

# Projet scientifique de la Structure Fédérative de Recherche

## « Campus de la mer »

### ARTICLE 1 : Contexte et genèse

La région Hauts-de-France et la Côte d'Opale en particulier disposent d'un potentiel de recherche conséquent dans le domaine marin et littoral grâce à l'existence de plusieurs laboratoires de haut niveau rattachés aux universités (ULCO, université de Lille) et aux organismes de recherche (IFREMER, CNRS, ANSES).

Depuis les années 2000, des liens se sont établis entre les unités sur plusieurs thèmes :

- l'étude de la dynamique de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes. La dynamique du phytoplancton et la qualité des eaux côtières ont été étudiées via les projets InterReg Dymaphy, le projet H2020 Jerico Next et le CPER Phaeocystis ou l'exploitation de données « haute fréquence » de la bouée Ifremer Marel Carnot par exemple (LOG, LISIC, LERBL). La structure et la dynamique des communautés de la Manche orientale ont été étudiées via les projets InteReg Charm 2 et 3 (LOG, LRH) ;
- l'étude des usages des espaces maritimes et littoraux et la valorisation des ressources marines. La gestion intégrée de la bande côtière a été abordée par des programmes Liteau, fondation de France (TVES, LOG) ou le CPER Phaeocystis (LER, TVES). Des études juridiques (assurance maritime ; LARJ-HLLI) ou historiques (Pêche LRH et HLLI) ont également été menées; La valorisation des produits de la pêche ou de l'aquaculture (LOG, BPA, ANSES) ou l'étude des énergies marines renouvelables (LOG, LCSM) en sont également des exemples ;
- des collaborations ponctuelles entre unités ont eu lieu autour de plateformes (Calculco) ou d'outils communs (Analyse combinatoire ; LMPA-LISIC).

Une première étape de fédération a été franchie par la création d'un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) dénommé « Campus de la Mer » en 2012 pour consolider et développer les liens entre ces unités. Plusieurs projets communs ont ainsi pu aboutir, soutenus notamment par la Fondation de France (« Gouvernance des risques littoraux en Nord Pas de Calais 2011-2014» ou « PEROPALE: pêche récréative sur la côte d'opale » 2016-2019), ou le Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche (projet « CEUPAMA » : Centre Européen de la Pêche, de l'Aquaculture et des Métiers Associés). Le projet structurant « MARCO » pour une étude globale du milieu marin, de la ressource et de la qualité des produits aquatiques soutenu par le CPER (2015-2020) est le projet commun le plus fédérateur soutenu par le GIS. Le projet MARCO qui fédère 8 des 11 unités impliquées dans le projet de SFR s'est déjà matérialisé par la co-construction de plusieurs actions de recherche utilisant des équipements structurants et débouchant sur des publications co-rédigées. Cet historique de collaborations passées et présentes peut être schématisé sous la forme d'interactions et illustrées par l'accroissement exponentiel des publications communes entre certaines des unités (Figure 1).

Par ailleurs, des journées du GIS (journées doctorales), l'organisation de colloques (Gestion intégrée des zones côtières ; Energies marines renouvelables ; Société Française d'Ichtyologie ; Qualité et sécurité des produits aquatiques ; littoral et tourisme durable ; Life : pêche à pied de loisir) et de manifestations grands publics (Fête de la science et fêtes de la mer) sont également des résultats marquants du GIS.

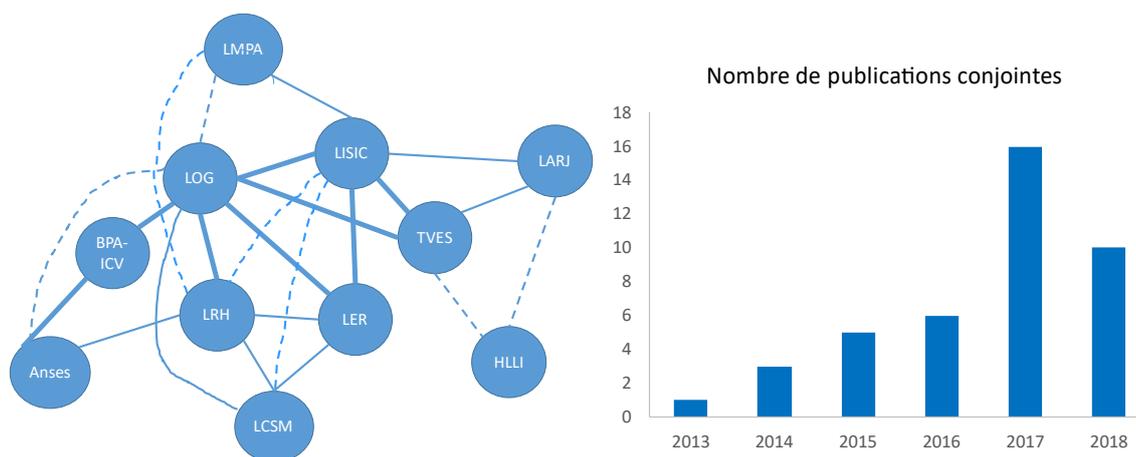


Figure 1 : Gauche : schéma des interactions (non exhaustives) et de l'intensité des liens (fort, traits épais, significatif, traits fins, et potentiel, traits en pointillés) entre les unités impliquées du projet de SFR. Droite : Publications conjointes (Articles à comité de lecture) entre le LOG, TVES, LISIC, ICV-BPA, Ifremer et Anses depuis 2013.

Pour poursuivre cette dynamique facilitée par le dynamisme du GIS et du CPER Marco, il est proposé de constituer une Structure Fédérative de Recherche (SFR) reconnue, labélisable, et évaluable par l'HCERES (Haut Conseil de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur). Cette SFR a vocation à regrouper, de manière large et pluridisciplinaire, les équipes de recherche impliquées dans les problématiques marines et en interfaçage avec le littoral. Onze laboratoires sont engagés de manière volontariste dans ce projet.

#### Objectifs généraux :

Les objectifs de la SFR sont clairement orientés vers la recherche, fondamentale et appliquée, notamment autour d'objets communs, tels que les systèmes marins et littoraux (et en particulier les socio-écosystèmes), dans une logique fédérative pluridisciplinaire (échanger, communiquer, mutualiser, collaborer, structurer). Son rôle consistera à structurer les recherches sur les zones marines et littorales effectuées isolément dans chacune des entités de la future SFR. Cette structuration permettra de coordonner les actions du secteur marin en région Hauts de France, et à en accroître la visibilité tant au plan régional que national. La plus-value attendue est avant tout scientifique (grâce notamment aux collaborations et à la pluridisciplinarité), avec également un gain en termes d'attractivité et de visibilité internationale. Au travers de la SFR, les équipes de recherche disposeront d'un outil efficace pour renforcer leur excellence scientifique. La SFR sera en interaction avec la formation (masters d'excellence sur les thématiques de la SFR, projets d'Ecoles Universitaires de Recherche), avec le monde socio-économique (pôle de compétitivité Aquimer, future technopôle « Euramer », Centre National de la Mer « Nausicaa », ports, associations, collectivités locales, parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale, sociétés d'éoliennes offshore, sociétés de pêche), et avec les universités voisines (université Picardie Jules Verne, université d'Artois). L'ambition de la SFR est de se positionner au premier plan au niveau de la recherche internationale.

Plus spécifiquement, les objectifs sont :

- de mettre en synergie des compétences scientifiques des unités partenaires ;
- d'organiser des projets collaboratifs autour de deux axes thématiques et d'un axe transversal afin de favoriser leur visibilité ;
- d'inciter au développement de nouveaux projets de recherche aux interfaces entre les différentes sous-disciplines (SHS, SVE, ST) ;
- de faciliter la mise à disposition des équipements disponibles dans les unités puis à moyen terme de mutualiser les moyens financiers et humains pour le développement de plateformes analytiques et/ou technologiques de haut niveau ;
- de favoriser les interactions avec les acteurs hors SFR qu'ils soient académiques ou du monde socio-économique (innovation entreprise, transfert de technologie) ;

- de faciliter les relations entre les écoles doctorales disciplinaires et entre les formations de troisième cycle ;
- de favoriser l'obtention de projets d'excellence (H2020, ERC...), grâce à la synergie des compétences de la fédération.

## ARTICLE 2 :      Projet scientifique pour la période 2020-2024

Depuis le début du siècle, il apparaît nécessaire d'intégrer les études sur les systèmes socio-économiques d'une part et les études sur les systèmes naturels d'autre part afin d'exploiter durablement les ressources de l'environnement. L'étude de ces interactions peut être faite dans le cadre du concept des systèmes socio-écologiques (Socio-ecological systems (SES) ; Redman et al., 2004) qui prend en compte la complexité des systèmes humains en interaction forte avec le système environnemental leur servant de matrice de vie. Le concept SES offre un cadre général pertinent afin de faciliter l'intégration thématique des unités de la SFR (Figure 2) :

Les systèmes marins et leur interface littorale constituent un système cohérent de facteurs biogéophysiques (i.e. environnementaux au sens large) et de facteurs sociaux qui interagissent étroitement (plus ou moins durablement) ;

Les systèmes socio-écologiques marins et littoraux sont structurés spatialement et temporellement ;

Ils offrent un ensemble de services écosystémiques (ressources biologiques, physiques, culturelles et patrimoniaux) dont l'utilisation est régie par une combinaison de contraintes écologiques et sociales ;

Ils présentent des interactions complexes et dynamiques et doivent présenter une adaptation continue aux pressions environnementales et sociales.

Une structuration thématique est proposée autour de trois axes qui respectent la philosophie de l'approche SES. Chacun de ses axes s'appuie sur des recherches menées actuellement autour de projets communs mais aussi d'idées émergentes. La faisabilité du projet est ainsi élevée. Le projet a été construit selon la méthodologie suivante: un groupe de travail de six personnes a été constituée de façon à représenter l'ensemble des sensibilités des unités impliquées (Automne 2017). La structure du projet a été soumise aux représentants des laboratoires et aux personnels intéressés lors de visite de chaque laboratoire (janvier, février 2018). Ceci a permis un recensement des projets et des travaux en cours entre les unités partenaires. Finalement, un colloque « projet » a permis de présenter des thèmes structurants et de favoriser des rencontres afin de faire émerger de nouvelles interactions (mai 2018).

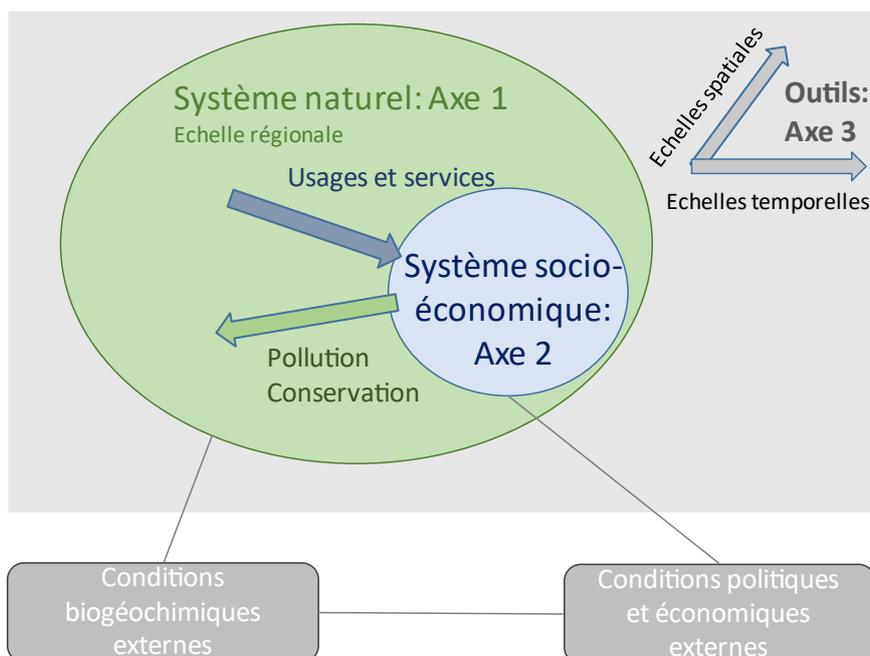


Figure 2 : Trois axes principaux structurent le projet. L'axe 1 s'intéresse à la structure et à la dynamique des écosystèmes et aux impacts des communautés humaines. L'axe 2 vise à quantifier les services produits et les usages qui en sont faits. Enfin, l'axe 3 cherche à développer des méthodologies facilitant l'étude des systèmes socio-écologiques dans leurs dynamiques spatiales et temporelles.

Le projet fait la part belle aux interactions existantes à pérenniser ainsi qu'aux idées émergentes initiées lors du colloque. Ce projet n'est pas exhaustif et est ouvert à toute interaction entre unités constitutives sur l'étude du domaine marin et de ses interfaces. Toutefois, la stratégie scientifique est claire afin que se développe une réelle dynamique de fédération autour du thème fondateur que sont l'étude des socio-écosystèmes marins. Nous cherchons à tirer avantage de l'interdisciplinarité sans faire un grand écart qui serait centripète : une fédération d'action est préférée à une fédération de gestion. Plutôt que de juxtaposer l'ensemble des activités de chacun des laboratoires, nous avons priorisé une synergie scientifique autour de trois axes thématiques et méthodologiques.

Pour chaque action d'un axe, les laboratoires et projets actuels ou en projet associés sont mis entre parenthèse.

### Axe 1 : Interactions, ressources et milieux impactés (P. Marchal, S. Lefebvre)

Ce premier axe vise à comprendre la structure et la dynamique des systèmes marins dans leurs composantes biologiques, géologiques et physiques, et notamment les ressources naturelles qui peuvent y être exploitées (e.g. ressources halieutiques, courants marins, vent, granulats marins). Une attention particulière sera portée aux interactions au sein d'une biodiversité contrainte par l'exploitation et/ou la pollution. Parallèlement à la compréhension des effets des forçages naturels et/ou anthropiques globaux, il s'agit de comprendre les capacités de résilience des écosystèmes marins à l'exploitation et/ou aux effets indésirables (pollutions, proliférations d'espèces indésirables) induites par les activités anthropiques présentes au sein de ces écosystèmes ou d'écosystèmes adjacents (interactions terre-mer par exemple). Trois thèmes principaux seront ainsi développés. Les deux premiers thèmes se basent essentiellement sur la poursuite de collaborations bien établies entre le LOG, LERBL, LRHBL et le LISIC alors que le thème 1.3 est plus émergent.

#### Thème 1.1 : Analyse des réseaux d'observation pour l'étude de la dynamique du phytoplancton et de la qualité des eaux. (LERBL, LOG, LISIC).

Les systèmes marins, côtiers et littoraux jouent un rôle considérable dans le fonctionnement des cycles biogéochimiques majeurs (carbone, azote et phosphore) en recevant des apports

continentaux massifs de nutriments et de matière organique, mais également des contaminants ayant un impact direct au niveau des eaux, des sédiments et des organismes vivants. 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'origines naturelle ou anthropique (exemples des réseaux Ifremer tel que REPHY/SRN et INSU SOMLIT...). La préservation et amélioration de la qualité de ces environnements est cruciale et reconnue dans des instances des mers régionales (conventions OSPAR, HELCOM et MARPOL) et directives européennes comme la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000) et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM, 2008) qui s'applique à l'ensemble du domaine maritime. L'implication de nos laboratoires dans la mise en œuvre de ces directives nécessite l'amélioration des connaissances afin d'assurer le développement d'indicateurs de qualité de l'environnement, de mieux analyser les résultats des évaluations, de proposer des programmes de surveillance optimisés, de mettre en place des objectifs environnementaux et des programmes de mesures adaptés.

Le phytoplancton est capable de répondre rapidement aux modifications de la qualité des eaux. Ces réponses concernent une modification de sa composition taxinomique et/ou la prolifération de certaines espèces, parmi lesquelles des micro-algues potentiellement nuisibles. Le suivi des communautés phytoplanctoniques nécessite des moyens et outils variés et complémentaires: campagnes sur des navires côtiers et hauturiers, mouillages fixes à la côte et au large, navires d'opportunité, télédétection, modélisation. Les dispositifs innovants de détection *in vivo* et *in situ*, générant une masse importante de données, nécessitent par ailleurs de développer des approches et outils de traitement et de classification semi-automatisés. Ces travaux sont menés dans le cadre de projets régionaux (CPER MARCO) et européens (H2020 JERICO-Next).

L'interopérabilité des données d'imagerie, cytométriques et fluorimétriques des mesures et observations *in situ* du phytoplancton dans le milieu marin ainsi que l'archivage, le traitement et l'analyse des données seront améliorées. Les bases ainsi constituées permettront d'assurer leur utilisation par les communautés scientifiques au niveau national et international (et notamment dans le cadre des infrastructures de recherche européennes comme JERICO-RI, [www.jerico-ri.com](http://www.jerico-ri.com)). La dynamique spatio-temporelle de la composition et de la diversité des communautés (micro-algues dont espèces toxiques, zooplancton dont espèces invasives) seront étudiées aussi bien sur le plan structurel (taxonomie, diversité, structure de taille) que fonctionnel (groupes,...). Plus particulièrement, les travaux concerneront (i) la phénologie (dynamique périodique saisonnière) des successions d'espèces en relation avec l'environnement ; (ii) la structure et la distribution spatiale des communautés et leurs forçages environnementaux; (iii) le suivi des variations temporelles de la biodiversité ; (iv) les tendances à long terme au sein des communautés et leur rapport avec le changement global tout comme avec l'état écologique des écosystèmes. Ce travail mettra en œuvre des outils classiques (échantillonnages et observations microscopiques, étude taxonomique) et novateurs (outils moléculaires, métagénomique ; approche *in vivo* et *in situ* à haute résolution par des capteurs et méthodes semi-automatisées ; modélisation ; approche satellite).

### *Thème 1.2 : Dynamique des interactions (LRHBL, LOG)*

La recherche de patrons dans les relations entre biodiversité et conditions environnementales (abiotiques ou biotiques) est un thème récurrent en écologie des communautés. Ce thème est essentiel pour les scientifiques et les gestionnaires dans le cadre du changement global (i.e., climatique et anthropique) dont la connaissance des impacts passe par la compréhension du lien entre environnement et communautés d'une part, et entre communautés et fonctions/services écosystémiques d'autre part. Parmi les verrous limitant notre compréhension de la biodiversité fonctionnelle, le manque de connaissances sur les interactions trophiques entre espèces a été souvent relevé. La structure et la dynamique des réseaux trophiques dépendent fortement des

caractéristiques des communautés présentes (du plancton et organismes benthiques jusqu'aux prédateurs supérieurs, dont certains représentent des ressources halieutiques) ainsi que de la nature, de la diversité et de l'intensité des interactions trophiques, qu'elles soient d'ordre compétitives ou de prédation. L'objectif principal de cet axe est d'identifier les interactions trophiques entre espèces et de quantifier leur intensité afin de mieux caractériser la structure et la dynamique des communautés et donc des écosystèmes. Les interactions trophiques seront étudiées à l'échelle des individus, des populations et des communautés. Plusieurs actions seront menées.

L'étude des mécanismes expliquant la variabilité de la niche trophique réalisée des espèces et des réseaux trophiques marins en Manche et sud Mer du Nord en fonction de gradients environnementaux sera poursuivie et intensifiée notamment dans le cadre du CPER MARCO. Plus particulièrement, il s'agira l'utilisation et le partage des ressources trophiques par et entre espèces, la structure du réseau trophique et l'intensité du couplage benthopélagique en fonction de la profondeur et du gradient côte-large. Les principales approches empiriques utilisées pour déterminer les interactions trophiques seront la mesure des ratios isotopiques stables du carbone et de l'azote et l'analyse qualitative et quantitative des contenus digestifs de prédateurs cibles pour les approches classiques et des approches de biologie moléculaire comme le metabarcoding par exemple.

Inférer des propriétés à partir des isotopes pour élucider les interactions trophiques se base sur des hypothèses fortes qui doivent être consolidées. L'interprétation des ratios isotopiques sera améliorée par une meilleure prise en compte de la physiologie des organismes dans la dynamique d'incorporation isotopique dans le cadre du projet ISIT-U (Fondation ULNE I-site). Des modèles type bioénergétique incorporant les isotopes (DIB) seront calibrés puis simplifiés pour consolider les inférences faites à partir des isotopes. Les données nécessaires seront extraites de la littérature sur de nombreuses espèces de poissons. L'impact de ces corrections méthodologiques sera évalué et nos résultats antérieurs revisités si nécessaire.

En anticipation d'un développement futur répondant à un besoin croissant de bio-ressources nouvelles, l'impact d'une exploitation d'organismes marins comme le zooplancton sur le fonctionnement des écosystèmes sera évalué sur un plan trophique notamment. Cette étude sera menée en combinant une analyse empirique s'appuyant sur des réseaux d'observations existants, une approche expérimentale et la modélisation écosystémique (ANR Zoofish déposée).

Enfin, il s'agira d'évaluer la variabilité de la qualité de l'environnement trophique à l'échelle individuelle ou spécifique via l'étude des communautés de proies en présence, la bioénergétique et la condition des organismes prédateurs en interaction avec d'autres forçages naturels comme la température. Une étude originale sera basée sur l'étude des otolithes de poissons -pièces biocalcifiées utilisées pour estimer l'âge des individus et reconstruire a posteriori leur croissance. Les caractéristiques structurelles et morphologiques des otolithes dépendent d'une combinaison de facteurs génétiques, ontogénétiques (liés aux traits d'histoire de vie : reproduction, croissance, etc.) et environnementaux dont la température et les ressources trophiques. Il s'agira de comprendre la part relative de ces forçages dans la biominéralisation des otolithes et ainsi d'éprouver leur utilisation comme indicateurs d'âge, de croissance, de population d'origine voire de ressources trophiques en écologie halieutique (projet Politique de Site IFREMER et thèse).

Au-delà de l'intérêt fondamental de la compréhension des interactions entre la dynamique des différents compartiments des communautés marines, l'approche trophique permet également de prédire les effets indirects de différents aspects du changement global sur les ressources halieutiques et les autres compartiments des communautés, tels que les effets bottom-up du changement climatique et de l'eutrophisation via la productivité primaire, les effets en cascade de l'exploitation, ou la concentration des contaminants (chimiques, parasites, bactéries...) au sein des différents niveaux trophiques.

### *Thème 1.3 : Etude des contaminants et des impacts cumulés (LRH, ANSES)*

L'apport de contaminants au milieu est une des composantes majeures de l'impact anthropique sur le fonctionnement de l'océan. Historiquement, il a pu se manifester par des concentrations élevées en métaux traces dans l'environnement. A l'heure actuelle, les rejets de microplastiques et de résidus d'antibiotiques représentent de nouvelles pressions émergentes dont les impacts sont mal connus. En outre, l'apparition de résistances acquises aux antibiotiques chez certains genres bactériens et la dissémination des gènes de résistance dans le milieu marin est encore mal connue. Par ailleurs, bien que d'origine naturelle, le parasitisme est considéré comme une composante majeure mais largement sous-évaluée du fonctionnement des écosystèmes marins. Enfin, de nombreux travaux suspectent des effets synergiques des contaminants. Ces pressions se posent d'autant plus fortement en Manche que des niveaux élevés de contamination chimique, bactérienne ou parasitaire pourraient représenter un risque lors de la consommation de poisson. Il convient donc de caractériser les niveaux de contamination, et de comprendre les facteurs qui expliquent les variations observées entre espèces ou entre individus au sein d'une même espèce, tant pour l'évaluation des ressources halieutiques que du point de vue de l'évaluation des risques liés à la consommation de produits de la pêche.

Par les phénomènes d'accumulation, la position d'une espèce dans le réseau trophique est un facteur majeur expliquant les contaminations, tant chimique que biologique. De même, au niveau des individus, différents traits d'histoire de vie influencent la capacité d'un organisme à accumuler ou éliminer les contaminants. Une bonne connaissance de ces facteurs est nécessaire pour comprendre la contamination. Enfin, si la plupart des travaux ont utilisé les paramètres biologiques (âge, sexe etc.) ou écologiques pour expliquer les contaminations, une approche plus innovante utilise les contaminants comme traceurs du fonctionnement de l'écosystème.

Les projets menés dans le cadre des travaux communs entre LRH et l'ANSES PPA ont donc plusieurs objectifs. Dans un premier temps, ils visent à documenter et cartographier l'occurrence spatiale des contaminations émergentes ou mal documentées. Par ailleurs, la mesure simultanée d'un ensemble de traits biologiques individuels (âge, sexe, niveau trophique ou habitat) permettra de mettre en évidence l'influence de ces traits sur les niveaux de contamination. Enfin, l'analyse simultanée des contaminants et des traits biologiques permettra une nouvelle perception du fonctionnement de l'écosystème.

Ces travaux sont basés sur la collecte de poissons pendant les campagnes menées par l'Ifremer en Manche et en Mer du Nord. Leur position dans le réseau trophique est déterminée par analyse isotopique et par l'analyse de leurs contenus stomacaux, et leur âge par lecture des otolithes. Pour chaque poisson, la communauté bactérienne est isolée par des techniques microbiologiques, et identifiées par la technique MALDI-TOF et/ ou par séquençage de gènes de ménage. Par la suite, nous déterminons la résistance aux antibiotiques de ces isolats. Les parasites sont identifiés par observation macroscopique confirmée par analyse moléculaire à posteriori. Les microplastiques présents dans différents tissus sont identifiés par observation microscopique et pyrolyse-GC-MS, après digestion des tissus au KOH et filtration. A l'heure actuelle, les actions sur ce thème sont soutenues par deux projets, RECOMANCHE (CPER MARCO) et RESCAPE (Ecoantibio 1, Ministère de l'Agriculture).

### *Axe 2 : Ressources marines : Usages, Exploitations, valorisations et risques (C. Roche, T. Grard)*

Ce second axe étudiera les services écosystémiques produits (biomasse, énergie, valeur culturelle et patrimoniale) par le domaine marin et l'interface littorale, les usages qui en sont faits ainsi que les risques associés. L'objectif est de promouvoir une exploitation durable des milieux marins et littoraux par une gouvernance équitable.

### *Thème 2.1 : Dynamique des services écosystémiques et gouvernance (TVES, LARJ, HLLI, LISIC, LOG, LCSM)*

Les services écosystémiques sont de plusieurs natures en milieu littoral. Les valeurs culturelle et patrimoniale entraînent un tourisme et une urbanisation dynamiques qui questionnent quant à leur durabilité. Ces questions sont au centre d'interactions entre le LARJ et TVES qui ont co-porté un colloque sur ce sujet (Littoral et Tourisme Durable : quel champ opérationnel ?, nov 2016). L'objectif est d'évaluer dans un cadre pluridisciplinaire le triple lien entre l'activité touristique, le milieu littoral et l'aspect opérationnel du concept de développement durable. Ce thème peut-être également élargi à la dynamique urbaine des villes littorales et/ou à la dynamique portuaire. L'exploitation de ressources biologiques, comme la pêche professionnelle mais aussi récréative, est également un thème privilégié. Il s'agit par exemple de quantifier les différentes formes de pêche récréative sur le rivage et dans la limite des deux milles nautiques de la Côte d'Opale. L'objectif est ainsi de contribuer à une meilleure gouvernance des pratiques, afin de concilier préservation des ressources et maintien des activités traditionnelles faisant l'objet d'un fort attachement de la part d'une fraction de la population locale (projet PEROPALE, 2016-2019 <https://cdem-projects.univ-littoral.fr/peropale>). D'une manière plus générale, la confrontation des visions des pêcheurs professionnels et/ou récréatifs d'un côté ou de celle des scientifiques d'un autre côté sera recherchée pour une meilleure gouvernance. Les ressources énergétiques renouvelables tels que l'éolien et l'hydrolien constituent un dernier champ d'investigation d'opportunité en région, qui se situe typiquement à l'interface entre sciences exactes et sciences humaines et sociales. Ces différents thèmes pourront être développés lors d'un colloque en projet « *Le littoral : de l'étranger au marché émetteur. Au croisement pluridisciplinaire d'un concept téléologique* » qui sera organisé en 2019 et qui réunira différentes disciplines des sciences dites "exactes" et humaines et sociales autour de la définition du littoral et de ses limites. La notion de limite du littoral constitue un champ transdisciplinaire intéressant pour la communauté de la SFR. Enfin, le LARJ et HLLI font partie du *GIS d'Histoire & Sciences de la mer* un groupement de recherche pluridisciplinaire labellisé par le CNRS, rassemblant des chercheurs de SHS et de sciences de toute la France, réunis autour de la thématique maritime. A ce titre, l'Assemblée générale du GIS, sera organisée à Boulogne/mer en novembre 2018 (<http://www.histoire-sciences-mer.org>) et constitue un facilitateur pour développer les collaborations au sein du Campus de la mer.

### *Thème 2.2. Etude des risques associés à l'évolution du trait de côte et à la dynamique sédimentaire (LOG TVES)*

Le changement climatique associé à une pression urbaine de plus en plus forte entraîne des risques de plus en plus élevés en milieu littoral nécessitant une gouvernance appropriée. Notamment, l'évolution du trait de côte et l'exploitation portuaire sont de nature à modifier radicalement les bilans sédimentaires du littoral. Cette thématique a été engagée depuis 2011 par TVES et le LOG à travers le projet « *Gouvernance des risques littoraux Nord Pas de Calais* » (2011-2014 ; fondation de France ; [http://www.campusdelamer.fr/?page\\_id=88](http://www.campusdelamer.fr/?page_id=88)). Le projet visait à « à fournir aux autorités publiques (Européennes, nationales et locales) un instrument d'information sur le sujet des risques littoraux pour faire émerger une méthodologie de gouvernance ». Les objectifs sont désormais de poursuivre cette dynamique en évaluant les impacts potentiels du changement climatique sur des sites littoraux vulnérables en région (par exemple Baie de Wissant, Platier d'Oye) et de porter à connaissance les résultats auprès de la population et des acteurs locaux, d'impliquer les populations dans une recherche-action afin de mettre en œuvre une co-construction de stratégies d'adaptation et, d'analyser l'acceptabilité sociale des méthodes qui pourraient être mises en œuvre par les acteurs publics (Projet COSACO ; fondation de France ; <https://cosaco.univ-littoral.fr/>). Il s'agira de combiner des approches géo-morphologiques pour déterminer les zones à risques à des approches en sciences humaines pour déterminer l'acceptabilité des risques et des adaptations à prévoir. En complément, la lutte contre l'érosion du

littoral peut être imaginée par le réemploi des sédiments d'extraction de ports ou de voies navigables pour par exemple réalimenter les plages érodées (projet SURICATES, INTERREG N-W EUROPE, 2017-2021, <http://tves.univ-lille.fr/recherches/projets-europeens/suricates-interreg-nw-europe>). Il vise à apporter aux gestionnaires de ports ou de voies navigables et aux experts de l'érosion de nouvelles solutions pour la re-utilisation à grande échelle des sédiments en produisant des outils et méthodes transdisciplinaires pour minimiser son impact.

### *Thème 2.3 La valorisation des produits de la pêche et de l'aquaculture et les risques associés (LOG, BPA, PPA-ANSES, LRHBL, LARJ);*

Les risques associés à la consommation des produits de la mer sont multiples et peuvent entraîner des modifications de réglementations. L'étude des « flores pathogène et d'altération » (Vibrions) est un thème récurrent des interactions entre les unités ICV-BPA et PPA Anses. Il s'agit de comprendre par exemple les mécanismes de persistance des bactéries du genre *Vibrio* et notamment *Vibrio harveyi*, principal responsable de la vibriose du bar d'élevage (collaboration entreprise AquaNord). L'objectif serait de créer une souchothèque et d'identifier les souches spécifiques de *Vibrio* par spectrométrie de masse. Des molécules dérivées d'actifs naturels seront ensuite testées pour leur effet antagoniste vis-à-vis des souches de *Vibrio* isolées. L'issue du projet est de sélectionner des molécules anti-*Vibrio* dans l'optique d'une démarche clean-label et en accord avec le développement durable. D'autres espèces cultivées notamment émergentes comme les copépodes, seront également étudiées. L'impact des microplastiques est un autre champ d'investigation prévu. Les plastiques, une fois ingérés, peuvent re-larguer des polluants organiques ou des éléments traces métalliques et avoir un impact pour l'Homme par les produits qui sont consommés. Ces particules sont source de (i) contaminations de par leur composition mais ils ont aussi la faculté (ii) d'adsorber, de concentrer et de transporter un grand nombre de contaminants chimiques et biologiques. Un objectif est de développer des méthodes fiables pour quantifier la présence de microplastiques dans le milieu et dans différents organismes marins – mais également leur taille et nature, leur composition en polymères. A ce défi méthodologique, s'ajoute la problématique du devenir des microplastiques une fois ingérés par divers organismes marins. En effet, le système digestif de l'hôte peut favoriser la biodisponibilité de contaminants mais aussi de produits de dégradation comme les polymères. L'assimilation de ces produits est très peu connue à ce jour. Ils peuvent aussi avoir un impact sur le microbiote. Enfin, 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. Deux modèles biologiques à la base des réseaux trophiques pélagiques (les copépodes) et benthique (les moules) seront ciblés pour comprendre leur capacité de bioaccumulation mais aussi de dépuration.

Des thèmes plus émergents, comme la perception de la fraîcheur du poisson, l'exploitation d'espèces émergentes ou la problématique des rejets de la pêche pourront être abordés dans un contexte actuel mais aussi d'un point de vue historique.

### **Axe 3 Méthodologie commune (C. Jamet, S. Reboul)**

Cet axe transversal concerne le développement et d'utilisation de méthodologies apte à irriguer les travaux des axes 1 et 2. Ces aspects s'inscrivent plus particulièrement dans la description des structures spatiales (« géovisualisation ») et temporelles des SES. Cet axe est plus exploratoire et est essentiellement alimenté par des thématiques en émergence entre les unités. Différentes actions ont pu être identifiées, regroupées en deux thèmes distincts. Un premier bloc concerne les méthodes qui seront utilisées dans diverses actions de recherche portées par la SFR. Le second est la télédétection qui cible en particulier les méthodes en lien avec des capteurs d'observation. Cet axe méthodologique concerne principalement les laboratoires de sciences exactes (LRH, LERBL,

LISIC, LMPA, LOG) mais les méthodologies employées pourront servir à des études en sciences humaines et sociales (laboratoires TVES, HLLI et LARJ).

### *Thème 3.1. Développement méthodologique*

Plusieurs aspects seront développés :

- Equations de Navier Stokes : Les écoulements marins sont turbulents, et obéissent aux équations de Navier Stokes, additionnées de l'équation du transport passif pour les quantités dissoutes ou les scalaires advectés. Ces équations sont encore non résolues à l'heure actuelle. La particularité des courants de marée rencontrés en Manche nécessitera la prise en compte de différents paramètres, engendrant des perturbations aux moyennes et petites échelles. Nous aborderons ces questions à travers des efforts expérimentaux (LCSM), et numériques (LMPA, LOG) via des simulations numériques de la turbulence. Les contributions théoriques (LMPA) porteront sur des propriétés de la turbulence 3D en profondeur d'eau finie où les variations de la bathymétrie et les effets de côtes impactent la dynamique des courants de marée.
- Méthodes d'optimisation de modèles écologiques : Les modèles individus-centrés (par ex. modèles OSMOSE ou Atlantis, LRHBL) permettent de formaliser les nombreuses connaissances biologiques au niveau de l'individu et de faire le lien avec le niveau "population". Ce type de modèle fait appel à de nombreux paramètres dont la plupart restent inconnus aux experts. L'approche consiste alors à calibrer le modèle en minimisant une distance entre des données terrains et simulées à l'aide d'un algorithme d'optimisations de type boîte noire (algorithmes évolutionnaires, métaheuristiques, etc.). Les simulations numériques étant coûteuse en terme de calcul, les défis consistent à (i) développer des algorithmes d'optimisation parallèles adaptatifs efficaces, (ii) développer des méta-modèles (surrogate) des fonctions à optimiser. Ces défis s'inscrivent dans le domaine de l'intelligence artificielle à la fois dans les techniques d'optimisation bio-inspirée et dans l'apprentissage de méta-modèles (LISIC, LMPA).
- Analyse de séries temporelles : Cette action est la continuation de celle déjà entreprise par les laboratoires LISIC, LOG et LERBL. Des premiers développements ont été réalisés pour apporter des outils de détection, classification et modélisation afin de mieux caractériser, cartographier et comprendre l'état de la qualité des eaux marines, côtières et douces de la Manche et Mer du Nord (packages R : RClusTool, DTWBI, uHMM : [mawenzi.univ-littoral.fr](http://mawenzi.univ-littoral.fr) ; projets CPER MARCO, H2020 JERICO-Next). Les mesures automatiques à haute fréquence réalisées en point fixe dans les eaux côtières possèdent typiquement une dynamique multi-échelle liée aux forçages turbulents, avec de nombreux épisodes localisés de fortes fluctuations, et aussi avec des valeurs manquantes. L'analyse de ces séries temporelles demande alors des méthodes adaptées pour tenir compte de ces contraintes (analyse spectrale, fonctions de structure, analyse modale empirique). On s'intéressera aussi à l'intégration des connaissances multi-capteurs, basses et hautes fréquences d'acquisition, pour mieux comprendre les transitions climatologiques passées et futures, des connaissances expertes sur les processus de changement climatologique, phytoplanctonique par des techniques d'apprentissage semi-supervisé ou semi-guidé. Cette action a été le cadre d'un colloque et d'un ouvrage co-édité en 2016 par François Schmitt (LOG) et Alain Lefebvre (LERBL).
- Cartographie et géovisualisation : Une collaboration de recherche entre le LISIC et TVES s'est développée dans le cadre du projet PEROPALE (cf Axe 2). L'objectif de cette collaboration est la mesure de la pression anthropique de la pêche de loisir sur la Côte d'Opale, à travers la définition d'une carte de fréquentation sur la zone d'étude et la construction d'une série chronologique de la fréquentation sur une année. Les problématiques majeures en termes de méthodologie concernent l'estimation dynamique pour une mesure quantitative et chronologique de la fréquentation et la spatialisation des pratiques. Dans ce dernier cas, la problématique de recherche qui est développée est le géo référencement direct de l'information obtenue par observation aéroportée en autogyre de la zone d'étude.

- Analyse d'images : L'estimation de l'âge des poissons est nécessaire dans l'élaboration des modèles mathématiques permettant d'évaluer et de gérer les populations de poissons. Ainsi, des pièces calcifiées (les otolithes) sont interprétées pour obtenir l'âge des poissons. Plus d'1 million de pièces calcifiées sont utilisées chaque année dans le monde pour suivre toutes les espèces commerciales et cela représente un coût annuel estimé à plusieurs millions de dollars. Ainsi, une étude a été entreprise entre le LISIC et LRHBL. Elle a pour but de tester et développer des méthodes de classifications d'images permettant d'estimer l'âge du poisson à partir des caractéristiques de l'image de la pièce calcifiée sans qu'un expert n'ait besoin de l'interpréter visuellement. Les premiers résultats présentés à un colloque en 2018 montrent des résultats très encourageants avec des taux d'accord de l'ordre de 52% entre l'expert et l'estimation automatique d'âge pour des poissons âgés de 0 à 8 ans.

### Thème 3.2. "Télé-détection"

Il s'agit ici de la télé-détection au sens large et ce à plusieurs échelles d'observation

- Satellite : L'observation de la Terre par satellite permet d'observer les océans et les zones littorales de façon synoptique et à différentes résolutions spatiales (du mètre au kilomètre). La possibilité de combiner des images de différents capteurs ayant des résolutions spatiales, temporelles et spectrales nécessite de développer de nouvelles méthodes pour la fusion de ces données et pour une meilleure estimation de paramètres biogéochimiques, géologiques ou morpho-dynamiques. Des méthodes couramment utilisées en traitement d'images peuvent aussi être appliquées aux observations spatiales des océans et des littoraux (démélange, multi-sharpening, outils de factorisation en matrices ou tenseurs non-négatifs). Enfin, l'outil satellite peut être aussi utilisé pour l'étude du développement urbain, de l'occupation et du changement des littoraux et être mis en confrontation avec les opinions/sens communs des habitants de ces zones sur la réalité des changements. Cette action permettra de nouvelles collaborations, à des degrés divers, entre le LISIC, le LMPA, le LOG et TVES.

- Aéroporté : Depuis quelques années, la photogrammétrie aéroportée à très/ultra haute résolution spatiale (plusieurs centaines de mesures par m<sup>2</sup>) et haute précision (marges d'erreur de 1 à 5 cm en plan et en altitude) connaît un succès grandissant dans les sciences de la Terre. Les résultats permettent de décrire avec une grande précision les formes du relief et de caractériser leur évolution à court terme. Cependant, l'utilisation de capteurs aéroportés (autogyre, drone, avion, cerf-volant) nécessite de nombreux développements méthodologiques afin d'en obtenir des paramètres d'intérêt pour l'étude des eaux côtières et du littoral. Les données proviennent des capteurs lidar, vidéo, photo, radar (réflectométrie GNSS). Une des perspectives de la SFR sera de mettre en synergie les compétences des laboratoires LOG, TVES et LISIC dans ce domaine. Une nouvelle action de recherche est actuellement en développement, elle concerne la caractérisation des sédiments par réflectométrie aéroportée par drone (collaboration LISIC/ LOG) qui a pour objectif, dans un premier temps, d'évaluer la réflectométrie GNSS pour la mesure du taux d'humidité des sols. Il existe un sujet de recherche commun entre le LISIC et le LOG qui concerne la photogrammétrie aéroportée par drone à ultra haute résolution spatiale.

### Plateformes communes (compétences et moyens techniques et services communs)

Un pôle administratif et d'aide à la mise en place et à la gestion de projets, à la communication et à la recherche documentaire sera créé. Ce pôle sera constitué de deux personnes affectées en propre à la structure qui permettra de coordonner les activités des personnels administratifs des unités et des tutelles. La SFR aura pour ambition de faciliter la mise à disposition des équipements des différents laboratoires avec à moyen terme la mise en place de chartes communes d'utilisation (offres, prix, prestations, calcul des coûts, qualité des mesures...) et la mise en place de plateformes *sensu stricto*. Par exemple, de nombreux matériels semi-lourds ont été acquis ou sont en cours d'acquisition dans le cadre du CPER Marco. La SFR aura pour objectif de faciliter

l'utilisation de ces matériels par les membres des unités constituantes et en dehors pour des prestations de service. L'objectif est de faire évoluer les équipements structurants de laboratoire vers des plateformes de la fédération. L'acquisition d'équipements lourds structurants sera envisagée pour le prochain CPER incluant le remplacement du navire de station du CNRS Sepia II, le plus vieux de la flotte océanographique française. La SFR appuiera et participera à la mise en place d'un Learning center sur la mer en collaboration avec Nausicaa. A plus long terme, la création d'observatoires des systèmes socio-écologiques et/ou la mutualisation des observatoires existants seront discutées.

#### Autres

Les liens avec le monde socio-économique local (Nouvelles vagues, Nausicaa, Aquimer, CAB.....) sont encore à préciser. La SFR pourrait par exemple disposer d'un siège au conseil de l'association Euramer. Les liens avec la formation sont également à préciser, le but étant de réfléchir à des nouvelles formations proposées par la fédération.