernant les plastiques marins et les microplastiques ;
- établir des liens entre les données sociodémographiques et l'objet de l'étude.

Le choix de la ville de Boulogne-sur-Mer et des communes limitrophes comme base de sondage est principalement dû à des contraintes techniques et budgétaires, puisqu'il s'agit de la ville où est localisé l'ANSES et une partie de TVES. Par ailleurs, cela permet de s'intéresser

particulièrement à la consommation des produits de la mer et aux perceptions des déchets marins au sein d'une population a priori plus concernée par ces aspects.

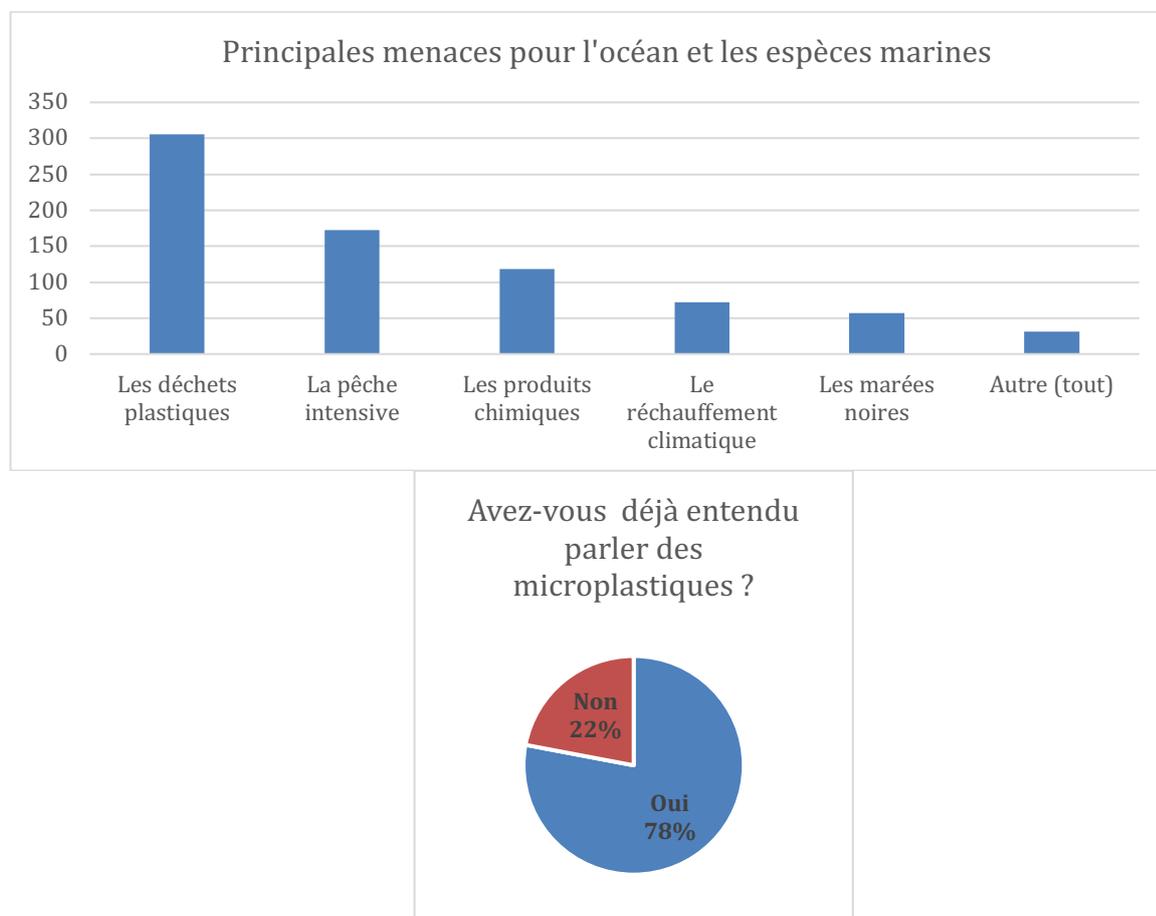


Figure 5.1.3 Résultat de l'enquête ConsoMicro qui s'est intéressée à l'exposition aux microplastiques et aux perceptions des risques liés à ses derniers au sein d'une population du littoral.

Revue de littérature et enquête (P5 : avril à septembre 2021)

Deux stagiaires de M1 nous ont permis d'approfondir nos travaux en travaillant le concept d'adaptation des espaces naturels (stage de Lou-Ann Beaupuis – 2 mois) et l'évaluation des démarches participatives (stage de Simon Le Roux – 4 mois).

Valorisations

Articles :

- Chadenas C., Andreu-Boussut V., Rufin-Soler C., Rollo N., 2022. Les espaces naturels protégés littoraux en France métropolitaine et l'élévation du niveau marin : quelles stratégies d'adaptation ? Bulletin de l'Association de Géographes français, 3/4, 605-622.
- Rufin-Soler C., Ruz M.-H., Deboudt Ph., Révillon R., 2020. Comment vivre avec des conflits d'usages au sein d'un espace naturel protégé exposé à des risques littoraux ? L'exemple du Platier d'Oye. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 20, n°1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.27769>
- Ruz M.-H., Rufin-Soler C., Hequette A., Révillon R., Hellequin A.-P., Deboudt Ph., Herbert V., Cohen O., Lebreton F., Le Goff L., Schmitt F.G., Marin D., 2020. *Climate change and risk perceptions in two french coastal communities*. Journal of Coastal Research, SI, 95 (1-5). <https://doi.org/10.2112/SI95-170.1>

Ruz M.-H., Hellequin A.-P., Rufin-Soler C., Cohen O., Deboudt Ph., Herbert V., 2020. La perception des risques d'érosion côtière et de submersion marine par la population du littoral : les cas de Wissant et Oye-Plage. *The Conversation*. <https://theconversation.com/la-perception-des-risques-derosion-cotiere-et-de-submersion-marine-par-la-population-du-littoral-les-cas-de-wissant-et-oye-plage-147074>

Ouvrages :

Ruz M.-H., Rufin-Soler C., Hellequin A.-P., Héquette A., Deboudt P., Cohen O., Lebreton F., Herbert V., Schmitt F., Le Goff L., Révillon R., Marin D., 2021. COSACO : Quel littoral dans cinquante ans ? Co-construction de Stratégie d'Adaptation au changement climatique en Côte d'Opale. Rapport de synthèse. 77 p.

https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03373431/file/rapport_COSACO_Ruz_etal_2021.pdf

Andreu-Boussut V., Chadenas C., Michel X., Salin E., Rufin-Soler C., Herbert V., 2021. Patrimonialisation et gestion du tourisme dans quatre hauts lieux du littoral européen : Chaussée des Géants (Irlande du Nord), Mer des Wadden (Danemark), Deux Caps et marais salants de Guérande (France) in Vivier N., Morice J.-R., et Saupin G. (dir.), PUR collection « Des sociétés », 12 p.

Andreu-Boussut V., Rufin-Soler C., Michel X., Salin E., Chadenas C., Herbert V., 2021. De la protection aux stratégies de gestion des visiteurs des sites patrimoniaux sur les littoraux de l'Europe du Nord-Ouest à travers quatre études de cas : Deux Caps et marais salants de Guérande (France), Chaussée des Géants (Royaume-Uni) et mer des Wadden (Danemark) in Pereira A. Q., Dantas E.W.C, 2021. Le tourisme littoral, 14 p.

Michel X., Andreu-Boussut V., Chadenas C., Salin E., Rufin-Soler C., Herbert V., 2020. La lenteur et l'itinérance dans les pratiques touristiques de sites littoraux européens in Lebreton F., Gibout C. (coord.). *Slow tourism, slow sport, (En)jeux de spatialités, de mobilités et de corporités*, éditions Universitaires de Lorraine, 18 p.

Communications :

Hellequin A.-P., Rufin-Soler C., 2021. Pour une démarche participative dans les risques environnementaux. L'exemple du programme Co-construction de Stratégies d'Adaptation au changement climatique en Côte d'Opale. Rencontres scientifiques du Réseau d'Etudes et d'Echanges en Sciences Sociales sur l'Eau, Paris, 1^{er} février 2021.

Chadenas C., Andreu-Boussut V., Rufin-Soler C., Rollo N., 2021. Les espaces naturels protégés littoraux et le changement climatique : quelles stratégies d'adaptation ? Journée thématique de l'Association de Géographes Français sur « Les risques littoraux », Paris, 27 mars 2021.

Rufin-Soler C., Ruz M.-H., Hellequin A.-P., Deboudt Ph., 2021. Participation des populations côtières exposées à des risques littoraux à l'élaboration de stratégies d'adaptation pour la Côte d'Opale. Journée thématique de l'Association de Géographes Français sur « Les risques littoraux », Paris, 27 mars 2021.

Foucaut T., Rufin-Soler C., Duflos G., Dehaut A., 2021. Consommation des produits de la mer, perceptions liées aux déchets plastiques et connaissance des microplastiques à Boulogne-sur-Mer. Méthode et résultats de l'enquête ConsoMicro. Séminaire MARCO, Boulogne-sur-Mer, 5 mai 2021

Rufin-Soler C., Le Roux S., Hellequin A.-P., 2021. Co-construire des scénarios d'adaptation sur le littoral et après ? Les effets d'une démarche participative en Côte d'Opale. 3Démarches participatives et gestion des risques littoraux, colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-Mer, 13-15 octobre 2021.

Rufin-Soler C., 2019, Evaluation de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation face aux risques côtiers. Journées scientifiques, Université de Nantes, 21 juin.

Plouvier Th., Rufin-Soler C., Audouit C., Voltaire L., 2019. Fréquentation de sites naturels protégés littoraux en Côte d'Opale : suivi et évaluation économique des usages récréatifs. Congrès Avenir Littoral, ULCO, Dunkerque, 13 et 14 mars.

Michel X., Andreu-Boussut V., Chadenas C., Salin E., Rufin-Soler C., Herbert V., 2018, La lenteur et l'itinérance dans les pratiques touristiques de sites littoraux européens, Colloque international « Slow tourisme / Slow sport. (En)jeux de spatialités, de mobilités et de corporités », Boulogne-sur-Mer, 16-17 mai.

Rapports :

- Foucaut T., Rufin-Soler C., Duflos G., Dehaut G., 2021. Consommation des produits de la mer, perceptions liées aux déchets plastiques et connaissances des microplastiques à Boulogne-sur-Mer – ConsoMicro. Rapport d'activités. 56 p.
- Delbois L. et Guidez E., 2020. Etude sur les perceptions des risques littoraux des habitants de Oye-Plage et Wissant. Rapport d'activités (analyse à plat des questionnaires). 26 p.
- Plouvier Th., Rufin-Soler C., Audouit C., Voltaire L., 2019. Etude de la fréquentation des massifs dunaires de Bray-Dunes te du cap Blanc Nez. Rapport d'activités. 77 p.

Effet levier :

- ANR ARICO (2020-2023) : Co-construction de scénarios d'Adaptation des territoires maritimes aux risques côtiers dans un contexte de changements climatiques en France et au Québec (Porteurs : C. Meur-Ferec – UBO et G. Marie – Université de Rimouski et partenaires ULCO/Lille : C. Audouit, Ph. Deboudt, Ph. Chagnon, H. Flanquart, M. Laboureur, C. Rufin-Soler).
- DDay climate change (2020-2023) : Tourisme de mémoire face aux effets du changement climatique : analyse des pratiques et représentations des Plages du Débarquement. (Porteur : X. Michel – Université de Caen et partenaire ULCO : C. Rufin-Soler)
- Horizon-Europe (dépôt 2022) : "Let nature help to do the job: rewilding landscapes for carbon sequestration, climate adaptation and biodiversity support" (Porteur : V. Méléder - Université de Nantes et partenaire ULCO : C. Rufin-Soler)

Action 5.2 Vulnérabilité des systèmes littoraux

Participants

Responsable : Jean-Yves Reynaud

Participants titulaires : Héquette A., Reynaud J-Y., Verpoorter C., Launeau P., Sipka V.

Doctorants : Menuge B., Ouchaou R.

Stagiaires de M1 : Beaupuis L-A., Le Roux S.

Résumé des activités

Deux équipements nouveaux ont été acquis par le LOG dans le cadre de cette action : un granulomètre laser et un géoradar (appareil géophysique permettant une échographie électromagnétique du sous-sol). Une connaissance précise de la répartition spatiale et de l'organisation géométrique des sédiments dans la zone côtière est essentielle pour une bonne compréhension de la dynamique morpho-sédimentaire littorale. En ce qui concerne la répartition spatiale, la granulométrie des sédiments de surface est une caractéristique fondamentale pour pouvoir caractériser les environnements côtiers et pour analyser et/ou modéliser la dynamique sédimentaire de ces milieux. Grâce à l'acquisition d'un granulomètre laser, modèle Coulter LS230, des analyses granulométriques d'échantillons de sédiments de surface de plusieurs types de milieux littoraux (plages, dunes côtières et estuaires) ont pu être réalisées, avec une très grande précision dans les particules fines, ce qui a permis de mieux calibrer les données issues des images satellitaires. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'une thèse, et ont donné lieu à deux publications internationales. En ce qui concerne l'organisation géométrique des dépôts, l'architecture des sédiments de surface permet de réaliser des bilans d'érosion/sédimentation et de comprendre l'effet des forçages à l'échelle décennale à centennale dans les processus sédimentaires à l'oeuvre dans le milieu côtier. Grâce au géoradar GSSI et à ses deux antennes 200 et 350HS, une série d'études a débuté sur les littoraux sableux de la plaine côtière flamande et de la Slack. Ce champ d'investigation, nouveau pour la région, a permis de développer des collaborations avec l'INRAP (Institut National de Recherche en Archéologie Préventive) dans le cadre d'une thèse, et avec d'autres laboratoires experts dans ce type d'approche, par le biais de chantiers extra-régionaux et internationaux financés par le CNRS. La dynamique mise en place par le CPER Marco a permis d'acquérir ensuite une antenne géoradar MLF3200 16-80 Mhz, la seule dans son genre en activité en France, qui donne accès au registre stratigraphique sur plus de 50 m de profondeur. Les enjeux économiques, au-delà du management littoral, sont considérables (évaluation des stocks de granulats, nappes phréatiques et polluants dans la zone critique etc..).

Équipement acquis

- **Granulomètre laser** - Coulter LS230. La particularité de cet outil est son antenne basse-fréquence, la seule en activité en France, lui assurant une profondeur d'investigation de plus de 50 m dans les conditions idéales ([figure 5.2.1](#)).
- **Géoradar GSSI** ([figure 5.2.1](#)) comprenant :
 - Une centrale d'acquisition SIR4000 (ordinateur de terrain)

- Un chariot tout-terrain pour embarquer les antennes moyenne fréquence
- Une antenne numérique moyenne fréquence 350HS, permettant d'atteindre une profondeur de 10m avec une résolution décimétrique
- Une antenne analogique 200 MHz, permettant d'atteindre une profondeur de 20 m avec une résolution de 50 cm.
- Une suite logicielle RADAN pour traiter les images



Figure 5.2.1 Equipements acquis : le granulomètre laser (gauche), le géoradar (centre) et son antenne avec la roue codeuse.

Travaux réalisés

Calibration granulométrique des estuaires picards

L'essentiel de ces travaux a été mené dans l'estuaire de l'Authie où des échantillons de sédiments de surface ont été récoltés lors de plusieurs campagnes d'échantillonnage qui se sont déroulées en même temps que le passage de satellites (SPOT 6/7 et Sentinel-2). Un algorithme a été développé pour estimer la taille moyenne des particules à partir de données multi-spectrales issues de ces satellites et les résultats obtenus ont pu être calibrés et validés à l'aide des tailles des particules d'échantillons de surface mesurées par granulométrie laser.

La **figure 5.2.2** montre un exemple de résultats obtenus dans l'estuaire de l'Authie à partir de données multi-spectrales Sentinel 2 acquises en avril 2018. Comme le montre la **figure 5.2.2(b)**, exception faite de quelques points montrant des tailles de sédiments prédites trop faibles, la correspondance entre taille moyenne prédite et mesurée sur des échantillons in situ est très satisfaisante, la droite de tendance (trait noir continu) ne s'écartant que très peu de la droite de correspondance parfaite entre valeurs prédites et mesurées (droite en tireté). Ces premiers résultats prometteurs constituent une avancée dans la détermination de la taille des sédiments de surface en milieu littoral à partir de données satellitaires et la méthodologie qui a été développée devrait grandement faciliter la cartographie de la répartition des sédiments dans les milieux estuariens.

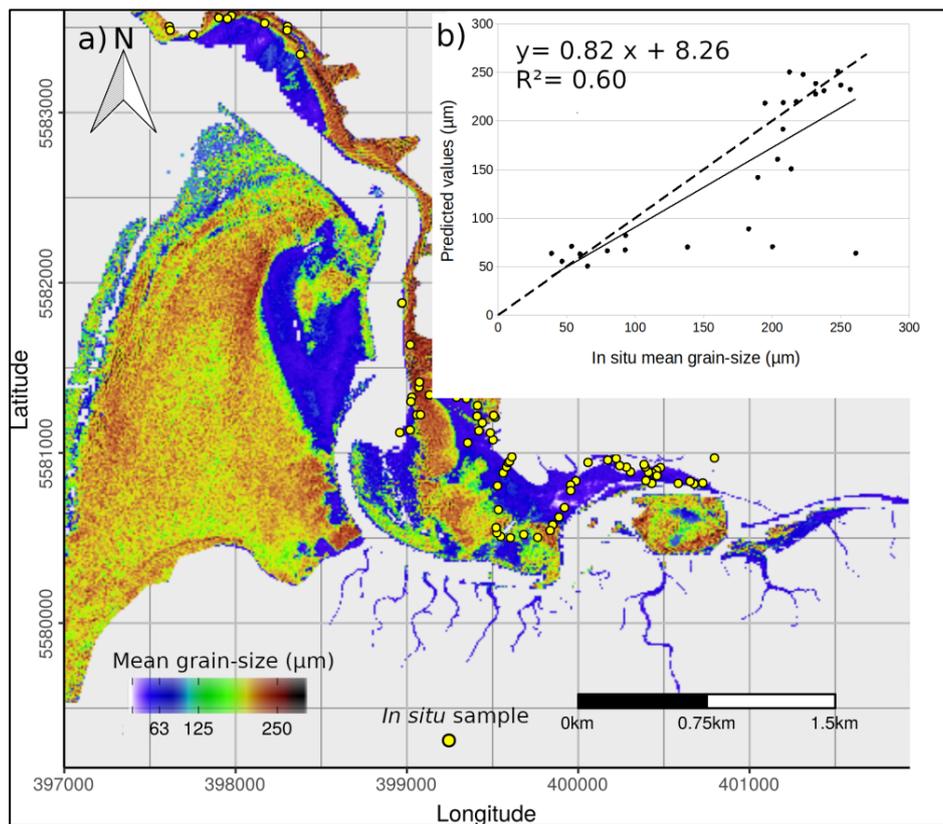


Figure 5.2.2 Validation de l’algorithme de détermination de la granulométrie de sédiments de surface dans l’estuaire de l’Authie à partir de données satellites multi-spectrales (Sentinel-2). La carte (a) montre les valeurs de taille moyenne des sédiments obtenues à partir des données satellitaires ainsi que les points d’échantillonnage *in situ* (cercles jaunes) ; le graphique (b) montre la comparaison entre les valeurs déterminées par l’algorithme (predicted values) et les valeurs mesurées à l’aide d’un granulomètre laser à partir des échantillons *in situ*. Source : Menuge *et al.* (soumis).

Architecture stratigraphique des sables littoraux

L’utilisation du géoradar a nécessité une formation du personnel technique du LOG, réalisée par la société MDS, fournisseur du matériel. Ont été impliqués dans cette formation : Romain Abaham et Sandra Ventalon (LOG-U-Lille). Les opérations de terrain nécessitent en outre un géoréférencement d-GPS des traces suivies, ce qui a nécessité d’impliquer également Vincent Sipka (LOG-ULCO). Enfin, dans une phase plus récente du projet, nous effectuons un couplage avec des modèles numériques de terrain réalisés par photogrammétrie sur drone. Cette dernière expertise est apportée par Olivier Cohen (MCF LOG-ULCO). Au bilan, trois chantiers régionaux ont démarré depuis 2020 :

a) Les polders de Loon-Plage. C’est le sujet de la thèse de Rachid Ouchaou (financement ministère, en collaboration avec l’INRAP), et du M2 d’Amel Boualem (INRAP/LOG-U-Lille, 2021). L’objectif de la thèse est de profiter des campagnes bisannuelles de diagnostic archéologique réalisées sur le périmètre de l’extension de la darse atlantique du Grand Port Maritime de Dunkerque (figure 5.2.3). Le profilage géoradar se fait le long des tranchées et sondages archéologiques, ce qui permet d’éviter la couche de terre arable qui crée généralement un masque.

En 2 campagnes de terrain (2021), R. Ouchaou a réalisé plus de 20km de profils géoradar. Il a pu cartographier jusqu'à une profondeur de 4m la géométrie des chenaux estuariens connectés à l'ancien estuaire de la rivière Aa avant la poldérisation de la plaine au Moyen-Âge (figure 5.2.4).



Figure 5.2.3 A gauche, l'emprise du domaine prospecté à Loon-Plage. A droite, creusement des tranchées préalable au diagnostic archéologique (l'encart montre l'ensemble des tranchées réalisées pendant une saison de fouilles, le diagnostic s'étend sur 4 ans). On voit dans la tranchée des niveaux argileux dans le sable, dont la géométrie peut être reconstituée en profondeur avec le géoradar.

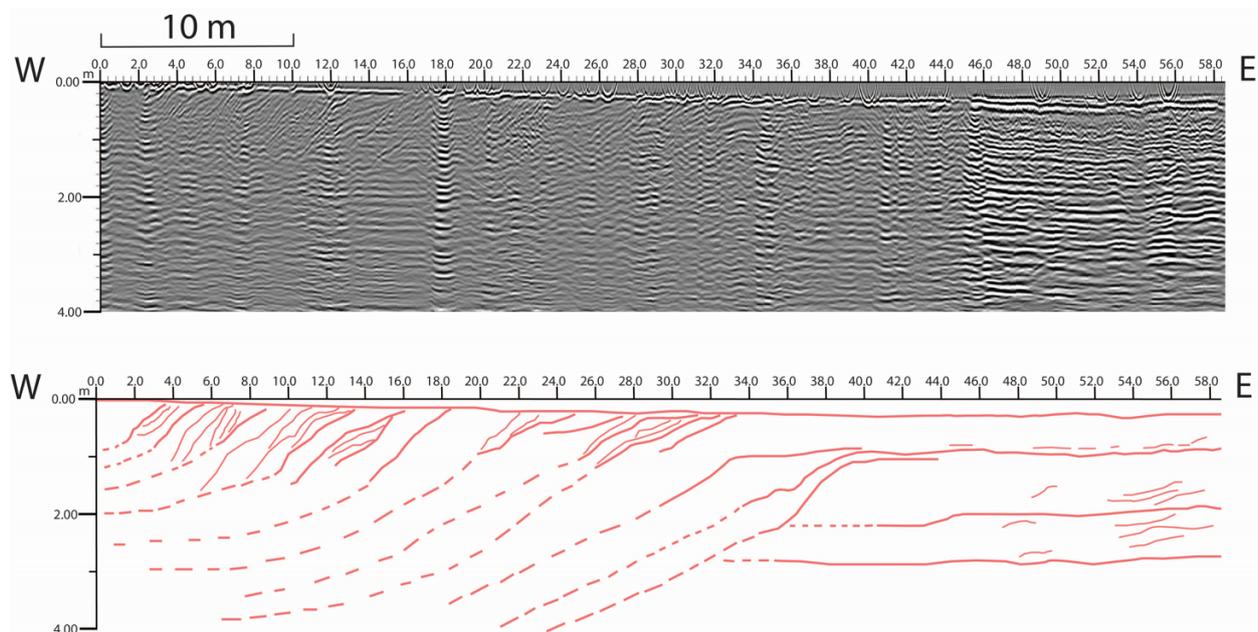


Figure 5.2.4 Exemple de radargramme réalisé avec l'antenne 350HS. La partie inférieure correspond à l'interprétation géométrie de la stratigraphie des dépôts. Il s'agit de la bordure d'un chenal de marée majeur, probablement d'une dizaine de mètres de profondeur, comblé par des dépôts argilo-sableux. b) La dune de Ghyvelde (M1 d'Aurélié Aillaud, M2 de Sarah Zallouz).

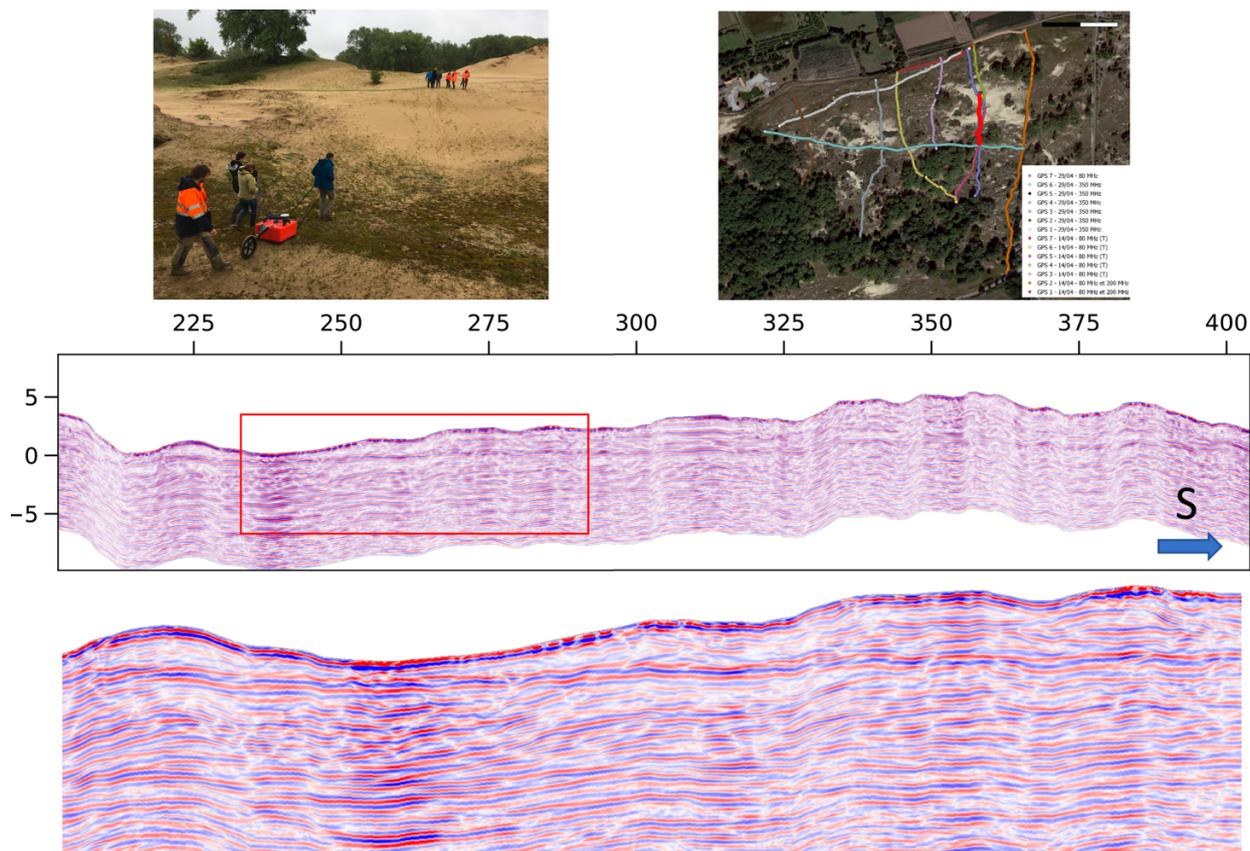


Figure 5.2.5 En haut à gauche : profilage géoradar avec l’antenne 200 MHz. En haut à droite : carte des profils réalisés en 2021. En bas, exemple d’un profil (trait épais rouge sur la carte) montrant la stratification inclinée vers la mer (vers le N) des dépôts sous la dune éolienne. D’après Aillaud (2021)).

b) La dune de Ghyvelde (M1 d'Aurélié Aillaud, M2 de Sarah Zallouz). La dune « fossile » de Ghyvelde est un site protégé du PNR, géré par le Conservatoire du Littoral. Cet espace forestier, ceinturés de polders, a une origine dunaire mais dont la causalité reste débattue, l'école dunkerquoise tenant pour une formation sur le trait de côte il y a 3500 ans (thèse de Mrani-Alaoui, 2006, qui reposait entièrement sur des sondages).

Plusieurs campagnes de profilage géoradar de la dune ont été réalisées dans le secteur oriental, donnant lieu à deux mémoires de Master (Aillaud, 2021 ; et Zallouz, 2022 – en cours). Les résultats confirment que la racine de la dune, sous la surface piézométrique parfaitement imagée, est un dépôt en accretion (en comblement) vers la mer, avec une géométrie compatible avec une architecture d'avant-plage (**figure 5.2.5**).

c) La Petite Pointe aux Oies (projet transversal du LOG). Sur la côte boulonnaise, au sud des dunes de la Slack, les tempêtes hivernales de 2020 ont dégagé une coupe où l'on peut voir les contacts du sable éolien moderne sur une formation graveleuse d'origine fluviatile. La morphologie enfouie de cette formation aidera à comprendre comment a évolué la rivière de la Salck depuis la dernière glaciation.

Les premiers profils géoradar qui ont été réalisés montrent la présence d'un cailloutis de silex (riche en artéfacts) séparant la première phase éolienne de la phase moderne (**figure 5.2.6**).

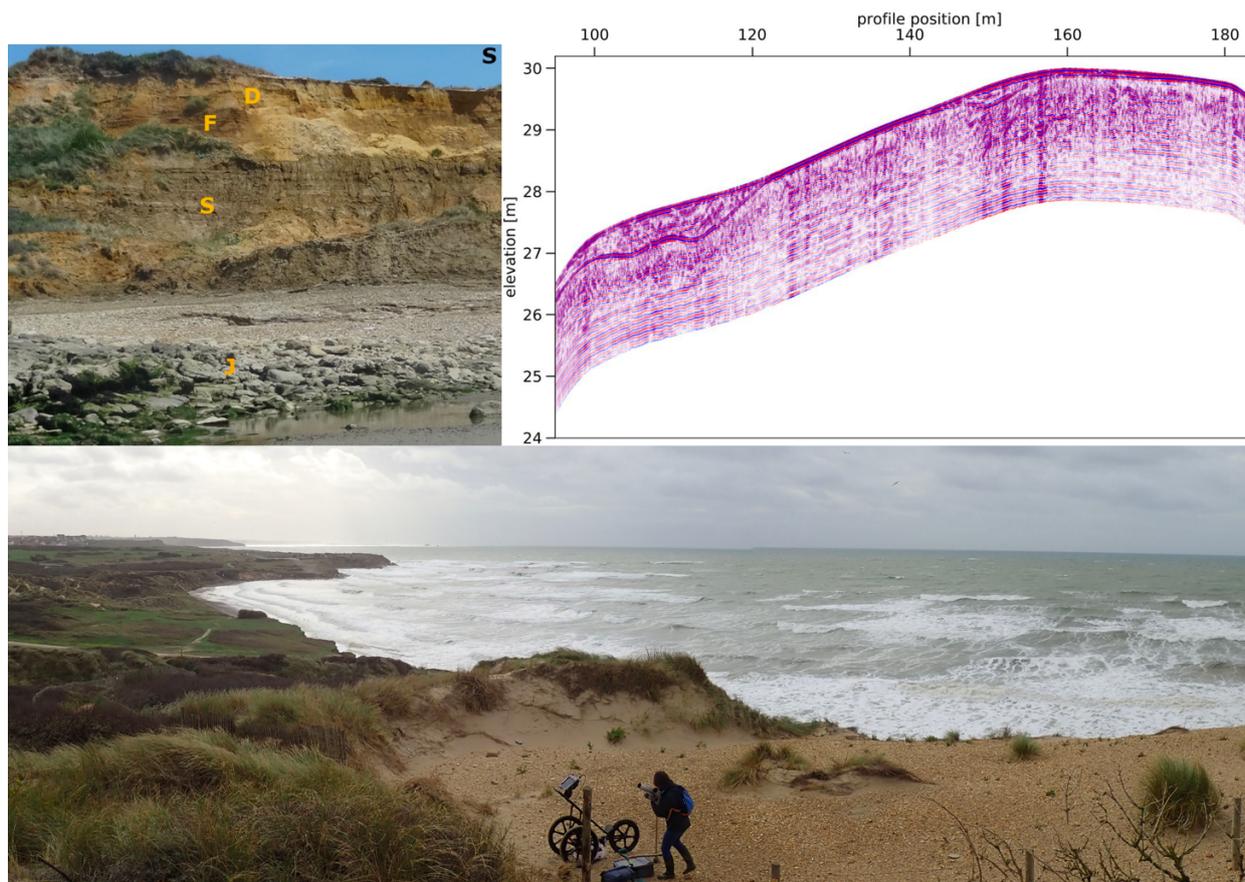


Figure 5.2.6 La Petite Pointe aux Oies, au Nord de Wimereux. En haut à gauche : coupe à l’affleurement. Le sommet est constitué des dépôts dunaires (D) reposant sur des graviers fluviatiles tardiglaciaires (F). En haut à droite : radargramme réalisé sur la crête dunaire et le tombant nord, montrant une discontinuité ondulée : la première dune fossile enfouie. En bas : dispositif géoradar 350HS en opération.

D’autres projets utilisant le nouveau géoradar peuvent être cités, qui dépassent le cadre de la valorisation annoncée dans les thématiques du CPER Marco :

En France :

- Sur le cordon littoral de la baie de Wissant : apports du couplage des techniques radar, lidar et d’analyse d’images pour la caractérisation de la plage, la dune et l’arrière-dune. Projet de la SFR Campus de la Mer (LOG/LISIC/TVES/LPCA). Porté par O. Cohen.
- Cartographie des failles de la craie (projet interne du LOG) : il s’agit d’attester et documenter la paléosismicité régionale.
- Collaborations INRAP :
 - En forêt de Marchiennes sur les terrasses de la vallée de la Scarpe : prospection de structures thermokarstiques datant de la dernière période glaciaire (avec L. Deschodt, INRAP).
 - Dans la Baie de Wissant : prospection sur un site Paléolithique (avec M. Pagli, INRAP)

- Projet PIREX sur la dune du Pilat : reconstituer les relations entre la dynamique des vents et l'architecture des dunes à l'échelle interannuelle. Ce projet préfigure ce qu'on pourrait faire sur les champs de dune en région Hauts-de-France. Collaboration avec les UMR M2C à Caen et CEFREM à Perpignan (M2 de Franck Adou, 2021, et M2 de Malaurie Charpentier, 2022, en cours)
- Sur les faluns d'Anjou : application du géoradar sur des substrats rocheux. D'excellents résultats sont obtenus, le géoradar ne fonctionne pas uniquement sur des sols et sédiments non consolidés. Collaboration avec UMR M2C Caen (M2 de Franck Adou, 2021, financé par SFR Campus de la Mer).

En Belgique :

- Sur les sablières du Bruxellien près de Leuven (projet interne du LOG, M1 de Andrés Mejia-Duran, 2021). Grâce à l'antenne géoradar MLF3200 basse fréquence, pour la première fois on a pu imager le fond de la couche exploitée à plus de 50m sous la surface.

En Argentine :

- Sur le Miocène et les flèches quaternaires de la péninsule de Valdès (projet INSU Hypertide et projet ECOS-Sud avec UMR M2C Caen). Malgré beaucoup d'efforts pour réaliser cette mission en janvier 2022, aucune donnée exploitable sur les roches volcanosédimentaires de Patagonie n'a pu être rapportée, à cause de caractéristiques pétrophysiques inappropriées. En revanche, de très belles données sont acquises sur la flèche littorale de galets de la Calleta, une des plus longues du monde, dans un parc national prestigieux. Une communication grand public sur la croissance des flèches sableuses va être réalisée en partenariat avec l'ambassade et le CNRS pour le public argentin.

Valorisations

Articles :

Menuge, B., Verpoorter, C., Héquette, A., Sipka, V., 2020. Mapping of estuarine transport from spatial remote-sensing products: application to Authie bay (France). In: K.D. Nguyen et al. (eds.), *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Springer Water, Singapour, p. 809-830.

Verpoorter, C., Menuge, B., Launeau, P., Méléder, V., Héquette, A., Cartier, A. et Sipka, V., 2020. Synergy between hyperspectral (HYSPEX), multispectral (SPOT 6/7, Sentinel-2) remotely sensed data and LiDAR data for mapping the Authie estuarie (France). In: K.D. Nguyen et al. (eds.), *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Springer Water, Singapour, p. 769-788.

Menuge, B., Verpoorter, C., Héquette, A., Launeau, P., Sipka, V. (soumis pour publication). A novel approach for determining net sediment transport patterns from multispectral remote sensing data : Application to a macrotidal estuary. *Remote Sensing*.

Communications :

Ouchaou, R., Reynaud, J.-Y., Adou, F., Aillaud, A., Mejia Duran, A., Tessier, B., Robin, N., Pancrazzi, L. (2021) Apports de l'outil géoradar pour la reconstruction des architectures stratigraphiques et des environnements de dépôts côtiers actuels et anciens. Colloque MARCO 2021, Environnement marin : structure, diversité, vulnérabilité, usages et sécurité des produits de la mer Boulogne-sur-Mer, 14/10/2021.

Reynaud, J.-Y., Héquette, A., Ruz, M.-H., Trentesaux, A., Tessier, B., Weill, P. (2019) Le géoradar, un outil versatile pour les études stratigraphiques du littoral. Colloque Avenir Littoral, ULCO, 13-14 mars 2019, Dunkerque.

Reynaud, J.-Y., Aillaud, A., Ouchaou, R., Sipka, V. (2021) Géomorphologie et architecture stratigraphique de la dune holocène de Ghyvelde : apports de la prospection géoradar. Colloque Ghymanche, 11-13 octobre 2021, Wimereux.

Stages et mémoires de master :

Adou, F. (2021) Géoradar basse fréquence : application à la géomorphologie et stratigraphie haute résolution en domaine littoral. Mémoire de Master 2 GEOBAS, Université de Lille, 66 p.

Mejia-Duran, A. (2021) GPR a a tool for architectural and paleoenvironmental reconstruction in sedimentary deposits: the case example of Brussel Sand Formation, Eocene, Belgium. Mémoire de Master 1 GEOBAS, Université de Lille, 33 p.

Boualem, A. (2021) Le comblement du paléostuaire de la Denna (plaine maritime flamande) : apport des sondages archéologiques. Mémoire de Master 2, INRAP/Université de Lille, 79 p.

Aillaud, A. (2021) Géomorphologie et architecture stratigraphique de la dune fossile holocène de Ghyvelde : apport d'une prospection géoradar. Mémoire de Master 1 GEOBAS, Université de Lille, 31 p.

Zallouz, S. (2022) Architecture stratigraphique de la dune de Ghyvelde : couplage géoradar – photogrammétrie. En cours (soutenance juillet 2022). Mémoire de Master 2 GEOBAS, Université de Lille.

Effet levier

La demande pour des interventions du LOG avec cet outil est croissante : consolidation de nos relations avec l'INRAP (prochaine investigation sur le site paléolithique de la Baie de Wissant), développement d'une collaboration avec les collègues Belges travaillant sur les dunes côtières, collaboration en vue avec l'UMR EPOC à Bordeaux pour travailler sur les barres fluviales de la Garonne... Sur tous ces chantiers, le géoradar est utilisé pour reconstituer l'architecture stratigraphique des corps sableux en domaine littoral ou fluvial. C'est un complément aux investigations par carottage.

Axe 6 : Ingénierie marine et littorale

Action 6.1 : Sismique

Participants

Responsable : Virginie Gaullier (PR LOG)

Permanents : Olivier Averbuch (MCF LOG), Frank Chanier (MCF LOG), Fabien Graveleau (MCF LOG), Louise Watremez (MCF LOG), Alain Trentesaux (PR LOG), Jean-Yves Reynaud (PR LOG)

Doctorants : Martin Jollivet-Castelot, Gaia Travan, Fabien Caroir, Aboubacar Dibousse, Romain Sylvain

ATER : Anthony Dofal (ATER Département ST)

Post-docs (financés sur budget Marco) : Carmen Juan, Muriel Laurencin

Participants extérieurs : Isabelle Thinon (ingénieur de recherche, BRGM), Fabien Paquet (ingénieur de recherche, BRGM), Agnès Maillard (MCF, GET Toulouse), Joanna Lofi (MCF, Géosciences Montpellier)

Résumé des activités

Etude bathymétrique et sismique THR des interactions tectonique et sédimentation du bassin de Manche Orientale, le long des côtes picarde et boulonnaise (Projets TREMOR-MARCOPALE-TURBODUNES-GEOBAS) – Responsable : V. Gaullier (LOG – ULille)

Ces recherches s'inscrivent dans une thématique générale consacrée à la compréhension des relations entre tectonique, sédimentation et érosion dans les bassins sédimentaires et sur les marges continentales, dans différents contextes géodynamiques. Outre l'approche conceptuelle, ces études permettent d'aborder, par l'amont, un certain nombre de défis scientifiques et d'enjeux sociétaux majeurs. Les marges continentales passives ou actives et les bassins renferment en effet dans leurs archives sédimentaires les conditions et événements passés qui ont pu les affecter à des échelles de temps variées (de l'Ancien à l'Actuel), leur histoire et leur évolution, notamment tectonique et sédimentaire devenant ainsi des éléments fondamentaux à prendre en compte dans l'évaluation et la gestion des géo-ressources actuelles et des risques. Trois axes thématiques sont plus spécifiquement développés au LOG, au sein de l'équipe 6 (TIMES) :

- Interactions tectonique crustale-déformation gravitaire et instabilités (sel, argile, fluides)
- Marges et bassins en contexte de convergence : genèse, réactivation et destruction
- Interactions tectonique-sédimentation en Manche Orientale

Equipement acquis

- **Chaîne sismique très haute résolution (THR - Sparker)** permettant de développer au LOG une plate-forme géophysique.
- **Sondeur bathymétrique multifaisceau (SBM)** petits fonds (5 à 200 mètres)

Description des activités

La première étape de cette action 6.1 consistait en l'acquisition d'une chaîne sismique très haute résolution (THR - Sparker) permettant **de développer au LOG une plate-forme géophysique** afin de collecter les données acoustiques indispensables à la poursuite des objectifs scientifiques décrits plus haut, pour des secteurs à faible tranche d'eau (< 200 mètres). Ce matériel a été acquis lors de la phase de programmation 1 du CPER MARCO. Nous avons d'abord testé ce dispositif en conditions réelles lors d'une campagne à bord du N/O « Côtes de la Manche » (acquisition 24h/24h), entre Dieppe et Cap Gris-Nez, ce qui a également permis aux personnels impliqués de se former, grâce à la présence de la société SIG-France. Grâce à cette plate-forme géophysique, nous pouvons désormais acquérir un réseau dense de profils sismiques THR en Manche Orientale et ainsi disposer d'une couverture complète afin de répondre aux objectifs scientifiques précités.

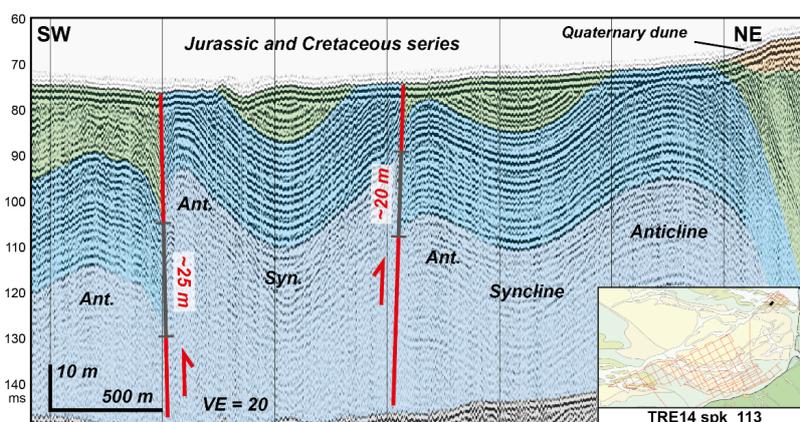


Figure 6.1.1 Exemple de profil Sparker illustrant des failles, des plis et une dune de sable.

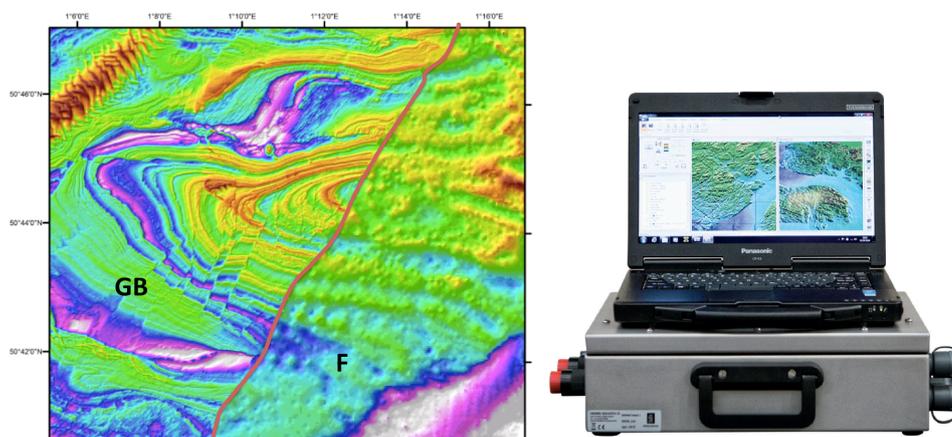


Figure 6.1.2. Gauche : Carte bathymétrique illustrant un anticlinal dans le détroit du Pas de Calais. La limite rouge correspond à la frontière France/Grande-Bretagne. Droite : SBM Geoswath 4/Konsberg acquis lors de la P3.

Ce dispositif permet de s'affranchir des moyens lourds hauturiers et offre une facilité de mise en œuvre. Il s'agit en outre d'un outil multidisciplinaire car il permet d'imager de façon très fine des objets naturels variés depuis les structures tectoniques (failles, plis), jusqu'aux structures sédimentaires (dunes de sable, vallées incisées, corps progradants, etc, [figure 6.1.1](#)). Les enjeux sont multiples, à la fois conceptuels (compréhension des processus sédimentaires et tectoniques ayant affecté la Manche Orientale), appliqués (évaluation du risque sismique, évaluation des stocks sableux et granulats, cartographie des fonds sous-marins pour l'implantation d'ouvrages offshore) et pédagogiques (utilisation lors de stages « mer » du Master GEOBAS). Ce dispositif

est également très utilisé pour les autres chantiers géographiques du LOG (Golfe de Gabès, Grèce, Marge Est-Sarde, ...).

La programmation P3 a permis d'acquérir un **sondeur bathymétrique multifaisceau (SBM) petits fonds (5 à 200 mètres)** de façon à obtenir une image détaillée du substratum sous-marin avec deux types de mesures obtenues simultanément : la **bathymétrie** (mesure de la hauteur d'eau et interprétation du temps de parcours de l'onde sonore) et la **réflectivité** (exploitation de l'amplitude du signal reçu) sur une fauchée dont la largeur dépend de la tranche d'eau. Le sondeur bathymétrique multifaisceau 125 kHz acquis permet une résolution d'environ 6 mm sur la profondeur pour une couverture maximale jusqu'à 12 fois la tranche d'eau. Il permettra donc d'acquérir de manière systématique des données d'une qualité inégalée, non disponibles à ce jour du côté français de la Manche Orientale, à quelques exceptions près. Il viendra compléter, grâce à la vision 3D « fond de mer », les informations recueillies en profondeur par le Sparker. Toutes les structures sédimentaires ou tectoniques affleurantes pourront ainsi être cartographiées précisément. La [figure 6.1.2](#) illustre le contraste entre un sondeur multifaisceau THR (côté GB) et un sondeur classique (côté français).

Jusqu'à aujourd'hui, nous avons cependant rencontré de sérieuses difficultés techniques pour la mise en œuvre de ce dispositif. En effet, il ne peut être testé que lorsque nous disposons d'un navire côtier (type « Côtes de la Manche » ou « Thélys II ») et lors des deux dernières missions, il n'a pas été possible de connecter le SBM car la fixation du matériel sur la perche du navire nécessite une bride spéciale (matériel non standard malgré ce que nous avait annoncé le revendeur français des produits Konsberg, MARITECH). En outre, le revendeur ne nous a pas envoyé tous les éléments compatibles avec notre système. Nous avons également découvert un défaut sur la platine, empêchant la fixation de la centrale inertielle sur le SBM. Ces problèmes sont actuellement à l'étude au cours de la programmation P5. Le connecteur entre le SBM et la perche a été fabriqué lors de la programmation P4 et les éléments défectueux sont repartis pour réparation chez le revendeur. Ce dispositif a été testé lors de la campagne « WATER 2 » en Grèce, du 24 au 5 août 2021, à bord du N/O « Thélys II ». Les résultats n'ont pas été concluants, nous rencontrons toujours une série de problèmes techniques rendant ce dispositif inutilisable. En outre, l'absence de personnel technique dédié à la plate-forme géophysique est un obstacle supplémentaire.

Les activités en Manche Orientale se décomposent en quatre projets interconnectés, présentés successivement ci-dessous.

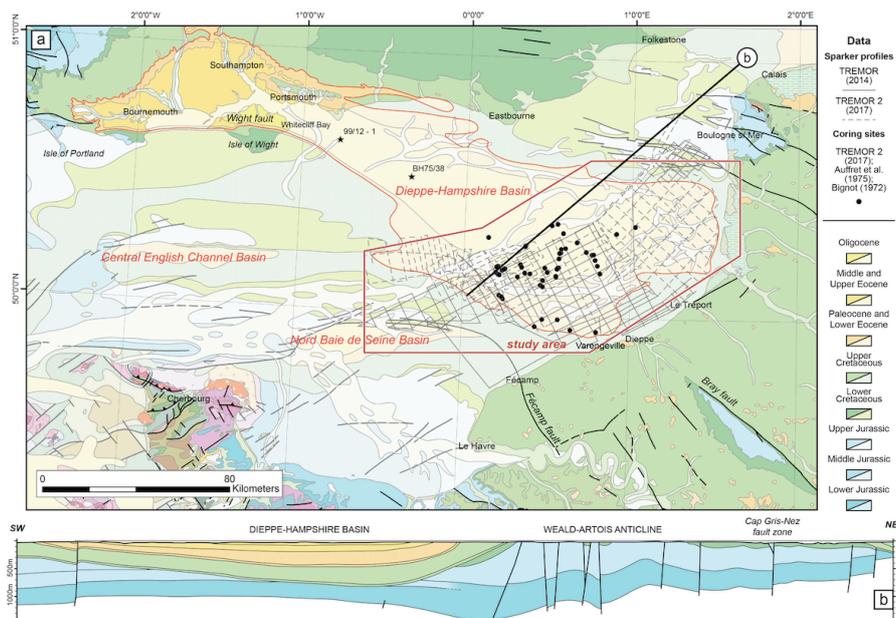


Figure 6.1.3. A. : Plan de position des campagnes TREMOR ET TREMOR 2 (modifiée d'après la carte géologique de la France au 1/1 000 000, Chantraine et al, 1996). B. : Coupe schématique simplifiée du bassin Dieppe-Hampshire (Jollivet-Castelot, 2018).

Le projet TREMOR

Ce projet est plus spécifiquement dédié à l'étude sismique très haute résolution des interactions tectonique-sédimentation du bassin de Manche Orientale, au large des côtes normande, picarde et boulonnaise. Il s'agissait d'acquérir des données géophysiques THR (Sparker) dans le **bassin « Dieppe-Hampshire »** s.l. (depuis Fécamp jusqu'à Calais) afin : i. d'améliorer le schéma structural de ce secteur en caractérisant la répartition des structures, le style et le calendrier de la déformation ; ii. de préciser les géométries sédimentaires au sein des unités stratigraphiques majeures du bassin « Dieppe-Hampshire », et notamment de caractériser les directions de progradation, la distribution des épaisseurs et des aires de subsidence, l'évolution de la paléogéographie, le tout en relation avec la tectonique. Ce projet Terre-Mer « TREMOR » a véritablement démarré en 2014 grâce à la réalisation de la campagne prospective éponyme à bord du N/O « Côtes de la Manche » qui a permis d'acquérir 1000 milles de profils de sismique THR (Sparker) (**figure 6.1.3**). Cette mission a été financée grâce au programme Action Coordonnée – Campagnes à la mer de l'INSU. Le volet terrestre (Mission Pays de Bray) a été financé en 2015 grâce à l'IREPSE (Projet « nouvel entrant »). Ce projet a en outre bénéficié d'une allocation de thèse BRGM – Université de Lille (M. Jollivet-Castelot) de septembre 2015 à décembre 2018. Une seconde campagne à la mer (« TREMOR 2 ») a eu lieu du 14 mai au 1^{er} juin 2017.

Il s'agissait de développer une véritable synergie Terre-Mer et un réseau « Nord de la France » avec des collaborations universitaires et industrielles. Ces activités s'intégraient également dans l'axe transversal « Manche-Mer du Nord » du LOG (2015-2019) puis dans le chantier « Manche-Mer du Nord » du LOG (2020-2026). Au niveau national, le projet « TREMOR » s'insère dans une logique d'amélioration de la connaissance géologique du plateau continental français (Projet « RGF-Plateau Continental » du BRGM). La participation du BRGM à la campagne « TREMOR » et l'initiation d'une collaboration scientifique avec l'Université de Lille (convention de recherche entre les deux organismes) ont donc été l'occasion de poursuivre cet effort de redécouverte du plateau continental.

Résultats scientifiques : L'Europe occidentale enregistre d'importants changements paléogéographiques entre la fin du Mésozoïque et le Paléogène, en réponse à des événements géodynamiques en limites de plaques (ouverture de l'Atlantique du Nord-Est, convergence Ibérie-Eurasie et Apulie-Eurasie). Les déformations affectant le NW de la plaque européenne ont déjà bien été identifiées dans le Bassin de Paris, dans le Bassin Belge et dans le Sud de l'Angleterre, mais elles sont en revanche mal contraintes dans le temps et dans l'espace en Manche.

L'objectif de la thèse de M. Jollivet-Castelot (2018) était ainsi de reconstruire les évolutions sédimentaires et structurales de la Manche orientale au cours du Paléogène et de les replacer dans le contexte géodynamique du domaine Ouest-Européen. Cette thèse s'est ainsi focalisée sur le Bassin de Dieppe-Hampshire, un synclinal WNW-ESE localisé en Manche orientale, dont la stratigraphie et le calendrier des déformations ne sont pas précisément connus. Ces travaux s'appuient sur l'apport de nouvelles données de sismique réflexion très haute résolution (Sparker) et de nouveaux carottages.

Deux approches ont été menées : (1) l'analyse du remplissage sédimentaire (stratigraphie séquentielle) du Bassin de Dieppe-Hampshire méridional et sa corrélation avec les bassins paléogènes voisins, et (2) l'étude des structures tectoniques affectant le bassin et ses bordures. L'analyse du remplissage sédimentaire a permis d'établir le cadre stratigraphique, de proposer un découpage séquentiel avec l'identification de quatre cycles de 2ème ordre entre le Thanétien (Paléocène) et le Bartonien (Eocène moyen), et de cartographier la partie méridionale du bassin (figures 6.1.4 et 6.1.5). La corrélation de ces cycles avec les bassins cénozoïques proches (Bassin de Paris, Sud de l'Angleterre, Bassin Belge) a permis de mettre en évidence cinq phases de déformation (discontinuités majeures) ayant affecté le Bassin Anglo-Parisien : (1) entre le Maastrichtien et le Thanétien, aux transitions (2) Thanétien-Yprésien, (3) Yprésien-Lutétien, (4) Lutétien-Bartonien, et (5) au Bartonien-Priabonien.

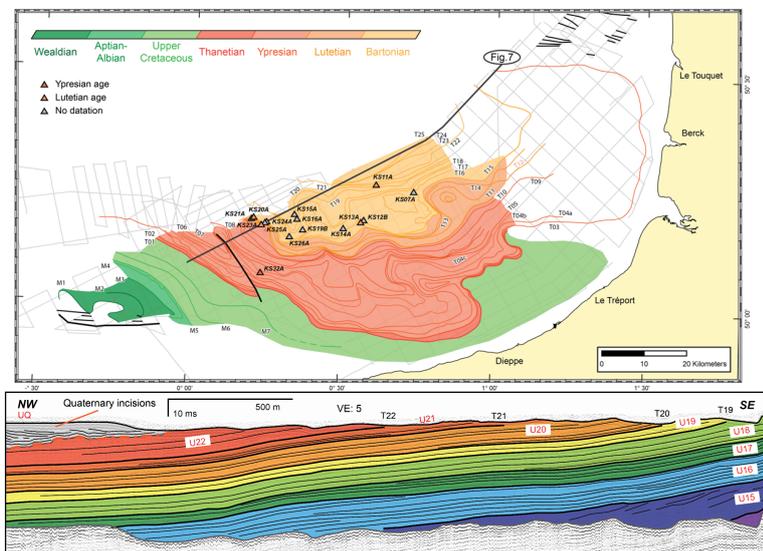


Figure 6.1.4 Cartographie des unités sismiques identifiées dans le sud du Bassin de Dieppe-Hampshire (Jollivet-Castelot, 2018).

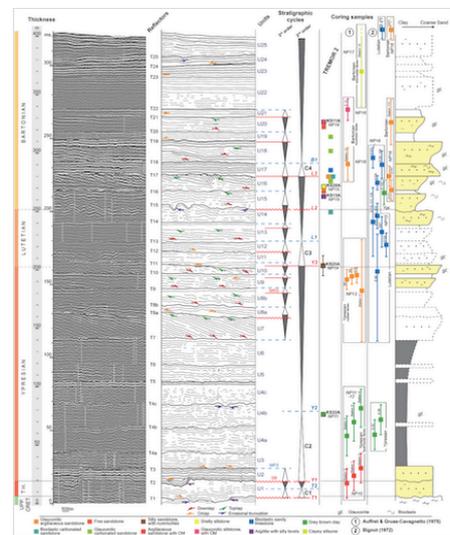


Figure 6.1.5 Cadre chronostratigraphique (Jollivet-Castelot, 2018).

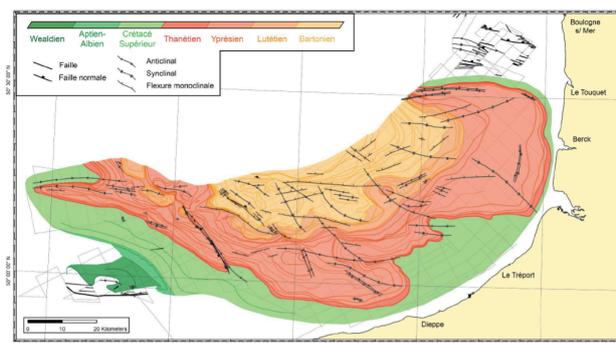


Figure 6.1.6 Cartographie des failles et des plis dans le sud du Bassin de Dieppe-Hampshire (Jollivet-Castelot, 2018).

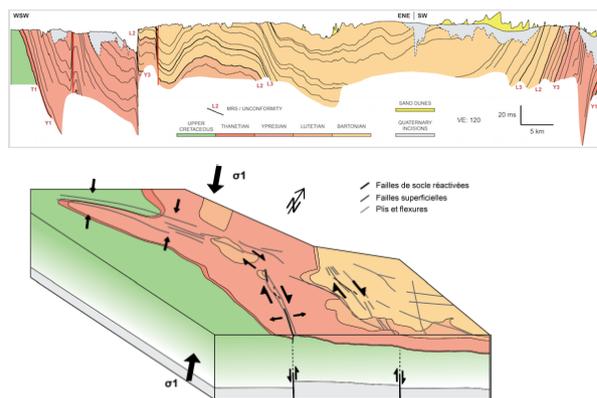


Figure 6.1.7 Coupe synthétique et Schéma conceptuel de la déformation de la couverture paléogène (Jollivet-Castelot, 2018).

Grâce à une analyse structurale fine, nous avons également pu détailler le style et la cinématique de la déformation en Manche orientale, proposer un calendrier de cette déformation, et enfin établir le rôle de l'héritage structural régional sur l'évolution paléogène du domaine (**figures 6.1.6** et **6.1.7**). La Manche enregistre plusieurs phases de déformation essentiellement flexurale entre le Paléocène et la base du Bartonien. Ces déformations sont associées à la convergence Ibérie-Eurasie, à la mise en place du panache mantellique islandais et à l'expansion océanique dans le domaine Atlantique Nord-Est. Le style de la déformation change à partir du Bartonien, où la réactivation de structures de socle implique des déformations fragiles au sein des séries paléogènes de Manche orientale. C'est également à cette période que le synclinal de Dieppe-Hampshire s'initie, de façon synchrone aux inversions tectoniques des zones adjacentes.

Le projet MARCOPALE

Ce projet est plus spécifiquement consacré aux interactions terre-mer le long de la côte boulonnaise, en particulier au niveau de l'anticlinal Weald-Artois. Ces travaux ont commencé en janvier 2020, grâce à un contrat post-doctoral financé par le CPER MARCO (Carmen Juan Valenzuela). Il s'agissait dans un premier temps de constituer une base de données numériques sous Kingdom Suite, à partir des données Sparker acquises par le LOG (campagnes TREMOR et GEOBAS) et de profils industriels « vintage » retraités (**figure 6.1.8**). Puis l'objectif était d'interpréter toutes les lignes sismiques en termes d'architecture sédimentaire et de déformation tectonique et de réaliser des documents cartographiques détaillés (**figure 6.1.9**). La grossesse de C. Juan Valenzuela, en pleine période de Covid (alors que son lieu de résidence en Belgique constituait déjà un frein certain à ses travaux), a rendu impossible son activité en présentiel et le suivi de ses résultats. Elle a démissionné le 31 décembre 2020 pour raisons familiales. Muriel Laurencin a effectué un post-doctorat du 18 janvier 2021 au 18 décembre 2021, ce qui nous a permis de reprendre les recherches menées sur ce secteur, en collaboration étroite avec Olivier Averbuch. Une mission de terrain s'est déroulée du 15 au 17 juillet 2021. Une nouvelle campagne « MARCOPALE » sera déposée pour 2022, à bord du N/O « SEPIA II ». Actuellement ATER au Département des Sciences de la Terre jusqu'en juin 2022, Muriel Laurencin poursuit les travaux engagés lors de son post-doctorat MARCO avec la préparation d'un article de synthèse illustrant les déformations tectoniques le long de la côte boulonnaise. En outre, Aboubacar Dibousse a débuté en janvier 2022 une thèse, sous ma direction et celle d'Olivier Averbuch concernant la tectonique terre-mer de cette zone particulièrement complexe.

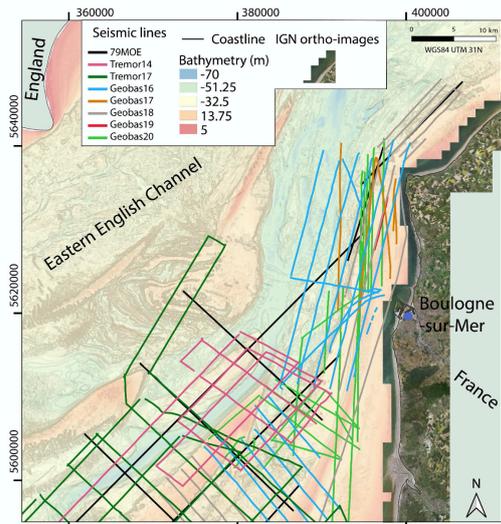


Figure 6.1.8 Données sismiques disponibles le long de la côte boulonnaise (Laurencin *et al.*, en préparation).

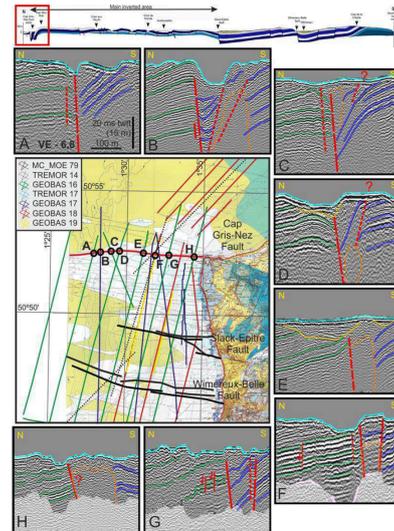


Figure 6.1.9 Expression sismique de la variation latérale de géométrie de la Faille Cap Gris-Nez (Juan *et al.*, 2020).

Campagnes enseignement Master STPE – parcours GEOBAS

Depuis l’acquisition de ce matériel, dans le cadre du **Master STPE – Parcours GEOBAS** (2^{ème} Année), une campagne océanographique d’une semaine à bord de N/O « Côtes de la Manche » a lieu au mois d’octobre afin de familiariser les étudiants aux techniques géophysiques (**GEOBAS 2015 à GEOBAS 2020**, [figure 6.1.10](#)).

Ce stage rencontre un vif succès auprès de nos étudiants et donne lieu chaque année à des rapports permettant d’évaluer quantitativement les connaissances acquises en mer. La mission **GEOBAS 2021** a malheureusement été annulée en raison de conditions météorologiques trop défavorables.

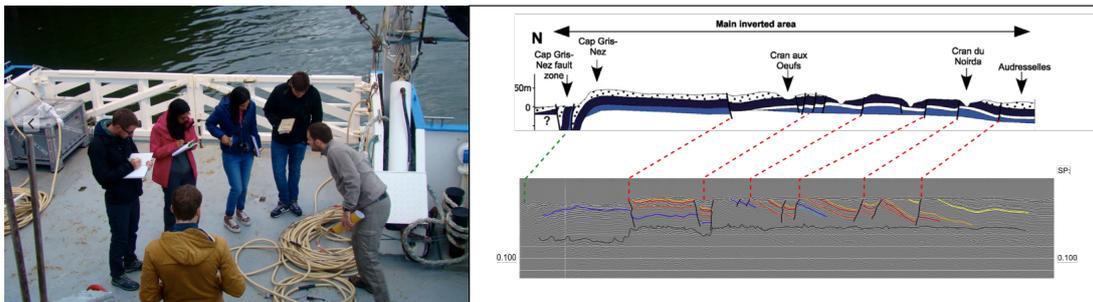


Figure 6.1.10 A gauche : Installation du matériel sismique avec les étudiants de deuxième année du Master GEOBAS. A droite, tentative de corrélations entre les structures observées à terre et celles identifiées sur la sismique acquise lors du stage « GEOBAS 2017 » (Fenton, 2017).

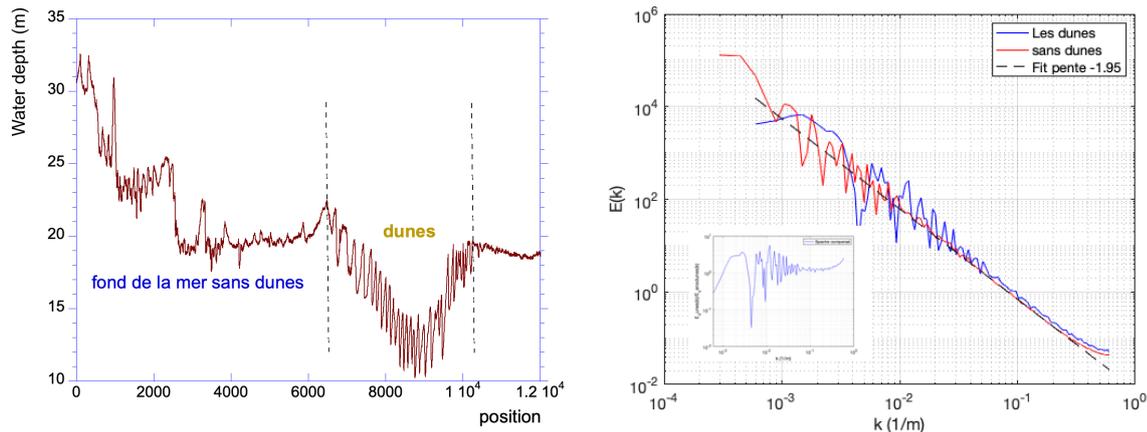


Figure 6.1.11 A gauche : choix d’une ligne comportant un fond marin sans dunes, et une portion avec des dunes. Superposition de spectres d’énergie en Fourier, de la portion avec dunes et sans dunes. La périodicité des dunes est illustrée par les oscillations plus marquées, par rapport au spectre linéaire (en log-log) du fond marin sans dunes. En inset : le spectre des dunes, divisé par la loi d’échelle, mettant en évidence les oscillations.

Le projet TURBODUNES

Ce projet est un petit projet financé par l’axe transversal du LOG « Manche-Mer du Nord » en 2021. Les dunes de sable sous-marines se forment sous l’effet des courants et de la turbulence. Celles-ci ont typiquement une forme dissymétrique liée à la direction du courant moyen, avec un flanc doux et un flanc raide. Nous nous intéressons ici à une caractérisation statistique de ces formes, à l’aide de profils 1-D réalisés via des mesures des dunes sous-marines dans le Boulonnais, via le Sparker acquis dans le cadre de la présente action. Plusieurs profils ont été choisis, certains réalisés dans un champ de dunes, et d’autres hors des champs de dunes, permettant de comparer les analyses statistiques. Les signaux ont dans un premier temps été analysés par une analyse spectrale en Fourier, permettant de mettre en évidence un comportement statistique moyen multi-échelles, et aussi de quantifier certaines longueurs d’ondes qui indiqueraient une échelle caractéristique des dunes analysées. La [figure 6.1.11](#) illustre cette analyse par un exemple : une ligne a été choisie, présentant une portion de fond marin sans dunes, et une portion avec des dunes visibles également par leurs oscillations sur la figure. L’analyse spectrale montre pour le fond marin sans dunes, une loi d’échelle du spectre d’énergie sous la forme $E(k) \approx k^{-\beta}$, où $\beta=1.95$ est la pente spectrale obtenue. Cette loi d’échelle est également visible pour la portion avec dunes, montrant un comportement statistique « de fond », tandis que des oscillations sont visibles, indiquant plusieurs longueurs d’ondes caractéristiques pour les dunes : les principales sont 33, 38, 50, 60, 70, 140 et 170m.

Le matériel sismique THR acquis dans le cadre du CPER MARCO a également servi à d’autres projets, présentés ci-dessous.

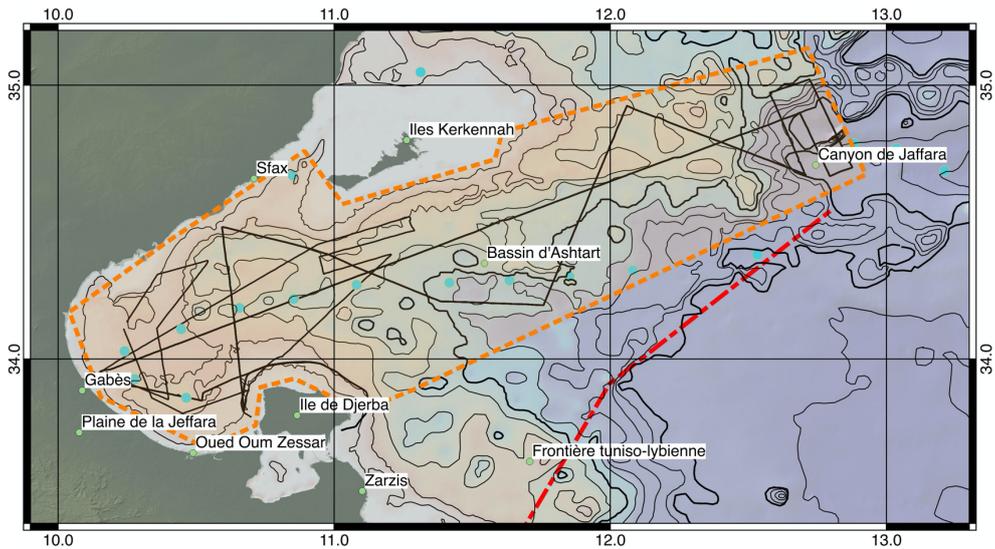


Figure 6.1.11 Localisation des profils sismiques THR réalisés en 2018. Les points bleus correspondent aux carottes réalisées dans les années 1970 (Morzadec-Kerfourn, 1979).

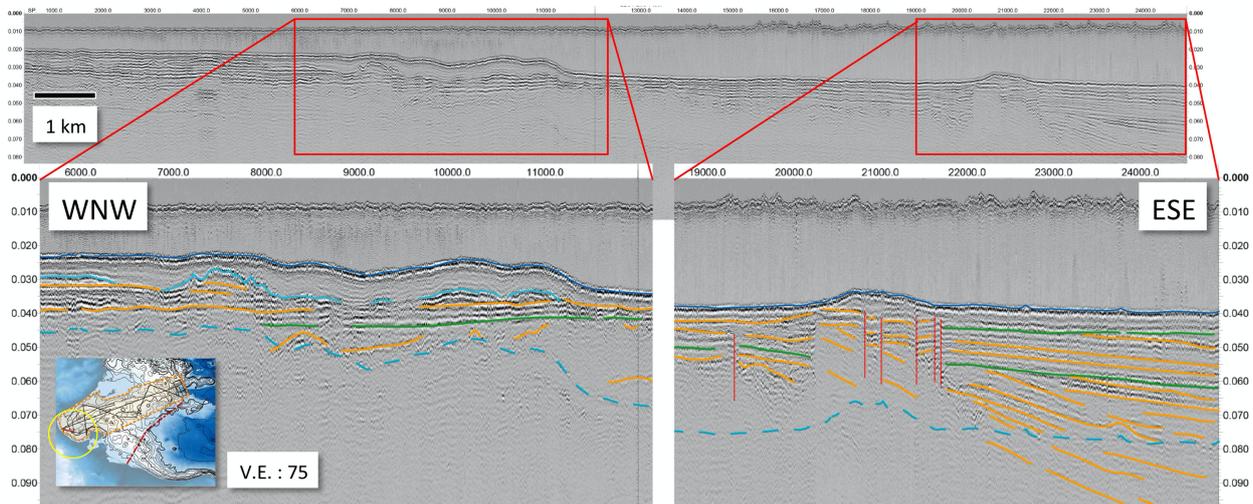


Figure 6.1.12 Profil sismique N°1. Perpendiculaire au rivage du fond du Golfe, on note la couverture des dépôts du prisme littoral venant draper des reliefs enfouis. Plus au large, les terrains sous-jacents montrent une organisation en éventail vers le cœur de la plateforme. Ils sont constitués d'unités progradantes limitées par des surfaces de toplap (les discontinuités en vert)

Projet GABES

Réalisation d'une campagne d'acquisition sismique THR dans le Golfe de Gabès (Tunisie) à bord du N/O « Téthys II » (2018). Responsable : A. Trentesaux (LOG, ULille). Les profils sismiques, non calés faute de données lithologiques par carottage, nous ont permis de reconnaître la partition sédimentaire des dépôts du Quaternaire du prisme littoral au prisme de rebord de plateforme (figure 6.1.11). Il s'agit des premières données sismiques modernes, sur lesquelles un regard nouveau peut être porté, avec notamment les acquis de la stratigraphie séquentielle.

Les profils étudiés dans le cadre de la thèse de R. Zahmoul (cotutelle U Lille –U Tunis) ont mis en évidence les points suivants :

- A proximité de la côte, les dépôts du prisme littoral actuel drapent une surface irrégulière correspondant *pro parte* à un relief d'érosion et peut-être aussi à un système construit.

- En allant vers le large, les dépôts sous-jacents sont mieux visibles, formant des unités progradantes qui s'épaississent vers la plateforme externe. Ces unités contiennent des corps en reliefs enfouis sous les cliniformes (figure 6.1.12). Au sud des îles Kerkennah, un de ces corps montre des réflecteurs internes en direction de la côte.
- Les unités progradantes, généralement concordantes, présentent localement des incisions larges et à fond plat suggérant la continuité et l'évasement vers l'aval du système de drainage.
- Ces incisions semblent guidées le long de zones limitées par des failles, où la subsidence est plus importante. C'est le cas dans la zone d'Ashtart au sud des îles Kerkennah (Burolet et Winnock, 1979). Ces failles ont joué plusieurs fois au cours du Cénozoïque.
- Enfin, à proximité du canyon de Jaffara, on note la superposition de plusieurs prismes de rebord de plateau, qui se corrélient avec les unités progradantes de la plateforme (figure 6.1.13).

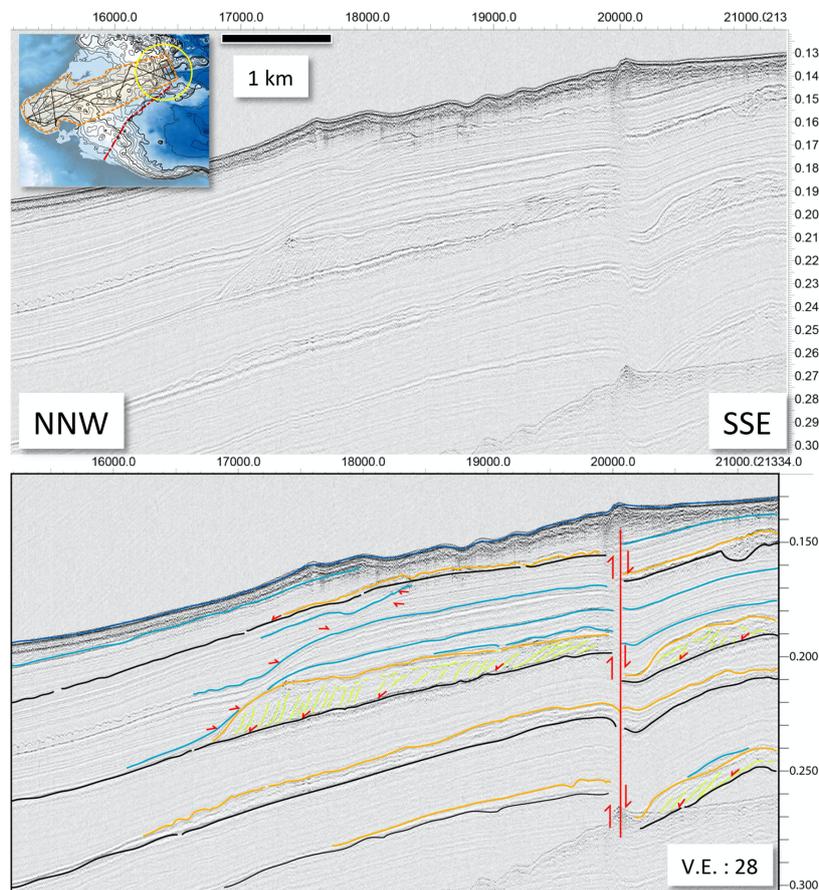


Figure 6.1.13 Profils sismique N°25 (extrait). En arrivant vers la rupture de pente, les unités progradantes du plateau, au maximum de leur épaisseur, comprennent également à leur base des corps progradants (en jaune) qu'on peut interpréter comme des prismes de bordure de plateforme (ou des deltas de bas niveau). Ces unités sont tronquées par l'érosion du canyon de Jaffara. En fonction des migrations successives de la position de la tête du canyon, la surface d'érosion est soit exposée, et donc une cible pour des carottages, soit enfouie sous les dépôts de haut de pente (comme sur cet exemple).

Reportée plusieurs fois (en 2020, puis en 2021), une nouvelle mission (chef de mission A. Trentesaux) dans le Golfe de Gabès est programmée pour l'été 2022 (du 12 août au 1^{er} septembre). Cette mission reste suspendue aux incertitudes sanitaires. Au cours de cette

seconde mission, 14 carottages sont prévus afin de corréliser les observations sismiques. Les sédiments seront étudiés avec attention. Ils font partie d'un projet ANR déposé en 2021 et actuellement (mars 2022) en seconde phase d'évaluation. Le sujet porte sur les modifications climatiques de la région depuis 10 000 ans en lien avec la sédentarisation de l'Homme et le développement de l'agriculture dans un contexte d'aridification progressif.

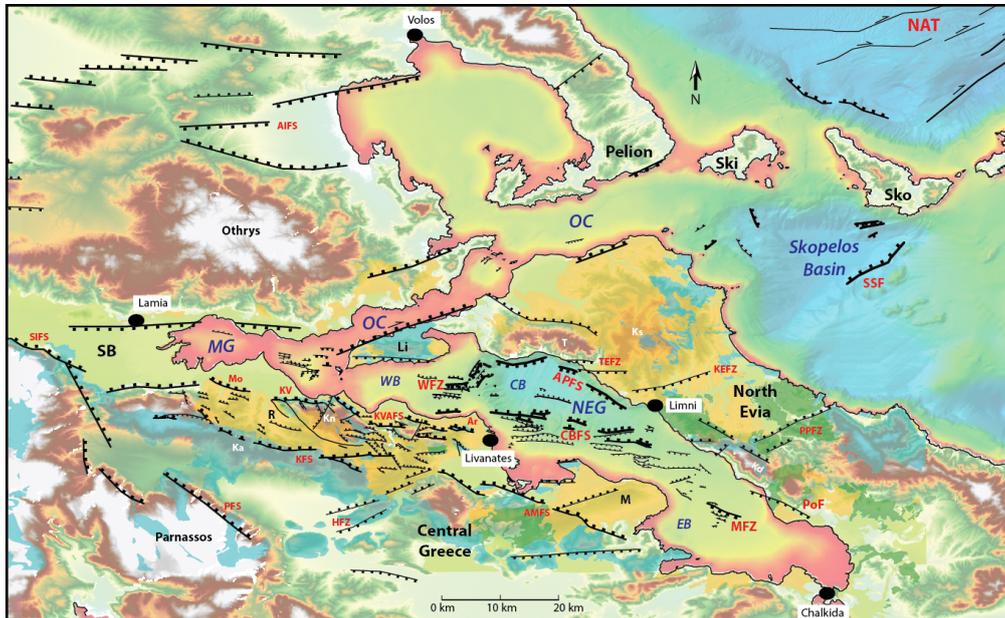


Figure 6.1.14 Carte structurale de la zone d'étude établie à partir des données sismiques marines (campagne WATER et données de Sakellariou *et al.*, 2007), et de la bibliographie pour les failles à terre (Kilias *et al.*, 2008 ; Kranis, 2007 ; Palyvos *et al.*, 2006 ; Sakellariou *et al.*, 2016). Géologie extraite des cartes géologiques au 1:50000^{ème} de l'IGME. Vert clair : Quaternaire ; Orange : Néogène ; Bleu : Jurassique ; Vert foncé : ophiolites. AIFS : Almiros Fault System ; APFS : Aedipos Politika Fault System ; AMFS : Atalanti Martino Fault Segments ; Ar : Arkitsa fault segment ; CB : Central Basin ; CBFS : Central Basin Fault System ; EB : Eastern Basin ; HFZ : Hyampolis Fault Zone ; Ka : Kalidromon ; Kd : Kandili ; KEFZ : KEchriae Fault Zone ; KFS : Kalidromon Fault Segments ; Kn : Knimis ; Ks : Ksiron ; KV : Kamena Vourla fault segment ; KVAFS : Kamena Vourla Arkitsa Fault System ; Li : Lichades peninsula ; M : Malesina Peninsula ; MFZ : Melouna Fault Zone ; MG : Maliakos Gulf ; Mo : Molos fault segment ; NAT : North Aegean Trough ; NEG : North Evia Gulf ; OC : Oreoi Channel ; PFS : Parnassos Fault System ; PoF : Politika Fault ; PPFZ : Prokopi Pilion Fault Zone ; R : Reginio basin ; SB : Sperchios Basin ; SIFS : Sperchios Ipati Fault System ; Ski : Skiathos island ; Sko : Skopelos island ; SSF : South Skopelos Fault ; T : Telethron ; WB : Western Basin

Projet WATER

Le projet WATER est l'acronyme de « Western Aegean Tectonic Evolution and reactivations » ; Responsable : F. Chanier, LOG, ULille) : Réalisation de deux campagnes d'acquisition sismique THR dans le Chenal d'Oreoi, le Golfe Maliaque et le Golfe Nord-Eubée (Grèce) à bord du N/O « Téthys II » : WATER-1 en 2017 (chefs de mission F. Chanier et V. Gaullier ; LOG, ULille) et WATER-2 en 2021 (chefs de mission : F. Chanier, L. Watremez ; LOG, ULille). Les données de la campagne WATER 1, réalisée du 24 juillet au 4 août 2017, ont permis d'identifier et de caractériser plusieurs systèmes de failles majeures, principalement normales, au sein du Golfe Nord Eubée et au sud de Skopelos (figure 6.1.14). Certaines de ces structures en mer sont interprétées comme le prolongement de failles observées à terre. La déformation au sein du rift Sperchios – Golfe Nord Eubée est ainsi mieux cartographiée et définie, ce qui permet de replacer ce rift dans l'évolution quaternaire et actuelle de la limite de plaques diffuse entre l'Eurasie et

l'Egée ainsi que dans le dispositif structural de l'extension généralisée de la plaque Egée en réponse à la subduction vers le Nord de la Plaque Afrique.

La campagne « WATER 2 » s'est déroulée du **27 juillet au 5 août 2021**, dans le même secteur occidental de la Mer Egée, afin de densifier la grille de sismique sparker déjà disponible et d'acquérir des données de bathymétrie multifaisceau sur des structures tectoniques et sédimentaires remarquables. Il s'agit notamment de préciser les caractéristiques de la déformation (orientations des réseaux de failles, chronologie relative des déformations, corrélations avec les structures observées à terre, ...).

L'interprétation de l'ensemble de ces données marines, couplée avec les analyses des séismes récents et historiques, est conduite dans le cadre de la thèse de Fabien Caroir (4^{ème} Année).

Ces travaux ont par exemple mis en évidence des mouvements dextres et sénestres le long d'anciennes failles normales. Ces travaux montrent ainsi des changements importants des systèmes de contraintes au cours du Pliocène et du Quaternaire. Ces variations des caractéristiques de la déformation dans ce secteur particulier peuvent être associés à la propagation vers l'Ouest de la grande Faille Nord-Anatolienne qui constitue la limite entre les plaques Egée et Eurasie.

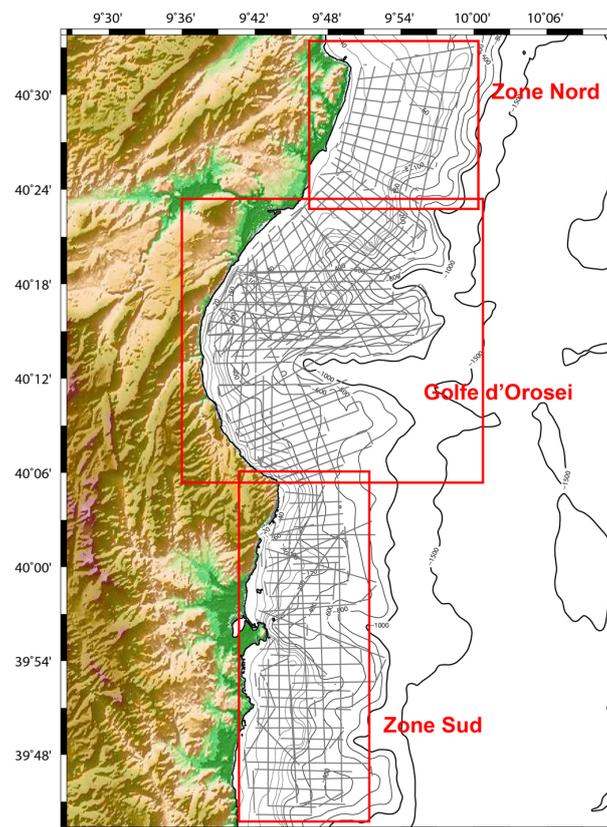


Figure 6.1.15 Plan de position des données acquises lors de la campagne « METYSS 4 » (Juin 2019, Chefs de mission : V. Gaullier et L. Watremez), représentant la localisation des plus de 2000 km de données de sismique THR (Sparker, 286 profils), couvrant la plateforme continentale Est-Sarde sur une centaine de kilomètres, du Nord au Sud.

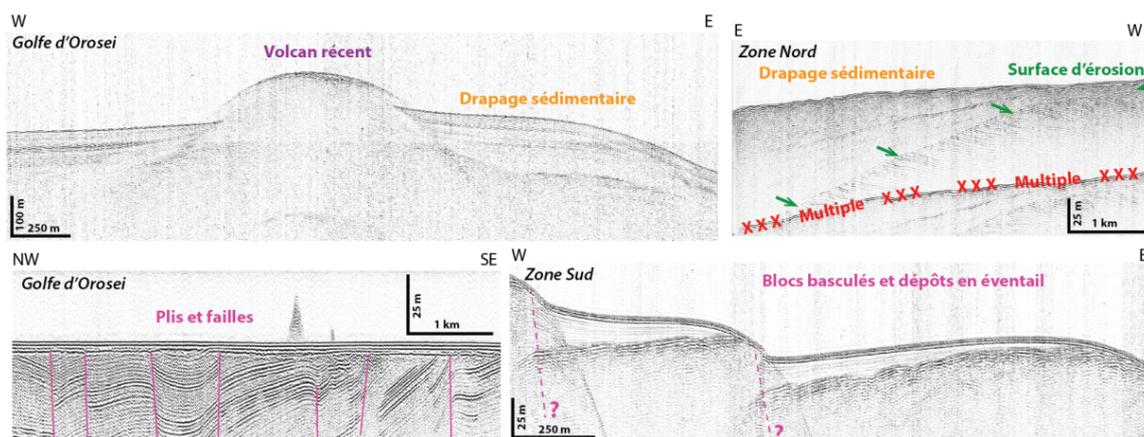


Figure 6.1.16 Exemples de structures remarquables observées lors de la campagne « METYSS 4 ». Les noms des zones font référence aux zones du plan de position. Une cartographie précise de ces structures permettra de répondre aux problématiques de ce projet.

Projet METYSS

Réalisation d'une campagne d'acquisition sismique THR « METYSS 4 » dans le Golfe d'Orosei (Marge Est-Sarde, Mer Tyrrhénienne, Italie) à bord du N/O « Téthys II » (2019). Responsables : V. Gaullier et L. Watremez (LOG, ULille). La Marge Est-Sarde est une marge continentale passive hyper-étirée constituant la bordure occidentale de la Mer Tyrrhénienne, domaine océanique arrière-arc récent. Le programme Terre-Mer « METYSS-METYSAR » a permis depuis 2008 d'identifier les marqueurs de la Crise de Salinité Messinienne (CSM), de dater le rifting (pré-CSM), de caractériser les interactions entre tectonique crustale, tectonique salifère et sédimentation et de mettre en évidence une réactivation post-rift plio-quadernaire. Des occurrences de magmatisme (à terre et en mer, Golfe d'Orosei) et la présence de blocs basculés, à terre, ont également été observés. La campagne « METYSS 4 » (Juin 2019, N/O « Téthys II ») a permis l'acquisition de plus de 2000 km de profils de sismique très haute résolution (Sparker) selon un quadrillage dense sur la plate-forme continentale Est-Sarde, domaine jusque-là très peu exploré (figure 6.1.15).

Les travaux d'interprétation des données de la campagne « METYSS 4 » ont été fortement ralentis par la crise COVID. Les recherches préliminaires ont repris dans le cadre d'un stage de M2 (Aboubacar Dibousse, Février-Juin 2021) et de deux stages de L3 (Baba Traore et Andréa Cacheux, Avril-Mai 2021). Ces données sont maintenant utilisées dans le cadre d'une thèse (Romain Sylvain) qui a débuté en octobre 2021 afin de faire le lien entre les structures observées à terre et en mer, dans le but d'apporter des éclairages nouveaux sur l'histoire tectonique et volcanique de la marge ainsi que les relations avec les processus d'érosion et de sédimentation dans la zone. Ces travaux seront basés sur une cartographie précise des structures tectoniques, sédimentaires, érosives et volcaniques, à terre comme en mer (figure 6.1.16). Une campagne de terrain sera programmée afin de confirmer, infirmer ou développer certaines hypothèses liées aux observations faites sur les données en mer. Les résultats de cette thèse feront l'objet d'au moins deux articles et deux participations à des conférences internationales.

La qualité des données Sparker obtenues lors de la campagne « METYSS 4 » permet dès maintenant d'imager de très nombreuses structures tectoniques et sédimentaires sur la plate-forme est-sarde, inexplorée jusqu'à présent (figure 6.1.17).

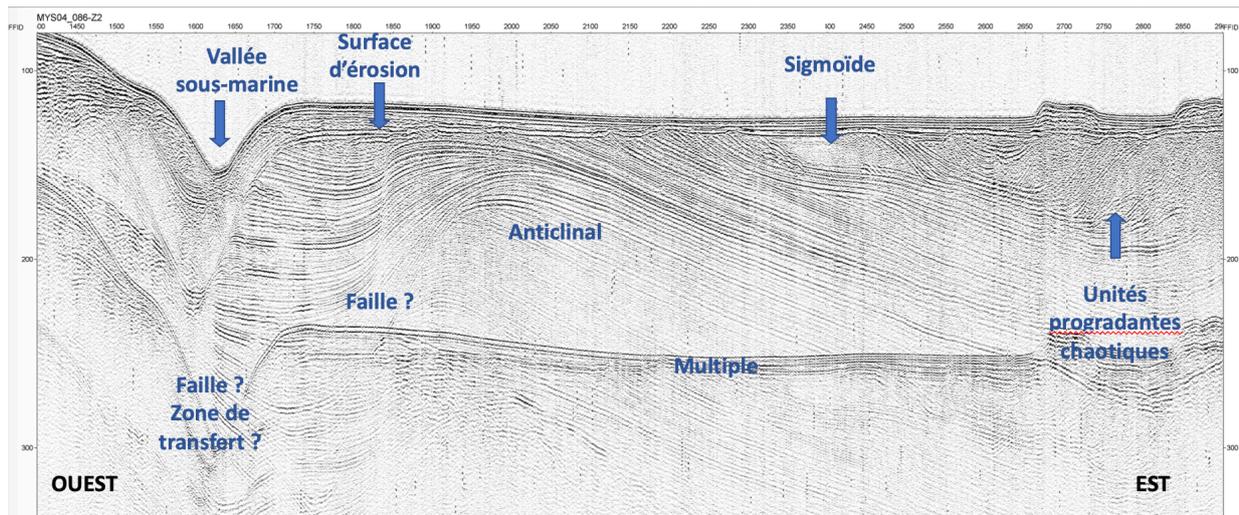


Figure 6.1.17 Profil sismique THR « METYSS 4 » illustrant la complexité structurale et sédimentaire de la plate-forme continentale du Golfe d'Orosei (Marge Est-Sarde) avec la présence de plis, de failles, d'une surface d'érosion régionale et de corps sédimentaires progradants transparent et chaotiques.

Valorisations scientifiques

Sessions dans des congrès et structuration de la recherche

Cette action a permis de contribuer à développer et à structurer la recherche portant sur l'étude géologique de la Manche Orientale, à la fois au sein de la communauté régionale mais également nationale. Le colloque GHYMANCHE et quatre sessions spécialisées dans des conférences nationales témoignent de cette fédération d'équipes :

Organisation du colloque GHYMANCHE 2021 (11-13 Octobre 2021, F. Schmitt, V. Gaullier, M. Laurencin): *Le colloque Ghymanche portait sur les Géosciences et l'Hydrodynamique sur la façade Manche – Mer du Nord. Il visait à faire le point sur les avancées obtenues ces dernières années sur la compréhension géologique du système complexe Manche-Mer du Nord et sur le transport hydrodynamique associé. Nous avons accueilli des présentations abordant la connaissance géologique de ce secteur de la fin du Paléozoïque jusqu'à l'actuel, depuis les études de reconnaissance géologique et géophysique à l'échelle régionale jusqu'aux tentatives de reconstitution géodynamique et paléogéographique à l'échelle de sous-bassins ou du système Manche-Mer du Nord dans son ensemble. Les présentations ont été structurées en 4 sessions : 1. Dynamique littorale, 2. Géologie de la Manche (onshore-offshore), 3. Géorisques, 4. Hydrodynamique et transport sédimentaire. Le colloque s'est déroulé sous la forme de 3 demi-journées de présentations orales et d'une journée sur le terrain. Il a réuni environ 35 participants, avec 24 présentations orales, dont 4 invitées. Le soutien financier a été assuré par l'Infrastructure de Recherche littorale et côtière IR ILICO et par le LOG.*

Session 7 : « Apports des outils géophysiques très haute résolution aux études tectoniques et sédimentaires en domaine marin » - V. Gaullier et M. Laurencin. Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-Mer, 13-15 octobre 2021.

Session 5 « Le système Manche – Mer du Nord » de la 26^{ème} édition de la RST 2018, Lille, France, 22-26 octobre 2018, V. Gaullier, O. Averbuch et F. Paquet.

Session 5.1. « Evolution géodynamique de la Manche, du Varisque à l'Alpin », 25^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, V. Gaullier, F. Paquet, I. Thinon et E. Lasseur, 24-28 Octobre 2016, Caen.

Session « Géosciences », EEC-2017 Conference : « The Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel- Past, Present, Future. Looking forward : cherish the past, shape the future », V. Gaullier, 6-8 juin, Wimereux.

Article(s)³ :

- Caroir F., Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2021. « New insights from very high resolution seismic data on structural analysis within the diffuse plate limit between Eurasian and Aegean Plates (North Evia Gulf, WATER project) », *en voie de soumission*.
- Jollivet-Castelot M., Briais J., Paquet F., Lasseur E., Gaullier V., Thinon I., Averbuch O., Chanier F., Châteauneuf J.J., 2021. The development of the Dieppe-Hampshire basin: sedimentary record of Paleogene far-field deformations in the Eastern English Channel and routing system implications. *Bulletin de la Société Géologique de France*, *bsgf220007*, soumis.
- Maillard A., Gaullier V., Lézin C., Chanier F., Odonne F., Lofi J., 2020. New onshore/offshore evidence of the Messinian Erosion Surface from key areas : The Ibiza-Balearic Promontary and the Orosei-Eastern Tyrrhenian margin. *BSGF – Earth Sciences Bulletin*, 191 : 9, <https://doi.org/10.1051/bsgf/2020007>.

Présentation(s) orale(s) ou poster(s) à des conférences nationales :

- Averbuch O., Tribouvillard N., Guillot F., Gaullier V., Laurencin M., Vidier D., 2021. La zone Cap Gris-Nez – Déroit du Pas-de-Calais entre Manche et Mer du Nord : développement et inversion de la marge nord du bassin du Weald-Boulonnais. Colloque GHYMANCHE 2021 – Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord : Approche interdisciplinaire terre-mer, 11-13 octobre, Wimereux, France, Volume des résumés, p.29.
- Caroir F., Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., 2019. Partitionnement longitudinal d'un rift actif (Golfe d'Eubée, Grèce): Héritage structural et/ou influence des segments de la faille nord-anatolienne? (campagne WATER). 17ème Congrès Français de Sédimentologie (ASF), Beauvais, Livre des résumés, 2019, Publ. ASF n°81, Paris, 169 p., p.23.
- Caroir F., Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2021. Evolution d'un rift actif en limite de plaques Eurasie-Egée diffuse et dans le prolongement de la Faille Nord-Anatolienne (Projet WATER). 27^{ème} édition de la Réunion des Sciences de la Terre (RST), 26-30 octobre 2020, Reportée du 1 au 5 novembre 2021 en raison de la crise COVID, Lyon, France, Livre des résumés, p. 146.
- Caroir F., Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2020. Le Golfe Nord Eubée, un rift actif du domaine égéen dans le prolongement de la Faille Nord-Anatolienne (campagne WATER). 27^{ème} édition de la Réunion des Sciences de la Terre (RST), 26-30 octobre 2020, Lyon. Communication orale acceptée. Reportée du 1 au 5 novembre 2021 en raison de la crise COVID.
- Caroir F., Gaullier V., Chanier F., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2021. Mise en évidence d'un système sédimentaire progradant par la sismique THR de type Sparker. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France, Volume des résumés, p. 76.
- Chanier F., Caroir F., Gaullier V., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2021. Failles actives en Grèce identifiées grâce à la sismique THR de type Sparker. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France, Volume des résumés, p. 75.
- Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., Jollivet-Castelot M., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Bonnière A., Cayla L., Watremez L., Graveleau F., Averbuch O., Vendeville, B.C., Ferrière, J., 2018. Rift basins and structural inheritance on the western termination of the North Anatolian Fault, Aegean Sea (Greece) : First results from WATER cruise (R/V « Thélys II », July 2017). 26^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France, Livre des résumés, p. 247.
- Gaullier V., Averbuch O., Laurencin M., Paquet F., Schmitt F., Jollivet-Castelot M., Briais J., Chanier F., et les équipes scientifiques et pédagogiques embarquées TREMOR, POSEOLE, MARCOPALE et GEOBAS, 2021. Bilan des travaux récents sur la tectonique et l'architecture sédimentaire en Manche Orientale : apports de la sismique THR Sparker et projets en cours. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France, Volume des résumés, p. 72.
- Gaullier V., Jollivet-Castelot M., and the TREMOR Team, 2017. The "TREMOR" project: a sediment-structural land-sea study in the eastern English Channel. EEC 2017 : Oceanography and Geosciences of the Eastern English Channel, Past, Present and Future, Wimereux, France.

³ Doctorants et étudiants encadrés

- Gaullier V.**, Jollivet-Castelot M., Paquet F., Briais J., Lasseur E., Chanier F., Averbuch O., Thinin I., 2021. Le bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale): Evolution cénozoïque et enregistrement des évènements géodynamiques. Colloque GHYMANCHE 2021 – Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord : Approche interdisciplinaire terre-mer, 11-13 octobre, Wimereux, France, Volume des résumés, p.27.
- Jollivet-Castelot M., Briais J., Paquet F., Gaullier V., Allanic C., Chanier F., Averbuch O., Thinin I., Chateauneuf J.J., 2018. Evolution tectono-stratigraphique cénozoïque de la Manche orientale et des zones adjacentes : étude du Bassin de Dieppe-Hampshire méridional. 26ème Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France, Livre des résumés, p. 385.
- Jollivet-Castelot M., Gaullier V., and the TREMOR Team, 2017. Structural development of the Dieppe-Hampshire Basin (eastern English Channel): contribution of new seismic data. EEC 2017 : Oceanography and Geosciences of the Eastern English Channel, Past, Present and Future, Wimereux, France.
- Jollivet-Castelot M., Gaullier V., Paquet F., Chanier F., Graveleau F., Thinin I., Lasseur E., Averbuch O., 2016. Structuration du Bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : Apport de nouvelles données sismiques. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France, Livre des résumés, p. 173.
- Laurencin M., Gaullier V., Averbuch O., 2021. Apport des données sismiques THR dans la caractérisation des failles du Cap gris-Nez et de la Slack Epitre. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France, Volume des résumés, p. 73.
- Laurencin M., Gaullier V., Averbuch O., 2021. Nouvel aperçu des structures tectoniques et géologiques en mer et à terre au large de Boulogne-sur-Mer. Colloque GHYMANCHE 2021 – Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord : Approche interdisciplinaire terre-mer, 11-13 octobre, Wimereux, France, Volume des résumés, p.28.
- Paquet F., and the MERCAUX Team (including Gaullier V.), 2017. Updating geological knowledge of the Anglo-Parisian Basin from offshore mapping and investigations using very-high resolution seismic data. EEC 2017 : Oceanography and Geosciences of the Eastern English Channel, Past, Present and Future, Wimereux, France.
- Paquet F., Lasseur E., Thinin I., Couëffe R., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Briais J., Dupuis C., Gaullier V., 2016. A new geological map for the « Baie de Seine – Pays de Caux » area at the 1 :250,000 scale – Sedimentary and tectonic evolution during Cenozoic. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France, Livre des résumés, p. 252.
- Paquet F., Lasseur E., Thinin I., Couëffe R., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Courgeon, Pelote A., Briais J., Dupuis C., Gaullier V., 2016. A new geological map for the « Baie de Seine – Pays de Caux » area at the 1 :250,000 scale – Sedimentary and tectonic evolution during Cretaceous. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France, Livre des résumés, p. 251.
- Paquet F., Thinin I., Lasseur E., Briais J., Dugué O., Tessier B., Gaullier V., 2018. One network may hide others – toward a comprehensive scenario for neogene superimposed valley networks along the English Channel. 26ème Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France, Livre des résumés, p. 386.
- Schmitt F. et Gaullier V., 2021. Restitution du colloque GHYMANCHE : « Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord – Approche interdisciplinaire Terre-Mer ». Colloque ILICO/EVOLECO 2021, IR-ILICO, Colloque Annuel et Assemblée Générale, 2-5 septembre 2021, La Rochelle, France.
- Tessier, B., Grenard Grand E., Le Bot, S., Grégoire, G., Méar, Y., Reynaud, J.-Y. & Trentesaux, A., 2021. Évolution holocène des prismes sédimentaires côtiers de la Manche. Conférencière invitée. Colloque Ghymanche. Wimereux, 11-13 octobre 2021.
- Watremez L., Dibousse A., Gaullier V., Chanier F., Maillard A., Thinin I., Sage F., Travan G., Graveleau F., Caroir F., 2021. Campagne « METYSS 4 » - Premières observations sur la plate-forme est-sarde à partir de données de sismique THR (Sparker). Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France, Volume des résumés, p. 77.
- Zahmoul R., Trentesaux A., Reynaud J.Y., Inoubli M.H., 2019. Incised valley of the Gulf of Gabes (Southern Tunisia) during the Quaternary Contribution of very high-resolution seismic data [Oral communication]. 17th French meeting of sedimentology (ASF), October, Beauvais, Unilasalle, France. <https://asf2019.sciencesconf.org/>.
- Zahmoul R., Trentesaux A., Reynaud J.Y., Inoubli M.H., Witt C., 2018. Modalities of transfer and storage of sediment along the continental shelf of the Gulf of Gabes during the upper Pleistocene, Contribution of very high-resolution seismic data. 26th Earth Sciences Meeting (RST), October, Lille, France. <https://rst2018-lille.sciencesconf.org/>, Oral communication.

Zahmoul, R., Trentesaux, A., Reynaud, J.-Y. & Inoubli, M.H., & Mansoura, M., 2021. Transferts et stockages sédimentaires sur le golfe de Gabès au Pléistocène. Colloque MARCO. Boulogne-sur-Mer, 13-15 octobre 2021.

Présentation(s) orale(s) ou poster(s) à des conférences internationales :

Caroir, F., Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Maillard-Lenoir, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Averbuch, O., Ferrière, J., Graveleau, F., and Watremez, L., 2021. Recent and active deformation in the North Evia domain, a diffuse plate boundary between Eurasia and Aegean plates in the Western termination of the North Anatolian Fault. EGU General Assembly 2021, online, 19–30 April 2021, EGU21-12153, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12153>.

Caroir, F., Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Averbuch, O., Ferrière, J., Graveleau, F., Watremez, L., 2021. The North Evia Gulf Rift System in Central Greece: An Asymmetric Rift in the North Anatolian Fault Prolongation (WATER Project). 2021 AGU Fall Meeting, New Orleans, LA and Online Everywhere, USA, 13-17 December, Paper number : ID# 901501.

Caroir, F., Gaullier, V., Chanier, F., Averbuch, O., Bailleul, J., Bonnière, A., Cayla, L., Ferrière, J., Graveleau, F., Jollivet-Castelot, M., Maillard, A., Paquet, F., Vendeville, B., Watremez, L., 2019. Rift basins and active tectonic control on sedimentary distribution on the western termination of the North Anatolian Fault, Aegean Sea (Greece) : First results from WATER cruise (R/V *Téthys II*, July 2017). EGU General Assembly 2019, Vienna, Austria, 7-12 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 21, EGU2019-13726.

Chanier, F., Caroir, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Averbuch, O., Ferrière, J., Graveleau, F., and Watremez, L., 2021. The North Evia Gulf rift system in Central Greece: structural development and crustal inheritances from onshore fault analysis and offshore Sparker seismic data (WATER project). EGU General Assembly 2021, online, 19–30 April 2021, EGU21-12256, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12256>.

Chanier, F., Ferrière, J., Averbuch, O., Gaullier, V., Graveleau, F., 2017. Role of the tectonic inheritance on multi-phased rifting of the Sperchios Basin (Greece), north-western boundary of the Aegean Plate. EGU General Assembly 2017, Vienna, Austria, 23-28 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-13734.

Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Jollivet-Castelot, M., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Ferrière, J., 2017. Strike-slip controlled versus extensional basins on the western termination of the North Anatolian fault, in the Aegean Sea, Greece. Preliminary results from the WATER cruise (July-August 2017). 33rd International Meeting of Sedimentology – 16^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Toulouse, 10-12 October 2017, Abstract Book, p. 167.

Gaullier, V., Chanier, F., Schmitt, F.G., Watremez, L., Lymer, G., Maillard, A., Thion, I., Sage, F., Travan, G., Graveleau, F., Caroir, F., 2019. The Eastern Sardinian Margin: From Rifting to Hyper-extension and Post-rift Reactivation in a Backarc Setting. 2019 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 9-13 December, Paper number : ID#614438.

Jollivet-Castelot, M., Gaullier, V., Paquet, F., Chanier, F., Allanic, C., Briais, J., Thion, I., Averbuch, O., 2018. Structural development of the southern Dieppe-Hampshire Basin and its borders (Eastern English Channel). EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, 8-13 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-7813.

Jollivet-Castelot, M., Gaullier, V., Paquet, F., Chanier, F., Thion, I., Lasseur, E., Averbuch, O., 2017. Structural development of the Dieppe-Hampshire Basin (Eastern English Channel) : Contribution of new seismic data. EGU General Assembly 2017, Vienna, Austria, 23-28 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-15904.

Juan, C., Gaullier, V., Averbuch, O., 2020. New constraints on the subsurface geometry of the Eastern English Channel - Strait of Dover Area. AGU Fall Meeting, Online Everywhere, 1-17 december 2020.

Laurencin, M., Gaullier, V., Averbuch, O., 2021. Update of the fault network geometry within the substratum of the Eastern Channel-Straight of Dover by acquisition of recent high resolution seismic data: towards a better assessment of the seismic risk. International Workshop on “Active tectonics and dating”, RESIF – SIGMA 2, Hybrid format: Praz-sur-Arly, France, 14-16 september.

Trentesaux, A., Averbuch, O., Dehouck, H., Charlet, F., Geib, J.-P., Guyetant, G. & Reynaud, J.-Y., 2020. A Geopark for the Pas-de-Calais ? Straits: International symposium on Straits. November 24-26. Boulogne-sur-Mer.

Trentesaux, A., Reynaud, J.-Y., & Buguet, D., 2019. Unraveling the origin of the Dover Strait opening. The black box is still to be opened. From the North Sea Lowlands to the Celtic Shelf Edge. Reconstructing interconnected environments for the past 500 kyrs. International conference. 18-20 November 2019. Utrecht, The Netherlands.

Présentation(s) orale(s) à des groupes de travail et Journées Scientifiques :

Caroir F., 2019. Présentation des résultats préliminaires à l'équipe du projet WATER.

Gaullier V., Jollivet-Castelot M., Paquet F., Chanier F., Averbuch O., Graveleau F., Schmitt F., Abraham R. et les équipes scientifiques embarquées « TREMOR » et « WATER », 2018. Présentation des résultats scientifiques et des applications pédagogiques liés à l'acquisition sismique THR (Equipement Sparker): Exemples du Bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) et du Golfe d'Eubée (Grèce). Journée CPER MARCO, 11 octobre, Nausicaa, Boulogne-sur-mer.

Gaullier V., Averbuch O., Jollivet-Castelot M., Juan Carmen et les équipes scientifiques embarquées « TREMOR », « POSEOLE », « MARCOPALE » et « GEOBAS », 2020. Avancées récentes sur la tectonique et l'architecture sédimentaire en Manche Orientale. Journée CPER MARCO, 10 décembre, *visio-conférence*.

Gaullier V., 2020. Avancées récentes sur la tectonique en Manche Orientale: Présentation succincte des projets de géophysique THR en cours. Journée Scientifique IREPSE, 13 Novembre 2020, Lille, *visio-conférence*.

Gaullier V., Jollivet-Castelot M., Paquet F., Chanier F., Averbuch O., Schmitt F., Juan C., Watremez L., Graveleau F., Abraham R. et les équipes embarquées « TREMOR 1 », « TREMOR 2 », « POSEOLE », « GEOBAS », 2020. Présentation succincte des projets de géophysique THR en Manche Orientale. Demi-Journée "Axe Manche-Mer du Nord" du LOG, animateurs F. Schmitt, V. Gaullier, S. Monchy. 1er juillet 2020, Wimereux.

Gaullier V., Jollivet-Castelot M., Paquet F., Chanier F., Averbuch O., Graveleau F., Schmitt F., Abraham R. et les équipes scientifiques embarquées « TREMOR » et « WATER », 2018. Présentation des résultats scientifiques et des applications pédagogiques liés à l'acquisition sismique THR (Equipement Sparker): Exemples du Bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) et du Golfe d'Eubée (Grèce). Journée scientifique CPER MARCO, 11 octobre, Nausicaa, Boulogne-sur-mer.

Gaullier V., Jollivet-Castelot M., et l'équipe TREMOR, 2016. Activité tectonique en Manche Orientale et risques sismiques associés. Journée Scientifique du Campus de la Mer « Façade Manche-Mer du Nord : Risques littoraux et remédiation », 9 septembre 2016, Boulogne-sur-Mer.

Jollivet-Castelot M., Gaullier V., et l'équipe TREMOR, 2017. Structuration du bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : Apport de nouvelles données sismiques. Journée Doctorale du Campus de la Mer, 19 octobre 2017, Boulogne-sur-Mer.

Juan C., Gaullier V., Averbuch O., 2020. New constraints on the subsurface geometry of the Eastern Channel-Straight of Dover area, based on the combined analysis of recently-acquired high-resolution seismic profiles and reprocessed industrial lines (MARCOPALE Project). Demi-Journée "Axe Manche-Mer du Nord" du LOG, animateurs F. Schmitt, V. Gaullier, S. Monchy. 1er juillet 2020, Wimereux.

Laurencin M., Schmitt F., Gaullier V., 2022. TURBODUNES : turbulence et dunes marines. Demi-journée scientifique de l'Axe "Manche – Mer du Nord" du LOG, 13 janvier, Visio-Conférence.

Trentesaux A., 2020. Séminaire de travail avec l'Office National des Mines (ONM), en visioconférence le 17 décembre 2020.

Trentesaux, A. 2021. Les géosciences étudient les processus en action sur le front littoral. Conférencier invité pour la cérémonie des 150 ans de la Société Géologique du Nord. 10 Juin 2021. Lille.

Comités de Suivi de Thèse (CST):

R. Zahmoul: 2

F. Caroir: 2

M. Jollivet-Castelot: 2

Présentations lors du cycle des séminaires internes du LOG:

R. Zahmoul, « Modalités du transfert et de stockage sédimentaire sur le plateau continental du Golfe de Gabès au Quaternaire récent, apports de la sismique THR »

F. Caroir, « Caractérisation d'un rift actif (Golfe Nord Eubée, Grèce) : héritage structural et/ou influence des segments de la Faille Nord-Anatolienne ? Premiers résultats de la campagne WATER » - 11 novembre 2019.

Séminaire(s) invité(s):

Gaullier V., et l'équipe scientifique TREMOR, 2016 : "Activité tectonique récente en Manche Orientale et risques sismiques associés". Colloque annuel 2016 RESOMAR, Boulogne-sur-mer et Wimereux, 21-23 novembre, Communication Invitée.

Trentesaux A., « Le plateau continental du Golfe de Gabès et l'insularité de la Grande Bretagne. Apports des données sismiques THR ». Conférence invitée au laboratoire URGAM, Université de Tunis, 15 janvier 2020.

Rapports d'activité et rapports de Master :

Mansoura M., Trentesaux A. et Inoubli M.H., 2018. Sismique haute résolution dans le Golfe de Gabès. Rapport de mission. Office National des Mines, 19 pp.

4 à 8 rapports de M2/an depuis 2015 après les stages « mer » GEOBAS.

Projets venant en accompagnement de MARCO :

Co-financement de thèse BRGM-ULille et environnement (« TREMOR »).

Projets INSU Tellus : SYSTER, Action Coordonnée « Campagnes à la mer » (pour « TREMOR », « METYSS 4 » et « WATER »).

Projet nouvel entrant IREPSE (« TREMOR »).

Stage(s) :

Aboubacar Dibousse, Stage M2-GEOBAS (Février-Mai 2021) : Premières interprétations des données sismiques Sparker de la campagne « METYSS 4 ».

Andréa Cacheux, Stage L3 ST - 2021 (1,5 mois) : Identification et caractérisation de structures tectoniques dans la partie Nord du Golfe d'Orosei, Marge Est-Sarde - Données sismiques de la campagne « METYSS 4 ».

Baba Traoré, Stage L3 ST – 2021 (1,5 mois) : Etude de l'architecture sédimentaire sur la plateforme continentale au Sud du Golfe d'Orosei (Marge Est-Sarde), à partir d'interprétations sismiques.

Thèses accompagnant l'action :

Raouïa Zahmoul. Co-tutelle Université de Gabès (Tunisie) – LOG/Université de Lille.

Fabien Caroir. Thèse ULille (Directrice V. Gaullier – Co-encadrant F. Chanier).

Martin Jollivet-Castelot. Allocation BRGM-Université de Lille 1 (Directrice V. Gaullier - Co-encadrant: F. Paquet, BRGM) : « *Le Bassin de Dieppe-Hampshire : évolution cénozoïque et enregistrement des événements géodynamiques* ». Soutenue le 10 décembre 2018, LOG-Univ.Lille, Villeneuve d'Ascq.

Romain Sylvain, Financement ULille (Directrice V. Gaullier - Co-encadrants L. Watremez et F. Chanier) portant sur l'étude intégrée des processus tectoniques, sédimentaires et volcaniques le long de la Marge Continentale Est-Sarde (Mer Tyrrhénienne – Projet METYSS-METYSAR/Campagne METYSS 4), débutée en Octobre 2021.

Aboubacar Dibousse, Financement Côte d'Ivoire (Directeurs V. Gaullier et O. Averbuch) portant sur : Interactions Tectonique-Sédimentation dans les bassins du Boulonnais et de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : approche intégrée Terre-Mer, débutée en Octobre 2021.

Post-doctorants :

Carmen Juan Valenzuela (13/01/2020-01/01/2021)

Muriel Laurencin (18/01/2021-20/12/2021)

Action 6.2 : Étude et développement d'un instrument de réflectométrie GNSS multi-bandes et multivoies, pour la surveillance des zones inondables

Participants

Responsable : Serge Reboul (ULCO-LISIC)

Permanents : Georges Stienne (LISIC-ULCO), Serge Reboul (LISIC-ULCO)

Post-doc: Maximilian Semling

Doctorants: Hamza Issa, Williams Kouassi

Résumé des activités

Dans le CPER MARCO, l'action 6.2 a été financée dans la programmation 2 et la programmation 4. La programmation 2 a permis de réaliser l'étude et la mise en œuvre de mesures de réflectométrie GNSS aéroportée. Cette étude a été réalisée à partir d'observations par drone et de mesures in situ au sol. Dans la programmation 4 un nouveau capteur de réflectométrie GNSS multivoies et multi-bandes a été développé et des vols aéroportés par autogire ont été réalisés.

Dans nos travaux de recherche deux domaines applicatifs ont été étudiés. La localisation 3D précise d'une bouée, dans le cadre de la thèse de Williams Kouassi, et la mesure du taux d'humidité des sols par réflectométrie GNSS aéroportée dans la thèse de Hamza Issa. La localisation 3D précise d'une bouée est un enjeu important pour la caractérisation de la houle mais aussi pour l'étalonnage des altimètres embarqués sur les satellites. La mesure du taux d'humidité des sols à une échelle locale avec un porteur de type autogire est un enjeu important pour la gestion des cultures et des réserves en eau. Dans ces travaux deux résultats pratiques importants ont été obtenus. Le premier est l'estimation de la hauteur de la bouée avec une précision millimétrique et une cadence de mesures de 9 ms. Le second résultat est la localisation métrique et la détection des étangs, rivières, eau de mer, forêts, plages de sable, champs à partir d'observations obtenues par réflectométrie GNSS aéroportée.

Equipements acquis

Porteur aéroporté :

- Drone
- Equipement : altimètre laser
- Station sol (pilotage et missions)
- Formation au pilotage

Récepteur GNSS-R :

- Numériseur multi bandes
- Antennes L1 L5
- Ligne à délai et convertisseur RF-optique (Ligne à faible encombrement)

Travaux réalisés

Ces travaux de recherche appliquée s'appuient sur des développements fondamentaux dans le domaine du traitement du signal. Pour la localisation 3D précise nous avons proposé un estimateur de régression multiple pour des données circulaires. Nous avons montré que l'estimateur proposé permet de fusionner les observations de phase obtenues sur des signaux en provenance de plusieurs satellites. Dans l'étude théorique, nous avons montré que les performances de l'estimateur proposé sont proches des bornes de Cramer Rao pour une intégration du signal de 9 ms et une géométrie de la configuration satellite adéquate. Dans ces travaux nous avons proposé un nouveau concept de positionnement différentiel et nous avons montré que le traitement des signaux de phase de ce système permet une localisation 3D de la bouée avec une précision millimétrique et un temps d'intégration de 9ms.

Pour l'estimation du taux d'humidité des sols, nous avons proposé un détecteur de rupture qui permet de découper le signal radar, de réflectométrie GNSS, en zones correspondant à des types de sol différents. Ces zones sont localisées avec une précision métrique grâce aux signaux GNSS. Dans notre approche nous avons proposé un estimateur de l'amplitude du signal GPS basé sur la modélisation statistique du détecteur synchrone utilisé par l'étage front-end du récepteur. Pour segmenter le signal nous avons développé un estimateur qui traite séparément la détection et la localisation de la rupture. La détection de rupture est réalisée sur l'innovation d'un filtre EKF qui estime l'amplitude du signal GPS. La localisation de la rupture est réalisée sur les mesures de réflectivités par un estimateur du maximum de vraisemblance entre les observations et un modèle de rupture multi paramétriques défini pour notre application. Enfin nous avons proposé une structure de récepteur GNSSR logiciel qui s'appuie sur une architecture maître-esclave pour extraire les paramètres du signal réfléchi.

On présente sur la [figure 6.2.1](#) un exemple d'observation par réflectométrie GNSS. On représente sur la figure du haut les empreintes de réflexion du signal GPS par des ellipses jaunes en surimpression sur une image Google Earth. Ces ellipses sont la première zone de Fresnel associée à la réflexion du signal. Pour une meilleure compréhension de la figure elles sont données toutes les secondes, mais elles sont obtenues en pratique toutes les 20 ms. A chaque point spéculaire de la réflexion (centre de l'ellipse) est associée une mesure de réflectivité du signal GPS sur les figures du bas. On observe trois séries chronologiques qui sont obtenues pour la réflexion des signaux GNSS en provenance des satellites 5, 7 et 30. Sur ces figures on représente, en surimpression, la segmentation du signal en différentes zones qui correspondent sur l'image Google Earth à différents types de sols.

L'ensemble des expérimentations a été réalisé avec les capteurs acquis dans le cadre du projet MARCO. Notre objectif est maintenant de réaliser un prototype de TRL7 du système d'observation aéroportée. Nous travaillons avec l'entreprise Syntony qui réalise l'étude de marché du système proposé. Un post-doctorat est co-financé par l'entreprise Syntony pour réaliser, dans la continuité de ce projet, l'étude de l'apport de la fréquence GNSS L5 sur la qualité des mesures. D'autre part, dans le cadre de notre collaboration avec le CNRS L, une thèse a débutée en octobre 2021. Le but de cette thèse est de contribuer à la réalisation du prototype. L'étudiant travaillera sur l'identification et la caractérisation des zones détectées et localisées. Dans ce contexte les techniques d'intelligence artificielle qui utilisent la contextualisation de la mesure seront développées.

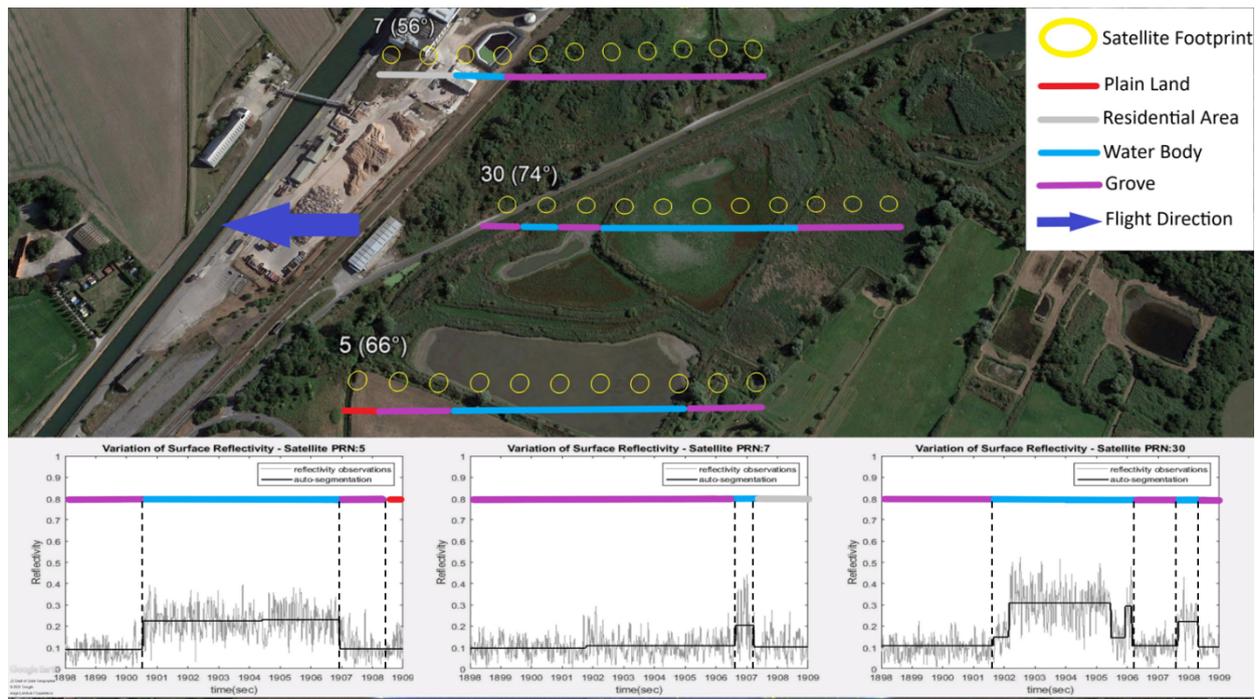


Figure 6.2.1 Observation par réflectométrie GNSS.

Valorisations

CDD :

Un Chercheur, Maximilian Semmling (GFZ), financé 6 mois par le CPER MARCO.

Un ingénieur, Hamza Issa, financé 6 mois par le CPER MARCO. (2021)

Un ingénieur, Hamza Issa, financé 6 mois par l'ULCO (2021-2022).

Un post doc, Hamza Issa, 12 mois financé par Syntony et l'ULCO (2022-2023).

Un ATER, Williams Kouassi, 12 mois financé par l'ULCO (2021-2022)

Présentation dans une conférence internationale et nationale :

B. KOUZOUNDJIAN, F. BEAUBOIS, S. REBOUL, J.B. CHOQUEL, J. C. NOYER, "A TDOA underwater localization approach for shallow water environment", IEEE OCEAN 2017.

J.-C. KUCWAJ, G. STIENNE, S. REBOUL, J.-B. CHOQUEL, Régression linéaire-circulaire appliquée à l'altimétrie GNSS-R, XXVIe Colloque GRETSI, Juan-les-Pins, France, 5-8 septembre 2017, p. 1-4.

G. STIENNE, J.-C. KUCWAJ, M. SEMMLING, S. REBOUL, GNSS signals inversion for amplitude estimation: a concept for high-rate reflectometry, International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA) 2018, Cartagena de Indias, Colombia, Sept. 10-14, 2018.

M. SEMMLING, K. BALIDAKIS, G. STIENNE, S. REBOUL, E. CARDELLACH, W. LI, J. WICKERT, H. SCHUH, "GNSS amplitude estimation and its application to coherently reflected signals for sea ice remote sensing", ESA living planet symposium, May 2019, Milan, Italy.

W. KOUASSI, G. STIENNE, M. SEMMLING, J.C. KUCWAJ, S. REBOUL AND J. WICKERT, "A GNSS-R multirotor UAV platform for soil moisture detection and altimetry", IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), May 2019, Benevento, Italy.

SEMMLING M., G. STIENNE, S. GONTHARET, S. GERLAND, S. REBOUL AND J. WICKERT, "Estimation of Soil Moisture and Sea Ice Concentration - A GNSS Reflectometry Concept", IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), May 2019, Benevento, Italy.

- SEMMLING, M.; STIENNE, G.; GONTHARET, S.; GERLAND, S.; REBOUL, S. AND WICKERT, J.: "Estimation of Soil Moisture and Sea Ice Concentration – A GNSS Reflectometry Concept", EGU General Assembly, 2019, 21, EGU2019-4521.
- G. FROMANT, G. STIENNE, S. REBOUL, Circular estimation of the flow velocity using coherent Doppler sonar, 2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION), Rustenburg, South Africa, 2020, pp. 1-6.
- W. KOUASSI, G. STIENNE, S. REBOUL, Fusion applied to phase altimetry in a GNSS buoy system, Session G1.3 – High-precision GNSS: methods, open problems and Geoscience applications, EGU General Assembly, EGU2020-15474.
- H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. SEMMLING, M. RAAD, G. FAOUR, AND J. WICKERT, Airborne Experiment for Soil Moisture Retrieval using GNSS Reflectometry, EGU General Assembly, Session G5.2 – Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques, EGU2020-16032.
- M. MORENO, M. SEMMLING, G. STIENNE, S. REBOUL, J. WICKERT. Airborne GNSS reflectometry for coastal monitoring of sea state. EGU General Assembly, Session G5.2 – Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques, EGU2020-19944.
- H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. RAAD, G. FAOUR. High-rate GNSS Reflectometry for water body detection using low altitude airborne carrier. IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), Online, September 2021, pp 9-12.
- W. KOUASSI, G. STIENNE, S. REBOUL. Theoretical Study of the Carrier-Phase GNSS-R Altimetry Accuracy. IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), Online, September 2021, pp 13-16.
- M. MORENO, M. SEMMLING, G. STIENNE, W. DALIL, M. HOQUE, J. WICKERT, S. REBOUL. Coastal monitoring of sea state using airborne GNSS reflectometry. IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), Online, September 2021.
- G. STIENNE, M. MORENO, M. SEMMLING, S. REBOUL, J. WICKERT, Airborne system for coastal sea state estimation using GNSS-Reflectometry. In EGU General Assembly Conference Abstracts. Online. April 2021.
- H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. SEMMLING, M. RAAD, G. FAOUR, AND J. WICKERT, High-rate GNSS Reflectometry Estimates for Airborne Soil-moisture Detection, EGU General Assembly, Session G5.2 – Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques, EGU21-11577, Online. April 2021.

Articles :

- J-C KUCWAJ, S. REBOUL, G. STIENNE, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Circular Regression Applied to GNSS-R Phase Altimetry, Remote Sensing. 2017; 9(7):651.
- M. SEMMLING, A. RÖSEL, D. DIVINE S. GERLAND, G. STIENNE, S. REBOUL, M. LUDWIG, J. WICKERT, H. SCHUH, 2019. Sea-Ice Concentration Derived From GNSS Reflection Measurements in Fram Strait, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 57(12), p. 10350-10361.
- Kouassi, H. K. W., Issa, H., Stienne, G., & Reboul, S. (2021). A linear circular regression estimate for data fusion: Application to GNSS carrier-phase signal processing. Digital Signal Processing, 117, 103172
- H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. SEMMLING, M. RAAD, G. FAOUR, J. WICKERT, A probabilistic model for on-line estimation of the GNSS carrier-to-noise ratio, Signal Processing, Volume 183, 2021.
- Issa, H., Stienne, G., Reboul, S., Raad, M., & Faour, G. (2022). Airborne GNSS Reflectometry for Water Body Detection. Remote Sensing, 14(1), 163.

Effet levier

- Collaboration Franco-Allemande (LISIC-GFZ) « SeaStaD (Sea State Detection)» Observation aéroportée par réflectométrie GNSS. Fonds du GFZ en soutien à MARCO : 16 k€. 2019.
- BQR ULCO « Etude et mise en œuvre d'un instrument de réflectométrie GNSS pour la surveillance des zones inondables par drone ». Fonds en soutien à MARCO : 19.5k€. 2017-2018.
- CPER IDEAL

Action 6.3 Modélisation expérimentale

Participants

Responsable : Grégory Germain

Permanents : Benoit Gaurier, Jean-Valéry Facq,

Doctorants : Camille Choma-Bex, Guillaume Fasse, Martin Trasch, Maria Ikhennicheu, Benoit Gaurier, Maëlys Magnier, Martin Moreau,

Résumé des activités

Le bassin à houle et courant de l'Ifremer à Boulogne-sur-Mer est utilisé pour étudier le comportement d'engins sous-marins soumis à l'action d'un courant et/ou de la houle. Les dimensions de la section d'essais et son instrumentation associée en font un outil performant pour de nombreuses applications (structures offshore, engins remorqués, dispositifs de récupération d'énergies marines renouvelables). Ce moyen d'essais unique est intégré au sein de l'Infrastructure de recherche nationale THEOREM, appelée à devenir à terme la contribution française à l'infrastructure européenne Marinerg-i. Il est régulièrement mis en œuvre dans le cadre de travaux de thèses dédiés aux EMR (co-financés Région), de projets européens et nationaux.

Ces infrastructures expérimentales doivent être adaptées aux contraintes et exigences spécifiques liées aux nouvelles technologies. Pour satisfaire au mieux ses utilisateurs, les fonctionnalités du Bassin d'essais à houle et courant du Centre Manche/Mer du Nord de l'Ifremer doivent régulièrement être maintenues et étendues afin d'offrir la possibilité de réaliser des essais dans des conditions de fonctionnement les plus réalistes et répétables possibles.

L'extension des capacités d'essais réalisée dans le cadre de ce CPER a permis de mener à bien un certain nombre de travaux dont :

- les travaux de thèses portant sur le développement des systèmes de récupération des énergies marines renouvelables ;
- les projets nationaux : ANR/FEM OMDYN2 et STHYF ;
- projets européens : Interreg 2 Seas Met-Certified, H2020 Marinet 2 et RealTide.

Equipements acquis

Faux plancher : La programmation 2 du CPER Marco a permis de remplacer le tapis roulant (existant depuis 1990) par un faux plancher modulaire permettant l'intégration d'instrumentation en paroi et de points d'ancrage modulables. Cette extension a été utilisée dans de nombreux projets (H2020 Marinet 2 et RealTide ; thèses de M. Ikhennicheu et B. Gaurier ; Interreg ENDURE) et valorisée au travers d'articles scientifiques.

LDV 3C : La programmation 3 a été consacrée au développement d'un système de vélocimétrie laser trois composantes qui permet de quantifier finement la turbulence du milieu, en amont ou dans le sillage des dispositifs testés (calcul complet du tenseur de Reynolds).

Systèmes de positionnement : La programmation 4 a permis d'équiper les deux passerelles de déploiement du bassin d'un système de positionnement dynamique deux axes de grande précision. Les deux ensembles ainsi développés permettent le déploiement des mats de mesure LDV et PIV et leur positionnement millimétrique sur l'ensemble de la section d'essais. Les systèmes LDV 3C et PIV ont ainsi pu être utilisés de façon intensive, notamment pour caractériser l'écoulement autour d'obstacle représentant des variations bathymétriques et de mieux quantifier les échanges d'énergie ayant lieu dans le sillage de l'obstacle (travaux de thèse de Maëlys Magnier et Benoit Gaurier), mai également pour caractériser le sillage d'hydrolienne (travaux de thèse de Martin Moreau).

Baie d'acquisition de données : La programmation 5 a permis d'équiper le bassin d'essais d'un deuxième système d'acquisition de données expérimentales qui permettra d'optimiser le plan de charge du bassin et de permettre la préparation en amont des maquettes instrumentées.

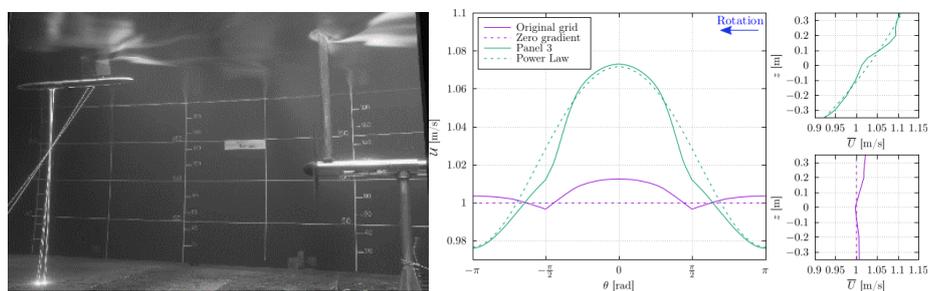


Figure 6.3.1 Essais d'interaction du mat avec le rotor d'une hydrolienne (à gauche) et variation angulaire de la vitesse perçues par les pales (à droite)

Travaux réalisés

Modélisation d'hydrolienne

L'une des principales difficultés auxquelles le développement des hydroliennes en mer doit encore faire face est la diversité et la complexité des conditions d'écoulement rencontrées. Le déploiement et la survivabilité de ces technologies sont fortement dépendants de la connaissance et de la caractérisation des conditions de fonctionnement particulièrement sévères. Les travaux menés à l'Ifremer, notamment via la thèse de M. Magnier, vise à représenter ces écoulements à l'échelle du laboratoire afin de mieux les appréhender et d'observer leurs effets sur des maquettes instrumentées. Les dernières campagnes d'essais qui ont eu lieu au bassin à houle et courant de l'Ifremer avaient pour objectif de :

- développer un dispositif permettant de modifier le profil vertical de vitesse dans la colonne d'eau et ainsi reproduire les profils rencontrés sur les principaux sites hydroliens français,
- étudier l'effet de la couche limite et de la houle sur la dynamique des détachements tourbillonnaires générés par des variations bathymétriques, représentatives de celles observées in-situ.

Les nombreux résultats obtenus dans le cadre de ce projet ont permis d'améliorer notre compréhension des phénomènes d'interaction entre les hydroliennes et les variations d'écoulements engendrées par la turbulence, la houle et les variations de bathymétrie. Ces travaux sont valorisés à travers notre implication dans de nombreux projets et partenariats, pour lesquels nous mettons en œuvre les outils et procédures de mesures développés dans ces

travaux de recherche amont. La maquette de l'hydrolienne tri-pales à axe horizontal développée au laboratoire a été soumise aux conditions d'écoulement cisailé décrites ci-dessus. Les résultats obtenus ont permis de montrer que les variations de vitesse perçues par le rotor ont des effets non négligeables sur les efforts subis par les pales et pourraient avoir, à termes, des conséquences sur leur durée de vie ([figure 6.3.1](#)).

Toujours dans l'objectif de promouvoir l'essor de la filière des Énergies Marine Renouvelables, une étude expérimentale a été menée en partenariat avec l'École Centrale de Nantes, dans le cadre des activités de recherche de l'infrastructure TheoREM. Le but de ce projet visait à caractériser l'effet de la proximité du mat d'une hydrolienne sur le comportement dynamique du rotor. Des études similaires avaient déjà été réalisées pour les éoliennes, mais jamais encore sur des hydroliennes. Les résultats obtenus permettent d'avoir une meilleure connaissance et compréhension des variations d'efforts subies par les pales, mais également des performances de la machine. Ces études sont basées sur l'utilisation intensive de nouveaux systèmes de mesures lasers tels que la LDV 3C et la PIV 2C, acquis dans le cadre du CPER MARCO. L'ensemble de ces études est coordonné avec les travaux menés au travers les projets en lien avec cette thématique, notamment les projets Marinet 2, RealTide, HydroQuest...

D'un point de vue numérique, la poursuite des travaux de recherche sur ce même sujet, en partenariat entre l'Ifremer et le LOMC, a permis de continuer le développement du code de calcul 3D Dorothy. Ce code utilise la méthode Vortex particulaire, qui offre un bon compromis entre réalisme physique et temps de simulation. L'impact de la turbulence ambiante a été introduit avec l'utilisation d'une méthode synthétique de la turbulence, adaptée à une utilisation lagrangienne. Cette méthode permet la représentation de l'interaction des sillages et la production de puissance au sein d'une ferme d'hydrolienne. Les pales des hydroliennes modélisées sont également, à présent, fidèlement reproduites numériquement. Ces travaux ont été présentés lors de la soutenance de thèse de Camille Choma-Bex.

Les travaux numériques seront poursuivis avec le démarrage, en septembre 2022, d'une nouvelle thèse sur la continuité de ce sujet, toujours en relation avec les essais expérimentaux réalisés au bassin. La thèse de M. Magnier, intitulée « Caractérisation expérimentale de la turbulence régie par les courants de marées, en présence d'onde de surface et d'obstacles » conduira également à de nouveaux essais au bassin, avec l'introduction de la houle et de l'effet de son interaction avec le courant et la turbulence, générée par un obstacle de fond.

Partenariat HYDROQUEST

La startup HYDROQUEST est devenue en quelques années un des leaders européens dans le domaine des EMR avec de nombreuses phases de développement sur leur prototype d'hydrolienne à axe vertical. L'équipe du bassin à Houle et courant de l'Ifremer travaille en partenariat avec HYDROQUEST dans le cadre de la thèse de Martin MOREAU. Ses études portent sur la comparaison de données de mesures issues du démonstrateur échelle 1 de Paimpol-Bréhat (sorti de l'eau en septembre 2021 après 20 mois d'essais en mer) avec celles de la maquette échelle 1/20 spécialement réalisée pour cette thèse et testée en bassin. A terme, ces travaux doivent permettre de statuer sur le degré de confiance que l'on peut accorder au passage à l'échelle 1 de l'hydrolienne en termes de performances. Dans le même temps l'équipe HYDROQUEST développe et teste la version 2 de leur hydrolienne afin lancer un projet (ADEME) de plus grande ampleur qui verra l'implantation d'une ferme de 7 démonstrateurs sur un site « test ».

Après avoir validé le bon fonctionnement en conditions opérationnelles, l'hydrolienne à échelle réelle déployée depuis plus de 20 mois sur le site de Paimpol-Bréhat a été sortie de l'eau afin de

faire le bilan sur les performances de la machine mais aussi un bilan structurel durant cette période test. Depuis, HydroQuest optimise la conception de son hydrolienne afin de réduire les coûts. Les performances de la nouvelle génération de machine seront améliorées, tout en réduisant significativement la masse, et donc les coûts de fabrication et d'installation associés. Ainsi, un nouveau design a été testé en bassin à l'échelle 1/20 afin de caractériser le comportement de la machine pour des conditions de fonctionnement sévères (houle, turbulence). Les résultats obtenus permettent de quantifier les gains obtenus via le processus d'optimisation développé par les équipes de R&D d'HydroQuest. Ce type d'essais permet de valider de manière fiable les différents choix techniques de design d'une machine industrielle. Parallèlement, la maquette échelle 1/20 de la version 1 de l'hydrolienne, réalisée dans le cadre de la thèse de Martin MOREAU, a livré tous ses secrets lors d'une longue période d'essais en bassin en fin d'année 2021 ([figure 6.3.2](#)). Les performances et le sillage de la machine pourront ainsi être analysés pour un nombre important de configuration d'essais (courant seul, incidence, en présence de houle, en présence d'un gradient vertical de vitesse...).

Les comparaisons des résultats entre l'échelle 1/20 et l'échelle réelle sont en cours de traitement et seront finalisées courant 2022. Un article intitulé : *Sea states influence on the behavior of a bottom mounted full-scale twin vertical axis tidal turbine*, M. Moreau, G. Germain, G. Maurice, A. Richard a été soumis début 2022 à *Ocean Engineering* et les résultats expérimentaux seront présentés en conférence (RENEW 2022 ou Journées de l'Hydrodynamique 2022).

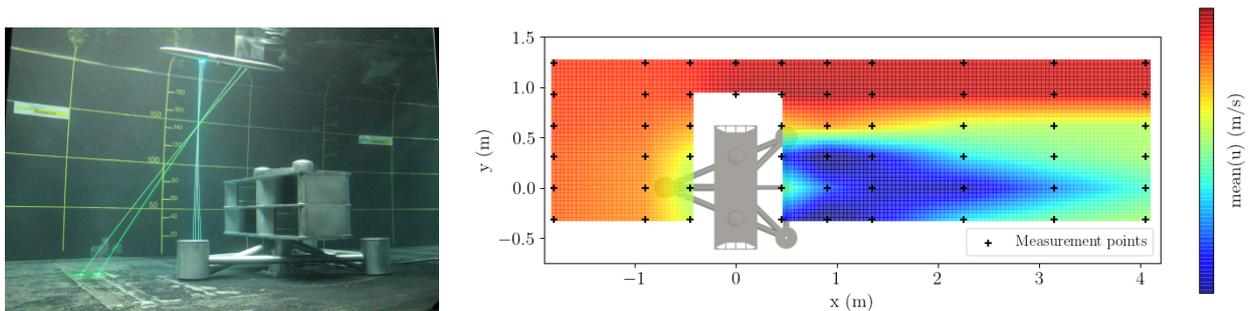


Figure 6.3.2 Caractérisation du sillage de l'hydrolienne HydroQuest par vélocimétrie laser 3C

Projet ANR-FEM OMDYN2

Les configurations de câbles dynamiques pour l'éolien offshore (partie non posée des câbles de transport de l'énergie entre une unité de production EMR flottante et une boîte de jonction posée sur le fond) font apparaître des contraintes différentes de celles de l'offshore pétrolier. Ces différences nécessitent de vérifier les outils de modélisation et de comprendre les sensibilités de la configuration du câble en fonction du système et des paramètres environnementaux (fortes rugosités dues aux concrétions marines ; paramètres de houle et de courant). Le projet OMDYN2, démarré en janvier 2018 vise à répondre à ces objectifs. Le Laboratoire Comportement des Structures en Mer de l'Ifremer est impliqué dans la prise en compte du biofouling et responsable de la caractérisation expérimentale du comportement hydrodynamique des câbles en bassin ([figure 6.3.3](#)).

Le projet est terminé. Il sera intéressant de monter un nouveau projet pour étudier les effets tridimensionnels, les effets d'échelle (Reynolds) et caractériser l'écoulement autour des rugosités. La prise en compte d'autres types de bio-colonisation (balanes, algues...) est également à envisager. Un papier de synthèse a été soumis à *Ocean Engineering* : *Experimental comparative study of two kinds of hard marine growth effects on the hydrodynamical behaviour of a cylinder submitted to wave and current solicitations*. A. Marty, F. Schoefs, G. Damblans, J-V. Facq, B. Gaurier, G. Germain.

Les campagnes d'essais réalisées dans le cadre de ce projet ont permis d'étudier de nombreuses configurations, notamment pour différents stades de développement de moule et différents types de répartition sur la longueur du cylindre. Ainsi, nous avons pu quantifier l'impact de la présence de biofouling sur les efforts hydrodynamiques transverses d'un câble dynamique colonisé dans le courant (écoulement stationnaire) et/ou la houle (écoulement oscillant). Les résultats obtenus ont permis d'identifier la nécessité de prendre en compte la surface projetée et le volume réel de la structure colonisée pour une bonne estimation des efforts. Ces résultats ont été agrégés avec les résultats issus de campagnes Total réalisées en 2013 avec des coraux d'eaux chaudes.

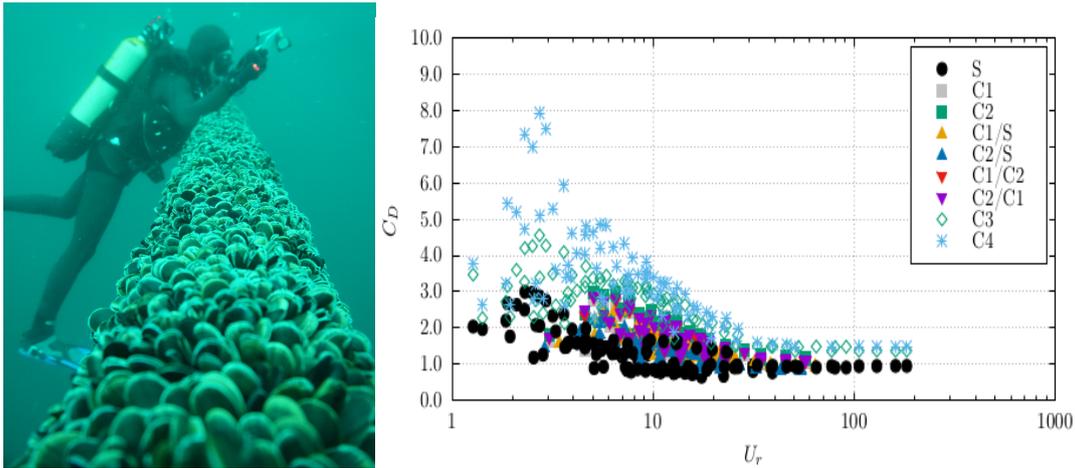


Figure 6.3.3 Colonisation d'une ligne d'ancrage par des moules en Atlantique (à gauche) et impact de la colonisation sur le coefficient de trainée en fonction de la vitesse réduite (à droite).

Partenariat Ecole Navale Brest

L'IRENav s'intéresse depuis de nombreuses années aux propulseurs à axes transverses et a conçu une plateforme expérimentale SHIVA (Système Hydrodynamique Intelligent à Variation d'Angle), largement instrumentée, de grande dimension (0,8m de diamètre), qui permet de générer toutes les formes de cinématiques par le biais de moteurs électriques auxiliaires indépendants qui assurent le calage instantané de chacune des pales autour de leur axe de rotation situé au quart de corde, synchronisés sur le moteur électrique principal. Ce genre de rotor présente une cinématique de pales très originale mais complexe en termes d'optimisation. En effet, pour les deux modes de fonctionnement (épicycloïdaux et trochoïdaux), la loi de calage dépend à la fois du paramètre d'avance (rapport de la vitesse périphérique sur la vitesse d'avance), des paramètres géométriques (profil et allongement des pales, solidité, i.e. rapport entre la surface des pales et celle balayée par les pales) et de la stratégie souhaitée : maximisation de l'effort propulsif, du rendement ou autre.

Les derniers essais, réalisés dans le cadre de la thèse de Guillaume Fasse, ont servi à valider une procédure d'optimisation expérimentale pour deux points de fonctionnement du propulseur académique. Les figures 6.3.4 montrent la recherche du jeu de paramètre optimal permettant de générer la loi de mouvement des pales qui maximise l'effort propulsif et le rendement hydrodynamique. Une recherche de compromis poussée/rendement est également menée par la détermination du front de Pareto. Les résultats sont très encourageants car ils montrent que pour les points de fonctionnement étudiés, la loi de pale optimale permet d'améliorer nettement les performances du système, à la fois en termes de poussée et de rendement. Les lois de pale sinusoïdale utilisées sur les propulseurs à axe vertical traditionnels pourront être

supplantées par ces nouvelles cinématiques. Les résultats obtenus en 2021 indiquent des possibilités d'amélioration importantes et inédites sur le plan du rendement hydrodynamique.

Les développements seront poursuivis pour établir des lois de calage, pour les modes épicycloïdaux et trochoïdaux, maximisant l'effort propulsif et le rendement par une double approche numérique / expérience, et d'autre part s'intéresser aux méthodes d'apprentissage par renforcement (RL) afin d'optimiser les performances du propulseur à axe transverse et son pilotage par l'adaptation de la loi de calage à partir du retour des efforts sur les pales. Des projets sont en cours de montage pour aller dans ce sens. Les résultats expérimentaux obtenus en 2021 seront présentés en conférence (Multi-objective experimental optimization of a marine cycloidal propeller, G. Fasse, F. Hauville, M. Sacher, G. Germain, JA. Astolfi, CFM 2022) et Guillaume Fasse soutiendra sa thèse courant 2022.

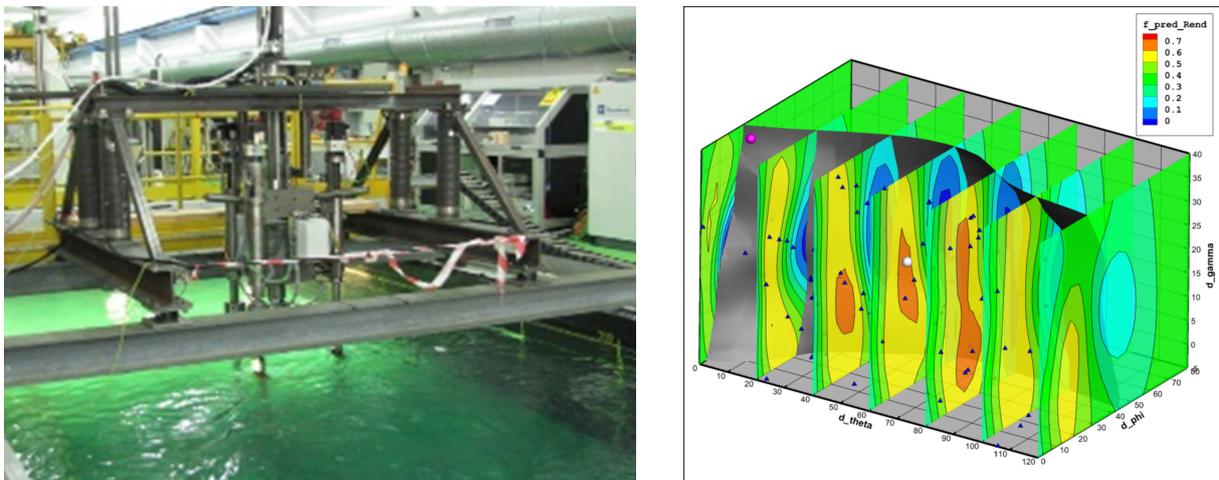


Figure 6.3.4 Prototype SHIVA dans le bassin d'essais d'Ifremer (à gauche) et recherche du rendement hydrodynamique optimal (à droite).

Bilan

L'ensemble des résultats obtenus (base de données expérimentales, outils et processus d'acquisition et de traitement de données, connaissances des phénomènes physiques rencontrés dans les sites à forts courants, publications) montre que la modélisation expérimentale reste incontournable pour l'optimisation des performances et l'amélioration de la fiabilité des systèmes hydrodynamiques. La reproduction des conditions de fonctionnement parfaitement maîtrisées et répétables permet une compréhension et une connaissance fines de la réponse des structures et systèmes soumis à l'action de l'environnement marin. L'utilisation de moyens expérimentaux dédiés est indispensable pour valider le développement d'instrumentation, de systèmes industriels complexes et d'outils de modélisation numériques. Les développements de l'infrastructure d'essais seront poursuivis dans le cadre du CPER IDEAL afin de conserver en Région Hauts de France un équipement de pointe.

Valorisations

Présentations dans des conférences internationales et nationales :

- Magnier, M.**, P. Druault, **B. Gaurier, G. Germain**, Comparison of bathymetry variation effects on tidal turbine behaviour, 17e Journées de l'Hydrodynamique, Cherbourg, 2020.
- Marty, A., G. Damblans, **JV. Facq, B. Gaurier, G. Germain**, N. Germain, J. Harris, A. Maison, C. Peyrard, N. Relun, Experimental investigation of the seabed roughness effect on the hydrodynamical behavior of a submarine cable under current and wave conditions, 17e Journées de l'Hydrodynamique, Cherbourg, 2020
- Marty, A.**, C. Berhault, G. Damblans, **JV. Facq, B. Gaurier, G. Germain**, T. Soulard, F. Schoefs, Marine growth effect on the hydrodynamical behavior of a submarine cable under current and wave conditions, 17e Journées de l'Hydrodynamique, Cherbourg, 2020.
- Gaurier, B., G. Germain, JV. Facq**, A first step to determine transfer function of a tidal turbine from experimental trials, EWTEC 2021.
- Magnier, M. G. Germain, B. Gaurier**, P. Druault, Boundary layer effects on a bottom mounted square cylinder load and wake variations, EWTEC 2021.
- Martinez, R., S. Ordonez-Sanchez, **B. Gaurier, JV. Facq, G. Germain**, C. Johnstone, I. Santic, F. Salvatore, T. Davey, C. Old, B. Sellar, MaRINET2 – Round Robin tests : blade loading, EWTEC 2021.
- Moreau, M., G. Germain**, G. Maurice, A. Ricard, R. Coquet, HydroQuest: Feedback from Paimpol-Bréhat and validation of the design method, EWTEC 2021.

Articles :

2019

- Ikhennicheu M., G. Germain**, P. Druault, **B. Gaurier**. Experimental investigation of the turbulent wake past realistic seabed elements for velocity variations characterization in the water column, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 78, 108426, 2019.

2020

- C. Carlier, G. Germain, B. Gaurier**, G. Pinon, E. Rivoalen. Three tidal turbines in interaction: an experimental study of the turbulence intensity effects on wake and turbine performances. *Renewable Energy*, 148, 1150-1164, 2020.
- B. Gaurier, M. Ikhennicheu, G. Germain**, P. Druault. Experimental study of bathymetry generated turbulence on tidal turbine behaviour. *Renewable Energy*, 156, 1158-1170, 2020.
- B. Gaurier, C. Carlier, G. Germain**, G. Pinon, E. Rivoalen. Three tidal turbines in interaction: An experimental study of turbulence intensity effects on wakes and turbine performance. *Renewable Energy*, 148, 1150-1164, 2020.
- B. Gaurier**, S. Ordonez-Sanchez, **JV. Facq, G. Germain**. MaRINET2 tidal energy round robin tests: performance comparison of a horizontal axis turbine subjected to combined wave and current conditions, *Journal of Marine Science and Engineering*, 8, 463, 2020.
- B. Gaurier, M. Ikhennicheu, G. Germain**, P. Druault. Experimental analysis of the shear flow effect on tidal turbine blade root force from 3D flow reconstruction, *Philosophical Transaction Roy. Soc. A*, 378, 2020.
- M. Ikhennicheu, B. Gaurier, G. Germain**, P. Druault. Turbulent kinetic energy budget in a wall-mounted cylinder wake using PIV measurements, *Ocean Engineering*, 210, 107582, 2020.

2021

- M. Magnier**, P. Druault, **G. Germain**. Experimental investigation of an upstream cube effects on the wake of a wall-mounted cylinder: wake rising reduction, TKE budget and flow organization, *European Journal of Mechanics – B/Fluids*, 87, 92-102, 2021.
- R. Martinez, **B. Gaurier**, S. Ordonez-Sanchez, **JV. Facq, G. Germain**, C. Johnstone, F. Salvatore, I. Santic, T. Davey, C. Old, B. Sellar. Tidal Energy Round Robin Tests: A comparison of flow measurements and turbine loading, *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 4, 425, 2021.
- A. Marty**, F. Schoefs, T. Soulard, C. Berhault, **JV. Facq, B. Gaurier, G. Germain**. Effect of roughness of mussels on cylinder forces from a realistic shape modelling, *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 598, 2021.

A. Marty, C. Berhault, G. Damblans, **JV. Facq**, **B. Gaurier**, **G. Germain**, T. Soulard, F. Schoefs. Experimental study of hard marine growth effect on the hydrodynamical behaviour of a submarine cable, *Applied Ocean Research*, 114, 102810, 2021.

M. Slama, G. Pinon, C. El Hadi, M. Togneri, **B. Gaurier**, **G. Germain**, **JV. Facq**, J. Nuño, P. Mansilla, E. Nicolas, J. Marcille, A. Pacheco. Turbine design dependency to turbulence: an experimental study of three scaled tidal turbines, *Ocean Engineering*, 234, 109035, 2021.

2022

P. Druault, **B. Gaurier**, **G. Germain**. Spatial integration effect on velocity spectrum: Towards an interpretation of the $-11/3$ power law observed on the spectra of turbine outputs, *Renewable Energy* 181, 1062-1080, 2022.

Sous presse

P. Druault, **G. Germain**, Prediction of the tidal turbine power fluctuations from the knowledge of incoming flow structures, *Ocean Engineering*, sous presse.

M. Magnier, N. Delette, P. Druault, **B. Gaurier**, **G. Germain**, Experimental study of the shear flow effect on tidal turbine loading variation, *Renewable Energy*, sous presse.

Effet levier :

CPER IDEAL, partenariats industriels.

IV. Synthèse et apport du projet MARCO

L'ensemble des travaux décrits ci-dessus montrent clairement la richesse et la diversité des sujets mis en œuvre mais aussi le décloisonnement qui a pu se produire entre différentes équipes de recherche en région qui ont pu pour la première fois travailler en complémentarité et envisager de futures collaborations au-delà du projet MARCO, et capitaliser sur les acquis pour permettre de nouveaux projets et progresser dans la connaissance.

Renforcement de l'infrastructure de recherche par l'acquisition d'équipements structurants

De nombreux équipements ont pu être acquis à travers ce projet venant alimenter et renforcer progressivement les différents plateaux transversaux identifiés, pour lesquels certains équipements structurants ont apporté une plus-value majeure dans le déroulement des actions.

Les gros équipements acquis sont listés ci-dessous.

Cytomètre en flux Fluorimètre FRRF Caméra hyperspectrale Spectromètre Analyseur élémentaire Auto analyseur de nutriments HPLC Chaîne d'acquisition sismique	Programmation 1
Système Eddy covariance Microcapteurs Partie microélectrodes Granulomètre laser Cytomètre Liatroscan Spectro RAMAN Séquenceur Analyseur de cellules Chromatographe Drone Vélocimétrie pour mesures de vitesse de courants	Programmation 2
Système d'acquisition et analyse Analyseur DIC Macroscopie apotome Colleuse de lamelles PCR 384 puits Système bathymétrique Instrumentation laser	Programmation 3
Spectro imageur aéroporté Coulter pour mesures 16 incubateur sondes	Programmation 4

Géoradar Système de positionnement laser	
Complément RAMAN Orbitrap Refonte système de contrôle	Programmation 5

Renforcement des ressources humaines dédiés aux travaux de recherche du projet MARCO et pérennisation des emplois

L'ensemble de ces équipements a été mis à disposition des équipes impliquées dans MARCO et a permis aux doctorants, post-doctorants et scientifiques plus largement de bénéficier de matériels de haute technicité permettant la réalisation d'analyses approfondies et/ou d'observations spécifiques du milieu marin et de son environnement. C'est ainsi que, même si le projet MARCO ne finance pas de directement de doctorants, de nombreux sujets de thèse ont accompagné le projet et ont bénéficié des nouveaux équipements acquis durant la période. L'annexe 2 fait le bilan des travaux de thèse associés à Marco soutenus durant la période ainsi que ceux qui sont en cours de réalisation. Nous avons ainsi comptabilisé près de **50 thèses accompagnant le CPER MARCO**, dont 24 thèses qui se déroulent et soutenues entre février 2018 à avril 2022 et 25 thèses en cours de réalisation, qui se répartissent sur l'ensemble des thématiques de chacun des axes.

De plus, dans le cadre de cette programmation, le soutien financier de la Région permettant le recrutement de post-doctorants et techniciens contractuels est un point essentiel pour le bon déroulement des travaux utilisant des appareillages et équipements de pointe nécessitant une technicité et une connaissance appropriée. C'est ainsi que les post-doctorants et techniciens sont venus renforcer les équipes de scientifiques permanents dans l'ensemble des laboratoires des établissements partenaires et accompagner les travaux réalisés dans le cadre de cette programmation. (Annexe 1). Une quarantaine de contrats CDD techniques et environ 25 post-doc ont contribué aux travaux de recherche réalisés dans le cadre du projet MARCO.

Par ailleurs, certains de ces contrats ont pu être pérennisés dans le temps permettant alors de renforcer et consolider les équipes de chercheurs. Le tableau ci-dessous permet de récapituler l'ensemble des contrats et les niveaux d'emplois qui ont pu être pérennisés durant la période :

CDD MARCO		CDI		
Nom	Nature CDD MARCO	Date du CDI	Institution	Emploi
Thomas Brauge	Post-doc 2017-2018	01/05/2018	Anses Boulogne	Chercheur
Sarah Guilbaud	Post-doc en 2019	01/07/2019	ATMO Hauts de France	Ingénieure
Fabien Lebon	Technicien 2018-2019	01/08/2019	Ifremer Boulogne	Technicien
Florian Cesbron	Post-doc 2019	01/09/2019	Intechmer Cherbourg	Maître de conférences
Max. Semmling	Post-doc 2018	01/03/2020	DLR (Allemagne)	Chercheur
Yan-Ju Pan	Post-doc 2018-2019	01/09/2020	Nat. Taiwan Ocean University	Assistant Professor
Guillaume Wacquet	Post-doc 2016-2017	07/09/2020	Ifremer Boulogne	Ingénieur/expert
Kalef Rahbi	IE en 2019	01/12/2020	Sécurité sociale	Employé
Roxane Roquigny	Post-doc 2018 à 2020	30/12/2020	ULCO	Maître de conférences
Guillaume Lescoute	Technicien 2020-2021	30/12/2021	Ifremer Boulogne	Technicien

Renforcement de la visibilité en Région, valorisation, attractivité...

Tout au long des six années du projet, un effort important a été poursuivi pour mettre en valeur les actions de recherche menées dans le cadre du projet MARCO et la valorisation des travaux à travers la présentation de résultats originaux au cours de conférences nationales ou internationales, la publication d'articles scientifiques dans des revues à comité de lecture, la vulgarisation auprès du grand public dans le cadre d'évènements spécifiques organisés en Région. Par ailleurs, il est certain que d'autres actions de valorisation interviendront après la fin du projet, notamment la publication d'articles scientifiques dans les revues à comité de lecture.

Le tableau ci-dessous apporte une synthèse des actions de valorisation sous différentes formes et permet de visualiser l'impact global, avec par exemple une **150 articles publiés** dans des revues à comité de lecture ou des ouvrages, plus de **400 présentations** à des conférences internationales, nationales ou groupes de travail, et **10 campagnes à la mer** organisées.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Articles dans des revues à comité de lecture		8	11	24	45	30	8	126
Ouvrages et articles dans des livres		8	7		6	4		25
Présentations orales internationales	11	36	25	27	12	35	2	148
Présentations orales nationales	11	18	11	30	4	37		111
Présentations groupe de travail	1	24	24	16	8	7	1	81
Présentations sous forme de poster	5	16	14	15		9		59
Communication vers le public	2	5	3	4		1		15
Campagnes à la mer	1	4	4	1				10

Le rayonnement scientifique et l'impact du projet MARCO se mesure aussi par l'intermédiaire de l'ensemble des autres projets de recherche qui ont découlés directement ou indirectement des actions MARCO menées et des équipements acquis au cours de la période. C'est ainsi que de très nombreux projets de recherche en réponse aux appels régionaux, nationaux et internationaux ont été conduits durant la même période tels que mentionnés en annexe.

On peut noter plusieurs **projets européens** (JERICO-Next, Marinet 2, projets INTERREG), des projets **ANR** (MoBYDICK, MANA, RhiCycle, COE-COAST), de nombreux projets CNES, Ifremer, CNRS, AFB, FEAMP, régionaux, nationaux, et puis bien entendu, la continuation du CPER MARCO sous la forme du **CPER IDEAL** à venir.

V. Conclusion générale

L'ensemble des travaux présentés et menés durant la période du projet MARCO montre clairement une avancée significative dans l'acquisition de connaissances fondamentales et appliquées dans le domaine des recherches sur le milieu marin et ses produits adaptées à la situation régionale des Hauts de France. Les acquisitions d'équipements stratégiques et partagés sur les plateaux transversaux durant l'ensemble des programmations avec le soutien financier de fonctionnement aussi bien en ressources humaines qu'en consommables ont permis une montée en puissance des travaux de recherche et de la production associée à travers les présentations dans les colloques nationaux et internationaux, ainsi que la publication d'articles dans des revues scientifiques à comité de lecture.

Le déploiement de ces équipements et l'ensemble du soutien au fonctionnement ont ainsi été mis à profit dans le cadre des actions programmées par MARCO mais aussi dans le cadre d'autres travaux financés par d'autres voies qui se révèlent être complémentaires ou préliminaires aux actions en cours de réalisation. C'est ainsi que certains projets arrivent en soutien aux actions menées dans le cadre du projet CPER, qui a pu exercer également un effet levier sur de très nombreux projets en cours de réalisation ou à venir (Annexe 4).

En conclusion, les équipements financés dans le cadre de ce projet CPER viennent compléter et enrichir les plateaux transversaux initiaux, qui se sont constitués progressivement avec les équipements de la première et de la deuxième programmation. L'opération ainsi réalisées apporte donc une offre technologique augmentée permettant à l'ensemble des équipes de disposer d'un parc d'équipements diversifiés et adaptés à leurs travaux de recherche et permettant d'initier de nouveaux projets compétitifs. Ces équipements ont permis la réalisation de certaines actions menées dans le cadre de MARCO qui apportent une attractivité régionale importante et un rayonnement au niveau national et international, permettant aux chercheurs de se positionner sur des appels à projets en cours et futurs, faisant état de leurs compétences et connaissances en termes d'expériences analytiques et d'observation du milieu marin, de la ressource halieutique et de l'ensemble des produits aquatiques.

Annexe 1 : Personnels MARCO

Post-doctorats accompagnant le projet

Début en 2016

Wacquet, Guillaume (2016-2017) Amélioration de l'étude et du suivi des espèces phytoplanctoniques dominantes dans la Manche orientale, en focalisant à la fois sur les petites cellules et les espèces coloniales, UMR LOG, Allocation Jeunes Chercheur Région Hauts de France, action 1.1, encadrement **F. Artigas**.

Début en 2017

Brauge, Thomas (1/3/2017-15/3/2018, 12.5 mois), MARCO. LSA Anses, IR action 4.1.

Wacquet, Guillaume (2017-2019) : Convention MTES-CNRS pour la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM, Habitats Pélagiques, Descripteur 1, action 1.1 LOG ULCO, encadrement F. Artigas.

Début en 2018

Dezecache, Camille (26/3/2018-13/7/2018, 3.5 mois), **action 1.1, LISIC** encadrement **E. Caillault**

Dezecache, Camille (16/8/2018-14/2/2020, 18 mois), action 1.1, **Ifremer LER BL**, encadrement **A. Lefebvre**

Diop, Mamdou (13/3/2018-13/9/2019, 18 mois), MARCO. UMR LOG, IE action 3.1, encadrement **R. Amara**.

Gómez, Fernando (01/2018-07/2019), Convention MTES-CNRS pour la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM, Habitats Pélagiques, Descripteur 1, action 1.1 LOG-CNRS, encadrement **F. Artigas**

Pan, Yan Ju (1/6/2018-31/7/2019, 14 mois) Valorisation scientifique des acquis de MARCO et d'autres projets financés par la région (comme COPEFISH). Implication dans le lien entre les axes 3 (action 3.1) et 4 autour des problématiques liées aux copépodes. Contribution à la planification et réalisation des expérimentations interdisciplinaires sur les micro-algues, copépodes et larves de poissons. Encadrement, **S. Souissi**.

Roquigny, Roxane (1/9/2018-03/09/2020, 24 mois) Suivi temporel de la flore bactérienne totale dans des bassins d'aquaculture par séquençage haut débit, Unité BPA, Post-doc MARCO action 4.2, encadrement **P. Doyen, C. Le Bris**.

Semmling, Maximilian (1/5/2018-31/10/2018, 6 mois), GNSS réflectométrie, Post-doc MARCO action 6.2, encadrement **S. Reboul**.

Youf, Raphaëlle (15/10/2018 au 31/10/2019) développement d'une puce pour la détection de gènes de résistance aux antibiotiques, chargé de projet action Recomanche 4.1, encadrement **A Brisabois, Anses**

Début en 2019

Cesbron, Florian (1/2/2019-31/08/2019, 7 mois). UMR LOG, post-doc MARCO action 2.1, encadrement **L. Denis**.

Chbib, Chaza (2019-2020). Sujet : Identification et quantification des additifs chimiques aux microplastiques par analyse Pyrolysis-GC/MS.

Cléach, Jérôme (14/1/2019-13/1/2020, 12 mois) : Recherche de marqueurs précoces de différenciation de filets de poisson frais de filets de poisson décongelés. ICV BPA, post-doc MARCO action 4.2. Encadrement **P. Lencel et T. Grad**.

Guilbaud, Sarah (15/3/2019-30/6/2019, 3.5 mois) Turbulence et copépodes, UMR LOG, post-doc MARCO action 1.4, encadrement **F. Schmitt**.

Houliez, Emilie (14/1/2019-13/1/2020, 12 mois), post-doc MARCO action 1.1, encadrement **F. Artigas**.

Sassenhagen, Ingrid (2/1/2019-14/9/2019, 8.5 mois). UMR LOG, post-doc MARCO action 2.3, encadrement **U. Christaki**.

Semmling, Maximilian, GNSS réflectométrie, Chercheur invité ULCO 15 jours, action 6.2, encadrement **S. Reboul**.

Le Quiniou, Clotilde (1/11/2019-30/4/2021, 18 mois) Turbulence et copépodes, UMR LOG, post-doc MARCO action 1.4, encadrement **F. Schmitt**.

Chbib, Chaza (15/05/2019-26/6/2020, 14 mois) Etude de l'impact des microplastiques sur des organismes marins modèles, UMR LOG, post-doc MARCO action 4.4, encadrement **S. Monchy**.

Début en 2020

Hoffer, Corine (10/03/2020 au 30/06/2020) développement d'une puce pour la détection de gènes de résistance aux antibiotiques, chargé de projet action Recomanche 4.1, encadrement **A Brisabois, Anses**

Ito, Maysa (01/07/2020 au 31/12/2021) Variabilité de la production benthopélagique et effet de la pêche sur les communautés de poissons, post-doc MARCO action 2.4, encadrement **R Girardin, P Cresson et G Halouani, Ifremer**.

Juan Valenzuela, Carmen (13/01/2020-01/01/2021, 11.5 mois). Risques sismiques en Manche orientale. Encadrement V. Gaullier.

Kazour, Maria (2020-2021) . Etude des flux de microplastiques au sein des stations d'épuration. Impacts sur les milieux aquatiques

LI, Luen (01/03/2020-31/08/2021, 18 mois) Etude de l'impact des microplastiques sur le microbiote des moules, UMR LOG, post-doc MARCO action 4.4, encadrement **S. Monchy**.

Wacquet, Guillaume (01/07- 15/09/2020) Amélioration approche de classification signaux cytométriques pour la consolidation d'un outils d'analyse automatisé – Projet H2020 JERICO S3, action 1.1, encadrement **F. Artigas**

Début en 2021

Broquard, Coralie (juin 2021 - décembre 2021, 6 mois). Valorisation des travaux sur les expériences de croissance sur les larves d'arénicole (encadrement : S. Gaudron, S.Lefebvre)

Epinoux, Alexandre (mai-décembre 2021). Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle phytoplanctonique par des techniques (semi-)automatisées appliquées à haute résolution spatiale et temporelle dans les écosystèmes marins et côtiers. (direction F. Artigas).

Houlliez, Emilie (janvier 2021 – décembre 2021, 12 mois): Diatomée et turbulence : étude expérimentale (direction: F. Schmitt, U. Christaki).

Issa, Hamza, (2021-2022, 12 mois) : action 6.2, LISIC (direction Serge Reboul).

Laurencin, Muriel (18/01/2021-20/12/2021, 11 mois). Risques sismiques en Manche orientale. Encadrement V. Gaullier.

Mougin, Julia (janvier à octobre 2021, 10 mois). Approches microbiologiques et moléculaires pour lutter contre la vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*). Action 4.2.Direction : T. GRARD.

Tooley, Lola (août 2021 – janvier 2023, 18 mois dont 5 financés par MARCO). Impact du réchauffement climatique sur les premiers stades de vie du merlan et du hareng à partir d'une approche expérimentale. Action 3.2. Encadrement: Carolina Giraldo, Christophe Loots, Kirsteen Mac Kenzie, Kélig Mahé et Paul Marchal.

CDD techniques accompagnant le projet

Début en 2016

Bialais, Capucine (1/12/2016-31/5/2017; 1/2/2018-20/11/2019, 29 mois), MARCO. UMR LOG, AI action 3.1, encadrement S. Souissi.

Didry, Morgane (1/11/2015-31/05/2016, 7 mois), Convention DCE IFREMER-CNRS UMR LOG, AI action 1.1, encadrement F. Artigas.

Début en 2017

Delarbre, Jessica (1/9/2017-31/8/2018, 12 mois), MARCO. UMR LOG, AI action 1.1, encadrement **F. Artigas**.
Dédéker, Claire (01/07/2017-31/08/2017), convention MTES-INSU DCSMM, Vacataire Technique, encadrement **F. Artigas**.
Plouvier, Théophile (11/5/2017-17/05/2019, 24 mois), MARCO. TVES, IE action 5.1, encadrement **C. Rufin-Soler**.
Quiertant, Pauline (1/1/2017-31/12/2019, puis 1/01/2020-30/10/2021 : 36 mois+22 mois), MARCO. Action Animation, UMR LOG, encadrement **F. Schmitt & A. Brisabois**.

Début en 2018

Bruaut, Marie (1/9/2018-14/2/2020, 17.5 mois), MARCO. UMR LOG, IE, action 1.1, encadrement **F. Artigas**.
Dédécker Claire (1/07/2018-31/08/2018, 2 mois), Convention MEST-INSU DCSMM UMR LOG, AI action 1.1, encadrement **F. Artigas**.
Dezecache, Camille (26/3/2018-13/7/2018, 3.5 mois), action 1.1, Ifremer LER, encadrement **E. Caillault**.
Dezecache, Camille (16/8/2018-14/2/2020, 18 mois), action 6.2, LISIC, encadrement **E. Caillault**.
Didry Morgane (1/04/2018-31/08/2018, 5 mois), Convention MEST-INSU DCSMM UMR LOG, AI action 1.1, encadrement **F. Artigas**.
Effner, Morgan (17/9/2018-25/11/2018, 2 mois), MARCO. UMR LOG, IE action 3.1, encadrement **R. Amara**.
Kazour, Maria (1/11/2018-14/1/2019, 2.5 mois), MARCO. UMR LOG, IE action 3.1, encadrement **R. Amara**.
Lancelot, Théo (15/1/2018-14/4/2020, 25 mois), MARCO. La bioénergie et les arénicoles, UMR LOG, IE action 2.4, encadrement **S. Gaudron**.
Lebon Fabien (1^{er} juin 2018-31 mai 2019) : Technicien, Ifremer LRH. Action 3.2 : Préparation d'échantillons en vue d'analyses isotopiques et de contenus stomacaux Encadrement **P. Cresson**
Leprêtre, Marie-Anais (12/2/2018-11/7/2018, 5 mois), MARCO. UMR LOG, IE action 3.1, encadrement **R. Amara**.
Lizzul-Jurse, Matthias (24/5/2018-12/10/2018, 4.5 mois), Technicien, Ifremer LRH.
Rayapas, Nicolas (1/5/2018-31/10/2019, 18 mois), MARCO. UMR LOG, IE action 3.1, encadrement **S. Souissi**.
Skouroliakou, Ioli (15/9/2018-14/8/2019), MARCO. IE. Action 2.3. Encadrement **U. Christaki**.
Soret Méline (1/3/2018-31/12/2020, 34 mois), MARCO. Technicienne. Action 4.2. Encadrement **P. Lencel et T. Gard**.
Trigueros, Sylvain (1/6/2018-31/8/2019, 15 mois), MARCO. LSA Anses, Chargé de projet, action 4.1.
Webb, Hattie (1/7/2018-31/12/2019, 18 mois), MARCO. LSA Anses, Chargé de projet, action 4.1.
Barbier, Michel (6/8/2018-31/08/2019, 12 mois), MARCO. LSA Anses, Chargé de projet, action 4.1.

Début en 2019

Pernak, Michèle (1/1/2019-31/3/2020, 15 mois), IE, action 1.1, UMR LOG, encadrement **F. Lizon**.
Rahbi, Khalef (1/1/2019-31/12/2019, 12 mois), MARCO. UMR LOG, IE action 3.1, encadrement **R. Amara**.
Soret, Méline (2019, 12 mois). AI, Action 4.3, ICV. Encadrement **P. Lencel et T. Gard**.
Talon, Pierre, CDD ingénieur (avril 2019-fev. 2020, 9 mois), action 1.1, encadrement : **E. Poisson Caillault**
Demonchy Amandine (29/11/2019-28/06/2020), IE, action 5.2., encadrement **C. Rufin-Soler**
Veuillot Alicia (01-31/07-2019), Vacataire technique, encadrement **F. Artigas**

Début en 2020

De Cubber, Lola (9/3/2020-13/11/2020, 8 mois), MARCO. La bioénergie et les arénicoles, UMR LOG, IE action 2.4, encadrement **S. Gaudron**.
Foucaut, Timothée (1/10/2020-30/4/2021), IE, actions 5 et 4.4 (microplastiques avec G. Duflos), encadrement **C. Rufin-Soler**

Pericat, Franck (2/1/2020-31/12/2020, 12 mois) contribution au suivi des cultures dans de grandes cuves de copépodes installées dans le local R&D de Nausicaa et participation aux expérimentations sur les copépodes et larves de poissons, UMR LOG, AI action 3.1, encadrement **S. Souissi**.

Lescoute, Guillaume (1/10/2020-30/09/2021, 12 mois) mise en place du plateau expérimentale. Technicien action 3.2. Encadrement **C.Giraldo**.

Début en 2021

Gallot, Clémentine (01/01 au 31/12/2021, 12 mois), MARCO UMR LOG Action 1.1, encadrement **F. Artigas**.

Stages post-bac accompagnant le projet

2016

Gobert E., 2016. « Traitement et participation à l'acquisition de données océanographiques. Découverte d'un laboratoire » Ecole d'Ingénieurs SeaTech, Université de Toulon, janvier-février 2016

Girardeau-Potel Solène, 2016 « Initiation to phytoplankton reference and semi-automated monitoring techniques », étudiante ERASMUS Scottish Association for Marine Science (SAMS), Ecosse, juin-juillet 2016

Dédécker, 2016 « Contribution à l'étude de la dynamique printanière du phytoplancton par des techniques fluorimétriques », 2^e année DUT Génie Biologique ULCO, avril-juillet 2016
Boens A., 2017. « Contribution à l'étude de la dépendance spectrale des microalgues en Manche ». Stage Master 1 BEE-Université Lille, mai-juin 2017.

2017

Boens A., 2017. « Contribution à l'étude de la dépendance spectrale des microalgues en Manche ». Stage Master 1 BEE-Université Lille, mai-juin 2017.

Boricaud, Béatrice (Mars - Août 2017) : "Mise au point et validation d'une méthode d'analyse de microplastiques par Pyrolyse-GC/MS" Stage de Master 2, Université de Poitiers (Encadrement L.Hermabessiere)

Bouchaud F., 2017. « Application de la fluorimétrie au suivi de la distribution du phytoplancton en eaux côtières » Master 1 Sciences de la Mer FOGEM – ULCO (Juin 2017) Encadrement : F. Artigas

Dédécker C., 2017, Stage volontaire participation campagnes océanographiques, L3 SV ULCO, avril et juin 2016. Encadrement F. Artigas

Delarbre J., 2017 « Participation au suivi de la dynamique phytoplanctonique en Manche orientale par des mesures de références et des mesures innovantes », Diplôme d'Étude Universitaire Scientifique et Technique - Technicien de la Mer et du Littoral - Valorisation et Production des Bio-ressources Aquatiques (DEUST 2 TML VBPA) ULCO juin-août 2017. Encadrement F. Artigas

Genu, Mathieu (2017, 6 mois). Relative importance of different mechanisms underlying fish response to climate change. Mémoire de Fin d'Études de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00643/75513/> (encadrement M. Travers-Trolet)

Lepretre A., 2017. Suivi des populations de poissons de la zone intertidale. Stage de DEUST 2, Mars-Juillet 2017.

Menuge B., 2017. « Cartographie des espaces estuariens par télédétection HR et hyperspectrale ». Stage Master 2 FOGEM-Université ULCO-Lille, janvier-juin 2017. Encadrement C. Verpoorter.

Mougin J., 2017. stage de Master 2, dans le cadre du projet SURVIB de janvier à juin 2017

Senaffe A., 2017. « Etude de la photoacclimation spectrale des microalgues en milieu côtier : approche in situ et expérimentale ». Master 2 FOGEM – Université de Lille – ULCO (Janvier-juin 2017), Encadrement : F. Lizon.

Soret M., 2017. "Évaluation du rôle écologique de la zone intertidale (estrans sableux) pour l'ichtyofaune: analyse spatiale et temporelle", Stage de Master 2 FOGEM, janvier-juin 2017.

- Timmerman CA., 2017. Evolution de la structure des réseaux trophiques en Manche : Approche couplée isotopes stables et contenus stomacaux. Master FOGEM, Université de Lille I et Université du Littoral, Wimereux.
- Watiez H., 2017 « Contribution au suivi des poussées phytoplanctoniques en Manche Orientale » stage DUT Génie Biologique 2 ULCO. Encadrement F. Artigas

2018

- Beaugendre C. 2018. Stage découverte monitoring du phytoplancton, Licence 3 Sciences de la Vie ULCO. Encadrement F. Artigas
- Combes, Thomas, 2018 « Variabilité spatio-temporelle des matières en suspension par télédétection et caractérisation de la matière sédimentée superficielle – Application au lac de Tonlé Sap (Cambodge), février à Août, 6 mois, stage de M2, ULCO et UBS. Co-encadrement C. Verpoorter, J. Caillaud et S. Philippe.
- Dédécker C. 2018. « Caractérisation de la variabilité spatiale printanière des communautés phytoplanctoniques en Manche par application d'approches automatisées », stage Master 1 Sciences de la Mer FOGEM ULCO. Encadrement F. Artigas
- Fontaine V. 2018. Quantification des incertitudes isotopiques dans la modélisation de la dynamique des réseaux trophiques. MASTER 1 Biodiversité, Écologie, Évolution. Université de Lille, Sciences et Technologies (Lille).
- Gendrot F. 2018. Variations spatiale et temporelle de la condition larvaire lors de la période critique de trois espèces de poissons en Manche orientale : approche par indices histologiques. Master Océanographie et Environnements Marins. Université Sorbonne Université.
- Lefebvre K. 2018. « Participation au suivi de la dynamique printanière du phytoplancton en Manche », stage DUT 2 Génie Biologique ULCO. Encadrement F. Artigas
- Joly L. 2018. Dynamiques spatio-temporelle de la condition larvaire de deux poissons plats, la sole et la plie, en Manche Est. Master Océanographie et Environnements Marins. Université Sorbonne Université.
- Pernak M. 2018. Distribution hivernale des assemblages larvaires de poissons en Manche orientale et mer du Nord. Master Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Marins (FOGEM) mutualisé entre l'Université de Lille 1 et l'Université du Littoral Côte d'Opale.
- Piccabea, P. A. Utilisation de la télédétection dans l'analyse du substrat au sein des estuaires Picards. DEUST2 GAEL (ULCO) Responsable du stage C. Verpoorter.
- Skouroliakou I., 2018. "Temporal succession and small scale variability of planktonic microbial communities in a meso-eutrophic coastal system." University of Ioannina (Grèce), Master II , Resp. du stage U Christaki, financement Erasmus+.
- Thery J., 2018. Mise en place d'un protocole d'étude des effets des microplastiques sur le copépode Eurytemora affinis. Avril-Mai 2018, 2 mois, Stage de Master 1, BEE, Université de Lille. Encadrement S. Souissi
- Thery J., 2018. Mise en place d'un protocole d'étude des effets des microplastiques sur les copépodes. Juin-Août 2018, 3 mois, avenant au stage de Master 1, BEE, Université de Lille (2 mois) & 1 mois de vacances. Encadrement S. Souissi

2019

- Calvayrac, P. 2019: Contribution du zooplancton aux flux de carbone dans l'Océan Austral via la caractérisation de la pression de broutage. Université de la Méditerranée (Aix-Marseille) (encadrement A. Delegrange, financé par MOBYDICK Urania Christaki)
- Chatelain P., « Suivi de clusters phytoplanctoniques », M2 TSI et dernière année ING3 EILCO, avril-juin 2019, encadrement E. Poisson-Caillault.
- Halima-Saadia CHETOUI, Université de Lorraine, Nancy. Sujet de stage : *Vibrio harveyi* isolés d'environnement aquacole : caractérisation de la virulence par approche moléculaire et transcriptomique.
- Combes T., « Variabilité spatio-temporelle des matières en suspension par télédétection et caractérisation de la matière sédimentée superficielle – Application au lac de Tonlé Sap (Cambodge), février à Août, 6 mois, stage de M2, ULCO et UBS et Encadrement C. Verpoorter, J. Caillaud et S. Philippe.

- Debergue, L., 2019. Broutage du microzooplancton sur les communautés planctoniques dans le secteur Est des Iles Kerguelen. L3, Université de Lyon I, Avril-Mai 2019 (encadrement A. Delegrange)
- Dédécker C. 2019. « Variabilité spatio-temporelle des communautés phytoplanctoniques, en Manche, caractérisées par l'application de la cytométrie en flux. » Master 2 Sciences de la Mer parcours Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Marins (FOGEM) ULCO. Encadrement F. Artigas et A. Louchart.
- Delecroix E. 2019, « Mise en place du suivi de la diversité phytoplanctonique par imagerie en flux automatisée dans la Manche orientale » Master 1 Sciences de le Mer FOGEM ULCO. Encadrement F. Artigas et Guillaume Wacquet
- Desreac F. 2019 . « Etude de la dynamique printanière du phytoplancton » stage DUT 2 Génie Biologique ULCO. Encadrement F. Artigas
- Dufour D. 2019. Bioaccumulation du Cd associé aux microplastiques chez le copépode *Eurytemora affinis*. Avril-mai 2019, 2 mois, Stage de Master M1, FOGEM, ULCO. Encadrement S. Souissi.
- Dunez, N., 2019. Analyse de la déformation tectonique au large du Boulonnais à l'aide des données Sparker « TREMOR », Avril-Mai, 2 mois, Stage de L3, UniLille, Encadrement V. Gaullier.
- Fournier C. 2019. Stage de fin de BTSM Pêche et Gestion de l'Environnement Marin, Lycée Maritime du Portel. Encadrement F. Artigas
- Garzia, A., 2019. « Coupling between turbulence and plankton : laboratory experimentations and in situ measurements », février-juin 2019, 5 mois, Stage de Master 2, FOGEM, Université de Lille et Université de Salengro, Italie. Encadrement F. Schmitt.
- Gaudillat, J. "Caractérisation de la formation de biofilms de souches bactériennes de *Vibrio harveyi* isolées en environnement aquacole", janvier-juillet 2019, stage de fin d'études Ecole de Biologie Industrielle, Cergy. Encadrement : C Le Bris, J Mougín, M Bonnin-Jusserand.
- Kagerer P. Introduction à l'Ecologie Planctoniques: Échantillonnage et Observation Juin-Juillet 2019, 8 semaines, L2 Univ. Franche Comté. Encadrement. U Christaki
- Libeau A. 2019. Structure des Communautés microbiennes planctoniques en Manche orientale: Etude par cytométrie en flux. Avril-Mai 2019, 6 semaines, L3 Univ. de la Rochelle Encadrement. U Christaki
- M'Barki, M. "Étude de la vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*) en ferme aquacole : isolement et identification de *Vibrio harveyi* à partir de prélèvements sur blocs de béton et poissons moribonds", mai-juillet 2019, stage de Master 1 Microbiologie Fondamentale et Appliquée, Université de Rennes 1. Encadrement : C Le Bris, J Mougín, M Bonnin-Jusserand.
- Niogret O. 2019. Communautés microbiennes planctoniques: Approches microscopiques. Avril-Mai 2019, 6 semaines, L3 Univ. Lyon I
- Thery J., 2019. Etude de l'interaction entre les nano- et micro-plastiques et les copépodes : approche expérimentale. février-juin 2019, 5 mois, Stage de Master 2, Ecoremid, Université de Lille. Encadrement S. Souissi
- Veullot A. 2019. « Calibration des signaux optiques du cytomètre en flux CytoSense en vue d'analyser la diffusion des communautés particulières en Manche - Mer du Nord. » Master 1 Sciences de la Mer parcours Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Marins (FOGEM) ULCO. Encadrement F. Artigas et Lucile Duforêt-Gaurier.

2020

- Aillaud, A. 2020. Modalités de croissance et histoire de la dune de Ghyvelde : vers une étude au géoradar. L3, U-Lille. Encadrement : A. Trentesaux
- Caillard E. 2020. « Observation et suivi de la dynamique du phytoplancton en eaux marines côtières et du large » Stage de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Cadre Technique Génie de l'environnement marin, CNAM INTECHMER. Encadrement F. Artigas
- Cocquebert L.; 2020. Suivi de l'abondance des populations virales en Manche Orientale par la méthode de la Cytométrie en flux . L3, ULCO (encadrement U. Christaki, Ioli-Dimitra Skouroliakou)
- Delatre, N., 2020. Structure and diversity of bacterial communities in the English Channel revealed by flow cytometry and high-throughput sequencing. M2, ULCO (encadrement S. Monchy et F. Artigas, financé par le Pôle Mer et Littoral)

- Deleplanque E. 2020. « Suivi de la dynamique du phytoplancton via l'application de techniques d'analyses de références et automatisées » stage DUT 2 Génie Biologique ULCO. Encadrement F. Artigas
- Fourchaut, Lea 2020. Communautés microbiennes planctoniques: Approches moléculaires et cytométriques. L3 Univ. St Andrews, Ecosse
- Hanh Nguyen Thi Hong, 2020. Etude de l'impact de la turbulence sur le comportement du plancton : expérimentation au laboratoire et mesures in situ, février-juin 2020, Stage de Master 2, WEO Water Environment Oceanography, Université des Sciences et Technologies de Hanoi. Encadrement F. Schmitt.
- Hesdoux, Thomas (Juin-Septembre 2020) : "Développement d'une méthode de quantification de microplastiques par Py-GC/MS", Stage de Master 2, Université d'Artois (encadrement A. Dehaut)
- Latron S. 2020 « Variabilité spatio-temporelle des communautés phytoplanctoniques côtières par application d'approches automatisées : la campagne JERICO-NEXT/LifeWatch 2019 » Stage Master 1 Sciences de la Mer parcours Ecologie Marine et Halieutique (EMAH). Encadrement F. Artigas et Alexandre Epinoux
- Leprince, C., 2020. Structure and diversity des communautés eucaryotes en Manche Mer du Nord. M1, ULCO (encadrement S. Monchy et F. Artigas).
- Leroulier, Marion 2020: Phénologie inter-annuelle des copépodes du genre Centropages en Manche Orientale M1 ULCO
- Martel, B., 2020. Inventaire de l'usage historique et de la gestion actuelle des sols et des sédiments autour de Gravelines, en lien avec les retombées de poussières industrielles. Stage de Master 1 GAED parcours Transition Environnementale des Territoires, Université de Toulouse. Encadrement : J. Caillaud, S. Philippe et L. Courcot.
- Miro Solé, Lola 2020. Succession temporelle et variabilité à petite échelle des Communautés microbiennes planctoniques dans un système côtier meso-eutrophe (Manche orientale) Etude par cytométrie en flux. M1 ULCO
- Meresse, Marvin (janvier-juillet 2020, 6 mois). Mesure du métabolisme d'une algue brune du domaine intertidal en Manche orientale au cours d'un cycle de marée : *Fucus serratus*. Stage de Master 2, FOGEM, Université Lille (encadrement 75% F. Gevaert, 25 % L. Denis).

2021

- Adou, Franck, 2021. Géoradar terrestre basse fréquence : application à la géomorphologie et stratigraphie haute résolution en domaine littoral. M2, U-Lille. Encadrant : J.-Y. Reynaud
- Aillaud, Aurélie 2021. Géomorphologie et architecture stratigraphique dans la Plaine Maritime Flamande de la dune fossile de Ghyvelde : apports de la prospection géoradar. M1, U-Lille. Encadrant : J.-Y. Reynaud
- Brémard, Armance (Mars - Août 2021) : "Développement d'une méthode de quantification des additifs issus des microplastiques" , Stage de Master 2, Université d'Artois (encadrement A. Dehaut)
- Cacheux, Andréa , Stage L3 ST - 2021 (1,5 mois) : Identification et caractérisation de structures tectoniques dans la partie Nord du Golfe d'Orosei, Marge Est-Sarde - Données sismiques de la campagne « METYSS 4 ».
- Chedru, Amélie (12 avril-21 mai 2021, 6 semaines) : « Effets de la turbulence sur la croissance et la morphologie des diatomées », stage de M1 (encadré par Emilie Houliez et Urania Christaki).
- Debeaumont, Marie, 2021. Étude des sols et sédiments de Gravelines : propriétés des matrices sédimentaires et pédologiques et analyses géochimiques par spectrométrie de fluorescence X (XRF). Stage M2, 6 mois, du 01/03 au 01/09/2021. Co-encadrement par Marine Casetta, S. Phillippe et J. Caillaud
- Del Rio, Ane (Avril-Juillet 2021): "Etude du microbiote de moule pour le développement de méthodes visant à l'identification du lieu d'élevage pour la détection des fraudes" , échange entre fondation AZTI (Bilbao, Espagne) et l'ULCO (LOG, Wimereux) dans le cadre de thèse de doctorat Européen.
- Dibousse Aboubacar, Stage M2-GEOBAS (Février-Mai 2021) : Premières interprétations des données sismiques Sparker de la campagne « METYSS 4 ».
- Gauvin, Paula (2021) Dynamics of the parasites Marine Alveolates (MALV) in the Eastern English Channel M1 Univ. Bordeaux
- Hubert, Zéline (2021) Dynamique des groupes fonctionnels phytoplanctoniques en milieux marins côtiers à partir d'approches semi-automatisées : les campagnes DYPHYRAD. Master Sciences de la Mer – Ecologie Marine et Halieutique (EMAH) ULCO. Encadrement F. Artigas

- Kivuvu Lubaga, Ken (mai-juin 2021, 8 semaines) : « Etude expérimentale d'un écoulement turbulent en laboratoire : aspects Eulériens », stage de 4^e année de Polytech Lille (co-encadré par François Schmitt et Enrico Calzavarini).
- Lefranc, Eugénie (mai-juin 2021, 2 mois) : « Quantification de la dégradation de la matière organique dans les sédiments intertidaux et influence de la laisse de mer », Stage de Master 2, FOGEM, Université de Lille. (Encadrement L. Denis)
- Leprêtre, Augustin, 2021 (6 semaines). Potentiel de l'imagerie hyperspectral par vecteur drone pour la cartographie du littoral, application aux macroalgues et au microphytobenthos durant l'émersion », stage de M1 (co-encadré par Charles Verpoorter et Laurent Brutier)
- Mejia-Duran, Andrés, 2021. Le géoradar : un outil pour la reconstruction des architectures et paléoenvironnements des dépôts quaternaires : nouvelles prospections dans la région des Hauts-de-France. M1, U-Lille. Encadrant : J.-Y. Reynaud
- Nam, Johnny (mai-juin 2021, 8 semaines) : « Etude expérimentale d'un écoulement turbulent en laboratoire : aspects Lagrangiens », stage de 4^e année de Polytech Lille (co-encadré par François Schmitt et Enrico Calzavarini).
- Robache K. 2021 « Approche semi-automatisée haute fréquence de la dynamique du bloom printanier en Manche Orientale » Stage Master 1 Sciences de la Mer parcours Ecologie Marine et Halieutique (EMAH). Encadrement F. Artigas et Alexandre Epinoux
- Roth, Justine (mai-juin 2021, 2 mois) : « Le quotient respiratoire : estimation et variabilité dans les communautés intertidales de Manche Orientale », Stage de Master 1, BEE, Université de Lille. (encadrement L. Denis).
- Traoré, Baba, Stage L3 ST – 2021 (1,5 mois) : Etude de l'architecture sédimentaire sur la plateforme continentale au Sud du Golfe d'Orosei (Marge Est-Sarde), à partir d'interprétations sismiques.
- Tueux, Guillaume (mai-juin 2021, 2 mois) : « La production microphytobenthique dans la zone intertidale estuarienne de la Canche », Stage de Master 1, BEE, Université de Lille. (encadrement L. Denis).

Annexe 2 : Thèses en soutien au projet CPER MARCO

Thèses soutenues (2018-2022)

Année	Nombre de thèses soutenues
2018	6
2019	8
2020	7
2021	1
2022	2
Total	24

Nom	Titre thèse	Labo	Directeur-encadrant	Université d'inscription	Financement	Date de soutenance	Action
Sara RACHIK	Evolution de la structure des communautés microbiennes face aux changements globaux : prédiction des perturbations futures	LOG	<u>S. Monchy</u> , U. Christaki	ULCO	Région/ULCO	8 fév 2018	2.3
Thi Thu Hong PHAN	Elastic matching for classification and modelisation of incomplete time series	LISIC	<u>A. Bigand</u> , E. Poisson-Caillault	ULCO	ULCO/Hanoi	12 oct 2018	1.1
Ludovic HERMABESSIERE	Les microplastiques dans les produits de la pêche et l'aquaculture PLASTIFOOD	LSA	<u>G. Duflos</u> , P. Soudant	ULCO	Anses /Région	12 nov 2018	4.4
Martin JOLLIVET-CASTELOT	Le bassin de Dieppe-Hampshire : évolution cénozoïque et enregistrement des événements géodynamiques	LOG	<u>V. Gaullier</u> – F. Paquet	U-Lille	Lille / BRGM	10 dec 2018	6.1
Arnaud BRIET	Etude de la résistance bactérienne aux antibiotiques dans la filière des produits de la pêche et de l'aquaculture, et impact en santé publique ANTIBIOFISH	LSA	<u>G. Bourdin</u>	ULCO	Anses/ Région	11 dec 2018	4.1
Jérôme CLEACH	Etude et développement de marqueurs moléculaires précoces permettant d'identifier l'état de fraîcheur des filets de poissons »	BPA	<u>T. Grand</u> , P. Lencel & G. Duflos	ULCO	PMCO/PFINV	17 dec 2018	4.2
Esther KADIENNE	Effect of environmental factors on the life traits of copepods and their use as live feed in aquaculture	LOG	<u>S. Souissi</u> , J.S. Hwang	U-Lille-NTOU cotutelle	NTOU-Lille cotutelle	8 juil 2019	3.1
Shagnika DAS	Effects of environmental factors on the eco-physiology and life traits of a macro-crustacean (shrimp) and micro-crustacean (copepod)	LOG	<u>S. Souissi</u> , B. Ouddane, J.S. Hwang	U-Lille-NTOU cotutelle	NTOU-Lille cotutelle	8 juil 2019	3.1

Lola DE CUBBER	Traits de vies des arénicoles: développement d'un modèle bioénergétique	LOG	<u>S. Gaudron, S. Lefebvre</u>	U-Lille	Lille	7 nov 2019	2.4
Julien DI PANE	Variations ontogéniques et spatio temporelles des écophases larvaires des poissons: évaluation de la condition nutritionnelle et détermination des périodes critiques	LRH	<u>P. Marchal, P. Koubbi, C. Loots</u>	ULCO	Ifremer/PMCO	21 nov 2019	2.4
Maria IKHENNICHEU	Etude expérimentale de la turbulence dans les zones à forts courants et de son impact sur les hydroliennes	LCSM	<u>G. Germain, P. Druault</u>	U-Lille	Ifremer/Région	18 oct 2019	6.3
Micheline GHON	Contamination chimique des différents compartiments biologiques dans le milieu marin Libanais : Risque sanitaire et implication environnementale	LOG	<u>R. Amara, P. Jitaru</u>	ULCO	CNRS Libanais	12 dec 2019	3.1
Maria KAZOUR	Pollution par les microplastiques en zone côtière : étude in situ et expérimentale des impacts sur les ressources halieutiques	LOG	<u>R. Amara, G. Kalaf</u>	ULCO	ULCO	17 dec 2019	4.1
Paul DAYRAS	Optimisation des cultures de copépodes : applications interdisciplinaires dans les domaines de l'aquaculture et de l'environnement côtier	LOG	<u>S. Souissi</u>	U-Lille	Lille	19 dec 2019	3.1
Arnaud LOUCHART	Contribution à l'étude à haute résolution temporelle et spatiale de la dynamique des communautés phytoplanctoniques, par l'application in situ combinée de techniques optiques de mesure et d'outils semi-automatisés	LOG	<u>F. Schmitt</u> - F. Artigas	ULCO	ULCO	24 juil 2020	1.1
Benoit GAURIER	Etude expérimentale du comportement d'hydrolienne en présence de courant turbulent, de houle et de macro-particules	LCSM	<u>G. Germain, G. Pinon</u>	U-Le Havre	Ifremer	5 nov 2020	6.3
Kelly GRASSI	Caractérisation de la dynamique de la biomasse phytoplancton par définition d'états environnementaux multicritères avec apprentissage profond semi-supervisé et classification spectrale à partir de données à haute fréquence	LER	<u>A. Lefebvre</u> E. Caillault , A. Bigand	ULCO	WeatherForce	19 nov 2020	1.1
Solène IRION	Biodiversité de l'écosystème marin et flux de carbone autour de Kerguelen : le rôle du petit phytoplancton à l'échelle de la cellule	LOG	<u>U. Christaki</u>	ULCO	ULCO/Région	19 nov 2020	2.3
Julia MOUGIN	Approches microbiologiques et moléculaires pour lutter contre la vibriose du bar (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	ICV BPA	<u>T. Grard, C. Le Bris & M. Bonnin</u>	ULCO	ULCO/Région	11 dec 2020	4.3
Baptiste VOLTZ	Bilan de la matière organique au sein des sédiments estuariens de Manche Orientale : Apports, production et reminéralisation	LOG	<u>L. Denis, S. Gontharet</u>	ULCO	ULCO/ Région	11 dec 2020	2.1
Charles-André TIMMERMANN	Variation saisonnière et ontogénique des paramètres trophiques des	LRH	<u>P. Marchal, P. Cresson</u>	U-Lille	FEAMP/FFP	15 dec 2020	2.4

	principales espèces exploitées en Manche Orientale et baie sud de la Mer du Nord.						
Monica RODRIGUEZ	Etude de la photoacclimatation chromatique chez les microalgues et conséquences sur les bilans de production primaire in situ	LOG	<u>S. Lefebvre, F. Lizon</u>	U-Lille	Lille	29 janvier 2021	2.2
Rym BOUAZIZ	Structures et variations saisonnière des réseaux trophiques des poissons en zones Côtières : approche comparative par isotopes stables en milieu contrastés, l'estuaire de la Canche et la lagune d'El Mellah	LOG	<u>R. Amara, F. Lasram</u>	ULCO-Algérie cotutelle	ULCO/Annaba cotutelle	24 janvier 2022	3.1
Hamza ISSA	Nonlinear signal processing applied to soil moisture estimation with GNSS - Reflectometry	LISIC	<u>S. Reboul, G. Stienne</u>	ULCO	ULCO/CNRS-L	10 mars 2022	6.2

Thèses en cours (en avril 2022)

Nom	Titre thèse	Labo	Directeur-encadrant	Université d'inscription	Financement	Période	Action
Zéline HUBERT	Caractérisation et typologie de la distribution spatiale et la variabilité temporelle fine des communautés phytoplanctoniques, à partir d'approches automatisées : bilan Manche et sud Mer du Nord.	LOG	<u>Sébastien Monchy</u> Felipe Artigas	ULCO	Région hauts de France-ULCO	2021-2024	1.1
Marine CASSETTA	Impact et devenir des retombées de poussières industrielles dans les sédiments et sols de la région de Gravelines (Flandre maritime).	LOG	<u>M. Hermoso</u> J. Caillaud & S. Philippe	ULCO	Région/PMCO	2020-2023	1.2
Florian DOUAY	Caractérisation de la réponse des macroalgues aux stress de la zone intertidale : impact sur la distribution des espèces et sur les rendements de production	LOG	<u>N. Spilmont, F. Gevaert, C. Verpoorter</u>	ULCO	PMCO-ULCO	2018-2021	1.2 2.2
Marvin MERESSE	Dynamique des mécanismes de production microphytobenthique dans les estuaires picards	LOG	<u>L. Denis, F. Gevaert</u>	U-Lille	Lille	2020-2023	2.1
Dimitra-Ioli SKOUROLIAKOU	Organisation saisonnière des communautés microbiennes planctoniques en relation avec la diversité et l'écologie d'espèces responsables d'efflorescences	LOG	<u>U. Christaki, F. Artigas, A. Delegrange</u>	ULCO	PMCO/Région	2019-2022	2.3
Lea JOLY	Impact des changements globaux sur le développement et la survie des larves de hareng Atlantique (<i>Clupea harengus</i>): une approche expérimentale multi-stress	LRH	<u>P. Marchal, C. Giraldo</u>	U-Lille	Ifremer/AWI	2018-2021	2.4

Carolin NEVEN	Rôle du zooplancton dans le transfert trophique des acides gras essentiels dans les écosystèmes marins	LRH	<u>P. Marchal</u> , C. Giraldo	ULCO	Ifremer/ Région	2021-2024	2.4
Gabriel PASQUIER	Les microplastiques : évaluation de la contamination des organismes et des milieux aquatiques en lien avec la consommation humaine de produits aquatiques	LOG	<u>R. Amara</u>	ULCO		2021-2024	3.1
Jérémy THERY	Effets de microplastiques (pétro- et bio-sourcés) sur le microbiote des copépodes et des larves de poissons	LOG	<u>S. Souissi</u> , S. Monchy, R. Amara	ULCO-Mons cotutelle	Mons/ULCO	2019-2022	4.1
Maureen DUFLOT	Caractérisation et distribution de <i>Cryptocotyle</i> et <i>Spraguea</i> , parasites potentiellement zoonotiques dans les produits de la pêche et de l'aquaculture	B3PA ANSES	<u>G Bourdin</u> <u>M.Gay</u>	ULCO	Anses/ Région	2018-2022	4.1
Erwan BOURDONNAIS	Etude de la résistance bactérienne aux antibiotiques dans le milieu marin, et impact en santé publique.	B3PA ANSES	<u>G.Bourdin</u> T.Brauge C.Lebris	ULCO	Région/ PMCO	2019-2022	4.1
Alix DA FONSECA FERREIRA	Etude de la virulence et de la persistance de <i>Vibrio harveyi</i> en aquaculture par approche moléculaire et metatranscriptomique	ICV BPA	<u>T. Grand</u> , C. Le Bris	ULCO	ULCO/PMCO	2021-2024	4.2
Tiffany BOUCHENDHOMME	Double approche liée à l'intégrité de la mitochondrie et au dosage des enzymes mitochondriales afin de différencier les filets de poisson frais des filets de poisson décongelés	ICV BPA	<u>T. Grand</u> , P. Lencel	ULCO	ULCO/Région	2019-2022	4.3
Fleurine AKOUESON	Les additifs issus de microplastiques: lixiviation et impacts sur les produits de la pêche et de l'aquaculture	PCPPA ANSES	<u>G.Duflos</u> A.Dehaut P.Doyen	ULCO	Anses/Région	2019-2022	4.4
Alexandre TANNAI	Usages et résidences touristiques dans les stations balnéaires des Hauts-de-France : vers une hybridation des fonctions et des pratiques	TVES	<u>V. Herbert & C.</u> Rufin-Soler	ULCO	Région/PMCO	2018-2022	5.1
Julien GUERRERO	Gestion des espaces naturels protégés littoraux des Hauts-de-France confrontés aux risques côtiers : perception habitante, enjeux économiques et sociaux	TVES	<u>H. Flanquart & C.</u> Rufin-Soler	ULCO	ULCO	2019-2022	5.1
Rachid OUCHAOU	Evolution du trait de côte au Quaternaire sur la surface maritime des Hauts de France : apport des études géoradar	LOG	<u>J.-Y. Reynaud</u>	U-Lille	Lille	2020-2023	5.2
Fabien CAROIR	Analyse structurale terre-mer de la terminaison occidentale de la Faille Nord-Anatolienne (projet WATER Ouest Egée Grèce) ; déformation active et héritages structuraux	LOG	<u>V. Gaullier</u> , F. Chanier	U-Lille	Lille	2018/2022	6.1
Gaia TRAVAN	Interactions entre tectonique salifère et tectonique crustale en Méditerranée	LOG	<u>V. Gaullier</u> , B. Vendeville	U-Lille	ITN Marie Curie	2018/2022	6.1
Raouïa ZHAMOUL	Modalités du transfert et de stockage sédimentaire sur le plateau continental du golfe de Gabès suite aux variations	LOG	<u>A. Trentessaux</u> , J.Y. Reynaud	U-Lille/Gabès cotutelle	Lille/Gabès	2018/2022	6.1

	climatiques du Quaternaire récent : Apports de la sismique marine très haute résolution						
Romain SYLVAIN	Etude intégrée des processus tectoniques, sédimentaires et volcaniques le long de la Marge Continentale Est-Sarde (Mer Tyrrhénienne – Projet METYSS-METYSAR/ <i>Campagne METYSS 4</i>)	LOG	<u>V. Gaullier</u> , F. Chanier, L. Watremez	U-Lille	Lille	2021/2024	6.1
Aboubacar DIBOUSSE	Interactions Tectonique-Sédimentation dans les bassins du Boulonnais et de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : approche intégrée Terre-Mer	LOG	<u>V. Gaullier</u> , O. Averbuch	U-Lille	Côte d'Ivoire	2021/2024	6.1
Williams KOUASSI	Traitement des signaux circulaires appliqué à la réflectométrie GNSS aéroportée par drone	LISIC	<u>S. Reboul</u> , G. Stienne	ULCO	ULCO/Région	2018/2022	6.2
Maëlys MAGNIER	Caractérisation expérimentale de la turbulence régie par les courants de marées, en présence d'onde de surface et d'obstacles	LCSM	<u>G. Germain</u> , P. Druault, B. Gaurier	U-Lille	Ifremer	2020/2023	6.3
Martin MOREAU	Caractérisation des effets d'échelle sur une hydrolienne à flux transverse	LCSM	<u>G. Germain</u>	U-Lille	CIFRE/HydroQ uest	2020/2023	6.3

Annexe 3 : Valorisations du CPER MARCO

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Articles dans des revues à comité de lecture		8	11	24	45	30	8	126
Ouvrages et articles dans des livres		8	7		6	4		25
Présentations orales internationales	11	36	25	27	13	35	2	149
Présentations orales nationales	11	18	11	30	4	39		113
Présentations groupe de travail	1	24	24	16	8	7	1	81
Présentations sous forme de poster	5	16	14	15		8		58
Communication vers le public	2	5	3	4		1		15
Campagnes à la mer	1	4	4	1				10

1. Publications

Publications dans des revues à comité de lecture

2017

Breton E., Christaki U., Bonato S., Didry M., **Artigas L.F.**, 2017. Functional trait variation and nitrogen use efficiency in temperate coastal phytoplankton, *Marine Ecology Progress Series*, 563, 35-49. **[Action 1.1]**

Cresson P, Travers-Trolet M, Rouquette M, Timmerman C-A, **Giraldo C, Lefebvre S, Ernande B,** 2017. Underestimation of chemical contamination in marine fish muscle tissue can be reduced by considering variable wet/dry weight ratios, *Marine Pollution Bulletin*, 123, 279-285. **[Action 2.4]**

Giraldo C, Ernande B, Cresson P, Kopp D, Cachera M, **Travers-Trolet M, Lefebvre S.** 2017. Depth gradient on the resource use of a fish community from a semienclosed sea. *Limnology and Oceanography*, 62, 2213-2226. **[Action 2.4]**

Kadiene E.U., Bialais C., Ouddane B., Hwang J.S., **Souissi S.**, 2017. Differences in lethal response between male and female calanoid copepods and life cycle traits to cadmium toxicity. *Ecotoxicology*, 26, 1227-1239. **[Action 3.1]**

Kucwaj J.-C., **S. Reboul, G. Stienne,** J.-B. Choquel, M. Benjelloun, 2017. Circular Regression Applied to GNSS-R Phase Altimetry, *Remote Sensing*. 2017; 9(7):651. **[Action 6.2]**

Pan Y.J., Sodovskaya I., Hansen B.W., Hwang J.S., **Souissi S.**, 2017a. Assessment of the fecundity, population growth, and fatty acid composition of *Apocyclops royi* (Cyclopoida, Copepoda) fed on different microalgal diets. *Aquaculture Nutrition*, 24, 970-978. **[Action 3.1]**

Pan Y.J., Souissi A., Sodovskaya I., Hansen B.W., Hwang J.S., **Souissi S.**, 2017b. Effects of cold selective breeding on the body length, fatty acid content, and productivity of the tropical copepod *Apocyclops royi* (Cyclopoida, Copepoda). *Journal of Plankton Research*, 39(6), 994-1003. **[Action 3.1]**

Zidour M., Chevalier M., Belguesmia Y., Cudennec B., **Grard T.,** Drider D., **Souissi S.,** Flahaut C., 2017. Isolation and characterization of bacteria colonizing *Acartia tonsa* copepod eggs and displaying antagonist effects against *Vibrio anguillarum*, *Vibrio alginolyticus* and other pathogenic strains. *Frontiers in Microbiology : Aquatic Microbiology*, 8, 1919. **[Action 4.2]**

2018

Brauge T., Midelet-Bourdin G., Soumet C. Viability Detection of Foodborne Bacterial Pathogens in Food Environment by PMA-qPCR and by Microscopic Observation (2018) *Foodborne Bacterial Pathogens*, 117-128 **[Action 4.1]**

- Cleach, J., Watier, D.,** Le Fur, B. F., **Brauge, T., Duflos, G., Grard, T., & Lencel, P.,** 2018. Use of ratiometric probes with a spectrofluorometer for bacterial viability measurement. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1782-1790. [Action 4.3]
- Hermabessiere, L., Himber, C., Boricaud, B., Kazour, M., **Amara, R.,** Cassone, A. L., ... & **Duflos, G.** (2018). Optimization, performance, and application of a pyrolysis-GC/MS method for the identification of microplastics. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 410(25), 6663-6676. [Action 4.1]
- Launeau P., V. Méléder, **C. Verpoorter,** L. Barillé, F. Kazemipour-Ricci, M. Giraud, B. Jesus, E. Le Menn, 2018. Microphytobenthos biomass and diversity mapping at different spatial scales with a hyperspectral optical model, *Remote Sensing* 10,716. [Action 1.2]
- Mahé, K.,** Ider, D., Massaro, A., Hamed, O., Jurado-Ruzafa, A., Gonçalves, P., ... & Ramdane, Z, R. **Amara.** (2018). Directional bilateral asymmetry in otolith morphology may affect fish stock discrimination based on otolith shape analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 76(1), 232-243.
- Pan Y.J.,** Sodovskaya I., Hansen B.W., Hwang J.S., **Souissi S.** (2018) Assessment of the fecundity, population growth, and fatty acid composition of *Apocyclops royi* (Cyclopoida, Copepoda) fed on different microalgal diets. *Aquaculture Nutrition*, 24:970-978. [Action 3.1]
- Peperzak L., Zetsche E.M., Gollasch S., **Artigas L.F.,** Bonato S., Creach V., de Vré P., Dubelaar G. B.J., Henneghien J., Hess-Erga O.K., Langelaar R., Larsen A., Maurer B.N., Mosselaar A., Reavie E.D., Rijkeboer M. and Tobiesen A. (2018) Comparing flow cytometry and microscopy in the quantification of vital aquatic organisms in ballast water. *Journal of Marine Engineering & Technology*, doi : 10.1080/20464177.2018.1525806. [Action 1.1]
- Phan H., A. Bigand, **Poisson Caillault E.,** 2018. A new fuzzy logic based similarity measure applied to large gap imputation for uncorrelated multivariate time series, *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2018, 9095683. [Action 1.1]
- Rachik S, **Christaki U,** Li LL, Genitsaris S, **Breton E, Monchy S.,** 2018. Diversity and potential activity patterns of planktonic eukaryotic microbes in a mesoeutrophic coastal area (eastern English Channel). *PLoS ONE* 13(5): e0196987. [Action 2.3]
- Ray R, Michaud E, Aller RC, **Vantrepotte V,** Gleixner G, Walcker R, Devesa J, Le Goff M, Morvan S, Thouzeau G. 2018. The sources and distribution of carbon (DOC, POC, DIC) in a mangrove dominated estuary (French Guiana, South America). *Biogeochemistry*, <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0447-9> [Action 1.3]
- Zeyer E., E. Heuson, C. Himber, V. Phalip, **C. Le Bris,** P. Dhulster, **A. Brisabois,** C. Flahaut, B. Cudennec, **T. Grard, G. Duflos,** 2018. Novel approach to identify phenoloxidases inhibitors: optimization of spectrophotometric MBTH assay for high throughput use enzymatic assays and analysis, *Food control* 93, 83-91. [Action 4.3]

2019

- Bonnin-Jusserand M.,** S. Copin, **C. Le Bris,** T. Brauge, M. Gay, **A. Brisabois, T. Grard et G. Midelet-Bourdin,** 2019. *Vibrio* species involved in seafood-borne outbreaks (*Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus* and *V. vulnificus*): review of microbiological versus recent molecular detection methods in seafood products, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59, 597-610. [Action 4.2]
- Borcier, E., Artigaud, S., Gaillard, J. C., Armengaud, J., Charrier, G., Couteau, J., **Diop, M ... Amara, R & Laroche, J.** (2019). Coupling caging and proteomics on the European flounder (*Platichthys flesus*) to assess the estuarine water quality at micro scale. *Science of The Total Environment*, 695, 133760. [Action 3.1]
- Cléach J.,** P. Pasdois, P. Marchetti, **D. Watier, G. Duflos,** E. Goffier, A.-S. Lacoste, C. Slomianny, **T. Grard, P. Lencel,** 2019. Mitochondrial activity as an indicator of fish freshness, *Food Chemistry* 287, 38-45. [Action 4.3]
- De Cubber, L., Lefebvre, S., Lancelot, T., Denis, L., Gaudron, S.M.,** 2019. Annelid polychaetes experience metabolic acceleration as other Lophotrochozoans: inferences on the life cycle of *Arenicola marina* with a Dynamic Energy Budget model. *Ecological Modelling* 411, 108773 [Action 2.4]
- Di Pane J,** Joly L, Koubbi P, **Giraldo C, Monchy S, Tavernier E, Marchal P, Loots C.** (2019). Ontogenetic shift in the energy allocation strategy and physiological condition of larval plaice (*Pleuronectes platessa*). *PLoS One*. 14(9):e0222261 [Action 2.4]

- Doyen P**, Hermabessiere, L., **Dehaut, A.**, Himber, C., Decodts M., Degraeve T, Delord L, Gaboriaud M., Mone P., Sacco J., Tavernier E., **Grard T.** & **Duflos G.** (2019). Occurrence and identification of microplastics in beach sediments from the Hauts-de-France region. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 28010-2802 [Action 4.4]
- Goshn M.**, Rachida, C., Céline, M., Gaby, K., **Amara R.**, & Petru, J. (2019). Levels of Pb, Cd, Hg and As in Fishery Products from the Eastern Mediterranean and Human Health Risk Assessment due to their Consumption. *International Journal of Environmental Research*, 13(3), 443-455. [Action 3.1]
- Hermabessiere, L.**, Paul-Pont, I., Cassone, A.-L., **Himber, C.**, Receveur, J., Jesequel, R., El Rakwe, M., Rinnert, E., Riviere, G., Lambert, C., Huvet, A., **Dehaut, A.**, **Duflos, G.**, Soudant, P. (2019). Microplastic contamination and pollutant levels in mussels and cockles collected along the channel coasts. *Environmental Pollution*, 250, 807-819. [Action 4.4]
- Ikhennicheu M.**, **G. Germain, P. Druault, B. Gaurier**, Experimental investigation of the turbulent wake past realistic seabed elements for velocity variations characterization in the water column, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 78, 108426, 2019. [Action 6.3]
- Kadiene, E.U.**, Meng, P. J., Hwang, J. S., **Souissi, S.** (2019a). Acute and chronic toxicity of cadmium on the copepod *Pseudodiaptomus annandalei*: A life history traits approach. *Chemosphere*, 233:396-404 [Action 3.1]
- Kadiene, E.U.**, Ouddane, B., Hwang, J. S., **Souissi, S.** (2019b). Bioaccumulation of metals in calanoid copepods by oral intake. *Scientific Reports*, 9:9492 [Action 3.1]
- Kazour, M.**, Jemaa, S., Issa, C., Khalaf, G., & **Amara, R.** (2019). Microplastics pollution along the Lebanese coast (Eastern Mediterranean Basin): Occurrence in surface water, sediments and biota samples. *Science of The Total Environment*, 696, 133933. [Action 4.1]
- Kazour, M.**, Terki, S., Rabhi, K., Jemaa, S., Khalaf, G., & **Amara, R.** (2019). Sources of microplastics pollution in the marine environment: Importance of wastewater treatment plant and coastal landfill. *Marine pollution bulletin*, 146, 608-618. [Action 4.1]
- Lefebvre A.**, **E. Poisson-Caillault**, 2019. High resolution overview of phytoplankton spectral groups and hydrological conditions in the eastern English Channel using unsupervised clustering, *Marine Ecology Progress Series* 608, 73-92. [Action 1.1]
- Lombard F., Boss E., Waite A. M., Vogt M., Uitz J., Stemmann L., Sosik H. M., Schulz J., Romagnan J.-B., Picheral M., Pearlman J., Ohman M. D., Niehoff B., Möller K. O., Miloslavich P., Lara-López A., Kudela R., Lopes R. M., Kiko R., Karp-Boss L., Jaffe J. S., Iversen M. H., Irisson J.-O., Fennel K., Hauss H., Guidi L., Gorsky G., Giering S. L. C., Gaube P., Gallagher S., Dubelaar G., Cowen R. K., Carlotti F., Briseño-Avena C., Berline L., Benoit-Bird K., Bax N., Batten S., Ayata S. D., **Artigas L. F.**, Appeltans W. (2019) Globally Consistent Quantitative Observations of Planktonic Ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 6 : 196 doi : 10.3389/fmars.2019.00196. [Action 1.1]
- Mahe, K.**, Gourtay, C., Defruit, G. B., Chantre, C., de Pontual, H., **Amara, R.**, ... & **Ernade, B.** (2019). Do environmental conditions (temperature and food composition) affect otolith shape during fish early-juvenile phase? An experimental approach applied to European Seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 521, 151239. [Action 3.1]
- Mahé, K.**, Ider, D., Massaro, A., Hamed, O., Jurado-Ruzafa, A., Gonçalves, P., Ramdane, Z, **Amara R.** (2019). Directional bilateral asymmetry in otolith morphology may affect fish stock discrimination based on otolith shape analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 76(1), 232-243. [Action 3.1]
- Mougin J.**, **S. Copin, D. Bojolly, V. Raguenet**, A. Robert-Pillot, M.-L. Quilici, G. **Midelet-Bourdin, T. Grard, M. Bonnin-Jusserand**, 2019. Adhesion to stainless steel surfaces and detection of viable but non cultivable cells of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio cholerae* isolated from shrimps in seafood processing environments: Stayin' alive?, *Food Control*, 102C, 122-130.
- Pan Y.J.**, Souissi A., Sodovskaya I., Hwang J.S., **Souissi S.**, 2019. Egg hatching rate and fatty acid composition of *Acartia bilobata* (Calanoida, Copepoda) across cold storage durations. *Aquaculture Research*, 50, 483-489. Avec 'cover page' [Action 3.1]
- Rombouts I., Simon N., Aubert A., Cariou T., Feunteun E., Guérin L., Hoebeke M., McQuatters-Gollop A., Rigaut-Jalabert F., **Artigas L.F.** (2019) Changes in marine phytoplankton diversity : assessment under the Marine Strategy Framework Directive. *Ecological Indicators*, 102 : 265-277 doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.009. [Action 1.1]

- Semmling M., Rösel A., Divine D. Gerland S., **Stienne G., Reboul S.**, Ludwig M., Wickert J., Schuh H., 2019. Sea-Ice Concentration Derived From GNSS Reflection Measurements in Fram Strait, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57, 10350-10361 **[Action 6.2]**
- Travers-Trolet, M., Coppin, F., Cresson, P., Cugier, P., Oliveros-Ramos, R., Verley, P., 2019. Emergence of negative trophic level-size relationships from a size-based, individual-based multispecies fish model. *Ecological Modelling* 410, 108800. doi:10.1016/j.ecolmodel.2019.108800 **[Action 2.4]**
- Zidour M., Z. Boubechiche, **Y.-J. Pan, C. Bialais**, B. Cudennec, **T. Grard**, D. Drider, C. Flahaut, B. Ouddane, **S. Souissi**, 2019. Population response of the estuarine copepod *Eurytemora affinis* to its bioaccumulation of trace metals, *Chemosphere* 220, 505-513. **[Action 3.1]**
- Zidour M., Y. Belguesmia, B. Cudennec, **T. Grard**, C. Flahaut, **S. Souissi**, D. Drider (2019). Genome sequencing and analysis of *Bacillus pumilus* ICVB403 isolated from *Acartia tonsa* copepod eggs revealed surfactin and bacteriocin production: insight on anti-*Staphylococcus* activity, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 11, 990-998. **[Action 3.1]**

2020

- Borcier, E., Charrier, G., Couteau, J., Maillet, G., Le Grand, F., Bideau, **A., Amara R & Laroche, J.** (2020). An Integrated Biomarker Approach Using Flounder to Improve Chemical Risk Assessments in the Heavily Polluted Seine Estuary. *Journal of Xenobiotics*, 10(2), 14-35. **[Action 3.1]**
- Bracis, C.**, Lehuta, S., Savina-Rolland, M., Travers-Trolet, M., & **Girardin, R.** (2020). Improving confidence in complex ecosystem models: The sensitivity analysis of an Atlantis ecosystem model. *Ecological Modelling*, 431, 109133. **[Action 2.4]**
- Carlier, C., **G. Germain, B. Gaurier**, G. Pinon, E. Rivoalen. Three tidal turbines in interaction: an experimental study of the turbulence intensity effects on wake and turbine performances. *Renewable Energy*, 148, 1150-1164, 2020 **[Action 6.3]**
- Cléach, Jérôme, Méline Soret, Thierry Grard & Philippe Lencel**, (2020) Assessment of fish freshness based on fluorescence measurement of mitochondrial membrane potential. *Food Control* 115, p 107301 **[Action 4.3]**
- Cowger W, Booth A, Hamilton B, Primpke S, Munno K, Lusher A, **Dehaut A**, Vaz VP, Liboiron M, Devriese LI, Hermabessiere L, Rochman C, Steele C, Athey SN, Lynch J, De Frond H, Gray A, Jones O, Brander SM, Thaysen C, Moore S, Sanchez A, Nel H. (2020). Reporting Guidelines to Increase the Reproducibility and Comparability of Research on Microplastics. *Applied Spectroscopy*, 74, 1066-1077. <https://doi.org/10.1177/0003702820930292> **[Action 4.4]**
- Cresson P**, Chouvelon T, Bustamante P, Bănaru D, Baudrier J, Le Loc'h F, Mauffret A, Mialet B, Spitz J, Wessel N, Briand MJ, Denamiel M, Doray M, Guillou G, Jadaud A, Lazard C, Noûs C, Prieur S, **Rouquette M**, Saraux C, Serre S, Timmerman C-A, Verin Y, Harmelin-Vivien M (2020) Primary production and depth drive different trophic structure and functioning of fish assemblages in French marine ecosystems. *Progress in Oceanography*:102343 **[Action 2.4]**.
- Das S., Ouddane B., Hwang J.S., **Souissi S.** (2020) Intergenerational effects of resuspended sediment and trace metal mixtures on life cycle traits of a pelagic copepod. *Environmental Pollution*, 267:115460. **[Action 3.1]**
- Dayras P., Bialais C., Ouddane B., Lee J.S., **Souissi S.** (2020) Effects of different routes of exposure to metals on bioaccumulation and population growth of the cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana*. *Chemosphere*, 248:12596. **[Action 3.1]**
- Dayras P., Bialais C., Lee J.S., **Souissi S.** (2020) Effects of microalgal diet on the population growth and fecundity of the cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana*. *Journal of the World Aquaculture Society*, DOI: 10.1111/jwas.12685. **[Action 3.1]**
- De Cubber L., Lefebvre S., Lancelot T., Duong G., Gaudron S. M.** (2020) Investigating down-shore migration effects on individual growth and reproduction of the ecosystem engineer *Arenicola marina*. *Journal of Marine Systems*, 211, 103420. **[Action 2.4]**
- Di Pane, J.**, Koubbi, P., **Giraldo, C.**, Lefebvre, V., Caboche, J., **Marchal, P.**, & **Loots, C.** (2020). Recent changes in ichthyoplanktonic assemblages of the eastern English Channel. *Journal of Sea Research*, 157, 101848. **[Action 2.4]**

- Di Pane, J.**, Gendrot, F., **Giraldo, C.**, **Marchal, P.**, Koubbi, P., & **Loots, C.** (2020). Evaluating the histological-based condition of wild collected larval fish: A synthetic approach applied to common sole (*Solea solea*). *Journal of Marine Systems*, 204, 103309. [Action 2.4]
- Gantois N, Lamot A, Seesao Y, Creusy C, **Li LL**, **Monchy S**, Benamrouz-Vanneste S, Karpouzopoulos J, Bourgain JL, Rault C, Demaret F, Baydoun M, Chabé M, Fréalle E, Aliouat-Denis CM, **Gay M**, Certad G, Viscogliosi E. First Report on the Prevalence and Subtype Distribution of *Blastocystis* sp. in Edible Marine Fish and Marine Mammals: A Large Scale-Study Conducted in Atlantic Northeast and on the Coasts of Northern France. *Microorganisms*. 2020 Mar 24;8(3). pii: E460. [Action 4.4]
- Gaurier B.**, **Ikhennicheu M.**, **Germain G.**, Druault P., 2020. Experimental study of bathymetry generated turbulence on tidal turbine behaviour. *Renewable Energy*, 156, 1158-1170. [Action 6.3]
- Gaurier B.**, Carlier C., **Germain G.**, Pinon G., Rivoalen E., 2020. Three tidal turbines in interaction: An experimental study of turbulence intensity effects on wakes and turbine performance. *Renewable Energy*, 148, 1150-1164. [Action 6.3]
- Gaurier B.**, Ordonez-Sanchez S., Facq JV., **Germain G.** & al., 2020. MaRINET2 tidal energy round robin tests: performance comparison of a horizontal axis turbine subjected to combined wave and current conditions, *Journal of Marine Science and Engineering*, 8, 463 . [Action 6.3]
- Gaurier B.**, **Ikhennicheu M.**, **Germain G.**, Druault P., 2020. Experimental analysis of the shear flow effect on tidal turbine blade root force from 3D flow reconstruction, *Philosophical Transaction Roy. Soc. A*, 378, 20200001. [Action 6.3]
- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Gaby, K., Guerrin T; Jitaru P & **R, Amara** (2020). Seasonal and spatial variability of trace elements in livers and muscles of three fish species from the Eastern Mediterranean. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 12428-12438. [Action 3.1]
- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Guerrin T; Gaby, K., Jitaru P & **R, Amara**. 2020. Assessment of trace element contamination and bioaccumulation in algae (*Ulva lactuca*), bivalves (*Spondylus spinosus*) and shrimps (*Marsupenaeus japonicus*) from the Eastern Mediterranean. *Regional Studies in Marine Sciences* 101478 [Action 3.1]
- Ghosn, M., Chekri, R., Mahfouz, C., Khalaf, G., Guérin, T., **Amara, R.**, & Jitaru, P. (2020). Toward a routine methodology for speciation analysis of methylmercury in fishery products by HPLC coupled to ICP-MS following the validation based on the accuracy profile approach. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-14 [Action 3.1]
- Gohin, F.; Bryère, P.; **Lefebvre, A.**; Sauriau, P.-G.; Savoye, N.; Vantrepotte, V.; Bozec, Y.; Cariou, T.; Conan, P.; Coudray, S.; Courtay, G.; Françoise, S.; Goffart, A.; Hernández Fariñas, T.; Lemoine, M.; Piraud, A.; Raimbault, P.; Rétho, M. Satellite and In Situ Monitoring of Chl-a, Turbidity, and Total Suspended Matter in Coastal Waters: Experience of the Year 2017 along the French Coasts. *J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8, 665. <https://doi.org/10.3390/jmse8090665> [Action 1.1]
- Gómez F., **Artigas L.F.**, Gast R., 2020. Phylogeny and Synonymy of *Gyrodinium heterostriatum* comb. nov. (Dinophyceae), a Common Unarmored Dinoflagellate in the World Oceans. *Acta Protozoologica*, 59: 77–87. [Action 1.1 & 2.3]
- Gómez F., Courcot L. & **Artigas L. F.** (2020) Observations of the diatoms *Sceptronema orientale* Takano and *Tabularia parva* (Kützing) D.M. Williams & Round on the exoskeleton of copepods in the English Channel and coastal Celtic Seas. *Cryptogamie, Algologie* 41 (4): 25-30. [Action 1.1 & 2.3]
- Grassi K., **Poisson-Caillault É.**, Bigand A., **Lefebvre A.**, 2020. Comparative Study of Clustering Approaches Applied to Spatial or Temporal Pattern Discovery. *J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8, 713. [Action 1.1]
- Hermabessiere, L.**, J. Receveur, **C. Himber**, D. Mazurais, A. Huvet, F. Lagarde, C. Lambert, I. Paul-Pont, **A. Dehaut**, R. Jézéquel, P. Soudant, and **G. Duflos**. 2020. "An Irgafos® 168 story: when the ubiquity of an additive prevents studying its leaching from plastics." *Science of the Total Environment* 749:141651. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141651>. [Action 4.4]
- Ikhennicheu M.**, **B. Gaurier**, **G. Germain**, P. Druault, 2020. Turbulent kinetic energy budget in a wall-mounted cylinder wake using PIV measurements, *Ocean Engineering*, 210, 107582. [Action 6.3]

- Irion S.**, Jardillier L, **Sassenhagen I**, Christaki U. (2020). Marked spatiotemporal variations in small phytoplankton structure in contrasted waters of the Southern Ocean (Kerguelen area) *Limnology and Oceanography* 65(11), 2835-2852 <https://doi.org/10.1002/lno.11555> [Action 2.3]
- Kadiene E., Ouddane B., Gong H.Y., Kim M.S., Lee J.S., Hwang J.S., **Souissi S.** (2020) Differential gene expression profile of male and female copepods in response to cadmium exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 204:111048. [Action 3.1]
- Kazour M.**, S. Jemaa, M. El Rakwe, **G. Duflos**, L. Hermabassière, A. **Dehaut**, F. Le Bihanic, J. Cachot, **V. Cornille**, K. **Rabhi**, G. Khalaf, **R. Amara**, 2020. Juvenile fish caging as a tool for assessing microplastics contamination in estuarine fish nursery grounds, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 3548-3559. [Action 3.1/4.1]
- Kazour, M.**, & **Amara, R.** 2020. Is blue mussel caging an efficient method for monitoring environmental microplastics pollution? *Science of The Total Environment*. 710, 135649 [Action 4.1]
- Lefebvre A.** Dezechache C., 2020. Trajectories of changes in phytoplankton biomass, *Phaeocystis globosa* and diatoms (incl. *Pseudo-nitzschia* sp.) abundances related to nutrient pressures in the eastern English Channel, southern North Sea. *Journal of Marine Science and Engineering. J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8(6), 401; <https://doi.org/10.3390/jmse8060401> [Action 1.1]
- Li, L.-L.**, **R. Amara**, **S. Souissi**, **A. Dehaut**, **G. Duflos**, and **S. Monchy**. 2020. "Impacts of microplastics exposure on mussel (*Mytilus edulis*) gut microbiota." *Science of the Total Environment* 745:141018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141018>. [Action 4.4]
- Louchart A., **F. Lizon**, **A. Lefebvre**, M. Didry, **F.G. Schmitt**, **L.F. Artigas**, 2020. Phytoplankton distribution from Western to Central English Channel, revealed by automated flow cytometry during the summer-fall transition, *Continental Shelf Research*, 195, 104056 [Action 1.1]
- Maillard A., Gaullier V., Lézin C., Chanier F., Odonne F., Lofi J., 2020. New onshore/offshore evidence of the Messinian Erosion Surface from key areas : The Ibiza-Balearic Promontary and the Orosei-Eastern Tyrrhenian margin. *BSGF – Earth Sciences Bulletin*, 191 : 9 [Action 6.1]
- Mammone, M.**, **Courcot, L.**, Hilario, A., **Gaudron, S.M.** (2020) Brooding strategy of the Arctic cold seep polychaete *Oligobranchia haakonmosbiensis* . *Marine Biology*, 167, 42 [Action 2.4]
- Mougin, J.**, **Roquigny, R.**, Travers, M.-A., **Grard, T.**, **Bonnin-Jusserand, M.** et **Le Bris, C.** (2020) Development of a *mreB*-targeted real-time PCR method for the quantitative detection of *Vibrio harveyi* in seawater and biofilm from aquaculture systems. *Aquaculture*, 525, 735337. [Action 4.2]
- Mougin Julia**, Christophe Flahaut, **Roxane Roquigny**, **Maryse Bonnin-Jusserand**, **Thierry Grard** & **Cédric Le Bris**, 2020. Rapid identification of *Vibrio* species of the *Harveyi* clade using MALDI-TOF MS profiling with main spectral profile database implemented with an in-house database: Luvibase. *Frontiers in Microbiology*, 11, 586536 . [Action 4.2]
- Pan Y.J., Déposé E., Souissi A., Hénard S., Schaadt M., Mastro E., **Souissi S.** (2020) Assessments of first feeding protocols on the larviculture of California grunion *Leuresthes tenuis* (Osteichthyes: Atherinopsidae). *Aquaculture Research*, 51:3054–3058. [Action 3.1]
- Phan H., **Poisson Caillault E.**, **Lefebvre A.**, Bigand A., 2020. Dynamic Time Warping-based imputation for univariate time series data, *Pattern Recognition Letters*, 139, 139-147. [Action 1.1]
- Ray R, Thouzeau G, Walcker R, **Vantrepotte V**, Gleixner G, Morvan S, Devesa J, Michaud E. 2020. Mangrove-Derived Organic and Inorganic Carbon Exchanges Between the Sinnamary Estuarine System (French Guiana, South America) and Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125, e2020JG005739, <https://doi.org/10.1029/2020JG005739> [Action 1.3]
- Rufin-Soler C.**, **Ruz M.-H.**, Deboudt Ph., Révillon R., 2020, Comment vivre avec des conflits d'usages au sein d'un espace naturel protégé exposé à des risques littoraux ? L'exemple du Platier d'Oye (Côte d'Opale, France). *VertigO – La revue électronique en sciences de l'environnement*, 20, 1 [Action 5.2]
- Ruz M.-H.**, **Rufin-Soler C.**, **Héquette A.**, Révillon R.,.....& **F. Schmitt**, 2020, Climate change and risk perception in two French coastal communities, *Journal of Coastal Research*, SI 95, 875-879 [Action 5.2]
- Sassenhagen I, Irion S, Jardillier L, Moreira D, **Christaki U**, (2020), Interactions and Community Structure During Early Autumn in the Kerguelen region (Southern Ocean), *Protist* (2019), *Protist*, 171, 125709. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2019.125709> [Action 2.3]

Timmerman CA, Marchal P, Denamiel M, Couvreur C, Cresson P. 2020. Seasonal and ontogenetic variation of whiting diet in the Eastern English Channel and the Southern North Sea. *PLOS One*, 15(9) e0239436 [Action 2.4]

Travers-Trolet M, Bourdaud P, Genu M, Velez L, Vermard Y (2020). The Risky Decrease of Fishing Reference Points Under Climate Change. *Frontiers In Marine Science*, 7, 568232 (12p). <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.568232> [Action 2.4]

2021

Aissioui, S., Poirier, L., **Amara, R.**, & Ramdane, Z. (2021). Concentrations of lead, cadmium, and mercury in *Mullus barbatus barbatus* (L.) from the Algerian coast and health risks associated to its consumption. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101959. [Action 3.1]

Akoueson F., Chbib C., Monchy S., Paul-Pont I., Doyen P., Dehaut A., Duflos G., 2021. Identification and quantification of plastic additives using pyrolysis-GC/MS: a review. *Science of the Total Environment*, 773, 145073. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145073> [Action 4.4]

Bonelli AG, **Vantrepotte V**, Jorge DSF, Demaria J, **Jamet C**, Dessailly D, Mangin A, Fanton d'Andon O, Kwiatkowska O, Loisel H. 2021. Colored dissolved organic matter absorption at global scale from ocean color radiometry observation: Spatio-temporal variability and contribution to the absorption budget. *Remote Sensing of Environment*, 265, 112637, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112637> [Action 1.3]

Bouaziz, R., Le Loc'h, F., Rolet, C., Veillet G., Munaron, J.M., Rabhi, K., Djebar, A.B., **Amara, R.**, **Ben Rais Lasram, F.** (2021). Structure and seasonal variability in fish food webs in a small macrotidal estuary (Canche estuary, Eastern English Channel) based on stable carbon and nitrogen isotope analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101694. [Action 3.1]

Christaki, U., Guenegues, A., Liu, Y., Blain, S., Catala C., Colombet, J., Debeljak, P., Jardillier, L., **Irion, S.**, Planchon, F., **Sassenhagen, I.**, Sime-Ngando, T., Ingrid Obernosterer I., 2021. Seasonal microbial food web dynamics in contrasting Southern Ocean productivity regimes. *Limnology and Oceanography*, 66(1), 108-122 <https://doi.org/10.1002/lno.11591> [Action 2.3]

Christaki U, **Skouroliakou I-D**, Delegrange A, **Irion S**, Courcot L, Jardillier L, **Sassenhagen I**. 2021. Microzooplankton diversity and potential role in carbon cycling of contrasting Southern Ocean productivity regimes. *Journal of Marine Systems* 219, 103531 <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2021.103531> [Action 2.3]

Dávila X., Rubio A., **Artigas L.F.**, Puillat I., Manso-Narvarte I., Lazure P., Caballero A., 2021. Coastal submesoscale processes and their effect on phytoplankton distribution in the southeastern Bay of Biscay. *Ocean Sci.*, 17, 849–870 - <https://doi.org/10.5194/os-17-849-2021> [Action 1.1]

Dayras P., Bialais C., Sadovskaya I., Lee M.-C., Lee J.-S., **Souissi S.** (2021) Microalgal Diet Influences the Nutritive Quality and Reproductive Investment of the Cyclopoid Copepod *Paracyclops nana*. *Frontiers in Marine Science*, 8: 697561.

Di Pane, J., Koubbi, P., Gendrot, F., **Giraldo, C.**, **Karasiewicz, S.**, **Marchal, P.**, & **Loots, C.** (2021). Investigating environmental influence and temporal changes in sole (*Solea solea*) larvae condition using histology. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 250, 107161. [Action 2.4]

Irion S, Christaki U, Berthelot H, L'Helguen S, Jardillier L., 2021. Small phytoplankton contribute greatly to CO₂-fixation after the diatom bloom in the Southern Ocean, *ISME Journal*, 15, 2509-2522 <https://www.nature.com/articles/s41396-021-00915-z> [Action 2.3]

Issa, H., **Stienne, G.**, **Reboul, S.**, Semmling, M., Raad, M., Faour, G., & Wickert, J. (2021). A probabilistic model for on-line estimation of the GNSS carrier-to-noise ratio. *Signal Processing*, 183, 107992. [Action 6.2]

Joly L., **Loots C.**, Meunier C., Boersma M., Collet S., Lefebvre V., Zambonino-Infante JL., **Giraldo C.**, 2021. Maturation of the digestive system of Downs herring larvae (*Clupea harengus*, Linnaeus, 1758): identification of critical periods through ontogeny. *Marine Biology*, 168, 82. [Action 2.4]

Jorge DSF, Loisel H, **Jamet C**, Dessailly D, Demaria J, Bricaud A, Maritorea S, Zhang X, Antoine D, Kutser T, Bélanger S, Brando VO, Werdell J, Kwiatkowska E, Mangin A, Fanton d'Andon O. 2021. A three-step semi analytical algorithm (3SAA) for estimating inherent optical properties over oceanic, coastal, and inland waters from remote

- sensing reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 263, 112537, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112537> [Action 1.3]
- Kouassi, H. K. W., Issa, H., **Stienne, G.**, & **Reboul, S.** (2021). A linear circular regression estimate for data fusion: Application to GNSS carrier-phase signal processing. *Digital Signal Processing*, 117, 103172. [Action 6.2]
- Magnier M., Druault P., **Germain G.**, 2021. Experimental investigation of an upstream cube effects on the wake of a wall-mounted cylinder: wake rising reduction, TKE budget and flow organization, *European Journal of Mechanics – B/Fluids*, 87, 92-102 [Action 6.3]
- Mahé, K., MacKenzie, K., Ider, D., Massaro, A., Hamed, O., Jurado-Ruzafa, A., ... **Amara & Ernande, B.** (2021). Directional Bilateral Asymmetry in Fish Otolith: A Potential Tool to Evaluate Stock Boundaries?. *Symmetry*, 13(6), 987
- Marchal P., Cresson P., Foveau A., Giraldo C., Lefebvre S., Vérin Y.**, 2021. Using the diet of fish to reflect their benthic prey's spatial patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 677, 33-49. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps13882>. [Action 2.4]
- Martinez, R., **B. Gaurier**, S. Ordonez-Sanchez, **JV. Facq, G. Germain**, C. Johnstone, F. Salvatore, I. Santic, T. Davey, C. Old, B. Sellar, 2021. Tidal Energy Round Robin Tests: A comparison of flow measurements and turbine loading, *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 4, 425. [Action 6.3]
- Marty, A., F. Schoefs, T. Soulard, C. Berhault, **JV. Facq, B. Gaurier, G. Germain**, 2021. Effect of roughness of mussels on cylinder forces from a realistic shape modelling, *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 598 [Action 6.3]
- Marty, A., C. Berhault, G. Damblans, **JV. Facq, B. Gaurier, G. Germain**, T. Soulard, F. Schoefs, 2021. Experimental study of hard marine growth effect on the hydrodynamical behaviour of a submarine cable, *Applied Ocean Research*, 114, 102810 [Action 6.3]
- Michel-Rodriguez M, **Lefebvre S, Crouvoisier M, Mériaux X, Lizon F.** (2021). Underwater light climate and wavelength dependence of microalgae photosynthetic parameters in a temperate sea. *PeerJ* 9: e12101 DOI 10.7717/peerj.12101. [Action 1.1 et 2.2]
- Migné, A., **G. Duong**, D. Menu, D. Davoult, **F. Gevaert**, 2021. Dynamics of *Fucus serratus* thallus photosynthesis and community primary production during emersion across seasons: canopy dampening and biochemical acclimation. *Peer Community Journal*, 1, e32.
- Mougin, J., Roquigny, R., Flahaut, C., Bonnin-Jusserand, M., Grard, T. et Le Bris, C.** (2021) Abundance and spatial patterns over time of Vibrionaceae and *Vibrio harveyi* in water and biofilm from a seabass aquaculture facility. *Aquaculture* 542, p 736862 [Action 4.2]
- Ostle C., Paxman K., Graves C.A., Arnold M., **Artigas F.**, Atkinson A., Aubert A., Baptie M., Bear B., Bedford J., Best M., Bresnan E., Brittain R., Broughton D., Budria A., Cook K., Devlin M., Graham G., Halliday N., Helaoet P., Johansen M., Johns D.G., Lear D., Machairopoulou M., McKinney A., Mellor A., Milligan A., Pitois S., Rombouts I., Scherer C., Tett P., Widdicombe C., McQuattors-Gollop A., 2021. The Plankton Lifeform Extraction Tool: A digital tool to increase the discoverability and usability of plankton time-series data. *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 5617–5642, 2021 <https://doi.org/10.5194/essd-13-5617-2021>. [Action 1.1]
- Pan Y.J., Wang W.L., Hwang J.S., **Souissi S.** (2021) Effects of Epibiotic Diatoms on the Productivity of the Calanoid Copepod *Acartia tonsa* (Dana) in Intensive Aquaculture Systems. *Frontiers in Marine Science*, 8:728779
- Roquigny, Roxane, Julia Mougin, Cédric Le Bris, Maryse Bonnin-Jusserand, Périne Doyen & Thierry Grard**, 2021. Characterization of the marine aquaculture microbiome : a seasonal survey in a seabass farm. *Aquaculture*, 531, 735987. [Action 4.2]
- Slama, M., G. Pinon, C. El Hadi, M. Togneri, **B. Gaurier, G. Germain, JV. Facq**, J. Nuño, P. Mansilla, E. Nicolas, J. Marcille, A. Pacheco, 2021. Turbine design dependency to turbulence: an experimental study of three scaled tidal turbines, *Ocean Engineering*, 234, 109035 [Action 6.3]
- Timmerman C-A, Giraldo C, Cresson P, Ernande B, Travers-Trolet M, Rouquette M, Denamiel M, Lefebvre S.** 2021. Plasticity of trophic interactions in fish assemblages results in temporal stability of benthic-pelagic couplings. *Marine Environmental Research* 170, 105412. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105412> [Action 2.4]

Voltz B., Denis L., Duong G., Santoni A-L. **Artigas F., Cornille V., Henry F.,** Mathieu O., **Tallobre C., Gontharet S.** 2021. A multiproxy study of intertidal surface sediments from two macrotidal estuarine systems (Canche, Authie) in northern France: Insights into environmental processes. *Cont. Shelf Res.* 230, 104554. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104554> [Action 1.2]

Walters A, Robert M, **Cresson P,** Le Bris H, Kopp D. 2021. Food web structure in relation to environmental drivers across a continental shelf ecosystem. *Limnol Oceanogr* 66, 2563–2582. <https://doi.org/10.1002/lno.11773> [Action 2.4]

2022

Chadenas C., Andreu-Boussut V., **Rufin-Soler C.,** Rollo N., 2022. Les espaces naturels protégés littoraux en France métropolitaine et l'élévation du niveau marin : quelles stratégies d'adaptation ? *Bulletin de l'Association de Géographes français*, 3/4, 605-622. [Action 5.1]

Douay, F.; Verpoorter, C.; Duong, G.; Spilmont, N.; Gevaert, F. New Hyperspectral Procedure to Discriminate Intertidal Macroalgae. *Remote Sens.* 2022, 14, 346. <https://doi.org/10.3390/rs14020346> [Action 1.2]

Druault, P., **B. Gaurier, G. Germain,** 2022. Spatial integration effect on velocity spectrum: Towards an interpretation of the $-11/3$ power law observed on the spectra of turbine outputs, *Renewable Energy* 181, 1062-1080 [Action 6.3]

Issa, H., **Stienne, G., Reboul, S.,** Raad, M., & Faour, G. (2022). Airborne GNSS Reflectometry for Water Body Detection. *Remote Sensing*, 14(1), 163. [Action 6.2]

Kadiene E.U., Ouddane B., Gong H.Y., Hwang J.S., **Souissi S.** (2022) Multigenerational study of life history traits, bioaccumulation, and molecular responses of *Pseudodiaptomus annandalei* to cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 230:113171 [Action 3.1]

Karasiewicz S., Lefebvre A., 2022. Environmental Impact on Harmful Species *Pseudo-nitzschia* spp. and *Phaeocystis globosa* Phenology and Niche. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 174. <https://doi.org/10.3390/jmse10020174b> [Action 1.1]

Le Quiniou, C., **Schmitt, F.G.,** E. Calzavarini, S. Souissi, Y. Huang, Copepod swimming activity and turbulence intensity: study in the Agiturb turbulence generator system, *European Physical Journal Plus*, 137, 250, 2022. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-02455-7> [Action 1.4]

Soret, M., T. Bouchendhomme, J. Cleach, N. Jouy, C. Crola Da Silva, A. Devin, **T. Grard et P. Lencel,** 2022, Measurement of fish freshness: flow cytometry analysis of isolated muscle mitochondria *Food Chemistry*, 373(B), 131690 [Action 4.3]

Sous presse

Delanoy S, Hoffer C, Youf R, Dauvergne E, Webb H.E, **Brauge T,** Tran M.L, **Midelet G,** Granier S.A, Haenni M, **Fach F, Brisabois A.** 2022. High-Throughput screening of antimicrobial resistance genes in gram-negative seafood Bacteria. *Microorganisms*, sous presse [Action 4.1]

Druault, P., **G. Germain,** Prediction of the tidal turbine power fluctuations from the knowledge of incoming flow structures, *Ocean Engineering*, sous presse. [Action 6.3]

Jollivet-Castelot M., Briaux J., Paquet F., **Gaullier V.,** Thimon I., **Chanier F., Averbuch O.,** Châteauneuf J.J., 2022. Paleogene tectono-stratigraphic evolution of the Eastern English Channel and surrounding areas : New insights from the seismic stratigraphy of the southern Dieppe-Hampshire Basin. *Marine and Petroleum Geology*, sous presse. [Action 6.1]

Magnier, M., N. Delette, P. Druault, **B. Gaurier, G. Germain,** Experimental study of the shear flow effect on tidal turbine loading variation, *Renewable Energy*, sous presse. [Action 6.3]

Ouvrages et articles dans des livres et actes de conférences publiés (avec ISBN)

2017

- Aubert, A., Rombouts, I., **Artigas, F.**, **Budria, A.**, Ostle, C., Padegimas, B. and McQuatters-Gollop, A. (2017). Combining methods and data for a more holistic assessment of the plankton community. EcApRHA Deliverable WP1.2. ISBN : 978-1-911458-22-7 - Publication Number : EcApRHA1.2/2017, OSPAR, London, UK, 42 pp.
- Budria, A.**, Aubert, A., Rombouts, I., Ostle, C., Atkinson, A., Widdicombe, C., Goberville, E., **Artigas, F.**, Johns, D., Padegimas, B., Corcoran, E. and McQuatters-Gollop, A. (2017). Cross-linking plankton indicators to better define GES of pelagic habitats EcApRHA Deliverable WP1.4. ISBN : 978-1-911458-24-1. Publication Number : EcApRHA1.4/2017. OSPAR, London, UK, 54 pp.
- Elliott, S.A.M., Arroyo, N. L., Safi, G, Ostle, C., Guérin, L., McQuatters-Gollop, A., Aubert, A., **Artigas, F.**, **A. Budria, A.**, Rombouts, I., Pesch, R., Schmitt, P., Vina-Herbon, C., Meakins, B., González-Irusta, J. M., Preciado, I., López-López, L., Punzón, A., Torriente, Serrano, A., Haraldsson, M., Capuzzo, E., Claquin, P., Kromkamp, J., Niquil, N., Judd, A., Padegimas, B. & Corcoran, E. (2017). Proposed approaches for indicator Integration. EcApRHA Deliverable WP 4.1. ISBN : 978-1-911458-29-6 - Publication Number : EcApRHA 4.1/2017. OSPAR, London, UK, 44 pp.
- Ostle, C., **Artigas, F.**, Atkinson, A., Aubert, A., **Budria, A.**, Graham, G., Helaouët, P., Johns, D., Padegimas, B., Rombouts, I., Widdicombe, C. and McQuatters-Gollop, A. (2017). Spatial Representivity of Plankton Indicators EcApRHA Deliverable WP1.3. ISBN : 978-1-911458-23-4. Publication Number : EcApRHA1.3/2017. OSPAR, London, UK, 28.
- Ostle, C., **Artigas, F.**, Aubert, A., **Budria, A.**, Graham, G., Johansen, M., Johns, D., Padegimas, B., Rombouts, I., and McQuatters-Gollop, A. (2017). Programming outputs for constructing the plankton lifeform indicator from disparate data types EcApRHA Deliverable WP1.1. ISBN: 978-1-911458-21-0. Publication Number: EcApRHA1.1/2017. OSPAR, London, UK, 30 pp.
- Phan T.-T.-H., **Poisson Caillault E.**, **Lefebvre A.**, Bigand A., 2017. Which DTW method applied to marine univariate time series imputation. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland, 7pp., IEEE, doi:10.1109/OCEANSE.2017.8084598
- Phan T.-T.-H., **Poisson Caillault E.**, Bigand A., **Lefebvre A.**, 2017. A novel approach for uncorrelated multivariate time series imputation. 2017 IEEE International Workshop on Machine Learning for signal processing, 25-28 septembre 2017, Tokyo, Japon. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8168165>
- Poisson Caillault E.**, **Lefebvre A.**, 2017. Towards Chl-a Bloom Understanding by EM-based Unsupervised Event Detection. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland, 5pp., IEEE, doi:10.1109/OCEANSE.2017.8084597

2018

- Brauge T., G. Midelet-Bourdin, C. Soumet, 2018 Viability detection of foodborne bacterial pathogens in food environment by PMA-qPCR and by microscopic observation, In: XX (Eds) Title, Edition date.
- Grassi, K., **E. Poisson Caillault** and **A. Lefebvre**, Multilevel Spectral Clustering for extreme event characterization," OCEANS 2019 - Marseille, Marseille, France, 2019, pp. 1-7. doi: 10.1109/OCEANSE.2019.8867261 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8867261>)
- Menuge, B. Verpoorter C.**, Launeau P., Héquette, A. et Sipka V. 2018. Mapping of estuary transport from spatial remote-sensing products: application to Authie bay (France). In: *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Nguyen et al. Eds., Springer, pp. 809-830
- Phan T.-T.-H., **Poisson Caillault E.**, Bigand A., 2018. Comparative study on univariate forecasting methods for meteorological time series. 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp.2380-2384. ISBN 978-90-827970-1-5

Phan T.-T.-H., Poisson Caillault E., Bigand A., 2018. Comparative study on univariate forecasting methods for meteorological time series. 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp.2380-2384. ISBN 978-90-827970-1-5

Roche, A., Daburon, A., **Trentesaux, A.,** Maurin, C. et Deniaud, Y., 2018. Dynamiques et évolution du littoral. Synthèse des connaissances de la frontière belge à la pointe du Hourdel. XV^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil. La Rochelle. 29 - 31 mai 2018.

Stienne G., J.C. Kucwaj, M. Semmling, S. Reboul, “signals inversion for amplitude estimation: a concept for high-rate reflectometry”, International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA) 2018, Cartagena de Indias, Colombia, Sept. 10-14, 2018, DOI: 10.1109/ICEAA.2018.8519817.

Verpoorter C., Menuge, B. Launeau P., Héquette, A. et Méléder V., 2018. Synergy Between Hyperspectral (HYSPEX), Multispectral (SPOT 6/7, Sentinel-2) Remotely Sensed Data and LiDAR Data for Mapping the Authie Estuary (France), Water, In: *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Nguyen et al. Eds., Springer, pp. 769-788. ISBN:978-981-15-2080-8.

2020

Louchart A., R. deBlok, E. Debuschere, F. Gomez, **A. Lefebvre, F. Lizon,** J. Mortelmans, M. Rijkeboer, **F.G. Schmitt,** K. Deneudt, A. Veen, **L.F. Artigas,** 2020. Automated techniques to follow the spatial distribution of *Phaeocystis globosa* and diatoms spring blooms in the Channel and North Sea. In *Proceedings of the ICHA2018 (18th International Conference on Harmful algae)*, Nantes 21-26 October 2018), 51-54, ISBN 978-87-990827-7-3

Menuge, B., Verpoorter, C., Héquette, A., Sipka, V., 2020. Mapping of estuarine transport from spatial remote-sensing products: application to Authie bay (France). In: K.D. Nguyen et al. (eds.), *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Springer Water, Singapour, p. 809-830

Michel X., Andreu-Boussut V., Chadenas C., Salin E., **Rufin-Soler C.,** Herbert V., 2020. La lenteur et l'itinérance dans les pratiques touristiques de sites littoraux européens in Lebreton F., Gibout C. (coord.). *Slow tourism, slow sport, (En)jeux de spatialités, de mobilités et de corporéités*, éditions Universitaires de Lorraine, 18 p

Schmitt F. G., 2020. *Turbulence et écologie marine*, Paris, Ellipses, 264 pp.

Verpoorter, C., Menuge, B., Launeau, P., Méléder, V., Héquette, A., Cartier, A. et Sipka, V., 2020. Synergy between hyperspectral (HYSPEX), multispectral (SPOT 6/7, Sentinel-2) remotely sensed data and LiDAR data for mapping the Authie estuarie (France). In: K.D. Nguyen et al. (eds.), *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Springer Water, Singapour, p. 769-788

Wacquet G., **Lefebvre A., Blondel C., Louchart A.,** 2020. Grosjean Ph., Neaud-Masson N., Belin C., and **Artigas L.F.,** Combination of machine learning methodologies and imaging-in-flow systems for the automated detection of Harmful Algae. (2020). In *Proceedings of the 18th ICHA2018 (18th International Conference on Harmful Algae)*, Nantes, France, 21-26 October 2018, 46-50, ISBN 978-87-990827-7-3

2021

Andreu-Boussut V., Chadenas C., Michel X., Salin E., **Rufin-Soler C.,** Herbert V., 2021. Patrimonialisation et gestion du tourisme dans quatre hauts lieux du littoral européen : Chaussée des Géants (Irlande du Nord), Mer des Wadden (Danemark), Deux Caps et marais salants de Guérande (France) in Vivier N., Morice J.-R., et Saupin G. (dir.), PUR collection « Des sociétés », 12 p

Andreu-Boussut V., **Rufin-Soler C.,** Michel X., Salin E., Chadenas C., Herbert V., 2021. De la protection aux stratégies de gestion des visiteurs des sites patrimoniaux sur les littoraux de l'Europe du Nord-Ouest à travers quatre études de cas : Deux Caps et marais salants de Guérande (France), Chaussée des Géants (Royaume-Uni) et mer des Wadden (Danemark) in Pereira A. Q., Dantas E.W.C, 2021. Le tourisme littoral, 14 p

Magliozzi C., Druon J. N., Palialexis A., Aguzzi L., Alexande B., Antoniadis K., **Artigas L. F.,** Azzellino A., Bisinicu E., Boicenco L., Bojanic N., Borrello P., Boschetti S., Carmo V., Cervantes P., Coll M., Curmi M., Del Amo Y., Dutz J., Francé J., Garcés E., Gea G., Giannakourou A., Goberville E., Goffart A., Gomes Pereira J.N., González-Quirós R., Gorokhova E., Helaouet P., Henriques F., Heyden B., Jaanus A., Jakobsen H., Johansen M., Jurgensone I., Korpinen S., Kremp A., Kuosa H., Labayle L., Lazar L., Guglielmo L., McQuatters-Gollop A., Nincevic Z., Pagou K., Penna A., Petterson K., Ruiter H., Skejić S., Spada E., Spinu A., Tew-Kai E., Totti C., Tunesi L., Vadrucci M. R.,

Valavanis V., Varkitzi I., Vasiliades L., Veldeki G., Vidjak O., Vincent D., Zervoudaki S. (2021) Pelagic habitats under MSFD D1: scientific advice of policy relevance Recommendations to frame problems and solutions for the pelagic habitats' assessment problems and solutions for the pelagic habitats' assessment. JRC Science for Policy Report. ISBN 978-92-76-35958-6 - ISSN 1831-9424 - doi:10.2760/081368.

Ruz M-H., **Rufin-Soler C.**, Hellequin A-P., **Héquette A.**, Deboudt P., Cohen O., Lebreton F., Herbert V., **Schmitt F.**, Le Goff L., Révillon R., Marin D., 2021. COSACO : Quel littoral dans cinquante ans ? Co-construction de Stratégie d'Adaptation au changement climatique en Côte d'Opale. Rapport de synthèse. 77 p.

https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03373431/file/rapport_COSACO_Ruz_etal_2021.pdf

Sous presse

Dehaut, A., L. Hermabassiere, and G. Duflos. 2020. "Microplastics detection using Pyrolysis-GC/MS based methods." In *Handbook of Microplastics in the Environment*, edited by Teresa Rocha-Santos, Mónica Costa et Catherine Mouneyrac. : Springer International Publishing. *In press.*

Actes de conférences non publiés

2016

Henry F, Philippe S, Gontharet S, Courcot C, Dörr W, Caillaud J. (2016) First investigations of metal contents and Pb isotopes in protected salt marsh sediments (North Sea coast of France). *Open Journal Systems*, 407-408. 18 th International conference on Heavy Metals in the Environment (ICHMET). 12 - 15 September 2016.

Rapports d'expertise (en relation avec MARCO et ses outils)

2016

Artigas L.-F., Karlson B., Seppala J., Blauw A., Brosnahan M., Créach V., Dugenne M., Grégori G., Grosjean Ph., Guiselin N., Hamad D., Hébert P.-A., Kromkamp J., Lahbib S., Lawrenz E., Lefebvre A., Lizon F., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman W. International Workshop on current advances in the application of (semi-) automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters. Workshop report, Work package 3.1 (link with WP 2.4.2, WP4.1- JRAP#1, WP4.5-JRAP#5), 2016.

2017

Duflos M., **Wacquet G.**, Aubert A., Rombouts I., **Budria A.**, Devreker D., **Lefebvre A.**, **Artigas L.F.** Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin : Evaluation de l'état écologique des habitats pélagiques 2018- Décembre 2017

Seppälä J, **Lefebvre A**, **Lizon F**, **Artigas F**, Rytövuori S, Ylöstalo P and Möller K. (2017). Bio-optical instrumentation for phytoplankton monitoring. Rapport d'expertise JericoNext (UE, H2020), 19p.

Karlson B., **Artigas L.-F.**, Louchart A., Seppälä J., Claquin P., Colas F., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Grégori G., Kromkamp J., **Lefebvre A.**, **Lizon F.**, Möller K., Rijkeboer M., Stemmann L., Thyssen M., Tyberghein L., Wacquet G. (2017). Contribution to the JRAP#1: Phytoplankton biodiversity and HAB (Biodiversity of phytoplankton, harmful algal blooms and eutrophication), Progress Report #2. Work package 4, Deliverable 4.3 of JERICO-Next project, 66 pages.

2018

Wacquet G. (coll. Louchart A. et supervision **L.F. Artigas**) Amélioration de l'étude et du suivi des espèces phytoplanctoniques dominantes dans la Manche orientale, en focalisant à la fois sur les petites cellules et les espèces coloniales. Rapport d'allocataire de recherche « Jeunes Chercheurs » du Conseil Régional des Hauts-de-France. Direction de la Recherche, Enseignement Supérieur, Santé et Technologies de l'Information et de la Communication. 2018.

Mansoura M., Trentesaux A. et Inoubli M.H., 2018. Sismique haute résolution dans le Golfe de Gabès. Rapport de mission. Office National des Mines, 19 pp.

2019

Artigas F., Créach V., Houliez H., Karlson B., Lizon F., Seppälä J., Wacquet G. (2019) Novel methods for automated in situ observations of phytoplankton diversity and productivity: synthesis of exploration, inter comparisons and improvements. JERICO-NEXT-WP3-D3.2, 85 pp.

Gremare A., Puillat I., Karlson B., **Artigas F.**, Nizzetto., Rubio A., Laakso L., Mourre B. (2019). JERICO-NEXT. JRAP Synthesis and contribution to the strategy for the future. JERICO-NEXT-WP4-D4.5-220919-V5.0. <https://doi.org/10.13155/68871>

Jouandet M.P., Petit L., Wacquet G., Dédécker C., Duflos M., Aubert A., Rombouts I., Mialet B., Lebourg E., Bruaut M., Gómez F., Delarbre J., Didry M., **Artigas L.F.** Mise en œuvre du programme de surveillance "Habitats Pelagiques" : test de mise en place des campagnes saisonnières sur le site atelier Manche Mer du Nord et Mers Celtiques. Rapport sur les campagnes DCSMM 2017-2019 – SRM MMN, CNRS LOG-MTES, 126 pages, 2019.

Plouvier Th., Rufin-Soler C., Audouit C., Voltaire L., 2019. Etude de la fréquentation des massifs dunaires de Bray-Dunes te du cap Blanc Nez. Rapport d'activités. 77 p.

Rubio A., **Artigas F.**, Lefebvre A., Karlson B., Seppala J., King A., Nizzetto L., Berta, Griffa A., Moure B., Nair R., Petihakis G. D4.4: First valorisation results for each region. JERICO-NEXT-WP4-D4.4, 247 pp.

Lebourg E., A. Louchart, M. Bruaut, C. Dédécker, **F. Lizon, L. F. Artigas** (2019). Note technique pour la mise en place du Programme de surveillance de la DCSMM en SRM Manche Mer du Nord. PdS 1 DCSMM MTES - CNRS INSU (LOG) - IFREMER LER/BL. 25pp.

2020

Delbois L. et Guidez E., 2020. Etude sur les perceptions des risques littoraux des habitants de Oye-Plage et Wissant. Rapport d'activités (analyse à plat des questionnaires). 26 p.

2021

Devreker D., Lefebvre A., 2021. Résultats de la mise en oeuvre des réseaux REPHY (Réseau Phytoplancton et Phycotoxines) et SRN (Suivi Régional des Nutriments). Zones côtières de la Manche orientale et de la baie sud de la Mer du Nord. Bilan de l'année 2020. ODE/LITTORAL/LER.BL/21.10. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00718/82997/>

Foucaut T., Rufin-Soler C., Duflos G., Dehaut G., 2021. Consommation des produits de la mer, perceptions liées aux déchets plastiques et connaissances des microplastiques à Boulogne-sur-Mer – ConsoMicro. Rapport d'activités. 56 p.

Article de vulgarisation

2020

Ruz M.-H., Hellequin A.-P., **Rufin-Soler C.**, Cohen O., Deboudt Ph., Herbert V., 2020. La perception des risques d'érosion côtière et de submersion marine par la population du littoral : les cas de Wissant et Oye-Plage. *The Conversation*. <https://theconversation.com/la-perception-des-risques-derosion-cotiere-et-de-submersion-marine-par-la-population-du-littoral-les-cas-de-wissant-et-oye-plage-147074>

2021

Lefebvre A., Gallot C., **Facq J.-V.**, Duquesne V., Epinoux A., Hubert Z., Robache K., **Artigas F.**, 2021. Quand la technologie et la science travaillent main dans la main : Réussite du couplage d'un Cytomètre de Flux à la station de mesures automatisées MAREL Carnot à Boulogne sur Mer. Publication en ligne, communication externe Ifremer <https://wwz.ifremer.fr/manchemerdunord/Environnement/LER-Boulogne-sur-Mer/Actualites/Quand-la-technologie-et-la-science-travaillent-main-dans-la-main-Reussite-du-couplage-d-un-Cytometre-de-Flux-a-la-station-de-mesures-automatisees-MAREL-Carnot-a-Boulogne-sur-Mer>

Schmitt F.G., 2021. Dans l'océan, comment le plancton s'est adapté à son environnement turbulent, *The Conversation* <https://theconversation.com/dans-locean-comment-le-plancton-sest-adapte-a-son-environnement-turbulent-166763>

Menuge., B. 2021. Comment l'imagerie satellite peut contribuer à protéger notre littoral, *The Conversation* <https://theconversation.com/comment-limagerie-satellite-peut-contribuer-a-proteger-notre-littoral-143489>

2. Présentations

Organisation de sessions dans des congrès nationaux ou internationaux

2016

Session 5.1. « Le bassin de la Manche: Structuration, Géologie” du thème 5. “La Mer de Manche», 25^{ème} Réunion des Sciences de la Terre (RST), **V. Gaullier**, F. Paquet, I. Thinin et E. Lasseur, 24-28 Octobre 2016, Caen.

International Workshop on current advances in the application of (semi-) automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters. Wimereux, May 31-June 4 2016. F. Artigas, B. Karlson, J. Seppala

2017

Session « Géosciences », EEC-2017 Conference : « The Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel- Past, Present, Future. Looking forward : cherish the past, shape the future », **V. Gaullier**, 6-8 juin 2017, Wimereux.

Special session 'Viruses and parasites in food web interactions' à ASLO (American Society for Limnology and Oceanography), 26 Feb - Mar 3 2017, Honolulu, Hawaii USA. **U. Christaki** & T. Sime-Ngando.

2018

Session 5. « Le système Manche – Mer du Nord», 26^{ème} Réunion des Sciences de la Terre (RST), **V. Gaullier**, O. Averbuch, F. Paquet, 22-26 Octobre 2018, Lille.

Third JERICO-NEXT Workshop on Phytoplankton Automated Observation. M. Thyssen, V. Créach, **F. Artigas**. March 19-21, 2018, AMU CNRS MIO, Marseille, France

Session 2 “Biological oceanography and limnology of HABs”; Karlson B., **Artigas, L.F.** International Conference on Harmful Algae (ICHA) – 21-26 octobre 2018

2019

Molecular tools for addressing marine microbial diversity. Colloque du Réseau des Stations et Observatoires Marins (RESOMAR) et l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), **Artigas, F., Monchy, S.** 2019. 16-18 Janvier 2019, Wimereux (France).

2021

Special Session 28 : Aquatic microbial community structure and dynamics: new insights from non-destructive high throughput automated single cell analysis. ASLO 2021 Aquatic Sciences Virtual Meeting. **L.F. Artigas**, R. Casotti, V. Créach, M. Duguenne, M. Thyssen. 22–27 June 2021.

Special Session 66 : Coastal Ocean Observing Systemsto understand and predict changes of the coastal ocean. ASLO 2021 Aquatic Sciences Virtual Meeting. L. Delauney, I. Puillat, **F. Artigas**. 22–27 June 2021.

Session 7 : « Apports des outils géophysiques très haute résolution aux études tectoniques et sédimentaires en domaine marin » - V. Gaullier et M. Laurencin. Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-Mer, 13-15 octobre 2021.

Organisation du colloque GHYMANCHE 2021 (11-13 Octobre 2021, F. Schmitt, V. Gaullier, M. Laurencin): *Le colloque Ghymanche portait sur les Géosciences et l'Hydrodynamique sur la façade Manche – Mer du Nord. Il visait à faire le point sur les avancées obtenues ces dernières années sur la compréhension géologique du système complexe Manche-Mer du Nord et sur le transport hydrodynamique associé. Nous avons accueilli des présentations abordant la connaissance géologique de ce secteur de la fin du Paléozoïque jusqu'à l'actuel, depuis les études de reconnaissance géologique et géophysique à l'échelle régionale jusqu'aux tentatives de reconstitution géodynamique et paléogéographique à l'échelle de sous-bassins ou du système Manche-Mer du Nord dans son ensemble. Les présentations ont été structurées en 4 sessions : 1. Dynamique littorale, 2. Géologie de la Manche*

(onshore-offshore), 3. Géorisques, 4. Hydrodynamique et transport sédimentaire. Le colloque s'est déroulé sous la forme de 3 demi-journées de présentations orales et d'une journée sur le terrain. Il a réuni environ 35 participants, avec 24 présentations orales, dont 4 invitées. Le soutien financier a été assuré par l'Infrastructure de Recherche littorale et côtière IR ILICO et par le LOG.

Organisation du colloque MARCO 2021, coordination sous forme de 8 sessions scientifiques, 13-15 octobre 2021, CCI, Boulogne sur mer.

2022

Session NP6.2 : Turbulence and plankton. EGU General Assembly, Vienna, 23-27 May 2022. Conveners: **F.G. Schmitt**, F. De Lillo, E. Calzavarini, I. Tuval, M. Bees.

Présentations orales internationales

2016

- Artigas L.F., Bonato, S., Créach V., Guiselin N., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Lefebvre A., Lampert L., Lizon F., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Rutten T., Thyssen M., Veen A., Wacquet G. Combination of fluorometry and automated flow cytometry for the observation of phytoplankton dynamics in coastal waters of the eastern Channel (DYMAPHY - JERICO-Next European network). JERICO-Next Practical Workshop on Automated Optical Sensors for phytoplankton analysis, Göteborg (SE), Sept 26-30, 2016.
- Artigas L.F., Blauw A., Bonato, S., Claquin P., Créach V., Deneudt K., Grégori G., Grosjean, P., Guiselin N., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lefebvre A., Lampert L., Lizon F., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghien L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Vyverman, W., M. Brosnahan, Puillat, I. Integrated approach for the implementation of the MSFD monitoring of pelagic habitats (phytoplankton), based on the combination of reference and (semi)automated methods. DEVOTES Final Meeting, Brussels, October 17-19, 2016.
- Cresson P, Ernande B, Giraldo C, Lefebvre S, Rouquette M, Travers Trolet M. 2016. Effect of depth gradients on fish trophic relationships in the English Channel. International Conference on Ecological Sciences. Conference of the French Ecological Society 24th-28th October. Marseille
- Denis L., Gontharet S., Gevaert F., Duong G., Goulard F., Armynot du Chatelet E., Artigas F., Bolhuis H., Brotas V., Caillaud J., Gommeaux M., Lefebvre S., Philippe S., Ribeiro L., Trentesaux A., Verpoorter C. (2016) Microphytobenthic behaviour and productivity as estimated through automated oxygen microprofiling system: capabilities and perspectives. 25th Earth Science Meeting, Caen, France, 24-28 Octobre 2016.
- Gaullier V., Paquet F., Chanier F., Graveleau F., Thion I., Lasseur E., Averbuch O., 2016. Structuration du Bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : Apport de nouvelles données sismiques. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France.
- Giraldo C., Ernande B., Cresson P., Kopp D., Cachera M., Travers M., Lefebvre S., 2016. Feeding ecology and physiology. 41st CIESM Congress – Kiel, Germany 12 -16 September.
- Giraldo C, Ernande B, Cresson P, Kopp D, Cachera M, Travers M, Lefebvre S. 2016. Interactions between habitat use, isotopic niche variation and overlap among fish species in a temperate semi-enclosed sea. International Conference on Ecological Sciences. Conference of the French Ecological Society 24th-28th October. Marseille
- Grosjean P., Denis K., Rousseau V., Parent J.Y., Lancelot C., Hamad D., Artigas F., Lefebvre A., Neaud-Masson N., Maurer D., Tunin-Ley A., Belin C., 2016. Semi-automatic analysis of FlowCAM phytoplankton data using Zoo/PhytoImage. International workshop on current advances in the application of (semi-)automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters, 31 mai-2 juin 2016, Wimereux.
- Henry F, Philippe S, Gontharet S, Courcot C, Dörr W, Caillaud J. 2016. First investigations of metal contents and Pb isotopes in protected salt marsh sediments (North Sea coast of France). 18th International conference on Heavy Metals in the Environment (ICHMET). 12 - 15 September 2016. Ghent.
- Paquet F., Lasseur E., Thion I., Couëffe R., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Briais J., Dupuis C., Gaullier V., 2016. A new geological map for the « Baie de Seine – Pays de Caux » area at the 1 :250,000 scale – Sedimentary and tectonic evolution during Cenozoic. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France.
- Paquet F., Lasseur E., Thion I., Couëffe R., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Courgeon, Pelote A., Briais J., Dupuis C., Gaullier V., 2016. A new geological map for the « Baie de Seine – Pays de Caux » area at the 1 :250,000 scale – Sedimentary and tectonic evolution during Cretaceous. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France.

2017

- Artigas L.F., Bonato S., Breton E., Claquin P., Créach V., de Blok R., Delarbre J., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Seppälä J., Stemmann L., Tyberghien L., Thyssen M., Veen A., Vyverman, W., Wacquet G., Wollschläger J., Automated in vivo approaches for monitoring phytoplankton in coastal marine waters: challenges for supporting

- phytoplankton long-term observation. 2nd Meeting - IOC Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans (IOC WG TrendsPO) - AWI, Bremerhaven, December 4-8, 2017.
- Artigas L.F., Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman, W. Automated in vivo approaches for monitoring phytoplankton in coastal marine waters: advantages and challenges. Symposium on High throughput methods in marine time series: Addressing their challenges to fulfill their promises, Schloss Herrenhause, Hannover, October 11-13, 2017
- Artigas L.F., Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Vywerman, W. Automated characterisation of phytoplankton dynamics in coastal marine waters: the DYMAPHY project and the JERICO-Next H2020 network. International Council for the Exploration of the Sea – Working Group on Phytoplankton & Microbial Ecology. Reykjavik, Iceland, March 28-30, 2017.
- Artigas L.F., Didry M., Prévost E., Bonato S., Lizon F., Lampert L., Lefebvre A., Broutin M., Degros N., Gomez F., Blondel C., Thyssen M., Cornille V., Lécuyer E., Verne M., Frère L., Mériaux X., Cauvin A., Danhiez F.-P., Créach V., Rijkeboer M., Veen A., 2017. Spatial distribution of phytoplankton communities in spring in the eastern English Channel, addressed by a combination of innovative and reference techniques. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Artigas L. F., Bonato S., Claquin P., Créach V., de Blok R., Deneudt K., Dugenne M., Grégori G., Grosjean, P., Hamad D., Hébert P.-A., Houliez E., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Revilla M., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Vywerman W., Wacquet G., Wollschläger J. Automated approaches for studying phytoplankton dynamics in coastal marine waters: single-particle vs. bulk optical sensors within the JERICO-Next H2020 network. CytoBuoy International Workshop. Woerden, Netherlands, March 27-29, 2017.
- Artigas L.F. et al. Automated characterisation of phytoplankton dynamics in coastal marine waters: the DYMAPHY project and the JERICO-Next H2020 network. JERICO-Next Summer School – Den Haag June 19-23, 2017
- Breton E., Christaki U., Poquet A., Brylinski J.-M., Cornille V., Crispi O., Crouvoisier M., Gentilhomme V., Gomez F., Grosstefan E., Lecuyer E., Lefebvre A., Sautour B., 2017. Using phytoplankton traits and derived metrics to understand long-term recovery progress of a coastal ecosystem following trend reversal in anthropogenic nutrients. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Briet, A., Helsen, N., Delannoy, S., Debuiche, S., Brisabois, A., Midelet-Bourdin, G., Granier, S.A. (2017). NDM-1 producing *Vibrio parahaemolyticus* isolated from imported shrimps. ARAE, Brunswick, Allemagne.
- Briet, A., Helsen, N., Delannoy, S., Debuiche, S., Brisabois, A., Midelet-Bourdin, G., Granier, S.A. (2017). Souche de *Vibrio parahaemolyticus* multi-résistante isolée de crevettes importées. 3ème Colloque International Francophone en Environnement et Santé, Dunkerque, France.
- Caillaud J., Philippe S., Courcot L., Gontharet S., Dörr W., Dessailly D., Cornille V., Henry F. Etat de contamination métallique des sédiments de vasières dans un secteur anthropisé : cas du platier d'oye (Hauts de France). 3ème Colloque International Francophone en Environnement et Santé : 23 et 24 octobre 2017, Dunkerque, France.
- Caillault-Poisson E., Rizik A., Ternynck P., Bigand A., Lefebvre A., 2017. New developments to fill gap in high frequency data series and to integrate knowledge in Markov modeling of phytoplankton dynamics. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Christaki U. Parasitic eukaryotes in a meso-eutrophic coastal system with marked phytoplankton blooms 2017: The Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, Present, Future, June 6-8, 2017.
- Copin S., V. Ragueneau, M. Bonnin-Jusserand, A. Robert-Pillot, « L'état viable mais non cultivable chez les *Vibrio* non cholériques », Congrès de la SFM, 9-11 octobre 2017, Paris.
- Créach V., Artigas F., Lahbib S., Thyssen M., Tyberghein L., Louchart A., Wacquet G. New technology: Beyond the challenges for a better use of phytoplankton data. Symposium on High throughput methods in marine time series: Addressing their challenges to fulfill their promises, Schloss Herrenhause, Hannover, October 11-13, 2017

- Denis L. (2017) Sediment-water exchanges of oxygen and nutrients in the eastern English Channel: synthesis, budgets, obstacles and perspectives. Conference on the Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel: Past, present, Future, Wimereux, France, 6-8 Juin 2017. (Oral)
- Denis L., Gontharet S., Duong G., Goulard F., Gevaert F., Lefebvre S., Artigas L. F., Philippe S., Caillaud J., Verpoorter C., Arminot du Chatelet E., Trentesaux A., Brotas V., Ribeiro L., Gommeaux M., Bolhuis H. (2017) Microphytobenthic diversity (functional & biological) in intertidal estuarine mudflats (MIDIEM project, Authie estuary, English Channel, France. 13rd International Congress on The interactions between Sediments and Water, Taormina, Italie, 17-22 Juin 2017. (Oral)
- Di Pane J. 2017. Spring distribution of flatfish larvae along the French coast of the Eastern English channel. International Flatfish Symposium 2017, 18-24 Novembre, Saint Malo.
- Gaullier V., Paquet F., Jollivet-Castelot M., Chanier F., Briaux J., Thimon I., Averbuch O., Allanic C., Graveleau F., Vendeville B., 2017. The "TREMOR" project: Sedimento-structural land-sea study in the eastern English Channel. EEC-2017 Conference : « The Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel- Past, Present, Future. Looking forward : cherish the past, shape the future », 6-8 juin Wimereux, France.
- Genu M., Travers-Trolet, M. 2017. Relative importance of different mechanisms underlying fish response to climate change. Poster at the AMEMR conference, 3rd-6th July, Plymouth.
- Genu M., Travers-Trolet, M. 2017. Evaluation des contributions relatives de différents processus impliqués dans les effets simulés du changement climatique sur les communautés de poissons. Pêche et Changements globaux – colloque AFH, 28-30 juin 2017, Nantes.
- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Khalaf G., Guérin T., Jitaru P., Amara R. Evaluation de la contamination en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Hg, As) dans des produits de la pêche du littoral Libanais, 3ème Colloque International Francophone en Environnement et Santé, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 23 - 25 Octobre 2017
- Gontharet S., Denis L., Mathieu O., Lesourd S., Arminot du Chatelet E., Artigas L.F., Caillaud J., Duong G., Gevaert F., Goulard F., Lévêque J., Philippe S., Rolet C., Trentesaux A. (2017) Variability in sediment characteristics and organic matter dynamics during a *Phaeocystis globosa* spring bloom in an intertidal mudflat. Conference on the Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel: Past, present, Future, Wimereux, France, 6-8 Juin 2017.
- Hermabessiere L., Dehaut, A., Cassone, A.N., Frère L., Himber C., Rinnert E., Rivière G., Lambert C., Soudant P., Huvet A., Duflos G., Paul-Pont I. Identification of an optimized protocol for extraction and characterization of microplastics in seafood products. ECSafeSeafood Final Conference. Bruxelles (Belgique), 25-26 janvier 2017.
- Hermabessiere L., Zambonino-Infante J.L., Receveur J., Himber C., Paul-Pont I., Dehaut A., Jezequel R., Soudant P., Duflos G. Leaching of a common antioxidant additive (Irgafos 168[®]) from microplastics using an in vitro enzymatic model of digestion. Capri (Italie), 28 septembre 2017.
- Jollivet-Castelot M., Gaullier V., Paquet F., Chanier F., Thimon I., Briaux J., Averbuch O., 2017. Structural development of the Dieppe-Hampshire Basin (eastern English Channel): Contribution of new seismic data. EEC-2017 Conference : « The Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel- Past, Present, Future. Looking forward : cherish the past, shape the future », 6-8 juin, Wimereux, France.
- Karasiewicz S., Breton E., Lefebvre A., Hernandez Farinas T., Lefebvre S., 2017. Environmental response of *Phaeocystis* spp. realized niche and its consequences. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Karlson B., Anglès S., Artigas L.F., Brosnahan M.L., Colas F., Creach C., Reinhoud De Blok R., Deneudt K., Eikrem W., Hällfors H., Gregori G., Kielosto S., Kuosa H., Laakso L., Lefebvre A., Lehtinen S., Louchart A., Oja J., Rijkeboer M., Poisson-Caillault E., Jukka Seppälä J., Suikkanen S., Tamminen T., Thyssen M., Tyberghein L, Wacquet G., Ylöstalo P., 2017. Flow cytometry and imaging in flow methods facilitate automated observations and monitoring of algal blooms and phytoplankton abundance and diversity in automated platforms. FerryBox workshop on Color Fantasy, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, 17-19 October 2017.
- Kouzoundjian B., F. Beauvois, S. Reboul, J.B. Choquel, J. C. Noyer, "A TDOA underwater localization approach for shallow water environment", IEEE OCEAN 2017.
- Lefebvre S., Giraldo C., Kopp D., Cresson P., Travers-Trolet M., Ernande B, 2017. Depth is a critical environmental driver of the food web structure in the Eastern English Channel. The oceanography and geoscience of the eastern English Channel conference., 6-8 june 2017, Wimereux, France.
- Louchart A. & Lizon F. Workshop JERICO-NEXT, VLIZ, Ostende 6-8 décembre 2017.

- Paquet F., Lasseur E., Thinon I., Briais J., Allanic C., Couëffé R., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Jollivet-Castelot M., Gaullier V., Caline B., 2017. Updating geological knowledge of the Anglo-Parisian Basin from offshore mapping and investigations using very-high resolution seismic data. EEC-2017 Conference : « The Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel- Past, Present, Future. Looking forward : cherish the past, shape the future », 6-8 juin Wimereux, France.
- Pernak M. 2017. Winter distribution of plaice (*pleuronectes platessa*) and lemon sole (*microstomus kitt*) larvae in the English channel and north sea inferred from the 2016 IBTS sampling. International Flatfish Symposium 2017, 18-24 Novembre, Saint Malo.
- Phan T.-T.-H., Poisson Caillault E., Lefebvre A., Bigand A., 2017. Which DTW method applied to marine univariate time series imputation. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland.
- Phan T.-T.-H., Poisson Caillault E., Bigand A., Lefebvre A., 2017. A novel approach for uncorrelated multivariate time series imputation. 2017 IEEE International Workshop on Machine Learning for signal processing, 25-28 septembre 2017, Tokyo, Japon.
- Poisson Caillault E., Lefebvre A., 2017. Towards Chl-a Bloom Understanding by EM-based Unsupervised Event Detection. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland.
- Sautour B., Breton E., Dauvin J.C., Goberville E., Lefebvre A., Luczak C., Poisson-Caillault E., Schmitt F., 2017. Twenty years of observations in the French coastal waters : the case of the eastern English Channel. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.

2018

- Antajan E., Goberville E., Lefebvre A., Loots C., Blondel C., Caboche J., Cordier R., Duquesne V., Hébert P., Lefebvre V., 2018. The Dunkirk-West plankton time-series: 1978-2018. L4 30th Anniversary Science Day, October 2, 2018, Plymouth, UK.
- Artigas L.F. et al., Combination of automated approaches for the characterization of spatial and temporal variability of phytoplankton dynamics, at high resolution, in coastal waters. 2d COCA International Meeting, Paris, November 15-16, 2018
- Artigas L.F., Aubert A., Bonato S., Breton E., Budria A., Créach V., Didry M., de Blok R., Delarbre J., Duflos M., Hamad D., Hébert P.-A., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., McQuatters-Gallop A., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Rombouts I., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Veen A., Wacquet G. On the use of automated FCM into phytoplankton monitoring programmes in the frame of European Water Framework and Marine Strategy Framework Directives. EUROMARINE FORESIGHT WORKSHOP: Improving the visibility of ocean data from new technologies: a case study of high frequency flow cytometry, March 21-23, 2018 - M.I.O., Marseille.
- Artigas L.F., Karlson B., Claquin P., Créach V., De Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Grégori G., Hébert P.-A., Kromkamp J., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Petersen W., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Puillat I. Automated in vivo approaches for characterizing HAB coastal waters: the JERICO-Next European Research Infrastructure. International Congress of Harmful Algae, Nantes, October 21-26, 2018
- Brisabois A. 2018. High-Throughput Method for Antimicrobial Resistance Genes Detection, CIFSQ, (China International Food safety & Quality Conference), Shanghai, 7-8 novembre 2018
- Cleach, J., Pasdois P., Marchetti P., Watier D., Duflos G., Goffier E., Lacoste A.S., Slomianny C., Grard T. & Lencel P. Mitochondrial activity as a putative indicator of fish freshness alteration? 18 octobre 2018. Congrès WEFTA – 48ème édition (Lisbonne, Portugal).
- Di Pane J., Gendrot F., Loots C., Koubbi P. Spatial and temporal variations of larval condition during the critical period of threefish species in the Eastern English Channel : a histological-based approach. Meeting of the ICES Working Group on Atlantic Larvae and Egg Surveys (WGALES). Présentation orale. Copenhague 22 – 26 Octobre 2018
- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Marchond N., Khalaf G., Guérin T., Amara R., Jitaru P, Determination of Pb, Cd, Hg and As levels in fishery products from the Lebanese coast and health risk assessment, ICEPRAR 2018 International Conference on Environmental Pollution, Risk Assessment and Remediation, Tunisia, 18-20 Avril 2018.

- Giraldo C, Joly L, Di Pane J, Tavernier E. 2018. Lipids components as proxy of plaice larval condition (*Pleuronectes platessa*) in the North Sea and English Channel. Meeting of the ICES Working Group on Atlantic Larvae and Egg Surveys (WGALES). Présentation orale. Copenhagen 22 – 26 Octobre 2018
- Hermabessiere, L., C. Himber, B. Boricaud, M. Kazour, R. Amara, M. Laurentie, I. Paul-Pont, P. Soudant, A. Dehaut and G. Duflos. Py-GC/MS method development and application for the identification of microplastics from seafood. 48th WEFTA Conference. Lisbon (Portugal), 15-18 octobre.
- Hermabessiere, L., C. Himber, B. Boricaud, M. Kazour, R. Amara, M. Laurentie, I. Paul-Pont, P. Soudant, A. Dehaut and G. Duflos. Development of a Py-GC/MS method and its application to identify marine microplastics. Micro 2018. Lanzarote (Espagne), 19-23 novembre 2018.
- Hermabessiere L., Zambonino-Infante J.L., Receveur J., Himber C., Paul-Pont I., Dehaut A., Jezequel R., Soudant P., Duflos G. Study of the leaching from microplastics using an in vitro enzymation digestion model. Sixth International Marine Debris Conference. San Diego (USA), 12-16 Mars 2018.
- Jollivet-Castelot, M., Briais, J., Paquet, F., Gaullier, V., Chanier, F., Thinon, I., Averbuch, O., Châteauneuf, J.J., 2018. Paleogene seismic stratigraphy of the southern Dieppe-Hampshire Basin (Eastern English Channel): New insights from the TREMOR project. EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, 8-13 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-7708
- Joly L., Tavernier E., Di Pane J., Giraldo C. TAG :Chol and PC :PE as proxy of plaice larval condition (*Pleuronectes platessa*) in the North Sea and English Channel. Lipids in the Ocean international conference 20-22 November 2018. Brest, France.
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2018. Analysis of Phytoplankton bloom phenology by identification of gaussian mixture in the southern bight of the North Sea (1989-2014). 18th International Conference on Harmful Algae - ICHA 2018, October 21th to 26th 2018, Nantes, France.
- Karlson B., Arneborg L., Artigas L.F., Brosnahan M.L., Cembella A., Eikrem W., Godhe A., Johansson J., Johansson M., Lehtinen S., Lizon F., Louchart A., Mohlin M., Seppälä J., Stemmann L. Harmful algal blooms in the Baltic Sea and in the Kattegat-Skagerrak area investigated using novel in situ and remote sensing methods. International Congress of Harmful Algae, Nantes, October 21-26, 2018
- Kazour, M., Jemaa, S., Khalaf, G., Amara, R. "Microplastics contamination of the Lebanese coast: ingestion by commercial seafood species" in Fish Forum 2018 – Rome, Italy – 10-14 December 2018
- Kazour, M., Terki, S., Rabhi, K., Jemaa, S., Khalaf, G., Amara, R. "Sources of microplastics pollution into the marine environment: importance of wastewater treatment plant and coastal dump" in MICRO 2018 – Arrecife, Lanzarote (Spain) – 19-23 November 2018
- Kazour, M., Jemaa, S., El Rakwe, M., Duflos, G., Hermabassiere, L., Dehaut, A., Le Bihanic, F., Cachot, J., Cornille, V., Rabhi, K., Khalaf, G., Amara, R. "Nouvelle approche pour l'étude in situ de la contamination des poissons par les microplastiques: engagement de juvéniles de flets (*Platichthys flesus*) dans des nourriceries estuariennes" in "14ème colloque international francophone en écotoxicologie aquatique EcoBIM 2018" – Bordeaux (France) – 22-25 May 2018
- Loots, C., Pernak, M., Giraldo, C., Damme, C., Huwer, B., Klopmann, M., Nash, R., Ritchie, L. Spatio-temporal variability of winter larval assemblages in the eastern English Channel and North Sea. Meeting of the ICES Working Group on Atlantic Larvae and Egg Surveys (WGALES). Présentation orale. Copenhagen 22 – 26 Octobre 2018
- Menuge B., C. Verpoorter, A. Hequette, V. Sipka, 2018. Mapping of estuarine transport from spatial remote-sensing products: application to Authie bay (France). Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018), August 20-23 2018, Caen, France.
- Stienne G., J.-C. Kucwaj, M. Semmling, S. Reboul, GNSS signals inversion for amplitude estimation: a concept for high-rate reflectometry, International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA) 2018, Cartagena de Indias, Colombia, Sept. 10-14, 2018
- Timmerman CA, Cresson P, Denamiel M, Marchal P. 2018. A multi-tissue approach for a better understanding of the ecology of commercial fish species. 11th International Conference on the Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies (ISOECOL), 30 July - 3 August. Viña del Mar, Chile
- Verpoorter C., B. Menuge, P. Launeau, V. Méléder, A. Héquette, A. Cartier, V. Sipka, 2018. Synergy between hyperspectral (HYSPEX), multispectral (SPOT 6/7, Sentinel-2) remotely sensed data and LiDAR data for mapping

the Authie estuary (France). Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018), August 20-23 2018, Caen, France.

Wacquet G., Lefebvre A., Blondel C., Louchart A., Grosjean P., Artigas L.F., 2018. Combination of “machine learning” methodologies and imaging-in-flow system to detect Harmful Algae semi-automatically. The 18th International Conference on Harmful Algae, from ecosystem to socio-ecosystems – ICHA2018, 21-26 October 2018, Nantes, France.

2019

Artigas L. F., Claquin P., Créach V, de Blok R., Debusschere E., Deneudt K. , Grégori G, .Hébert P.-A., Karlson B., Kromkamp J., Lahbib S., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Ove Möller, K., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Van Dijk M., Veen A., Wacquet G., Puillat I. (2019). Combining automated optical approaches for building an integrated platform for marine phytoplankton field observation. IMBER - Open Science Conference. Brest (com. orale).

Artigas L.F., Lefebvre A., Blauw A., Claquin P., Créach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Kromkamp J., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Petersen W., Rijkeboer M., Van DIJK M.A., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J. The North Sea – English Channel WP4, Final General Assembly Week of JericoNext, Brest, July 1-5, 2019

Artigas L.F., Karlson B., Aardema H., Brosnahan M.L., Claquin P., Créach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Grégori G., Kromkamp J., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Rijkeboer M., Thyssen M., Seppälä J., Stemmann L., Van DIJK M.A., Veen A., Yllostalo P., Wollschläger J., Wacquet G. Innovations in Technology and Methodology WP3 Task 3.1: Automated platform for the observation of phytoplankton diversity and related services. Final General Assembly Week of JericoNext, Brest, July 1-5, 2019

Charria G., Schmitt F., Artigas F., Berthebaud E., Bonnat A., Bourrin F., Bozec Y., Cariou T., Claquin P., Conan P., Coppola L., Delalée F., Facq J.-V., Farcy P., Ferreira S., Garcia F., Grisoni J.-M., Jacqueline F., Jacquet M., Lefebvre A., Leredde Y., Le Roux J.-F., Mas S., Mostajir B., Mousseau L., Pairaud I., Petton S., Pouvreau S., Quemener L., Ravel C., Raimbault P., Repecaud M., Retho M., Rimmelin-Maury P., Riou P., Savoye N., Souchu P., Verney R., Vuillemin R., 2019. National observation infrastructures in a European framework: COAST-HF A fixed-platform network along French coasts. OCEANOBS'19: An Ocean of Opportunity. September 16-20 2019, Honolulu, HI, US. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00635/74723/>

De Cubber, L., Lefebvre, S., Lancelot, T., Denis, L. Gaudron, S.M., 2019. Annelid polychaetes experience metabolic acceleration as other Lophotrochozoans: inferences on the life cycle of *Arenicola marina* with a Dynamic Energy Budget model. 6th international symposium of DEB theory of metabolic organization, 1-12 April 2019, Brest, France.

Dehaut A, Hermabassiere L, Duflos G (2019) Problematic of microplastics in the context on seafood safety. 2019 International Orchid Conference, Lille (France), 9 - 11 Juillet 2019

Dehaut A, Hermabessiere L, Duflos G (2019) Toward harmonization and good practices for the study of microplastics in seafood? 49th WEFTA conference, Tórshavn (Faroe Island), 15 - 17 October 2019

Di Pane Julien, Joly Léa, Tavernier Eric, Monchy Sébastien, Koubbi Philippe, Giraldo Carolina et Loots Christophe. 2019. Ontogenetic shifts in the nutritional condition and energy allocation strategy of larval plaice (*Pleuronectes platessa*). 43rd Annual Larval Fish conference. May 2019. Palma de Mallorca, Spain

Douay F, Verpoorter C, Spilmont N & Gevaert F. To what extent spectral imagery and reflectance can be used to map intertidal marine macroalgae? 7th European Phycological Congress, 25-30 aout 2019, Zagreb, Croatie

Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Khalaf G., Guérin T., Jitaru P., Amara R. Metals and Trace Elements in Seafood from the Eastern Mediterranean and Health Risk Assessment Pollutant Responses in Marine Organisms 20th meeting – PRIMO 20, Charleston SC, USA, 19 – 22 Mai 2019

Girardin, R., Fulton, E.A., Gorton, R.J., Savina-Rolland, M., Thébaud, O., Travers-Trolet, M., Vermard, Y., Marchal, P. (2019). Consequences of management measures on fishers’ behaviour and marine Ecosystems: the Example of the Eastern English Channel flatfish fisheries. IMBER - Open Science Conference. 17-21 juin 2019, Brest.

Grassi K., E. Poisson-Caillault, A. Lefebvre, "Multi-level Spectral Clustering for extreme event characterization", MTS IEEE OCEAN, Marseille, Juilllet 2019.

- Irion, S., Berthelot, H., Sassenhagen, I., Jardillier, L., Christaki, U., Diversity and contribution of pico- and nano-phytoplankton to the carbon uptake in contrasted areas of the Austral ocean. Oral presentation, IMBeR Open Science Conference, Brest, France, 17-21 June 2019
- Kouassi L. W., G. Stienne, M. Semmling, J.C. Kucwaj, S. Reboul AND J. Wickert, "A GNSS-R multirotor UAV platform for soil moisture detection and altimetry", IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), May 2019, Benevento, Italy.
- Lefebvre A., Grassi K., Crenan B., Poisson-Caillault E., 2019. Identification of spatial hydro-biological structures by spectral clustering. Towards implementation of machine learning for Ferry Box data processing. 9th Ferry Box Workshop, 24-26 May 2019, Gênes, Italie.
- Li L-L, Dehaut A, Duflos G, Souissi S, Amara R, Monchy S (2019) Ingestion of microplastics and impacts on gut microbiota in marine bivalves. 2019 International Orchid Conference, Lille (France), 9 - 11 Juillet 2019
- Louchart A., De Blok R., Debusschere E., Gómez F., Lefebvre A., Lizon F., Mortelmans J., Rijkeboer M., Deneudt K., Veen A., Schmitt F.G., Artigas L.F. Trait-based features sorted by an automated flow cytometry to study spatialized ecological niches ICES Annual Science Conference 2019, Göteborg, Suède, Septembre 2019.
- Monchy, S S. Genitsaris, S. Rachik, L.L. Li, E. Breton, U. Christaki. (2019) Diversity, succession and potential activity of planktonic eukaryotic microbes in a mesoeutrophic coastal area (eastern English Channel). International Orchid Conference, Lille (France), 9 - 11 Juillet 2019
- Mougin J., Roquigny R., Doyen P., Grard T., Bonnin-Jusserand M., Le Bris C. « I will survive: When *Vibrio harveyi* in fish farming systems thinks he is Gloria Gaynor!” 49th WEFTA Conference (West European Fish Technologists’ Association, 14-18 octobre 2019, Torshavn, Faroe Islands.
- Sassenhagen, I., Irion, S., Jardillier, L., Christaki, U: Protist communities and biotic interactions in the Southern Ocean. June 2019. Integrated Marine Biosphere Research (IMBeR). Brest, France
- Semmling M., G. Stienne, S. Gontharet, S. Gerland, S. Reboul and J. Wickert, "Estimation of Soil Moisture and Sea Ice Concentration - A GNSS Reflectometry Concept", IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), May 2019, Benevento, Italy.
- Semmling, M.; Stienne, G.; Gontharet, S.; Gerland, S.; Reboul, S. and Wickert, J.: "Estimation of Soil Moisture and Sea Ice Concentration – A GNSS Reflectometry Concept", EGU General Assembly, 2019, 21, EGU2019-4521.
- Semmling M., K. Balidakis, G. Stienne, S. Reboul, E. Cardellach, W. Li, J. Wickert, H. Schuh, “GNSS amplitude estimation and its application to coherently reflected signals for sea ice remote sensing”, ESA living planet symposium, May 2019, Milan, Italy.
- Timmerman CA, Day L, Brind’amour A, Cresson P, 2019. Individual diet specialization in Plaice *Pleuronectes platessa*. ICES annual science conference 9-12 September. Gothenburg, Sweden
- Trentesaux, A., Reynaud, J.-Y., & Buguet, D. , 2019. Unraveling the origin of the Dover Strait opening. The black box is still to be opened. From the North Sea Lowlands to ythe Celtic Shelf Edge. Reconstructing interconnected environments for the past 500 kyrs. International conference. 18-20 November 2019. Utrecht, The Netherlands
- Wacquet G., A. Louchart, C. Blondel, P.-A. Hébert, E. Poisson-Caillault, F. Gomez, A. Lefebvre, Ph. Grosjean, L.F. Artigas Combination of automated data acquisition techniques and machine learning methods for the recognition of phytoplankton. ICES Annual Science Conference 2019, Göteborg, Suède, Septembre 2019.
- Youf R, Dauvergne E, Webb HE, Delannoy S, Briet A, Brauge T, Bourdin G, Fach P, Granier SA, Brisabois A, 2019 A High-Throughput Method for Antimicrobial Resistance Genes Detection, ARAE, Tours, 1er au 3 juillet 2019

2020

- Artigas L.F. et al. About the pros and cons of combining innovative automated techniques to complete the microscopical (morphological/taxonomical) approach in various monitoring programs/ocean observation systems. Cutting Edge Symposium – Saving our Seas & 4d Meeting - IOC Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans (IOC WG TrendsPO), Hobart, January 8-10, 2020.
- Artigas L.F., Rombouts I., Duflos M., Budria A., Wacquet G., Aubert A., Mialet B., Devreker D., Lefebvre A. Challenges and strategies that can enlighten the characterization and status of pelagic habitats – perspectives from automated approaches and ICG COBAM PH indicators. Workshop on Pelagic Habitats The European Commission’s science and Knowledge Service Joint Research Center November 18 & 20, 2020

- Artigas F., Bengt K., Claquin P., Creach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gomez F., Grégory G., Hébert P.-A., Kromkamp J., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Möller K., Rijkeboer M., Rutten T., Tyberghein L., Thyssen M., Seppälä J., Wollschläger J., 2020. Automated approaches for phytoplankton monitoring, at high resolution, in coastal waters: advantages and challenges. International Coastal Buoys Network Workshop : "From the Buoy to the data", COCAS 2020, Virtual meeting, 23-24th November 2020
- Brisabois A, Schmitt F. MARCO : A joint One Health marine Environment initiative, symposium International "Human Health & The Ocean in a changing world" 2-3 December 2020, One Monte Carlo Conference Centre, Monaco (virtual).
- Deschodt L., Desoutter S., Lancon M., Simon F.X., Hulin G., Guillemoteau J., Trenteseaux A., Reynaud J.-Y., Hanois P., 2020. Difficulté d'exploration des hauts niveaux marins pléistocènes non affleurants : l'exemple de la formation de Loon (Nord de la France). Colloque International PrehCOAST, Brest, 5-6 mai 2020.
- Fromant G., G. Stienne, S. Reboul, Circular estimation of the flow velocity using coherent Doppler sonar, 2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION), Rustenburg, South Africa, 2020.
- Issa H., G. Stienne, S. Reboul, M. Semmling, M. Raad, G. Faour, and J. Wickert, Airborne Experiment for Soil Moisture Retrieval using GNSS Reflectometry, EGU General Assembly 2020, Session G5.2 – Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques, EGU2020-16032
- Juan C., Gaullier V., Averbuch O., 2020. New constraints on the subsurface geometry of the Eastern English Channel - Strait of Dover Area. AGU Fall Meeting, Online Everywhere, 1-17 december 2020.
- Kouassi W., G. Stienne, S. Reboul, Fusion applied to phase altimetry in a GNSS buoy system, Session G1.3 – High-precision GNSS: methods, open problems and Geoscience applications, EGU General Assembly 2020, EGU2020-15474.
- Lefebvre A., Grassi K., Bigand A., Poisson-Caillault E., Facq J.-V., Repecaud M., 2020. Experience gained from the InterReg DYMAPHY, H2020 JERICO-NEXT, CPER MARCO projects and COAST-HF: An overview of phytoplankton and hydrological conditions using high frequency monitoring systems and machine learning. International Coastal Buoys Network Workshop : "From the Buoy to the data", COCAS 2020, Virtual meeting, 23-24th November 2020. [JERICO S3]
- Michel-Rodriguez M., Lizon F., Lefebvre S. (janv. 2020). Wavelength-dependency of photosynthesis on coastal seas: insights for chromatic light climate change. British Phycological Society, Plymouth (GB) (com. orale).
- Moreno M., M. Semmling, G. Stienne, S. Reboul, J. Wickert. Airborne GNSS reflectometry for coastal monitoring of sea state. EGU General Assembly 2020, Session G5.2 – Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques, EGU2020-19944.
- Trenteseaux, A., Averbuch, O., Dehouck, H., Charlet, F. Geib, J.-P., Guyetant, G. & Reynaud, J.-Y., 2020. A Geopark for the Pas-de-Calais ? Straits: International symposium on Straits. November 24-26. Boulogne-sur-Mer.

2021

- Artigas L.F., Louchart A., Dédécker C., Bonato S., Delarbre J., Debusschere E., Deneudt K., Karlson B., Rijkeboer M., Veen A., Lehtinen S., & Seppälä J. Characterization of the fine spatial and temporal variability of phytoplankton communities in coastal marine systems from an automated single-cell analysis perspective. 2021 FerryBox and High-Frequency Radar online workshops 17-18 March, 2021
- Artigas L.F. Créach, V., Cabrera, P., Claquin, P., Gallot, C., Gómez, F., de Blok, R., Bigand A., Debusschere, E., Deneudt, K., Grassi K., Grégori, G., Eikrem, W., Epinoux, A., Hébert P.-A., Haraguchi, L., Hubert, Z., Houliez, E., Irisson, J.-O., Karlson, B., Kraft, K., Kromkamp, J., Lindh, M., Lefebvre, A., Lombard, F., Lizon, F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tamminen, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Ruhel, S., Seppälä, J., Stemmann, L., Veen, A., Wacquet, G., Wollschläger, J., Ylöstalo, P. Phytoplankton in vivo/in situ observations by novel automated optical approaches in coastal and marine systems: towards a better integration into joint observatories. 9th EuroGOOS International Conference Advances in Operational Oceanography: Expanding Europe's ocean observing and forecasting capacity. May 3-5, 2021
- Artigas L.F., Créach, V., Cabrera, P., Claquin, P., Gallot, C., Gómez, F., de Blok, R., Bigand A., Debusschere, E., Deneudt, K., Grassi K., Grégori, G., Eikrem, W., Epinoux, A., Hébert P.-A., Haraguchi, L., Hubert, Z., Houliez, E., Irisson, J.-O., Karlson, B., Kraft, K., Kromkamp, J., Lindh, M., Lefebvre, A., Lombard, F., Lizon, F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tamminen, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Ruhel, S., Seppälä, J., Stemmann, L., Veen, A., Wacquet, G., Wollschläger, J., Ylöstalo, P., Phytoplankton automated in

vivo/in situ observations: towards a new approach of Essential Ocean Variables of marine coastal ecosystems. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.

- Artigas L.F. Créach, V., Cabrera, P., Claquin, P., Gallot, C., Gómez, F., de Blok, R., Bigand A., Debusschere, E., Deneudt, K., Grassi K., Grégori, G., Eikrem, W., Epinoux, A., Hébert P.-A., Haraguchi, L., Hubert, Z., Houliez, E., Irisson, J.-O., Karlson, B., Kraft, K., Kromkamp, J., Lindh, M., Lefebvre, A., Lombard, F., Lizon, F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tamminen, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Ruhel, S., Seppälä, J., Stemmann, L., Veen, A., Wacquet, G., Wollschläger, J., Ylöstalo, P. Phytoplankton automated in vivo observation in the frame of JERICO European projects : example of the Channel and North Sea. I/ITAPINA: Imagine/Imaging The Atlantic– A Pelagic Imaging Network Approach. June 28, 2021.
- Artigas L.F. Claquin P., Créach, V., Cabrera, P., Delecroix E., Gallot, C., Gómez, F., Debusschere, E., Deneudt, K., Grégori, G., Epinoux, A., Hébert P.A., Hubert, Z., Lizon F., Louchart, A., Möller, K.O., Mortelmans, J., Poisson-Caillault, E., Robache K., Rijkeboer, M., Rutten, T., Tyberghein, L., Thyssen, M., Veen, A., Wacquet, G. Phytoplankton automated in vivo observation in the Channel and North Sea in the frame of recent/current projects : a focus on automated imaging. AQUACOSM plus SYKE IGB Plankton imaging workshop 9th of December 2021.
- Caroir, F., Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Maillard-Lenoir, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Averbuch, O., Ferrière, J., Graveleau, F., and Watremez, L., 2021. Recent and active deformation in the North Evia domain, a diffuse plate boundary between Eurasia and Aegean plates in the Western termination of the North Anatolian Fault. EGU General Assembly 2021, online, 19–30 April 2021, EGU21-12153, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12153>
- Caroir, F., Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Averbuch, O., Ferrière, J., Graveleau, F., Watremez, L., 2021. The North Evia Gulf Rift System in Central Greece: An Asymmetric Rift in the North Anatolian Fault Prolongation (WATER Project). 2021 AGU Fall Meeting, New Orleans, LA and Online Everywhere, USA, 13-17 December, Paper number : ID# 901501
- Chanier, F., Caroir, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Averbuch, O., Ferrière, J., Graveleau, F., and Watremez, L., 2021. The North Evia Gulf rift system in Central Greece: structural development and crustal inheritances from onshore fault analysis and offshore Sparker seismic data (WATER project). EGU General Assembly 2021, online, 19–30 April 2021, EGU21-12256, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12256>
- Charria G., Schmitt F., Berthebaud E., Bonnat A., Bourrin F., Bozec Y., Claquin P., Conan P., Delalee F., Facq J.-V., Ferreira S., Garcia F., Gazeau F., Grisoni J.-M., Jacqueline F., Kunesh S., Le Berre D., Lefebvre A., Leredde Y., Le Roux J.-F., Mas S., Mostajir B., Paireaud I., Petton S., Pouvreau S., Quemener L., Ravel C., Raimbault P., Rimmelin-Maury P., Saragoni G., Savoye N., Souchu P., Repecaud M., Retho M., Verney R., Vuillemin R. COAST-HF - A fixed-platform networks along French coasts. Advances in Operational Oceanography : Expanding Europe's ocean observing and forecasting capacity. 9th EuroGOOS International Conference, Virtual Edition, 3-5 May 2021
- Creach V., Artigas L.-F., Lefebvre A., Lombard, Lindh M., Ove Möller K., Schepers L., Seppälä J., Thyssen M., 2021. Integration of Biology Sensor Outputs in the European Marine Observation and Data Network. IMDIS International Conference on Marine Data and Information Systems, Online, 12-14 April 2021.
- Créach V. Cabrera P., Artigas L. F., Gregori G., Irisson J.-O., Lefebvre A., Lindh M., Möller K. O., Seppälä J., Thyssen M., Schepers L., Lombard F., 2021. Towards integration of new data describing biological essential ocean variables from marine coastal ecosystems. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- De Cubber L, Schaffer D, Lefebvre S, Loisel H, Gaudron SM, 2021. Investigating population dynamics, traits and shore distribution of *Arenicola marina* and *A. defodiens* over a latitudinal gradient with a Dynamic Energy Budget - Individual-Based Model. 7th international symposium of DEB theory of metabolic organization, Halifax Canada, 24-31 May 2021 (en zoom).
- Dugenne M., White A., Grégori G., Thyssen M., Artigas L.F., Créach V., Casotti R., Louchart A., Gradoville M., Allen J. Recent research developments in automated flow cytometry unravel multiple drivers of aquatic microbial diversity. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Epinoux A. Balestra C., Zettler E., Amaral-Zettler L., Bernardi-Aubry F., Artigas L. F., Casotti R. Phytoplankton distribution, diel variability and optical traits from the Azores to Sicily by automated scanning flow cytometry.

- ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Gaurier, B., G. Germain, J.V. Facq, A first step to determine transfer function of a tidal turbine from experimental trials, EWTEC 2021.
- Gay M, Ernande B, Lefebvre S, Bourgau O, Couvreur C, Denamiel M, Giraldo C, Travers-Trolet M, Rouquette M, Cresson P. 2021 Length and depth are major drivers of Anisakis levels in a zooplankton-feeding fish. XIIIth EMOP conference. Oct 12-15th Hybrid (Belgrade, Croatia/Virtual).
- Houliez E., Breton E., Skouroliakou D-I, Schmitt F. G., Christaki U. Conditions promoting Pseudo-nitzschia spp. blooms in the eastern English Channel and southern North Sea: lessons from the realized ecological niches – 19th International Conference on Harmful Algae, 10 - 15 October 2021 (<https://www.icha2021.com/Secciones/inicio>), Mexique (Oral presentation)
- Issa H., G. Stienne, S. Reboul, M. Raad, G. Faour. High-rate GNSS Reflectometry for water body detection using low altitude airborne carrier. IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), Online, September 2021.
- Issa H., G. Stienne, S. Reboul, M. Semmling, M. Raad, G. Faour, and J. Wickert, High-rate GNSS Reflectometry Estimates for Airborne Soil-moisture Detection, EGU General Assembly 2021, Session G5.2 – Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques, EGU21-11577, Online. April 2021
- Joly, L.J., D. Mazurais, J.L. Zambonino-Infante, M. Boersma, C. Giraldo, C.L. Meunier. Can herring larvae cope with global changes (warming, acidification, food quality)? A multi-stressor experiments. 44th Larval Fish Conference, Online, 24-26 June 2021
- Kouassi W., G. Stienne, S. Reboul. Theoretical Study of the Carrier-Phase GNSS-R Altimetry Accuracy. IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), Online, September 2021.
- Laurencin M., Gaullier V., Averbuch O., 2021. Update of the fault network geometry within the substratum of the Eastern Channel-Straight of Dover by acquisition of recent high resolution seismic data: towards a better assessment of the seismic risk. International Workshop on “Active tectonics and dating”, RESIF – SIGMA 2, Hybrid format: Praz-sur-Arly, France, 14-16 september.
- Lefebvre A., Grassi K., Bigand A., Poisson-Caillault E., 2021. Machine Learning and environmental states: how to identify and classify multi-parameter environmental conditions along Ferry Box routes? 2021 FerryBox and High-Frequency Radar online workshops, 17-18 March 2021
- Le Quiniou, C., F.G. Schmitt, Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, Copepods in turbulence: laboratory velocity and acceleration studies using high speed cameras, EGU General Assembly, vEGU2021, 19-30 April 2021 (oral pico).
- Lizon F., Artigas L.F., de Blok R., Debuschere E., Deneudt K., Lebourg E., Louchart A., Mortelmans J., Pernak M. (2021). Phytoplankton photosynthesis by a 2D FRRf sampling strategy in the English Channel and North Sea. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Louchart A., Karlson B., Lehtinen S., Lizon F., Stemmann L., Schmitt F., Artigas L.F. Untangling the distribution of phytoplankton functional groups in the Baltic Sea by applying automated flow cytometry. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Magnier, M. G. Germain, B. Gaurier, P. Druault, Boundary layer effects on a bottom mounted square cylinder load and wake variations, EWTEC 2021.
- Martinez, R., S. Ordonez-Sanchez, B. Gaurier, J.V. Facq, G. Germain, C. Johnstone, I. Santic, F. Salvatore, T. Davey, C. Old, B. Sellar, MaRINET2 – Round Robin tests : blade loading, EWTEC 2021.
- Michel-Rodriguez M., Lefebvre S., Duong G., Courvoisier M., Merieux X., Gevaert F., and Lizon F. (2021). Time scales of wavelength- dependent photosynthesis from tides to seasons in a coastal sea. ASLO (Association for the Sciences of Limnology and Oceanography) 2021 Aquatic Sciences Meeting (com. orale).
- Moreau, M., G. Germain, G. Maurice, A. Ricard, R. Coquet, HydroQuest: Feedback from Paimpol-Bréhat and validation of the design method, EWTEC 2021.
- Moreno M., M. Semmling, G. Stienne, W. Dalil, M. Hoque, J. Wickert, S. Reboul. Coastal monitoring of sea state using airborne GNSS reflectometry. IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), Online, September 2021.

- Seppälä J., Frangoulis C., Tamminen T., Petihakis G., Brix H., Puillat I., Allen J., Tintoré J., Coppola L., Bourrin F., Lefebvre A., Verney R., Blauw A., King A., Rubio A., Gremare A., El Serafy G., Pfannkuchen M., Delauney L., 2021. JERICO-RI network of coastal observatories, proof of concept for Pilot Supersites. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, special session SS66 of JERICO, 22-27 June 2021, Virtual meeting.
- Skouroliakou D-I, Irion S, Christaki U.«Ecological processes driving phytoplankton blooming taxa in a coastal meso-eutrophic ecosystem: a phylogenetic approach», 10th Hellenic conference of ecology 14 – 17 October 2021, online conference (<https://helecos10.gr/en/>), Greece (Oral presentation)
- Stienne G., M. Moreno, M. Semmling, S. Reboul, J. Wickert, Airborne system for coastal sea state estimation using GNSS-Reflectometry. In EGU General Assembly 2021, Online. April 2021.
- Thyssen M., Fuchs R., Créach V., Artigas L.F., Grégori G., Marrec P., dugenne M., Rijkeboer M., Latimier M., Louchart A., A standard vocabulary for phytoplankton consensual functional groups defined by automated flow cytometry and their automated classification. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation, 22-27 June 2021, Virtual meeting.

2022

- Le Quiniou C., F. G. Schmitt, Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, « Copepod behaviour in turbulence: laboratory study using a high-speed camera », Ocean Sciences Meeting, virtual conference, 27 February-4 March 2022
- Skouroliakou D-I, Breton E, Irion S, Christaki U. Ecological processes driving phytoplankton assemblages with null model approach based on phylogenetic information, Ocean sciences meeting 27 February – 4 March 2022, online conference, (<https://www.aslo.org/osm2022/>),USA (Oral presentation)

Présentations orales nationales

2016

- Artigas L.F. et. Coll. Contribution des séries phytoplanctoniques au calcul d'indicateurs de surveillance des habitats pélagiques (DCSMM) : perspectives issues des récents travaux sur l'indice composition (DCE) et l'utilisation de techniques semi-automatisées. Journées REPHY 2016 – Nantes, 30 novembre. – 1er décembre. 2016
- Brisabois A, F.G. Schmitt. 2016. Présentation du projet MARCO, colloque annuel RESOMAR, Boulogne-sur-mer, 22 novembre 2016.
- Charria G., Belin C., Claquin P., David-Beaussire C., Repecaud M., Lefebvre A. et al., 2016. Avancée des projets HOSEA/SOMLIT HF et REPHY/SOMLIT Microphyto. Colloque annuel du Résomar, 21-23 novembre 2016, Boulogne sur Mer et Wimereux.
- Gaullier V., et l'équipe scientifique TREMOR, 2016. Activité tectonique récente en Manche Orientale et risques sismiques associés. Colloque annuel RESOMAR, Boulogne-sur-mer et Wimereux, 21-23 novembre.
- Grosjean P., Denis K., Rousseau V., Parent J.Y., Lancelot C., Hamad D., Artigas F., Lefebvre A., Neaud-Masson N., Maurer D., Tunin-Ley A., Belin C., 2016. Semi-automatic analysis of FlowCAM phytoplankton data using Zoo/PhytoImage. International workshop on current advances in the application of (semi-)automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters, 31 mai-2 juin 2016, Wimereux.
- Jollivet-Castellot M., Gaullier V., Paquet F., Chanier F., Graveleau F., Thion I., Lasseur E., Averbuch O., 2016. Structuration du Bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : Apport de nouvelles données sismiques. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France.
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2016. Analysis of phytoplankton bloom phenology by identification of Gaussian mixture for the period 1989-2014 in the southern bight of the North Sea. GDR Phycotox annual conference, 15-16 mars 2016, Villefranche-sur-Mer, France (Communication orale).
- Lefebvre A., Grosjean P., Neaud-Masson N., Artigas L.F., Colas F., Maurer D., Tardivel M., Wacquet G., Devreker D., Caillault-Poisson E., Belin C., 2016. Optimization of the monitoring strategy for the French National Phytoplankton and Phycotoxins Network (REPHY) using semi-automated digital images analysis. International workshop on current advances in the application of (semi-)automated techniques for studying phytoplankton dynamics in coastal and marine waters, 31 mai-2 juin 2016, Wimereux.

- Pairaud I., Lefebvre A., Jacqueline F., Charria G., Répécaud M., Bonnat A., Ravel C., Claquin P., Doxaran D., Garcia F., Poisson-Caillault E. et al., 2016. Un réseau de stations HF en mer côtière: comment et pour quelles questions de recherche et d'appui aux politiques publiques ? Séminaire du Département Ifremer ODE, 8-9 novembre 2016, Brest.
- Paquet F., Lasseur E., Thinon I., Couëffe R., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Briais J., Dupuis C., Gaullier V., 2016. A new geological map for the « Baie de Seine – Pays de Caux » area at the 1 :250,000 scale – Sedimentary and tectonic evolution during Cenozoic. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France, Livre des résumés, p. 252.
- Paquet F., Lasseur E., Thinon I., Couëffe R., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Courgeon, Pelote A., Briais J., Dupuis C., Gaullier V., 2016. A new geological map for the « Baie de Seine – Pays de Caux » area at the 1 :250,000 scale – Sedimentary and tectonic evolution during Cretaceous. 25ème Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 octobre 2016, Caen, France, Livre des résumés, p. 251.

2017

- Artigas L.F. et. Coll. Contribution des séries phytoplanctoniques au calcul d'indicateurs de surveillance des habitats pélagiques (DCSMM) : perspectives issues des récents travaux sur l'indice composition (DCE) et l'utilisation de techniques semi-automatisées. Journées REPHY 2016 – Nantes, 30 novembre. – 1er décembre. 2016
- Caillault-Poisson E., Rizik A., Ternynck P., Bigand A., Lefebvre A., 2017. New developments to fill gap in high frequency data series and to integrate knowledge in Markov modeling of phytoplankton dynamics. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Caillault Poisson E., Lefebvre A., Prygiel J., 2017. uHMM : unsupervised Hidden Markov Model. Interface pour détecter et caractériser des états environnements dans des séries temporelles multi-paramètres. Journée connaissance au service de l'action de l'Agence de l'Eau Artois Picardie : La qualité des milieux aquatiques. 3 octobre 2017, Université de Lille 1, Villeneuve d'Ascq.
- Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Jollivet-Castelot, M., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Ferrière J., 2017. Strike-slip controlled versus extensional basins on the western termination of the North Anatolian fault, in the Aegean Sea, Greece. Preliminary results from the WATER cruise (July-August 2017). 33rd International Meeting of Sedimentology – 16ème Congrès Français de Sédimentologie, Toulouse, 10-12 October 2017, Abstract Book, p. 167.
- Copin, Stéphanie, Virginie Ragueneau, Maryse Bonnin-Jusserand, Annick Robert-Pillot « L'état viable mais non cultivable chez les *Vibrio* non cholériques », Congrès de la SFM, 9-11 octobre 2017, Paris. (Communication orale)
- Gaullier V., Jollivet-Castelot M., and the TREMOR Team, 2017. The "TREMOR" project: a sediment-structural land-sea study in the eastern English Channel. EEC 2017 : Oceanography and Geosciences of the Eastern English Channel, Past, Present and Future, Wimereux, France.
- Gohin F., Lefebvre A., Devreker D., 2017. Evaluation de l'eutrophisation de la mer du Nord à partir de données satellite et in situ. Colloque EVOLECO : EVOLUTION à Long terme des Ecosystèmes COTiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Hernández-Fariñas T., Soudant D., Barillé L., Belin C., Lefebvre A., Bacher C., 2017. Evolution à long-terme de la communauté phytoplanctonique sur le littoral français à l'est de la Manche et sud de la mer du Nord. Colloque EVOLECO : EVOLUTION à Long terme des Ecosystèmes COTiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Jollivet-Castelot M., Gaullier V., and the TREMOR Team, 2017. Structural development of the Dieppe-Hampshire Basin (eastern English Channel): contribution of new seismic data. EEC 2017 : Oceanography and Geosciences of the Eastern English Channel, Past, Present and Future, Wimereux, France.
- Karasiewicz S., Breton E., Lefebvre A., Hernandez Farinas T., Lefebvre S., 2017. Environmental response of *Phaeocystis* spp. realized niche and its consequences. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.
- Kucwaj J.-C., G. Stienne, S. Reboul, J.-B. Choquel, Régression linéaire-circulaire appliquée à l'altimétrie GNSS-R, XXVIe Colloque GRETSI, Juan-les-Pins, France, 5-8 septembre 2017, p. 1-4.

- Lefebvre A., Devreker D., Grassi K., Poisson-Caillault E., 2017. Analyse de tendance et classification spectrale couplée à un modèle de Markov caché. Colloque EVOLECO : EVOLution à Long terme des Ecosystèmes COtiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2017. Développement d'outils numérique pour une évolution de l'observation à haute fréquence. Journées techniques du Résomar, atelier fluorescence, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.
- Lefebvre A., 2017. Fluorescence et mesures à haute fréquence : MAREL Carnot, mesures d'opportunités de type Ferry Box. Journées techniques du Résomar, atelier fluorescence, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.
- Lefebvre A., Devreker D., Grassi K., Poisson-Caillault E., 2017. Analyse de tendance et classification spectrale couplée à un modèle de Markov caché. Colloque EVOLECO : EVOLution à Long terme des Ecosystèmes COtiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 5-7 décembre 2017, Bordeaux.
- Paquet F., and the MERCAUX Team (including Gaullier V.), 2017. Updating geological knowledge of the Anglo-Parisian Basin from offshore mapping and investigations using very-high resolution seismic data. EEC 2017 : Oceanography and Geosciences of the Eastern English Channel, Past, Present and Future, Wimereux, France.
- Phan T.T.H., Poisson-Caillault E., Bigand A., Lefebvre A., 2017. DTW-approach for uncorrelated multivariate time series imputation. Cinquième édition de la journée doctorale du GIS Campus de la Mer, novembre 2017, Boulogne-sur-Mer.
- Sautour B., Breton E., Dauvin J.C., Goberville E., Lefebvre A., Luczak C., Poisson-Caillault E., Schmitt F., 2017. Twenty years of observations in the French coastal waters : the case of the eastern English Channel. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel - Past, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.

2018

- Andreu-Boussut V., Chadenas C., Salin E., Michel X., Rufin-Soler C., Herbert V., 2018. Les territoires du patrimoine et du tourisme dans quatre hauts lieux du littoral européen : Chaussée des Géants (Royaume-Uni), Mer des Wadden (Danemark), Deux Caps et marais salants de Guérande (France). Colloque « L'innovation dans le patrimoine : nouvelles lectures et pratiques patrimoniales. La région des Pays de la Loire au miroir de l'Europe », Université d'Angers, 29-30 novembre
- Artigas L.F., Lizon F., Lefebvre A. On the application and interpretation of chlorophyll fluorescence measurements by multiple sensor systems. From Coastal to Open Sea observations Workshop: Interoperability of Technologies and Best Practices: in situ applications to nutrient and phytoplankton fluorescence measurements Brest, 4-6th December, 2018 Ifremer Centre de Bretagne - France
- Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Jollivet-Castelot, M., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Bonnière, A., Cayla L., Watremez, L., Graveleau, F., Averbuch, O., Vendeville, B.C., Ferrière, J., 2018. Rift basins and structural inheritance on the western termination of the North Anatolian Fault, Aegean Sea (Greece) : First results from WATER cruise (R/V « Téthys II », July 2017). 26ème Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France.
- Dezecache C., T.T.H. Phan, Lefebvre A., Caillault Poisson E., 2018. Méthode de complétion des données manquantes dans des séries univariées ou multivariées. Atelier Séries Chronologiques, 29-31 octobre 2018, Jussieu, Paris.
- Jollivet-Castelot M., Briais J., Paquet F., Gaullier V., Allanic C., Chanier F., Averbuch O., Thinin I., Chateaufort J.J., 2018. Evolution tectono-stratigraphique cénozoïque de la Manche orientale et des zones adjacentes : étude du Bassin de Dieppe-Hampshire méridional. 26ème Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France.
- Jollivet-Castelot M., Gaullier V., et l'équipe TREMOR, 2017. Structuration du bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : Apport de nouvelles données sismiques. Journée Doctorale du Campus de la Mer, 19 octobre 2017, Boulogne-sur-Mer.
- Michel X., Andreu-Boussut V., Chadenas C., Salin E., Rufin-Soler C., Herbert V., 2018, La lenteur et l'itinérance dans les pratiques touristiques de sites littoraux européens, Colloque international « Slow tourisme / Slow sport. (En)jeux de spatialités, de mobilités et de corporités », Boulogne-sur-Mer, 16-17 mai.
- Paquet F., Thinin I., Lasseur E., Briais J., Dugué O., Tessier B., Gaullier V., 2018. One network may hide others – toward a comprehensive scenario for neogene superimposed valley networks along the English Channel. 26ème Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France.

- Philippe S., Alary C., Dörr, W., Ouddane B., Courcot L., Caillaud, J., Billon, G., 2018. Isotopes du plomb et caractérisation de la contamination de sédiments de rivière au voisinage de fonderies historiques: cas du canal de la Deûle (Région Haut de France). 26e Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France
- Timmerman CA, Giraldo C, Rouquette M, Denamiel M, Travers-Trolet M, Lefebvre S, Ernande B, Cresson P. 2018. Évolution interannuelle de la structure des réseaux trophiques en Manche : approche couplée isotopes stables et contenus stomacaux. 7èmes rencontres de l'ichtyologie en France 27-30 mars, Paris. 2ème prix pour la meilleure communication orale étudiant
- Zahmoul, R., Trentesaux A., Reynaud, J.-Y., Inoubli, M.H., Witt, C., Ouaja, M., Amiri, A., Mansoura, M., Abidi, O., Essid, A. & Hallek, F., 2018. Modalities of transfer and storage of sediment along the continental shelf of the Gulf of Gabes during the upper Pleistocene. Contribution of very high-resolution seismic data. 26ème RST, Lille. Abstract volume.

2019

- Artigas L. F., Karlson B., Brosnahan, M.L., Claquin P., Créach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Grégori G, Hébert P.-A., Kromkamp J., Lefebvre A., Lehtinen S., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Thyssen M., Seppälä J., Stemann L., Van Dijk M., Veen A. , Wacquet G. (Semi-)automated in vivo approaches for characterizing HAB and other phytoplankton blooms in European coastal waters: News from the Joint European Research Infrastructure for Coastal Observatories – New Expertise (JERICO-Next). Phycotox2019 : Conférence nationale sur les algues toxiques 2019 - GDR PHYCOTOX, 14-17 mai 2019, Plouzané (Brest)
- Artigas L.F., Dédécker C., Devreker D., Lizon F., Lebourg E., Bruaut M., Gómez F., Delarbre J., Didry M., Cauvin A., Mériaux X., Lefebvre A. Observation des communautés phytoplanctoniques sur l'ensemble de la façade Manche-Mer du Nord au cours de 4 saisons en 2018-2019, à haute résolution spatiale. Journée CPER MARCO, 10 octobre 2019, Nausicaà, Boulogne sur Mer
- Artigas L.F., Dédécker C., Lizon F., Jouandet M.P., Wacquet G., Lebourg E., Bruaut M., Gómez F., Delarbre J., Didry M., Cauvin A., Mériaux X., Duflos M., Devreker D., Lefebvre A. Variabilité spatiale des communautés phytoplanctoniques sur la façade Manche Mer du Nord au cours des 4 saisons 2018-2019 au moyen d'approches automatisées. Colloque RESOMAR/ILICO 4-6 novembre 2019, Univ. Nantes, Nantes
- Caroir F., Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., 2019. Partitionnement longitudinal d'un rift actif (Golfe d'Eubée, Grèce): Héritage structural et/ou influence des segments de la faille nord-anatolienne? (campagne WATER). 17ème Congrès Français de Sédimentologie (ASF), Beauvais.
- Cléach J., P. Pasdois, P. Marchetti, D. Watier, G. Duflos, E. Goffier, A.-S. Lacoste, C. Slomianny, T. Grard, P. Lencel, 2019. Recherche et étude de marqueurs précoces permettant de déterminer l'état de fraîcheur de filets de poisson. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque
- Cresson P., S. Lefebvre, C. Giraldo, M. Travers-Trolet, M. Gay, B. Ernande, 2019. Importance trophique du benthos en Manche. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Cresson P 2019. Fonctionnement trophique et importance du benthos pour la communauté de poissons en Manche : 10 ans (2009-2019) de travaux empiriques et de modélisation . La CGFS a 30 ans. 24-25 avril 2019, Boulogne sur Mer, France .
- Dehaut A, Hermabassière L, Duflos G (2019) Analyse des microplastiques dans les produits de la pêche : Proposition du concept de "MIMS". Paper presented at the 1ère rencontres du GDR Polymères et Océans, Créteil (France), 24 - 26 Juin 2019
- Devreker D, Grassi K, Lefebvre A, Poisson-caillault E., 2019. Présentation des outils numériques développés pour l'exploitation des données haute-fréquence de la FerryBox. Les 30 ans de la CGFS, colloque national, 24-25 avril 2019, Boulogne-sur-Mer, France.
- Grassi K., E. Poisson Caillault, A. Lefebvre, 2019. Machine learning et dynamique phytoplanctonique. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Grassi K., Poisson-Caillault E., Lefebvre A., 2019. Extreme events detection from multivariate data time series. Application to marine observation. Journée Intelligence Artificielle – Océan, atmosphère, climat, 6 février 2019, Rennes.

- Grassi K., Poisson-Caillault E., Lefebvre A., 2019. Machine Learning et dynamique phytoplanctonique. Colloque Avenir et Littoral, 13-14 mars 2019, Boulogne sur Mer.
- Grassi K., Poisson-Caillault, Lefebvre A., 2019. Machine Learning et observatoire marin. 10 avril 2019, Séminaire, Météo France, Centre National de Recherche Météorologique, Toulouse.
- Lizon F., L.F. Artigas, M. Bruaut, C. Dédécker, J. Delabre, M. Didry, E. Houliez, E. lebourd, A. Louchart, M. Pernak, 2019. Production primaire et distribution des microalgues par approches multi-instrumentées et stratégie d'échantillonnage 2D. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Louchart A., Lizon F., Lefebvre A., Didry M., Schmitt F.G., Artigas L.F. Caractérisation in vivo à haute fréquence de la distribution des assemblages phytoplanctoniques lors de la transition été-automne en Manche occidentale et centrale. 30 ans CGFS, Boulogne sur Mer, France, Avril 2019
- Louchart A., F.G. Schmitt, F. Artigas, 2019. Caractérisation des communautés phytoplanctoniques en Manche- Mer du Nord par la cytométrie en flux automatisée au printemps. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Menuge, B., Verpoorter C., et Héquette, A., 2019. La télédétection : un outil puissant pour comprendre l'évolution spatiale des espaces estuariens. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Monchy, S., 2019. Etude des communautés microbiennes en Manche par approche moléculaire. Seconde journées scientifiques Manche – Mer du Nord organisées par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), 18-20 Décembre 2019, Lille (France)
- Monchy, S. 2019. Review of approaches and questions for applying molecular tools for the assessment of aquatic microbial diversity. Colloque du Réseau des Stations et Observatoires Marins (RESOMAR) et l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), 16-18 Janvier 2019, Wimereux (France).
- Mougin J., C. le bris, M. Bonnin-Jusserand, T. Grard, 2019. Approches microbiologiques et moléculaires pour lutter contre la vibriose du bar (*Vibrio vulnificus*). Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Philippe S., L. Courcot, J. Caillaud, F. Henry, S. Lesourd, S. Gontharet, A. Bory, L. Denis, V. Cornille, 2019. Indication de l'état de contamination métallique de zones à fonctionnement estuarien par le biais des isotopes du plomb. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Plouvier T., C. Rufin-Soler, C. Audouit, L. Voltaire, 2019. Fréquentation de sites naturels protégés littoraux en Côte d'Opale : Suivi et évaluation économique des usages récréatifs. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Reynaud J.-Y., A. Héquette, B. Tessier, P. Weill, M.-H. Ruz, A. Trentesaux, 2019. Le géoradar : un outil versatile pour les études stratigraphiques du littoral. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Rufin-Soler C., 2019, Evaluation de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation face aux risques côtiers. Journées scientifiques, Université de Nantes, 21 juin
- Schmitt F.G., A. Brisabois, 2019. Présentation du CPER MARCO. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Stienne G., J.C. Kucwaj, M. Semmling, S. Reboul, J. Wickert, 2019. Altimétrie par réflectométrie GNSS. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.
- Trentesaux, A., Hura, D., Armynot Du Châtelet, E., De Lorgeril, J., Arnouts, G., Francescangeli, F., Tribovillard, N., Bout-Roumazeilles, V., Ribouleau, A., Masson, E., Delattre, M. & Abraham, R. 2019. A sedimentological approach to better valorise harbour sediments. 17ème Congrès Français de Sédimentologie, Beauvais – Livre des résumés, 2019, Publ. ASF n°81, Paris, p. 152.
- Zahmoul, R., Trentesaux, A., Reynaud, J.-Y. & Inoubli, M.H., 2019. Incised valley of the Gulf of Gabes (Southern Tunisia) during the Quaternary. Contribution of very high-resolution seismic data. 17ème Congrès Français de Sédimentologie, Beauvais – Livre des résumés, 2019, Publ. ASF n°81, Paris, p. 159.
- Verpoorter C., Brutier L., 2019. Focus sur l'imagerie hyperspectrale en milieu littoral : Etude des propriétés physiques et biologiques des surfaces dites 'naturelles' pour différentes échelles d'observation. AEI Atelier Expérimentation et Instrumentation, 9-11 juillet 2019, Polytech Lille, Villeneuve D'Ascq.
- Voltz B., L. Denis, S. Gontharet, G. Duong, L.F. Artigas, L. Courcot, A. Delegrange, M. Crouvoisier, C. Tallobre, V. Cornille, F. Henry, S. Philippe, 2019. Variation spatiale des caractéristiques sédimentologiques, géochimiques et biologiques des sédiments de surface provenant de trois estuaires picards de la région Hauts-de-France. Congrès Avenir Littoral, ULCO, 13-14 Mars 2019, Dunkerque.

2020

- Hellequin A.-P., Ruz M.-H., Rufin-Soler C., Cohen O., Deboudt Ph., Héquette A., Herbert V., Lebreton F., Schmitt F., Le Goff L., Révillon R., 2020. Adaptation au changement climatique et risques littoraux : quels apports de la démarche participative COSACO à la démocratie environnementale ? Journées d'étude « Démocratie environnementale », Université de Paris, 25-26 février
- Magnier, M., P. Druault, B. Gaurier, G. Germain, Comparison of bathymetry variation effects on tidal turbine behaviour, 17e Journées de l'Hydrodynamique, Cherbourg, 2020.
- Marty, A., G. Damblans, J.V. Facq, B. Gaurier, G. Germain, N. Germain, J. Harris, A. Maison, C. Peyrard, N. Relun, Experimental investigation of the seabed roughness effect on the hydrodynamical behavior of a submarine cable under current and wave conditions, 17e Journées de l'Hydrodynamique, Cherbourg, 2020
- Marty, A., C. Berhault, G. Damblans, J.V. Facq, B. Gaurier, G. Germain, T. Soulard, F. Schoefs, Marine growth effect on the hydrodynamical behavior of a submarine cable under current and wave conditions, 17e Journées de l'Hydrodynamique, Cherbourg, 2020.

2021

- Artigas L.F., Bigand A., Bruaut M., Cauvin A., Cornille V., Créach V., Crouvoisier M., Debusschere E., Delarbre J., Dédécker C., Deneudt K., Delecroix E., Didry M., Epinoux A., Facq J.V., Gallot C., Gomez F., Grassi K., Hébert P.A., Hubert Z., Lebourg E., Lécuyer E., Lefebvre A., Lizon F., Louchart A., Mériaux X., Mortelmans J., Pernak M., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Robache K., Schmitt F., Talon P., Veuillot A., Wacquet G., 2021. Suivi et caractérisation de la dynamique phytoplanctonique, en Manche et Mer du Nord, au moyen d'approches automatisées. Colloque final MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d'Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer.
- Averbuch O., Tribouvillard N., Guillot F., Gaullier V., Laurencin M., Vidier D., 2021. La zone Cap Gris-Nez – Déroit du Pas-de-Calais entre Manche et Mer du Nord : développement et inversion de la marge nord du bassin du Weald-Boulonnais. Colloque GHYMANCHE 2021 – Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord : Approche interdisciplinaire terre-mer, 11-13 octobre, Wimereux, France.
- Broquard C, Lefebvre S, Lancelot T, Gaudron SM, 2021. Improvement of the bioenergetic model of *Arenicola marina* using experimentation at larval stages. CEPA – 5 : Colloque d'Ecophysiologie Animale, 5ème édition – Montpellier 2-4 Novembre 2021
- Caroir F., Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2021. Evolution d'un rift actif en limite de plaques Eurasie-Egée diffuse et dans le prolongement de la Faille Nord-Anatolienne (Projet WATER). 27ème édition de la Réunion des Sciences de la Terre (RST), 1 au 5 novembre 2021 Lyon, France.
- Caroir F., Chanier F., Gaullier V., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2020. Le Golfe Nord Eubée, un rift actif du domaine égéen dans le prolongement de la Faille Nord-Anatolienne (campagne WATER). 27ème édition de la Réunion des Sciences de la Terre (RST), 1 au 5 novembre 2021.
- Caroir F., Gaullier V., Chanier F., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2021. Mise en évidence d'un système sédimentaire progradant par la sismique THR de type Sparker. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France.
- Casetta, M., J. Caillaud, S. Philippe, L. Courcot, V. Cornille, M. Hermoso, Optimisation de la plateforme XRF, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021.
- Casetta, M., J. Caillaud, S. Philippe, L. Courcot, V. Cornille, M. Hermoso, Étude préliminaire des retombées de poussières industrielles sur les sols de Gravelines (Hauts-de-France), 27ème édition de la Réunion des Sciences de la Terre, Lyon, 1-5 novembre 2021.
- Chadenas C., Andreu-Boussut V., Rufin-Soler C., Rollo N., 2021. Les espaces naturels protégés littoraux et le changement climatique : quelles stratégies d'adaptation ? Journée thématique de l'Association de Géographes Français sur « Les risques littoraux », Paris, 27 mars 2021
- Chanier F., Caroir F., Gaullier V., Bailleul J., Maillard A., Paquet F., Sakellariou D., Averbuch O., Ferrière J., Graveleau F., Watremez L., 2021. Failles actives en Grèce identifiées grâce à la sismique THR de type Sparker. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France.

- Cresson P, Lefebvre S, Kopp D, Giraldo C, Rouquette M, Denamiel M, Cure C, Villanueva MC, Timmerman CA, Marchal P, Travers Trolet M, Ernande B. 2021. Intégrer isotopes stables, contenus stomacaux et modèles écosystémiques pour souligner l'influence du couplage benthopélagique dans la structuration des assemblages de poissons en Manche. 8èmes Rencontres de l'Ichtyologie en France, Paris 14-18 mars
- Cresson P, Lefebvre S, Kopp D, Giraldo C, Rouquette M, Denamiel M, Couvreur C, Villanueva MC, Timmerman CA, Marchal P, Travers Trolet M, Ernande B. Isotopes stables, contenus stomacaux et modèles écosystémiques : une approche intégrée du couplage benthopélagique pour les assemblages de poissons en Manche. Conférence MARCO. Boulogne sur Mer, 13-15 Oct 2021
- Delannoy S, Hoffer C, Youf R, Dauvergne E, Brauge T, Webb H.E, Tran M.L, Midelet G, Granier S.A, Haenni M, Fach F, Brisabois A. 2021. High-Throughput Molecular Method for the detection of Antimicrobial Resistance markers in seafood Bacteria. Colloque Marco 2021, CCI, 13-15 octobre 2021, Boulogne sur Mer.
- Douay, F., G. Duong, D. Menu, F. Gevaert, Suivi de la production primaire à l'émergence chez deux espèces de Fucales : *Fucus spiralis* et *Fucus serratus*, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021
- Epinoux A., Artigas L.F., Casotti R., 2021 Monitoring automatisé du phytoplancton depuis une plateforme fixe en Méditerranée – retour d'expérience de la collecte et analyse de données pour de futurs déploiements. Colloque final MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d'Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer.
- Gaudron SM, De Cubber L, Lancelot T, Duong G, Denis L, Cornille V, Crouvoisier M, Loisel H, Schaffer D, Lefebvre S, 2021. Les arénicoles 'la rouge' et 'la noire' de la Côte d'Opale : du cycle de vie à la bioénergie dans le but d'une meilleure gestion et conservation des deux espèces. Colloque MARCO du 13 au 15 octobre 2021, Boulogne-sur-mer.
- Gaullier V., Averbuch O., Laurencin M., Paquet F., Schmitt F., Jollivet-Castelot M., Briais J., Chanier F., et les équipes scientifiques et pédagogiques embarquées TREMOR, POSEOLE, MARCOPALE et GEOBAS, 2021. Bilan des travaux récents sur la tectonique et l'architecture sédimentaire en Manche Orientale : apports de la sismique THR Sparker et projets en cours. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France.
- Gaullier V., Jollivet-Castelot M., Paquet F., Briais J., Lasseur E., Chanier F., Averbuch O., Thimon I., 2021. Le bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : Evolution cénozoïque et enregistrement des événements géodynamiques. Colloque GHYMANCHE 2021 – Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord : Approche interdisciplinaire terre-mer, 11-13 octobre, Wimereux, France.
- Grassi K., Poisson-Caillault E., Bigand A., Chatelain P., Vincent E., Lefebvre A., 2021. Dynamique du phytoplancton et machine learning. Colloque MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d'Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer
- Grassi K., Poisson-Caillault E., Bigand A., Chatelain P., Vincent E., Lefebvre A., 2021. Caractérisation de la dynamique du phytoplancton, des événements récurrents aux événements extrêmes, grâce au Machine Learning. Colloque EVOLECO (Evolution à Long terme des Ecosystèmes Côtiers), 2-5 Novembre 2021, La Rochelle.
- Hellequin A.-P., Rufin-Soler C., 2021. Pour une démarche participative dans les risques environnementaux. L'exemple du programme Co-construction de Stratégies d'Adaptation au changement climatique en Côte d'Opale. Rencontres scientifiques du Réseau d'Etudes et d'Echanges en Sciences Sociales sur l'Eau, Paris, 1er février.
- Houliiez, E., E. Breton, D.-I. Skouroliakou, F.G. Schmitt, U. Christaki, Conditions favorisant les efflorescences des diatomées du genre *Pseudo-nitzschia* spp. en Manche orientale et sud de la Mer du Nord, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021.
- Houliiez, E., E. Breton, D.-I. Skouroliakou, F.G. Schmitt, U. Christaki, Conditions favorisant les efflorescences des *Pseudo-nitzschia* spp. en Manche orientale et sud de la Mer du Nord : apports des réseaux d'observation et des analyses de niches, Colloque EVOLECO 2021, La Rochelle, 3-5 novembre 2021.
- Hubert Z., Epinoux A., Gallot C., Bruaut M., Cornille V., Delarbre J., Dédécker C., Crouvoisier M., Didry M., Lebourg A., Lécuyer E., Artigas L.F., 2021. Variabilité interannuelle des groupes fonctionnels phytoplanctoniques suivis par une approche semi-automatisée le long d'un gradient côte-large près du Déroit du Pas de Calais. Colloque final MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d'Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer.
- Ito M, Haouani G, Cresson P, Giraldo C, Girardin R. Ecological network indicators response to overfishing. Conférence MARCO. Boulogne sur Mer, 13-15 Oct. 2021

- Laurencin M., Gaullier V., Averbuch O., 2021. Apport des données sismiques THR dans la caractérisation des failles du Cap gris-Nez et de la Slack Epitre. Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer, France.
- Laurencin M., Gaullier V., Averbuch O., 2021. Nouvel aperçu des structures tectoniques et géologiques en mer et à terre au large de Boulogne-sur-Mer. Colloque GHYMANCHE 2021 – Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord : Approche interdisciplinaire terre-mer, 11-13 octobre, Wimereux, France.
- Le Quiniou, C., F. G. Schmitt, Y. Huang, E. Calzavarini & S. Souissi, Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides, Rencontre du Nonlinéaire 2021, Paris, 24-26 mars 2021.
- Le Quiniou, C., F.G. Schmitt, E. Calzavarini, S. Souissi, Y. Huang, Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021.
- Meresse, M., F. Gevaert, G. Duong, L. Denis, Etude de la production primaire microphytobenthique le long du gradient de salinité par acquisition automatisée de courbes photosynthèse-énergie en chambre climatique de laboratoire, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021.
- Mougin, J., Doyen, P., Roquigny, R. et Grard, T. et Le Bris, C. *Vibrio harveyi* en aquaculture : mieux le connaître pour mieux prévenir les risques de vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*) Congrès final MARCO, 14 octobre 2021, Boulogne sur mer, France.
- Ouchaou, R., Reynaud, J.-Y., Adou, F., Aillaud, A., Mejia Duran, A., Tessier, B., Robin, N., Pancrazzi, L. (2021) Apports de l'outil géoradar pour la reconstruction des architectures stratigraphiques et des environnements de dépôts côtiers actuels et anciens. Colloque MARCO 2021, Environnement marin : structure, diversité, vulnérabilité, usages et sécurité des produits de la mer Boulogne-sur-Mer, 14/10/2021.
- Reynaud, J.-Y., Aillaud, A., Ouchaou, R., Sipka, V. (2021) Géomorphologie et architecture stratigraphique de la dune holocène de Ghyvelde : apports de la prospection géoradar. Colloque Ghymanche, 11-13 octobre 2021, Wimereux.
- Rufin-Soler C., Ruz M.-H., Hellequin A.-P., Deboudt Ph., 2021. Participation des populations côtières exposées à des risques littoraux à l'élaboration de stratégies d'adaptation pour la Côte d'Opale. Journée thématique de l'Association de Géographes Français sur « Les risques littoraux », Paris, 27 mars 2021.
- Rufin-Soler C., Le Roux S., Hellequin A.-P., 2021. Co-construire des scénarios d'adaptation sur le littoral et après ? Les effets d'une démarche participative en Côte d'opale. 3Démarches participatives et gestion des risques littoraux, colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-Mer, 13-15 octobre 2021.
- Schmitt F. et Gaullier V., 2021. Restitution du colloque GHYMANCHE : « Géosciences et Hydrodynamique sur la façade Manche-Mer du Nord – Approche interdisciplinaire Terre-Mer ». Colloque ILICO/EVOLECO 2021, IR-ILICO, Colloque Annuel et Assemblée Générale, 2-5 septembre 2021, La Rochelle, France.
- Tessier, B., Grenard Grand E., Le Bot, S., Grégoire, G., Méar, Y., Reynaud, J.-Y. & Trentesaux, A., 2021. Évolution holocène des prismes sédimentaires côtiers de la Manche. Conférencière invitée. Colloque Ghymanche. Wimereux, 11-13 octobre 2021.
- Watremez L., Dibousse A., Gaullier V., Chanier F., Maillard A., Thinon I., Sage F., Travan G., Graveleau F., Caroir F., 2021. Campagne « METYSS 4 » - Premières observations sur la plate-forme est-sarde à partir de données de sismique THR (Sparker). Colloque MARCO 2021, 13-15 octobre, Boulogne-sur-Mer.
- Zahmoul, R., Trentesaux, A., Reynaud, J.-Y. & Inoubli, M.H., & Mansoura, M., 2021. Transferts et stockages sédimentaires sur le golfe de Gabès au Pléistocène. Colloque MARCO. Boulogne-sur-Mer, 13-15 octobre 2021.

Présentations orales à des groupes de travail et ateliers

2016

- Gaullier V., Jollivet-Castelot M., et l'équipe TREMOR, 2016. Activité tectonique en Manche Orientale et risques sismiques associés. Journée Scientifique du Campus de la Mer « Façade Manche-Mer du Nord : Risques littoraux et remédiation », 9 septembre 2016, Boulogne-sur-Mer.

2017

- Amara R., Évaluation du rôle écologique de la zone intertidale (estrans sableux) pour l'ichtyofaune, Parc Marin des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale. Juillet 2017.
- Amara R., Ichtyofaune des petits fonds sableux (<20m) en Manche orientale, Réunion RESOMAR Paris 2017.
- Artigas L.F., Bonato S., Breton E., Christaki U., Didry M., Lizon F., Louchart A., Lefebvre A., et partenaires axe 1 CPER MARCO et WP3.1 et WP4.1 JERICO-Next. Variabilité distribution spatiale communautés phytoplanctoniques : du pico- au microplancton. Axe transversal de recherche Manche 2100, Assemblée Générale Laboratoire d'Océanologie et Gésociences, 4 juillet 2016
- Artigas L.F., F. Lizon, S. Bonato, A. Louchart, E. Prévost, M. Didry, A. Lefebvre, J. Seppälä. Les capteurs de mesure de la fluorescence in vivo pour la discrimination des différents groupes de micro-algues. Journées techniques RESOMAR-Coast-HF, Atelier fluorescence HF, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.
- Briet, A., Helsens, N., Delannoy, S., Debuiche, S., Brisabois, A., Midelet-Bourdin, G., Granier, S.A. (2017). Souche de *Vibrio parahaemolyticus* multi-résistante isolée de crevettes importées. Doctoriales de la Mer, Boulogne sur Mer, France.
- Caillault Poisson E., Lefebvre A., Prygiel J., 2017. uHMM : unsupervised Hidden Markov Model. Interface pour détecter et caractériser des états environnements dans des series temporelles multi-paramètres. Journée connaissance au service de l'action de l'Agence de l'Eau Artois Picardie : La qualité des milieux aquatiques. 3 octobre 2017, Université de Lille 1, Villeneuve d'Ascq.
- Caillault-Poisson E., Lefebvre A., Hébert P.A., Ternynck P., Marson Q., Wacquet G., Artigas F., Bigand A., 2017. Méthodologie(s) du traitement du signal à la classification/modélisation pour la compréhension de la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques. Journée du CPER MARCO, 26 juin 2017, Boulogne sur Mer.
- Cleach, J, le Fur, B., Duflos, G., Lencel, P., Grard, T. Recherche et étude de marqueurs précoces permettant de déterminer l'état de fraîcheur des filets de poisson. 19 octobre 2017. Journée Doctorale du Campus de la Mer – 5ème édition (Boulogne-sur-Mer).
- Cleach, J, le Fur, B., Duflos, G., Lencel, P., Grard, T Recherche et étude de marqueurs précoces permettant de déterminer l'état de fraîcheur des filets de poisson. 01 mars 2017. Journée des doctorants de l'unité Qualité Sécurité des Aliments (QSA) (Lille)
- Denis et al. (2017) Activité microphytobenthique dans les estuaires picards : exemple de l'estuaire de l'Authie. colloque Interface Eau-sédiment RESOMAR. 28-29 septembre 2017.
- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Khalaf G., Guérin T., Jitaru P., Amara R. Evaluation de la contamination en Eléments traces métalliques (Pb, Cd, Hg, As) dans des produits de pêche du littoral Libanais et estimation des risques pour le consommateur, Journée IRePSE, Université Lille 1, 13 Juillet 2017.
- Jollivet-Castelot M., Gaullier V., et l'équipe TREMOR, 2017. Structuration du bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) : Apport de nouvelles données sismiques. Journée Doctorale du Campus de la Mer, 19 octobre 2017, Boulogne-sur-Mer.
- Lefebvre A., Devreker D., 2017. Interface utilisateur R pour l'analyse des principales caractéristiques et des tendances des séries temporelles. Atelier Méthodologie du GIS Campus de la Mer, 3 avril 2017, Boulogne-sur-Mer.
- Lefebvre A., 2017. Comprendre la structure et la dynamique du phytoplancton en réponse aux forçages naturels et anthropiques, et contribuer au développement des outils d'analyses automatisées. Vers un système intégré d'Observation en Manche orientale. Séminaire Ifremer DYNECO, 13 juin 2017, Brest.
- Lefebvre A., Caillault E., 2017. Développement d'outils numérique pour une évolution de l'observation à haute fréquence. Journées techniques RESOMAR-Coast-HF, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.
- Lefebvre A., 2017. Fluorescence et mesures à haute fréquence : MAREL Carnot, mesures d'opportunités de type Ferry Box. Journées techniques du Résomar, atelier fluorescence, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.
- Lizon F., Artigas L.F., Louchart A. Suivi Activité Photosynthétique in situ. Journée du CPER MARCO, 26 juin 2017, Boulogne sur Mer.
- Lizon F., Artigas F., Louchart A. (2017 & 2019). Phytoplankton photosynthesis in the water column with a Fast Repetition Rate Fluorometer. Workshop JericoNext, Ostende, Belgique.
- Louchart, A., Lizon F., Lefebvre A., Bouchaud F., Dédécker C., Delarbre J., Watiez H., Cornille V., Lécuyer E., Schmitt F., Artigas L.F. Suivi à haute résolution spatiale et temporelle de la distribution des groupes phytoplanctoniques en eaux côtières. Journée du CPER MARCO, 26 juin 2017, Boulogne sur Mer.

- Phan T.T.H., Poisson-Caillault E., Lefebvre A., Bigand A., 2017. Complétion intelligente de séries temporelles de données fortement manquantes : quelle métrique, quelle approche choisir ? Atelier Méthodologie du GIS Campus de la Mer, 3 avril 2017, Boulogne-sur-Mer.
- Poisson-Caillault E., Lefebvre A., 2017. Extraction intelligente de signatures caractéristiques dans des séries temporelles. Atelier Méthodologie du GIS Campus de la Mer, 3 avril 2017, Boulogne-sur-Mer.
- Rufin-Soler C. et T. Plouvier, « Fréquentation, représentation des espaces côtiers et évaluation économique, aspects méthodologiques », Journées Marco, 26 juin 2017, Boulogne sur Mer.
- Trentesaux A., « Le plateau continental du Golfe de Gabès et l'insularité de la Grande Bretagne. Apports des données sismiques THR ». Conférence invitée au laboratoire URGAM, Université de Tunis, 15 janvier 2020.
- Voltaire L. et T. Plouvier, « Estimation des bénéfices économiques générés par la fréquentation des Espaces Naturels Protégés (ENP) ».

2018

- Amara 2018. La biosurveillance active comme outil pour le suivi de la qualité des milieux aquatiques. Séminaire AFB, Paris 2018. Estuaires : état de l'art de la recherche appliquée, bilan des travaux soutenus par la Coordination inter-estuaires et perspectives de recherche
- Brisabois A., F.G. Schmitt, 2018. Le point sur les avancées du projet MARCO, Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Christaki U., I. Sassenhagen, S. Irion, I. Skouroliakou, E. Lecuyer, E. Breton, V. Cornille, F. Artigas, 2018. Action 2.3 Succession temporelle et interactions spécifiques dans les réseaux trophiques microbiens. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Cleach, J., Pasdois P., Marchetti P., Watier D., Duflos G., Goffier E., Lacoste A.S., Slomianny C., Grard T. & Lencel P. Research and study of early indicators to determine the state of freshness of fish fillets. 30 mai 2018. Journée des doctorants de l'Institut Charles Viollette (ICV) – 2ème édition (Lille)
- De Cubber, L., Lefebvre, S., Lancelot, T., Denis, L. Gaudron, S.M., 2019. Annelid polychaetes experience metabolic acceleration as other Lophotrochozoans: inferences on the life cycle of Arenicola marina with a Dynamic Energy Budget model. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Di Pane J., C. Giraldo, P. Koubbi, P. Marchal, C. Loots, 2018. Action 2.4 Influence environnementale sur la condition des larves de poissons. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Gaullier V., Jollivet-Castelot M., Paquet F., Chanier F., Averbuch O., Graveleau F., Schmitt F., Abraham R. et les équipes scientifiques embarquées « TREMOR » et « WATER », 2018. Présentation des résultats scientifiques et des applications pédagogiques liés à l'acquisition sismique THR (Equipement Sparker): Exemples du Bassin de Dieppe-Hampshire (Manche Orientale) et du Golfe d'Eubée (Grèce). Seconde Journée MARCO, 11 octobre, Nausicaa, Boulogne-sur-mer.
- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Khalaf G., Guérin T., Jitaru P., Amara R. Transfert des éléments toxiques à travers les compartiments biologiques dans le milieu marin Libanais Journée des Doctorants au Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (LOG), Wimereux, France, 22 Juin 2018 :. 1er Prix de la meilleure présentation orale
- Grassi K., C. Dezechache, Phan T. T. T., A.Bigand, E. Poisson-Caillault, A. Lefebvre, 2018. Action 1.1 Observation et caractérisation de l'environnement marin à haute fréquence : complétion et classification spectrale de séries multi-variés ». Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Kazour, M., "Développement d'approches de biomonitoring actif (engagement d'organismes) pour l'étude in situ de la contamination des organismes marins par les microplastiques" in "Journée scientifique du Pôle EMLM" – Calais (France) - 19 February 2018
- Kazour, M., "Sources de pollution de l'environnement marin par les microplastiques: Rôle des stations d'épuration et des décharges côtières" in "Journée MARCO" Nausicaa – Boulogne-sur-mer (France) – 11 October 2018
- Kazour, M., "Nouvelle approche pour l'étude in situ de la contamination des poissons par les microplastiques : engagement de juvéniles de flets (Platichthys flesus) dans des nourriceries estuariennes" in "Journée des doctorant LOG"- Wimereux (France) - 22 June 2018

- Irion S., Biodiversité de l'écosystème marin et flux de carbone autour de Kerguelen : le rôle du petit phytoplancton à l'échelle de la cellule. Journée des doctorants 2018 du LOG – 2ème prix
- Lizon F., F. Artigas, A. Louchart, M. Didry, M Michèle-Rodriguez, 2018. Action 1.1 Implication des gradients verticaux de la physiologie du phytoplancton dans les études spatiales à grandes échelles. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Louchart A., G. Wacquet, 2018. Action 1.1 Caractérisation de la dynamique des communautés phytoplanctoniques en Manche Orientale par des techniques et outils semi-automatisés ». Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Menuge B., C. Verpoorter, P.A. Picabea, 2018. Action 1.2 Analyse et cartographie du sédiment : application de modèles sur image satellite et camera hyperspectrale. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Michel-Rodriguez M., Lefebvre S. & Lizon F, Utilisation du fluorimètre MC-Pam pour l'étude de la photoacclimatation chromatique des microalgues, Journées des doctorants du LOG, juin 2018, Wimereux.
- Michel-Rodriguez M. M., F. Lizon, S. Lefebvre, 2018. Action 2.2 Utilisation du fluorimetre MC-PAM pour l'étude de la photoacclimatation chromarique des microalgues. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.
- Monchy S., Li L.L., Dehaut A., Souissi S., Amara R., Duflos G., Impact des microplastiques sur le microbiote des moules (*Mytilus edulis*). Journée MARCO, 11 Octobre 2018, Nausicaa, Boulogne sur Mer
- Sassenhagen Ingrid, Solène Irion, Ioli Skouropoliakou, Elsa Breton, Vincent Cornille, Eric Lecuyer, Lucie Courcot, Felipe Artigas, Urania Christaki. Succesion temporelle et interactions specifiques au sein du réseau trophique planctonique. Journée MARCO, 11 Octobre 2018, Nausicaa, Boulogne sur Mer
- Ingrid Sassenhagen: The impact of local processes on microalgal population structure and community composition: from population genetics to host-parasite interactions. November 2018. Aquatic Ecology, Lund University, Sweden
- Voltz et al., 2018. Bilan de la matière organique au sein des sédiments estuariens de la Manche Orientale : apport, production et reminéralisation. Réunion avec le Parc Naturel Marin des estuaires picards et de la mer d'Opale, 13 avril 2018, Wimereux, France.
- Voltz et al., 2018. Bilan de la matière organique au sein des sédiments estuariens de la Manche Orientale : apport, production et reminéralisation. Journée des Doctorants du LOG, 14 juin 2018, Wimereux, France.
- Voltz B., L. Denis, S. Gontharet, L. F. Artigas, L. Courcot, G. Duong, C. Tallobre, V. Cornille, F. Henry, S. Philippe, 2018. Action 2.1 Répartition spatiale de la matière organique sédimentaire et identification des habitats benthiques au sein de l'estuaire de la Canche, de l'Authie et de la Somme. Seconde Journée MARCO, 20 octobre 2019, Boulogne-sur-mer.

2019

- Amara et coll. Le biomonitoring actif comme outil pour le suivi de la qualité des milieux aquatiques. Journée MARCO, Nausicaa, Boulogne-sur-Mer, 10 octobre 2019
- Amara & Laroche. 2019. Impact de la qualité des habitats estuariens de la Seine sur le fonctionnement d'une population de poisson (du recrutement des juvéniles au processus de reproduction). Séminaire Seine Aval, Rouen 2019.
- Bracis, C., Lehuta, S., Savina Rolland, M., Travers-Trolet, M., and R. Girardin, Improving confidence in complex ecosystem models: the sensitivity analysis of an Atlantis ecosystem model. WGSAM, ICES Working Group on Multispecies Assessment Methods, 14-18 octobre 2019, Rome, Italie..
- Caroir F., 2019. Présentation des résultats préliminaires à l'équipe du projet WATER.
- Chatelain, Pierre, Emilie Poisson Caillault. Métrologie et suivi de clusters à partir de séries temporelles. Séminaire LISIC, ULCO, Calais. 6 septembre 2019.
- Christaki U, Obernosterer Ingrid et al. Microbial carbon cycling during late summer in the Kerguelen area (SouthernOcean), comparison with spring and early summer dynamics. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019

- Delegrange A, Calvayrac P. Zooplankton abundance and diversity, Calanus simillimus grazing in the Kerguelen area. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019
- Gaudron SM, Loots C, 2019. Apport de l'histologie en écologie marine. Troisième Journée MARCO, 10 octobre 2019, Boulogne-sur-mer
- Ghosn M., Chekri R., Mahfouz C., Khalaf G., Guérin T., Jitaru P., Amara R. Speciation of Mercury in seafood : Method optimization and validation based on accuracy profile. Journée des Doctorants au Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (LOG), Wimereux, France, 24 Juin 2019.
- Irion, S., Jardillier, L., Christaki, U., Pico- and nanoplankton: Dynamic throughout the bloom, diversity and carbon uptake during late summer. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019
- Kazour, M., "Etude de la cinétique d'ingestion des microplastiques dans les moules: approche par encagement en milieu naturel" in "Journée des doctorant LOG"- Wimereux (France)- 24 June 2019
- Poisson Caillault, E., K. Grassi, and A. Lefebvre. Spectral clustering multi-level for ST event learning. Artificial Intelligence Workshop. Université d'Artois, CRIL, 29 août 2019, 2019.
- Sassenhagen, I., Irion, S., Jardillier, L., Christaki, U: Microplankton and parasitic marine alveolate communities during late phytoplankton blooms in the Kerguelen area. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019
- Skouroliakou I., Christaki U: Diversity and biomass of the microzooplankton during MOBYDICK, comparison with KEOPS data. Workshop MOBYDICK, Museum Histoire Naturelle, Paris 14-15 Mai 2019
- Talon, Pierre, Pierre-Alexandre Hébert, Emilie Poisson Caillault, Étude comparative des matrices de similarité pour le clustering. Séminaire LISIC, ULCO, Calais. 6 septembre 2019.
- Voltz, B., Duong, G et al. (2019). Minéralisation benthique dans l'estuaire de la Canche et de l'Authie. Journée CPER MARCO, 10 Octobre 2019, Boulogne-sur-mer, France.

2020

- De Cubber, Lola , Sébastien Lefebvre, Lancelot Théo, Daniel Schaffer, Hubert Loisel et Sylvie M. Gaudron (2020). Effets des changements globaux sur la dynamique de population et les traits de vies de deux ingénieurs de l'écosystème intertidaux le long de la Côte Atlantique Nord-Est. Quatrième Journée MARCO, 10 décembre 2020, en zoom.
- Gaullier, Virginie, Avancées récentes sur l'architecture sédimentaire et la tectonique en Manche Orientale, Quatrième Journée MARCO, 10 décembre 2020, en zoom.
- Gaullier V., Jollivet-Castelot M., Paquet F., Chanier F., Averbuch O., Schmitt F., Juan C., Watremez L., Graveleau F., Abraham R. et les équipes embarquées « TREMOR 1 », « TREMOR 2 », « POSEOLE », « GEOBAS », 2020. Présentation succincte des projets de géophysique THR en Manche Orientale. Demi-Journée "Axe Manche-Mer du Nord" du LOG, animateurs F. Schmitt, V. Gaullier, S. Monchy. 1er juillet 2020, Wimereux.
- Gaurier, Benoit, Grégory Germain, Extension des moyens d'essais pour améliorer la caractérisation du comportement des hydroliennes Quatrième Journée MARCO, 10 décembre 2020, en zoom.
- Juan C., Gaullier V., Averbuch O., 2020. New constraints on the subsurface geometry of the Eastern Channel-Straight of Dover area, based on the combined analysis of recently-acquired high-resolution seismic profiles and reprocessed industrial lines (MARCOPALE Project). Demi-Journée "Axe Manche-Mer du Nord" du LOG, animateurs F. Schmitt, V. Gaullier, S. Monchy. 1er juillet 2020, Wimereux.
- Reynaud, Jean-Yves , Le géoradar, un outil pour étudier la stratigraphie des dépôts littoraux émergés, Quatrième Journée MARCO, 10 décembre 2020, en zoom.
- Schmitt, FG, C. Le Quiniou, « Action 1.4 : analyse expérimentale de l'influence de la turbulence sur le plancton : construction d'un système pour générer la turbulence : le AGITURB » Journée MARCO 2020, virtual conference, 10 December 2020.
- Trentesaux A., 2020. Séminaire de travail avec l'Office National des Mines (ONM), en visioconférence le 17 décembre 2020.

2021

- Caillaud, J., S. Philippe, L. Courcot, M. Casetta. « Méthodologie d'analyses chimiques des sédiments par XRF. Application aux sols et sédiments de la région de Gravelines (Flandre maritime) soumis aux retombées de poussières industrielles. » – Journée MARCO 2020, 10 décembre 2020.
- Casetta, M., « Impact et devenir des reombées de poussières industrielles sur les sols de Gravelines ». Comité de suivi individuel (Bilan des résultats de la 1ere année de thèse) – 13 septembre 2021.
- Foucaut T., Rufin-Soler C., Duflos G., Dehaut A., 2021. Consommation des produits de la mer, perceptions liées aux déchets plastiques et connaissance des microplastiques à Boulogne-sur-Mer. Méthode et résultats de l'enquête ConsoMicro. Séminaire MARCO, Boulogne-sur-Mer, 5 mai 2021
- Schmitt, F. G., C. Le Quiniou: « AGITURB and applications : the turbulence experimental system of Wimereux and associated projects », Présentation interne à l'équipe 3 du LOG, 25 septembre 2020.
- Schmitt, F. G., Guillaume Fromant.: « MTP-FAO, Mesure turbulence-plancton et fusion d'informations acoustiques et optiques », Présentation interne à la SFR Campus de la mer, 1er décembre 2020.
- Schmitt, F. G., C. Le Quiniou: « Analyse expérimentale de l'influence de la turbulence sur le plancton : construction d'un système pour générer la turbulence : le AGITURB », Journée MARCO 2020, 10 décembre 2020.
- Trentesaux, A. 2021. Les géosciences étudient les processus en action sur le front littoral. Conférencier invité pour la cérémonie des 150 ans de la Société Géologique du Nord. 10 Juin 2021. Lille.

2022

- Laurencin M., Schmitt F., Gaullier V., 2022. TURBODUNES : turbulence et dunes marines. Demi-journée scientifique de l'Axe "Manche – Mer du Nord" du LOG, 13 janvier, Visio-Conférence.

Présentations sous forme de poster

2016

- Briet, A. (2016). Etude la résistance aux antibiotiques des bactéries isolées des produits de la pêche et de l'aquaculture. Doctoriales de la Mer, Boulogne sur Mer, France.
- Cléach, J, Le Fur, B., Duflos, G., Lencel, P. & Grard, T. Étude du potentiel membranaire mitochondrial ($\Delta\Psi_m$) chez la lignée cellulaire de fibroblastes de daurade royale SAF-1. Octobre 2016. Journée des doctorants de l'Anses (Maisons-Alfort)
- Helsens, N., Briet, A., Debuiche, S., Marault, M., Copin, S., Brauge, T., Guillier, L., Brisabois, A., Granier, S.A., Midelet-Bourdin, G. (2016). Antibiorésistance de *Vibrio parahaemolyticus* isolés de produits de la pêche. 36ème RICAI, Paris, France.
- Verpoorter C., Menuge, B. et Combes, T. (2016) Cartographie des Estuaires Picards par télédétection HR SPOT-/7. Application à la baie d'Authie. Séminaire THEIA (com. poster), Toulouse
- Verpoorter C., Cartographie des Estuaires Picards par télédétection HR SPOT-/7..Séminaire ROLNP (Réseau Observation du Littoral Normand Picards), communication poster, Wimereux, Novembre 2016.

2017

- Briet, A., Helsens, N., Delannoy, S., Copin, S., Brisabois, A., Midelet-Bourdin, G., Granier, S.A (2017). NDM-1 producing *Vibrio parahaemolyticus* isolated from imported shrimps. ASM, Nouvelles Orléans, USA.
- Briet, A., Trigueros, S., Gassilloud, B., Midelet-Bourdin, G. (2017). Identification de la flore bactérienne isolée de crustacés et de mollusques par PCR et/ ou par la technique MALDI-TOF. SFM, Paris, France.
- Briet, A., Helsens, N., Delannoy, S., Debuiche, S., Brisabois, A., Midelet-Bourdin, G., Granier, S.A (2017). Souche de *Vibrio parahaemolyticus* multi-résistante isolée de crevettes importées. SFM, Paris, France.
- Chanier, F., Ferrière, J., Averbuch, O., Gaullier V., Graveleau, F., 2017. Role of the tectonic inheritance on multi-phased rifting of the Sperchios Basin (Greece), north-western boundary of the Aegean Plate. EGU General Assembly 2017, Vienna, Austria, 23-28 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-13734.

- Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Jollivet-Castelot, M., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Ferrière J., 2017. Strike-slip controlled versus extensional basins on the western termination of the North Anatolian fault, in the Aegean Sea, Greece. Preliminary results from the WATER cruise (July-August 2017). 33rd International Meeting of Sedimentology – 16ème Congrès Français de Sédimentologie, Toulouse, 10-12 October 2017, Abstract Book, p. 167.
- Cléach, J, Le Fur, B., Duflos, G., Lencel, P. & Grard, T. Le potentiel membranaire mitochondrial ($\Delta\Psi_m$), comme marqueur de fraîcheur de filets de poissons ? 4 et 5 mai 2017. Congrès de la Recherche des IUT (Auxerre). 1er prix du poster obtenu
- Gontharet S., Chevalier N., Denis L., Mathieu O., Gevaert F., Duong G., Artigas L.F., Goulard F., Klein V., Bouloubassi I., Gommeaux M., Caillaud J., Lesourd S., Lévêque J., Armynot du Chatelet E., Bolhuis H., Brotas V., Lefebvre S., Philippe S., Ribeiro L., Trentesaux A., Verpoorter C. (2017) Variability of organic matter (OM) distribution and sources in surficial sediments from an intertidal mudflat of a coastal plain temperate estuary (Authie, France). 28th International Meeting on Organic Geochemistry, Florence, Italie, 17-22 Septembre 2017. (Poster)
- Hermabessiere, L., C. Himber, B. Boricaud, G. Duflos and A. Dehaut. Optimization and validation of a Pyrolysis-GC/MS method to identify microplastics. Third International Francophone Conference on Environment and Health. Dunkerque (France) 25-27 octobre 2017.
- Hermabessiere, L., C. Himber, G. Duflos and A. Dehaut. Pyrolysis-GC/MS: a powerful tool for microplastics identification. ECsafeSEAFOOD Conference. Bruxelles (Belgique), 25-26 janvier 2017.
- Jollivet-Castelot, M., Gaullier, V., Paquet, F., Chanier, F., Thinon, I., Lasseur, E., Averbuch, O., 2017. Structural development of the Dieppe-Hampshire Basin (Eastern English Channel) : Contribution of new seismic data. EGU General Assembly 2017, Vienna, Austria, 23-28 April.
- Jollivet-Castelot, Gaullier, V., Paquet, F., Chanier, F., Thinon, I., Briais, J., Averbuch, O., 2017. Strike-slip controlled versus extensional basins on the western termination of the North Anatolian fault, in the Aegean Sea, Greece. Preliminary results from the WATER cruise (July-August 2017). 33rd International Meeting of Sedimentology – 16ème Congrès Français de Sédimentologie, Toulouse, 10-12 October 2017, Abstract Book, p. 445.
- Kazour, M., Jemaa, S., El Rakwe, M., Duflos, G., Hermabessiere, L., Dehaut, A., Le Bihanic, F., Cachot, J., Cornille, V., Rabhi, K., Khalaf, G., Amara, R. "Nouvelle approche pour l'étude in situ de la contamination des poissons par les microplastiques" in "3ème colloque international Francophone en environnement et santé" – Dunkerque (France) – 23-25 October 2017
- Mougin J., D. Bojolly, V. Ragueneau, A. Robert-Pillot, S. Copin, M. Bonnin-Jusserand. "Etude de la survie de *Vibrio cholerae* en biofilm", Congrès de la SFM, 9-11 octobre 2017, Paris (Poster)
- Schmitt, F., and Gaullier, V., 2017. Empirical mode decomposition method applied to high frequency seismic data. EGU General Assembly 2017, Vienna, Austria, 23-28 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-14222.
- Verpoorter C., Menuge, B., Denis, L., Héquette, A. Méléder V., Cartier, A., Gevaert, F. Duong, G. Gontharet, S., Goulard F. et Launeau P. (2017). Observation du microphytobenthos intertidal par télédétection à haute résolution spectrale et spatiale en baie d'Authie. Intégration des mesures in situ. EEC, Wimereux, France, 6-8 juin 2017
- Verpoorter C., Menuge, B., Héquette, A. Méléder V. et Launeau P. (2017). Exploitation de la télédétection spatiale à haute résolution spatiale (SPOT6/7) et modérée (Sentinelle-2) pour la cartographie des espaces estuariens en Manche Mer du Nord. EEC, Wimereux, France, 6-8 juin 2017

2018

- Chanier, F., Gaullier, V., Bailleul, J., Jollivet-Castelot, M., Maillard, A., Paquet, F., Sakellariou, D., Bonnière, A., Cayla L., Watremez, L., Graveleau, F., Averbuch, O., Vendeville, B.C., Ferrière, J., 2018. Rift basins and structural inheritance on the western termination of the North Anatolian Fault, Aegean Sea (Greece) : First results from WATER cruise (R/V « *Téthys II* », July 2017). 26ème Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France, Livre des résumés, p. 247.
- Hermabessiere L., Boricaud B., Himber C., Duflos G., Dehaut A. Microplastics identification by Py-GC/MS: method optimization and validation. Sixth International Marine Debris Conference. San Diego (USA), 12-16 Mars 2018.

- Irion, S., Jardillier, L. & Christaki, U. An integrated view of phytoplankton's diversity and function in the carbon cycling in contrasted areas of the Austral ocean: from community to single cell. The 17th ISME meeting 12-17 August 2018, Leipzig, Germany.
- Jollivet-Castelot, M., Gaullier, V., Paquet, F., Chanier, F., Allanic C., Briais, J., Thinon, I., Averbuch, O., 2018. Structural development of the southern Dieppe-Hampshire Basin and its borders (Eastern English Channel). EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, 8-13 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-7813.
- Kazour, M., Terki, S., Rabhi, K., Amara, R. "Développement d'approches de biomonitoring actif (engagement d'organismes) pour l'étude in situ de la contamination des organismes marins par les microplastiques" in "Journées de l'ARCUS-E2D2" – Rabat (Maroc)- 9-11 April 2018
- Lefebvre S, Giraldo C, Kopp D, Cresson P, Travers-Trolet M, Ernande B. 2018. Benthic-pelagic couplings as key determinants of food web structure along environmental gradients. 11th International conference on the applications of stable isotope techniques to ecological studies (ISOECOL), 30 July - 3 August. Viña del Mar, Chile
- Lizon F., Didry M., Louchart A., Michel-Rodriguez M., Artigas F. 2018. Implications of vertical FRRF profiles in spatial studies of phytoplankton dynamic. General assembly JericoNext, Galway, (Ireland).
- Mougin J., C. Le Bris, T. Grard, M. Bonnin-Jusserand, « Microbiological and molecular approaches to control vibriosis in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) », 48th WEFTA, 15-18 octobre 2018, Lisbonne (Portugal)
- Mougin J., C. Le Bris, T. Grard, M. Bonnin-Jusserand, « Approches microbiologiques et moléculaires pour lutter contre la vibriose du bar (*Dicentrarchus labrax*) », Journées scientifiques et doctorales de l'Anses, 5-6 décembre 2018, Maisons Alfort
- Philippe S., Alary C., Dörr, W., Ouddane B., Courcot L., Caillaud, J., Billon, G., 2018. Isotopes du plomb et caractérisation de la contamination de sédiments de rivière au voisinage de fonderies historiques: cas du canal de la Deûle (Région Haut de France). 26e Réunion des Sciences de la Terre, 22-26 octobre 2018, Lille, France.
- Sassenhagen, I., Breton E., Skouroliakou, I., Cornille, V., Jardillier, L. & Christaki, U. 2018. Species specific interactions among microalgae and parasitic marine alveolates. The 17th ISME meeting 12-17 August in Leipzig, Germany.
- Sassenhagen, I., Breton E., Skouroliakou, I., Cornille, V., Jardillier, L. & Christaki, U. 2018. Species specific interactions among microalgae and parasitic marine alveolates. The 18th ICHA meeting 21 -16 October, Nantes.
- Schmitt, F., and Gaullier, V., 2018. Empirical mode decomposition method applied to high frequency seismic data: An aid to the seismic interpretation and fault detection. EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, 8-13 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-5472.
- Timmerman CA, Cresson P, Denamiel M, Marchal P. 2018. A multi-tissue approach for a better understanding of the ecology of commercial fish species. 11th International Conference on the Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies (ISOECOL), 30 July - 3 August. Viña del Mar, Chile

2019

- Artigas L.F. Karlson B., Aardema H., Brosnahan, M.L., Claquin P., Créach V., de Blok R., Debusschere E., Deneudt K., Gómez F., Grégori G, Hébert P.-A., Houliez E., Kromkamp J., Lefebvre A., Lehtinen S., Lizon F., Louchart A., Möller, K., Poisson-Caillault E., Rijkeboer M., Thyssen M., Seppälä J., Stemann L., Van Dijk M., Veen A., Wacquet G., Wollschläger J., Ylöstalo, P. & Puillat I. Automated optical approaches for phytoplankton observation and monitoring in coastal marine ecosystems within the JERICO-Next (H2020) network. OCEANOBS'19 : An Ocean of Opportunity. September 16-20 2019, Honolulu, HI, US.
- Bracis, C., Lehuta, S., Savina Rolland, M., Travers-Trolet, M., and R. Girardin, "Improving confidence in complex ecosystem models: the sensitivity analysis of an Atlantis ecosystem model". IMBER - Open Science Conference. 17-21 juin 2019, Brest.
- Caroir, F., Gaullier, V., Chanier, F., Averbuch, O., Bailleul, J., Bonnière, A., Cayla, L., Ferrière, J., Graveleau, F., Jollivet-Castelot, M., Maillard, A., Paquet, F., Vendeville, B., Watremez, L., 2019. Rift basins and active tectonic control on sedimentary distribution on the western termination of the North Anatolian Fault, Aegean Sea (Greece) : First results from WATER cruise (R/V *Téthys II*, July 2017). EGU General Assembly 2019, Vienna, Austria, 7-12 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 21, EGU2019-13726.
- Copin S., Mougin J., Ragueneau V., Robert-Pillot A., Quilici M-L., Midelet-Bourdin G., Grard T., Bonnin-Jusserand M., « Comparaison de la toxicité du traitement par l'éthidium monoazide (EMA) et par le propidium monoazide (PMA)

- pour différencier les *Vibrio* viables par PCR en temps réel. », Congrès National de la SFM, 30 septembre – 2 octobre 2019, Cité des Sciences et de l'industrie, Paris, France.
- Douay F, Verpoorter C, Spilmont N & Gevaert F. To what extent spectral imagery and reflectance can be used to map intertidal marine macroalgae? 7th European Phycological Congress, 25-30 aout 2019, Zagreb, Croatie
- Engler A, Day L, Chouquet B, Vogel C, Brind'Amour A, Cresson P 2019. Variations spatiales de l'alimentation des juvéniles de sole et de plie en Baie de Seine. 14ème colloque de l'AFH "Recherche Halieutique et Développement Durable". 26 au 28 juin 2019, Université de Caen Normandie .
- Epinoux A., van Dijk A. M., Amaral-Zettler L., Zettler E., Artigas L. F., Bernardi-Aubry F., Casotti R. High-frequency monitoring of phytoplankton by automated flow cytometry: diel variability and spatial distribution at high resolution. IMBER - Open Science Conference. Brest Brest, France, Juin 2019.
- Gaullier V., Chanier F., Schmitt F.G., Watremez L., Lymer G., Maillard A., Thinon I., Sage F., Travan G., Graveleau F., Caroir F., 2019. The Eastern Sardinian Margin: From Rifting to Hyper-extension and Post-rift Reactivation in a Backarc Setting. 2019 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 9-13 December, Paper number : ID#614438.
- Gevaert F, Douay F, Menu D & Brutier L. A new fully automated benthic chamber for measuring photosynthesis via the production of oxygen of whole aquatic organisms under natural field conditions during immersion. 7th European Phycological Congress, 25-30 aout 2019, Zagreb, Croatie
- Kazour, M., Terki, S., Rabhi, K., Jemaa, S., Khalaf, G., Amara, R. "Sources of microplastics pollution into the marine environment: Importance of wastewater treatment plant and coastal landfill" in "EurOCEAN 2019", UNESCO, Paris (France) – 11-12 June 2019 (the submitted abstract is accepted and is selected as one of the best 10 submissions)
- Kouassi W., G. Stienne, M. Semmling, J.C. Kucwaj, S. Reboul and J. Wickert, "A GNSS-R multirotor UAV platform for soil moisture detection and altimetry", IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), May 2019, Benevento, Italy.
- Lizon F., Didry M., Louchart A., Michel-Rodriguez M., Artigas F. (2019). 2D approach of photobiology and primary production of phytoplankton in coastal seas. General assembly of JericoNext, Brest (Poster).
- Mougin J., Roquigny R., Doyen P., Grard T., Bonnin-Jusserand M., Le Bris C. « Finding *Vibrio harveyi*: Dynamic of bacterial proliferation in fish farming systems." VIBRIO 2019, 18-20 novembre 2019, Montréal, Canada. Premier prix du poster.
- Semmling M., K. Balidakis, G. Stienne , S. Reboul , E. Cardellach , W. Li , J. Wickert, H. Schuh, "GNSS amplitude estimation and its application to coherently reflected signals for sea ice remote sensing", ESA living planet symposium, May 2019, Milan, Italy.
- Verpoorter C., Brutier L., 2019. Focus sur l'imagerie hyperspectrale en milieu littoral : Etude des propriétés physiques et biologiques des surfaces dites 'naturelles' pour différentes échelles d'observation. AEI Atelier Expérimentation et Instrumentation, 9-11 juillet 2019, Polytech Lille, Villeneuve D'Ascq.

2021

- Hubert Z ., Epinoux A., Gallot C., Bruaut M., Cornille V., Delarbre J., Dédécker C., Crouvoisier M., Didry M., Lebourg A., Lécuyer E., Artigas L.F., 2021. Variabilité interannuelle des groupes fonctionnels phytoplanctoniques suivis par une approche semi-automatisée le long d'un gradient côte-large près du Déroit du Pas de Calais. Colloque final MARCO2021 – Colloque EVOLECO à La Rochelle, du 3 au 5 novembre 2021.
- Le Quiniou C., Schmitt F. G., Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides, 24ème Rencontre du Non-linéaire, Paris, 24-26 mars 2021
- Le Quiniou C., F. G. Schmitt, Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, "Comparisons of alive and dead copepod velocity statistics in various turbulence intensities: laboratory study using high speed cameras", American Geophysical union Fall meeting, New Orleans, 13-17 December 2021.
- Lizon, F., M. Michel-Rodriguez, S. Lefebvre, F. Gevaert, M. Crouvoisier, G. Duong, X. Meriaux, Photorégulation et photoacclimatation spectrale des communautés naturelles de microalgues en Manche, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021.
- Diop, M., J. Couteau, E. Tavernier, M. Kazour, J. Denis, J. Laroche, B. Ouddane, G. Duong, F. Gevaert, R. Amara, Biomonitoring actif et biomonitoring passif : quelle méthode pour mieux évaluer la contamination des habitats

estuariens et marins par les éléments traces métalliques, les HAP, PCB et les pesticides ?, Colloque MARCO 2021, Boulogne-sur-mer, 13-15 octobre 2021.

Robache K., Gallot C., Epinoux A., Facq J.V., Hubert Z., Audinet Y., Brutier L., Répécaud M., Lefebvre A., Artigas L.F., 2021. Approche automatisée à haute fréquence de la dynamique du bloom printanier en Manche orientale sur la station MAREL Carnot [Poster]. Colloque MARCO2021 – restitution final du projet de Contrat de Plan État Région MARCO Recherches Marines et Littorales en Côte d’Opale, 13-15 Octobre 2021, Boulogne sur mer.

Roubineau T., E. Breton, M. Crouvoisier : Composition pigmentaire dans l’eau de mer. Analyse des pigments issus du phytoplancton par HPLC, Stage de fin de 2e année d’école d’ingénieur CESI à Aras, Fêtes de la mer de Boulogne sur mer 8-11 juillet 2021.

Skouroliakou D-I, Irion S, Christaki U. Ecological processes driving phytoplankton blooming taxa in a coastal meso-eutrophic ecosystem: a phylogenetic approach. MARCO meeting, 13 – 15 October 2021 (<https://marco.univ-littoral.fr>), France.(Poster presentation)

Communication vers le grand public

2016

R. Amara. Maison de l'environnement à Dunkerque (2016), Impacts des activités anthropiques sur les écosystèmes marins côtiers et les ressources halieutiques.

P. Dayras, C. Bialais & S. Souissi. Responsabilité (S.S) et animation (P.D. & C.B.) d’un stand vers le grand public dans le Learning Center Innovation Lilliad, 2ème saison Xperium année universitaire 2016-2017. Titre du stand n°6 (sur un total de 8) ‘découvrir le monde des copépodes’.

2017

Exposition-démonstration : Micro-algues : sentinelles de la qualité des eaux et régulatrices du climat. Fête de la Mer (Boulogne sur Mer, 13-16 juillet 2017) et Fête de la Science (UMR LOG – MREN ULCO Wimereux, 9-13 octobre pour les scolaires et 14 octobre 2017 tout public).

Atelier « Les travailleurs de la mer », 1er Juin 2017 (Wimereux), 20 octobre 2017 (Wimereux), 13 décembre 2017 (Calais) 2017. Partenariat Artconnexion Lille, Fondation Carasso

R. Amara. Semaine de la mer, Dunkerque (2017): l'homme et la mer; les liaisons dangereuses

R. Amara. Association récif62 2016 et 2017: le rôle des zones côtières pour les poissons.

P. Dayras, C. Bialais & S. Souissi. Responsabilité (S.S) et animation (P.D. & C.B.) d’un stand vers le grand public dans le Learning Center Innovation Lilliad, 2èmesaison Xperium année universitaire 2017-2018. Titre du stand n°6 (sur un total de 8) ‘découvrir le monde des copépodes’.

2018

Lizon F. Rencontres Art-Science F.O.O.R. (Forum Ouvert Œuvres et Recherches) de la COMUE avec Nicolas Floc’h, Studio Le Fresnoy, Tourcoing (22 nov. 2018) et exposition à la Galerie 36bis de Tourcoing d’une « colonne d’eau phytoplanctonique et technique d’étude» (22 nov.- 04 déc. 2018).

Lizon F. Premières rencontres Art-Science de la fondation Carasso (36h), Cité des Arts de Paris, (2-3 fév. 2018).

Gentilhomme V., Lizon F., Loisel H. Atelier « Les travailleurs de la mer », restitution finale, 12 mai 2018, Wimereux (LOG) et Boulogne sur Mer (école d’Art Municipale).

2019

Souissi S., C. Bialais & E. Déposé. Participation au stand d’exposition organisé par la direction de la valorisation de l’Université de Lille lors des journées REV3DAYS, 5-6 février 2019 à Lille Grand Palais. Exposition de prototypes de bioréacteurs de production de microalgues mais également des cultures de rotifères, artemia et copépodes.

Duflos G., Dehaut A., Brisabois A. Les microplastiques dans les produits de la mer, Salon de l'agriculture, Paris, 25 février 2019

Gaudron, S.M. Intérêts écologique, économique et historique des vers de sable ('la rouge' et 'la noire' de la Côte d'Opale. 13 juillet 2019, 'Fête de la Mer' à Boulogne-sur-mer.

Kazour, M., "Les plastiques dans le milieu aquatique" présentation pour des élèves de l'école primaire de Wimereux – Wimereux (France) – 26 April 2019

2021

Cresson P. Sous les sunlights du tropique. Pourquoi et comment savoir ce que mangent les poissons. Fêtes de la mer. Boulogne sur Mer. Juillet 2021

Campagnes à la mer réalisées grâce à MARCO

2016

2016 (5 jours): Campagne GEOBAS 2016 (N/O "COTES DE LA MANCHE") - INSU – CNRS. Acquisition sismique THR (Sparker) : Stage enseignement Mer Master 2 GEOBAS (Chef de mission : V. Gaullier).

2017

2017 (10 jours) Campagne PHYCO (N/O « Côtes de la Manche ») INSU CNRS. Suivi de l'évolution spatio-temporelle du bloom phytoplanctonique printanier en Manche orientale et Sud Mer du Nord – Utilisation CytoSense/Sub et autres capteurs automatisés. (chef de mission : F. Artigas) - ARTIGAS Luis Felipe (2017) PHYCO cruise, RV Côtes De La Manche, <https://doi.org/10.17600/17010500>

2017 (10 jours): Campagne WATER (N/O "TETHYS II") - INSU – CNRS. Analyse de la déformation dans le Golfe d'Eubée et le Chenal d'Oreoi, Mer Egée (Chefs de mission : F. Chanier, V. Gaullier). <http://dx.doi.org/10.17600/17009400>

2017 (19 jours): Campagne TREMOR 2 (N/O "THALIA") – IFREMER. Analyse de l'architecture sédimentaire et de la déformation en Manche Orientale – Acquisition sismique THR (Sparker) et carottages (Chefs de mission : V. Gaullier, F. Paquet)

2017 (5 jours): Campagne GEOBAS 2017 (N/O "SEPIA") - INSU – CNRS. Acquisition sismique THR (Sparker) : Stage enseignement Mer Master 2 GEOBAS (Chef de mission : V. Gaullier)

2018

2018 (6 jours): Campagne GEOBAS 2018 (N/O "COTES DE LA MANCHE") - INSU – CNRS. Acquisition sismique THR (Sparker) : Stage enseignement Mer Master 2 GEOBAS (Chef de mission : V. Gaullier)

2018 (2 x 10 jours) : Campagnes ECOPEL 2018 (Leg 1 et Leg 2) (N/O « Antéa ») – MTES-INSU CNRS. Observation et caractérisation hydro-biogéochimique et biologique des écosystèmes pélagiques et côtiers en Manche Mer du Nord. Mise en place du Programme de Surveillance DCSMM. (chef de mission : F. Artigas) - ARTIGAS Luis Felipe (2018) ECOPEL 2018 cruise, RV Antea, <https://doi.org/10.17600/18000443>

2018 (4 jours): Campagne POSEOLE 1 (N/O "SEPIA II") - INSU – CNRS. Analyse de l'architecture des bancs de sable au large de Dunkerque (Mer du Nord) (Chef de mission : V. Gaullier)

2018 (11 jours): campagne GABES 2018 (N/O « TETHYS II ») - INSU-CNRS. Architecture de la plateforme du golfe de Gabès (Tunisie) au cours du Quaternaire. Chef de mission : Alain Trentesaux. <https://doi.org/10.17600/18000472>

2019

2019 (15 jours): Campagne METYSS 4 (N/O "TETHYS II") - INSU – CNRS. Acquisition sismique THR (Sparker) : Analyse des déformations et des architectures sédimentaires sur la Marge Est-Sarde (Chefs de mission : V. Gaullier, L. Watremez).

Annexe 4 : Projets venant en soutien au projet CPER MARCO, effet levier

En rouge : effet levier ; projets hors CPER MARCO mais rendus possibles en partie grâce au projet CPER MARCO.

Projets européens et internationaux

H2020 et autres supports européens

Projet européen d'infrastructure de recherche international H2020 (Project n° : 654410) JERICO-Next (2015-2019)- "Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatories – Novel European eXpertise for coastal observatories" – www.jerico-ri.eu - co-coordination actions WP3.1 et WP4.1 - participation action WP2.4

Projet européen d'infrastructure de recherche international H2020 (Project n° : 654410) JERICO-S3 (2020-2024)- "Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatories – Science, Service, Sustainability" – www.jerico-ri.eu - co-coordination WP4 et deux actions PSS EC NS, coordination groupe scientifique Best Practices in Biological Sensors (WP5.3 – ST7), participant WP7 & WP11 (responsable Virtual Access facilities).

Projet européen "DG ENV/MSFD 2020" Marine Strategy Framework NEA PANACEA - North East Atlantic project on biodiversity and eutrophication assessment integration and creation of effective measures. Responsible actions 1.3 et 1.5.

Projet InterReg France-Angleterre S3-EUROHAB (2017-2022) Détection de l'eutrophisation et des efflorescences algales nuisibles (HAB) dans la Manche en utilisant les données du satellite Sentinel-3 (S3).

RealTide, Advanced monitoring, simulation and control of tidal devices in unsteady, highly turbulent realistic tide environments, Ifremer LCSM leader of the WP3

Marinet 2, Marine Renewable Infrastructure Network for Enhancing Technologies 2, Ifremer leader of the Transnational Access

Marinerg-I , Marine Renewable Energy Research Infrastructure

Ecological Approach to (sub) Regional Habitat Assessments (EcApRHA - EU DG Environment) Coordination of the OSPAR Secretariat (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic). 2015-2017.

EU Erasmus + : Bourse de 9 mois pour Ioli Skouroliakou (convention Erasmus ULCO, Ioannina GR)

Projet INTERREG North-West Europe SURICATES: *Sediment Uses as Resources in Circular and Territorial Economies*; leader : Université de Lille, 2018-2020.

Projet INTERREG 2 mers Valgorize : Valorisation of algae for a better taste : 2018 – 2022. Porteur : ILVO (Belgique). 11 partenaires dont ULille, ULCO, Aquimer et Nausicaa

Projet INTERREG Met-Certified, Development of International Standards and certification schemes for marine energy technologies, Ifremer leader of the WP1

Projet ESA, Cartographie des espaces estuariens par télédétection hyperspectrale (PROBA-CHRIS). 2016-2017

Projet « Marie Skłodowska-Curie Actions – Innovative Training Networks (ITN): « Salt Giant – Understanding the Mediterranean Salt Giant » [ETN] – Pl. G. Aloisi (IPGP, Paris), 2018-2021: Fonctionnement et financement de la thèse de Gaia Travan (ESR 13)

Financement par le Gouvernement du Pays Basque Espagnol du projet « Identification de marqueurs microbiologiques spécifiques de zone mytilicole » via le financement de séjours de recherche pré-doctorale (Avril-Juin 2021). [Numéro EP_2021_1_0001]. Collaboration entre l'AZTI et l'ULCO.

Projet FORESEA2050 “ French seaFood pRoduction Scenarios in 2050”. Porteur: Mathieu Doray (Ifremer-HALGO); financement AMI (Direction Scientifique de l’Ifremer) ; 2021-2024. Collaboration entre l’Ifremer et le LOG

Partenariats bilatéraux

Projet PHC ORCHID avec Taiwan, ‘A multidisciplinary approach for better understanding the functioning of natural and artificial aquatic ecosystems’ qui vise à créer un Laboratoire International Associé avec Taiwan (LIA attribué par l’université de Lille en 2017).

Projet PRC CNRS-NSFC intitulé « LATUMAR : Lagrangian turbulence, numerical studies and marine experimental applications » (2016-2018).

Collaboration Franco-Allemande (IFREMER-AWI) « COCKTAIL » qui finance le fonctionnement et la thèse de Léa Joly.

Collaboration Franco-Allemande (LISIC-GFZ) « SeaStaD (Sea State Detection)» Observation aéroportée par réflectométrie GNSS. Fonds du GFZ en soutien à MARCO : 16 k€

Projet COCKTAIL “Climate change effects on fish larvae”. Porteurs: Carolina Giraldo (Ifremer/HMMN), Cédric Meunier (Alfred Wegener Institute, Allemagne) ; financement conjoint AMI (Ifremer/Alfred Wegener Institute) 2018-2021

Projet accompagnant la thèse en co-tutelle ULCO-UMBA (Algérie) : Rym Bouaziz. Structures et variations saisonnière des réseaux trophiques des poissons en zones Côtières : approche comparatives par isotopes stables en milieux contrastés, l’estuaire de la Canche et la lagune d’El Mellah

Projet ECOS-Sud (2019-2021) avec l’Argentine (CONICET) : Environnements hypertidaux. Un volet de ce projet concerne la prospection géoradar basse fréquence du Miocène de la Péninsule de Valdès. PI du projet : B. Tessier (M2C Caen).

Projet Understanding host-parasite biomass exchanges to better inform fisheries and aquaculture practices. Co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN, M. Gay ANSES/LSAPPA et A. Sabadel (Univ. Otago, Dunedin, Nouvelle Zélande). Financement de l’Ambassade de France en Nouvelle Zélande, “France-Related research Program” 2021-2022

Kai ika in a changing ocean: understanding parasite-fish trophic interactions to inform environmental and human health policies. Co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN, M. Gay ANSES/LSAPPA et A. Sabadel (Univ. Otago, Dunedin, Nouvelle Zélande). Catalyst Seeding Grant, NZ Royal Society 2022-2023

Contrats nationaux (ANR, PHRC, CNES, Ifremer, CNRS, etc.)

ANR

ANR: MOBYDICK (2018 – 2021) Marine Ecosystem Biodiversity and Dynamics of Carbon around Kerguelen: an integrated view, Urania Christaki coordination de 2 works packages. 407ke, (107 ke pour le LOG) <https://www.mio.univ-amu.fr/mobydick/>

ANR MANA (2017-2020) ANR PRC (projet de recherche collaborative). MANagement of Atolls. Coordonné par S. Andréfouët (IRD). Participant. Montant de l’aide accordée 20 k€.

ANR: RhiCycle: 2020-2024 Role of Rhizaria in biogeochemical Cycles in the epi- and mesopelagic ocean PI Tristan Biard **ULCO- LOG** (254 ke)

ANR: CO2-COAST: 2021-2023 Analysis of the spatio-temporal variability of pCO₂ and air-sea flux of CO₂ over the global coastal ocean during the last two decades: a satellite approach, PI Hubert Loisel, **ULCO- LOG**

ANR DUNES: 2019-2021 Hydraulic dunes dynamics and impact on MRE projects: observations, modelling and ecosystems

ANR ARICO (2020-2023) : Co-construction de scénarios d’Adaptation des territoires maritimes aux risques côtiers dans un contexte de changements climatiques en France et au Québec (Porteurs : C. Meur-Ferec – UBO et G.

Marie – Université de Rimouski et partenaires ULCO/Lille : C. Audouit, Ph. Deboudt, Ph. Chagnon, H. Flanquart, M. Laboureur, C. Rufin-Soler).

Surveillance DCE, DCSMM

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM, actuel MTES) – CNRS INSU pour le co-pilotage scientifique et la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin, Descripteur 1- Biodiversité, Thème « Habitats Pélagiques » 2016-2019.

Etude des communautés de macroalgues benthiques (intertidal et subtidal) dans le cadre du contrôle de surveillance (RCE) DCE-Rebent-District Artois-Picardie (MNHN et Ifremer). 2014, 2016, 2017.

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et IFREMER pour le co-pilotage scientifique et la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin, Descripteur 1- Biodiversité, Thème « Habitats Pélagiques ».

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et IFREMER pour le pilotage scientifique et la mise en place de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin, Descripteur 5- Eutrophisation.

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM), IFREMER et Agence de l'Eau Artois Picardie pour la coordination des activités scientifiques et techniques en lien avec la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) sur le bassin Artois Picardie.

Convention Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et IFREMER pour le pilotage des activités françaises au sein des groupes OSPAR ICG EUT (Eutrophisation) et TG COMP (Mise à jour de la Procédure Commune d'évaluation de l'eutrophisation).

Projets France Agrimer et France filière Pêche

Projet STRESSBACFISH Impact de différents stress rencontrés en entreprise de transformation du poisson sur la viabilité et la croissance de *Listeria monocytogenes* et de la flore annexe pour une meilleure connaissance des risques microbiologiques associés aux produits de la mer (2017-2019) Anses

Projet FreezAni Définition des conditions de congélation domestique pour tuer les larves d'Anisakidae dans les produits de la pêche (2019-2020), Anses

Projet TYPLM Inventaire et développement d'un outil performant de PCR pour la détermination des complexes clonaux de souches de *Listeria monocytogenes* isolées dans la filière des produits de la pêche et de l'aquaculture (2019-2020) ANSES

Projets France Energies Marines

OMDYN2 : OMbilicaux DYNamiques pour les EMR flottants (projets EMR-ITE 2017), 2018-2021, 12 partenaires

Projets CNRS

EC2CO-DRIL PHYSALI (Etat de Santé des écosystèmes et diversité fonctionnelle du PHYtoplancton sur le Littoral français), 2017-2018.

EC2CO VARIFLUX (2016-2017). Variabilité spatio-temporelle des flux biogéochimiques (C-N) et des structures microbiennes au sein d'un banc de vase intertidal de Guyane française. 27 000 k€ CNRS-INSU.

EC2CO-LEFE PLANKTON-PARTY (2018-2019): PLANKTONic Eukaryotic PARAsites: the parTicular case of PhaeocYstis blooms, PI coordinateur 34k€

LEFE CYBER MOBYDICK (2018 – 2020) - Marine ecosystem biodiversity and dynamics of carbon around Kerguelen: an integrated view. 90 k€

Projet INSU "Action Coordonnée Campagnes à la Mer": Soutien pré et post-campagnes "TREMOR 1" (2014), "TREMOR 2" (2017), "WATER 1" (2017), Projets "TELLUS-SYSTER": "TREMOR 2", "WATER" (2018 et 2019), "MULTISPARK" (2019).

Projet DYCOCO, Dynamique du carbone organique dans les eaux littorales et côtières de Guyane. PEPS Guyane CNRS. 2017-2019.

LEFE « TURBORADAR » : Amélioration des paramétrisations de flux turbulents de la couche de surface océanique à partir de la donnée radar HF, de mesures in situ et en laboratoire. 2017-2018.

MI CNRS INFINITI « Dynamique de diatomées sous l'effet de la turbulence » ; *Projet MI CNRS : défi INFINITI, Interfaces Interdisciplinaires Numérique et Théorique*. 2018

MI CNRS Défi Littoral OMPBI Observation du MicroPhytoBenthos Intertidal par modèle de transfert radiatif V-IR: interactions producteur primaire, biogéochimie et socio-écosystème. 2016

LEFE MANU IMECO « Intermittence multi-échelles de champs océaniques : analyse comparative d'images satellitaires et de sorties de modèles numériques » ; 2018-2019.

Projet Tellus : 2018-2019 « Localisation d'activité hydrothermale par la présence de phases minérales expansibles ».

CNRS IMPTI AAP défi plastiques dans les océans : projet TOXIPLANK 2019-2021.

LEFE : « Effets de la turbulence sur la toxicité et la prolifération du phytoplancton : TURBU-DIATOX », Projet CNRS LEFE 2021 : PI Urania Christaki, François Schmitt, participation C. Le Quiniou, E. Houliez. 18650 € (2020-2021).

INSU-TELLUS Syster : 2019-2020 « Hypertide » PI : B. Tessier, M2C Caen

EC2CO-HYBIGE HyperFUCUS (2021-2022) Signature hyperspectrale d'une macroalgue brune intertidale : étude de la variabilité à différentes échelles temporelles et spatiales

Projets Ifremer

Projet MURPHY (2018-2020). Programme politique de site Ifremer coordonné par le laboratoire ressources halieutiques Boulogne/mer (PI: C. Giraldo) en collaboration avec le LOG (PI: S. Lefebvre). Multitrophic biodiversity ecosystem functioning.

Projet RETROGRAD (2015-2016). Programme politique de site Ifremer coordonné par le laboratoire ressources halieutiques Boulogne/mer (B. Ernande). Variabilité du couplage benthopélagique et conséquences sur la structure des réseaux trophiques marins le long des gradients environnementaux. Participant. Montant de l'aide accordée 15 k€.

Projet ToolBar (2017-2019): « Mieux appréhender l'effet de la température sur les processus de biominéralisation de l'otilite - approche expérimentale appliquée au bar (*Dicentrarchus labrax*) », Porteurs : Kélig Mahé (Ifremer/HMMN), Bruno Ernande (Ifremer/HMMN) et Rachid Amara (ULCO), financement Direction Scientifique de l'Ifremer.

Projet APOSTROPH : APrOche iSotopique multi-tissus des relations TROPHiques en Manche, Projet intercentre (Direction Scientifique) PI : Pierre Cresson, LRH, Ifremer Boulogne ; Financement 20 K€

Projet PATROFLU (2020-2022) "Parasites et flux de matière", co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN et M. Gay ANSES/LSAPPA, financement Direction Scientifique Ifremer

Projet FORESEA (2021-2024) : French seaFood pRoduction Scenarios in 2050, Projet AMII (Direction Scientifique) PI (en local): Paul Marchal, LRH, Ifremer Boulogne; Financement 240 k€.

Projets CNES

Projet TOSCA HARDÉCOT: Apports de la télédétection couleur de l'eau à HAute Résolution spatiale pour l'étude de la Dynamique biogéochimique des Écosystèmes COTiers: développements algorithmiques et potentiel de Sentinel-2. 2015-2017.

Projet CNES TOSCA S3VT, 2015-2017.

Projet CNES TOSCA PHYTOHAB : Monitoring and analysis of PHYTOplankton HABitats through the valorisation of innovative observations, 2015-2017.

Projet CNES TOSCA COYOTE « Le Carbone Organique particulaire et sa fraction phytoplanctonique à partir de la Télédétection de la couleur de l'Océan: développement pour les capteurs OLCI et OCAP1 et Exploitations des séries historiques », 2015-2018.

Projet TOSCA « VolTransMESKONG » : Variabilité hydro-sédimentaire du bassin hydrologique du MEKONG par télédétection. 2016-2023.

Projet TOSCA: HypEddy : cartographie de la production primaire du microphytobenthos des vasières intertidales par télédétection hyperspectrale couplage Réflectance / Eddy Covariance atmosphérique, 2018-2020.

Projet GeoSUD/THEIA : Cartographie des espaces estuariens par télédétection SPOT-HR. 2015-2017.

Projet THEIA/CNES « TransMESKONG » : Transfert de matières en suspension du bassin versant du bas Mékong à la côte sous l'influence des variations de volumes de flux d'eau. 2016-2018

Projets BRGM

Partenariat LOG-BRGM "Etude de la Manche Orientale" dans le cadre du RGF-BRGM "Plateau continental" (2015-2018) qui a financé le fonctionnement et la thèse de Martin Jollivet-Castelot (Projet "TREMOR").

Agence française pour la biodiversité – Aires marines protégées

Etude du cycle de vie des arénicoles sur le littoral Nord-Pas-Calais Picardie/Projet Life Pêche à pieds. Subvention par les Aires Marines Protégées (20 k€) (SG, PI). 2015-2017

Projet Parc Marin : AAP Evaluation de la patrimonialité de la faune, de la flore, des habitats et des fonctionnalités du Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale « Projet : Diversité taxonomique et fonctionnelle du microphytobenthos et de la méiofaune en Baie de Canche et d'Authie ». En réponse à l'appel à projets AAP 2017: 16.5 k€.

Projet Parc Marin : AAP Evaluation de la patrimonialité de la faune, de la flore, des habitats et des fonctionnalités du Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale « Projet : Localisation des sites d'alimentation des juvéniles de poissons et modélisation des réseaux trophiques : importance des milieux intertidaux et estuariens" 18 k€. 2017-2018

Projet Parc Marin : Évaluation du rôle des zones intertidales (estrans sableux) pour les poissons et le renouvellement des populations (zones de frayères et nourriceries) sur le Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale 80 k€. 2017-2018.

Projet Parc Marin : Evaluation de l'état de conservation des populations et suivi des migrations sur le Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale. 2018-2020. 191 k€

Projet AFB : Sashimi : Surveillance Active de l'impact de la pression chimique par des biomarqueurs 2019-2020

Contrat AFB/Parc Marin : Suivi des poissons migrateurs amphihalins en zone estuarienne 2019-2020.

Projet AFB (2020 -2023) : BioSurveillance : Proposition d'un pilote basé sur l'utilisation de biomarqueurs pour un appui à la surveillance de la qualité des masses d'eau du district Seine-Normandie.

Agence de l'eau Artois Picardie

Diagnostic de l'état d'eutrophisation des zones humides de chasse de la Région Hauts de France. Financement Agence de l'eau Artois-Picardie. E. Breton, M. Crouvoisier, D. Dewaele, D. Brebion. 2017-2020.

Etude de la contamination des milieux aquatiques par les microplastiques rejetés par les stations d'épuration. Cas de la STEP Séliane à Boulogne-sur-mer et de Sogéa Nord à Douai. 2019-2020. 59 k€

Fondation de France

Projet Fondation de France COSACO, appel « Quels littoraux pour demain ? »: « Que littoral dans cinquante ans ? Co-construction de stratégies d'adaptation au changement climatique en Côte d'Opale » ; 2016-2019.

Projets FEAMP

Projet VARITROPH (Variation saisonnières et ontogéniques des paramètres trophiques des espèces exploitées en Manche), financé par le FEAMP et France Filière Pêche, qui soutient la thèse de CA Timmerman

Projet LUVIBAR (lutte contre la vibriose du bar) (2018 – 2021) financé par le FEAMP, qui soutient la thèse de Julia MOUGIN. Porteur : ULCO. 5 partenaires

Projet FEAMPA (Fonds Européen pour la pêche) (2021-2022): Évaluation de la fonctionnalité et de la qualité des habitats estuariens Picards pour le développement des anguilles européenne

Projet ATTILA Actions pour le développement de Technologies et Techniques de lutte contre l'Infestation par les Larves d'Anisakidés (2018-2020) , ANSES

Projet SILVERPROTECT Matériaux innovants incluant des ions argent pour garantir une meilleure sécurité sanitaire des produits de l'aquaculture (2020-2022) ANSES

Projet PERSISTANCE Approche combinée phénotypique et génomique pour une meilleure connaissance de la persistance de *Listeria monocytogenes* en aquaculture (2020-2022) ANSES

Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation

Projet RESCAPE "Etude de la résistance bactérienne aux antibiotiques dans les poissons marins et connaissance de leur environnement". Co- porteurs, P. Cresson, Ifremer/HMMN, G. Bourdin et T. Brauge, LSA/ANSES, financement Ecoantibio/Ministère de l'Agriculture 2018-2020

Projet PRORESVIB Etude et comparaison des profils de résistance aux antibiotiques des souches de *Vibrio parahaemolyticus* isolées d'aliments avec celles isolées de cas humains. (2016-2019) financé sur le plan EcoAntibio DGAI ANSES

Projet AMR Array Développement d'un outil basé sur la PCR en temps réel haut débit pour la détection de marqueurs de résistance bactérienne aux antibiotiques (2019-2021) , financé sur le plan EcoAntibio 2 de la DGAI ANSES

Contrats régionaux: Région, universités Lille et ULCO

CPER 2021-2027

CPER IDEAL « approche Intégrée des DEFis maritimes et Littoraux ». Porteur : Sébastien Monchy (UMR LOG). Financement Etat-Région-Ifremer

I-Site Université Lille Nord de France

I-Site fondation ULNE « isit U » 200 k€. PI S. Lefebvre, 2017-2020.

BQR et soutiens universitaires

BQR convergence Université de Lille 1- Vulnérabilité et résilience des écosystèmes côtiers (20 k€). 2015-2017

BQR ULCO « GEORADAR » - (19 k€). 2018-2019

Projet TéléEST. BQR Bonus Quality Research ULCO, Cartographie des estuaires Picards par télédétection à très haute résolution spatiale (Pléiades, 50cm/pixel & SPOT6/7, 150cm/pixel) et par imagerie hyperspectrale multi-capteurs (satellite, aéroportée et *in situ*). 20k€ 2017-2018

Projet LIA « A multidisciplinary approach for better understanding the functioning of natural and artificial aquatic ecosystems », Laboratoire international associé interdisciplinaire, entre la National Taiwan Ocean University et

l'Université de Lille (laboratoires LOG, LASIR, IEMN, CRISTAL) (2017-2019). Ce projet est également soutenu par un Partenariat Hubert Curien (PHC) ORCHID France-Taiwan.

AAR ULCO 2018 : Aide à la Recherche, petits équipements. Acquisition d'un four à moufle pour la mesure de la perte au feu et fabrication des perles.

ULCO: Post-doc sur support ATER de 12 mois (2018) pour Ingrid Sassenhagen.

BQR ULCO « Etude et mise en œuvre d'un instrument de réflectrométrie GNSS pour la surveillance des zones inondables par drone ». 19.5k€. 2017-2018.

SFR Campus de la mer

« MTP-FAO, Mesure turbulence-plancton et fusion d'informations acoustiques et optiques », Projet SFR Campus de la mer action 2020-6 : PI Alexei Sentchev, Guillaume Fromant, participants F. Schmitt, C. Le Quiniou. 3900 € (année 2020).

« Construction de 3 AGITURB pour expérimentation turbulente sur le phytoplancton », Projet SFR Campus de la mer action 2020-8 : PI François Schmitt, Urania Christaki, participation C. Le Quiniou. 2000 € (année 2020).

« Géoradar terrestre basse fréquence : application à la géomorphologie et la stratigraphie haute résolution en domaine littoral », Projet SFR Campus de la Mer, action 2021-1 : PI J.-Y. Reynaud. 3963 €, (stage de M2 de F. Adou).

« Evolution des Métaux de POussières Industrielles dans les Sols de la zone de Gravelines » (Haut de France) (EMPOIS) ; Projet SFR Campus de la Mer, 2022 : PI S. Philippe. 3440€ (stage de master)

PARATROPH « Ecologie Parasitaire et Réseaux trophiques », co-porteurs P. Cresson Ifremer/HMMN et M. Gay ANSES/LSAPPA, financement SFR Campus de la Mer 2020-2022.

GIP Seine-Aval

Projet SENTINELLES « Fonctionnement des écosystèmes de l'embouchure de l'estuaire de la Seine à travers une étude interdisciplinaire ciblant le zooplancton et le macro-zoobenthos ». Projet retenu dans le cadre de l'AAP du GIP Seine-Aval 2016. 3 partenaires, budget = 194,6 k€ (129 k€ pour le LOG). 2017-2020.

Projet PLASTIC-Seine « Flux et impacts des microplastiques dans l'estuaire de la Seine ». Coordinateurs Jérôme Cachot (EPOC-Bordeaux) et Johny Gasperi (LEESU, Paris Est). Projet retenu dans le cadre de l'AAP du GIP Seine-Aval 2016. 3 partenaires subvention = 194,6 k€. 6 partenaires, budget = 404,34 k€ (34,2 k€ pour le LOG). 2017-2020

Projet HQFISH « Impact de la qualité des habitats estuariens de la Seine sur le fonctionnement d'une population de poisson », Programme GIP Seine Aval (2016- 2019). budget = 330 k€ ; 85 k€ pour le LOG

Projet CAPES : Capacité trophique des nurseries de Poissons de l'Estuaire de Seine, Programme GIP Seine Aval 6, (2017-2020), PI : A. Brind'Amour (Ifremer EMH Nantes), LRH partenaire dans le cadre de la plateforme Réseaux trophiques ; Budget total 790 K€

Projet AFB/GIP Seine Aval (2020-2023): BioSurveillance : Proposition d'un pilote basé sur l'utilisation de biomarqueurs pour un appui à la surveillance de la qualité des masses d'eau du district Seine-Normandie.

Région Hauts-de-France

Conseil Régional Nord Pas de Calais Picardie (2016-2017). Convention de recherche accueil jeune chercheur «SIMODYN : Isotopes stables et modélisation bio-énergétique pour estimer la structure et la dynamique des réseaux trophiques marins. Responsable scientifique. Montant 96 k€.

Conseil Régional Nord Pas de Calais Picardie – Hauts de France (2016-2017). Convention allocation de recherche accueil jeune chercheur Guillaume Wacquet : Amélioration de l'étude et du suivi des espèces phytoplanctoniques dominantes dans la Manche orientale, en focalisant à la fois sur les petites cellules et les espèces coloniales. Responsable scientifique. Montant 92.8 k€.

Partenaire du projet BIOFOZI '*BIOdiversité et FONctionnalité du Zooplancton : test du potentiel Indicateur de la qualité de l'Eau*'. Coordinatrice Michèle Tackx (ECOLAB- Toulouse). Projet financé dans le cadre de l'AO 2012 Biodiversité de la Région Nord Pas de Calais et la FRB. Projet soutenu par l'Agence de l'Eau Artois Picardie. Budget > 100 k€. 2013-2015.

Projet AD'ACPOP Adaptation et acceptation des populations littorales aux risques côtiers : vers une action participative pour une approche raisonnée. Projet « Chercheurs Citoyens » Conseil Régional Hauts-de-France. 2017-2019.

Projet Start AIRR : Freshfish du 1^{er} janvier au 3 décembre 2021 : projet labellisé en août 2020 portant sur la mesure de la fraîcheur des produits aquatiques dans le but de la mise sur le marché d'un test fiable de mesure de la fraîcheur.

Collectivités

Suivi morpho-sédimentaire de l'UG5. Contrat de collaboration de recherche avec le Grand Port Maritime de Dunkerque. 2015-2018.

DDay climate change (2020-2023) : Tourisme de mémoire face aux effets du changement climatique : analyse des pratiques et représentations des Plages du Débarquement. (Porteur : X. Michel – Université de Caen et partenaire ULCO : C. Rufin-Soler).