



**HAL**  
open science

# **DYCOFEL -Interdépendances Hommes–Nature : analyse dynamique des changements d’usages conchylicoles sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux**

Audrey Rivaud, Benoit Lebreton, Johann Lavaud

► **To cite this version:**

Audrey Rivaud, Benoit Lebreton, Johann Lavaud. DYCOFEL -Interdépendances Hommes–Nature : analyse dynamique des changements d’usages conchylicoles sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux. ARTDEV (UMR 5281); LIENSs (UMR 7266). 2020. hal-04376627

**HAL Id: hal-04376627**

**<https://hal.science/hal-04376627>**

Submitted on 6 Jan 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# DYCOFEL – Interdépendances Hommes-Nature : analyse dynamique des changements d’usages conchylicoles sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux

Coordination scientifique : Audrey RIVAUD<sup>1</sup>, Benoit LEBRETON<sup>2</sup>, Johann LAVAUD<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> UMR 5281 ART-Dev, Université Paul-Valéry Montpellier 3 - UFR4, Route de Mende, 34199 Montpellier Cedex 5, France.

<sup>2</sup> UMR 7266 LIENSs, CNRS – Université de La Rochelle, Institut du littoral et de l'environnement, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France.

<sup>3</sup> UMI 3376 TAKUVIK, CNRS – Université de Laval, Pavillon Alexandre-Vachon, 1045 avenue de la Médecine, Québec G1V 0A6, Canada.

## Rapport final – 2015-2018

1. Introduction générale.....	2
2. Résultats scientifiques.....	4
3. Conclusion générale .....	51
4. Prolongements.....	53
5. Valorisation scientifique.....	58
6. Mise en œuvre opérationnelle .....	62
7. Annexes.....	67



## 1. Introduction générale

A partir d'une étude de cas (bassin de Marennes-Oléron en Charente-Maritime) interrogeant les effets des changements d'usages conchylicoles sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux, le projet DYCOFEL a cherché à déployer une recherche innovante et transdisciplinaire pour caractériser les interdépendances Homme-Nature en milieu littoral. Les connaissances en écologie et écophysiologie accumulées au cours des trente dernières années sur la zone d'étude ont démontré le rôle majeur des vasières intertidales dans la production des ressources trophiques (les microalgues du sédiment) à la base du développement considérable de l'activité conchylicole. La mise à jour de cette relation entre le fonctionnement d'un compartiment de l'écosystème et le développement de la conchyliculture n'est qu'une étape dans la compréhension des interactions entre l'Homme et son milieu. L'hypothèse à la base de ce projet a consisté à envisager, de manière complémentaire, **l'existence d'effets de rétroaction entre les pratiques conchylicoles mises en œuvre sur le bassin de Marennes-Oléron et la production de microalgues dans le milieu.**

Nous avons posé cette hypothèse dans une perspective dynamique, dans le but : i) de prendre en considération les évolutions des pratiques conchylicoles depuis l'avènement de la conchyliculture moderne ; ii) d'interroger les incidences de ces évolutions du point de vue de l'emprise spatiale et des usages de la zone littorale par les conchyliculteurs ; iii) de mettre en relation ces changements de pratiques avec des évolutions de quantités (*i.e.* biomasse) et de production de microalgues observées par images satellitaires au cours des deux dernières décennies.

Afin d'articuler les différentes dimensions du système étudié, notre approche s'est appuyée sur les apports de plusieurs disciplines : économie, géographie, histoire, écologie, écophysiologie. Elle s'est également appuyée sur différents acteurs, autres que les chercheurs, tels que les gestionnaires locaux (Comité Régional de la Conchyliculture Poitou-Charentes, Direction départementale des territoires et de la mer, Pays de Marennes-Oléron, Université Populaire du Littoral Charentais) et les professionnels de la conchyliculture.

Pour rappel, le projet était organisé autour de trois axes de recherche interdépendants, bien que comportant chacun des objectifs propres :

- Un premier axe visant à mieux comprendre **les évolutions des usages conchylicoles de la vasière** dans le bassin de Marennes-Oléron. L'analyse, initialement prévue à l'échelle des cinquante dernières années, a été conduite sur plus d'un siècle (1850-2015) et s'est appuyée sur plusieurs sources d'empirie (enquête à dire d'experts, enquête auprès des professionnels ostréicoles et enquête historique dans les fonds d'archives du service historique de la défense de Rochefort). Cette profondeur historique nous a permis de souligner la récurrence des crises ostréicoles et de repérer les modalités de sortie de crise qui ont pu être déployées. Par ailleurs, les travaux conduits sur la période plus contemporaine nous ont conduit à insister sur la réactivité, tant technique que spatiale, des professionnels de la conchyliculture dans le bassin de Marennes-Oléron.

- Un second axe visant à définir **les variations de la quantité de la ressource trophique** (microalgues) disponible dans le temps et dans l'espace. La période d'étude, dépendante de la disponibilité des images satellitaires, couvre la période 2000-2015. Cet axe s'est attaché à déterminer le lien entre ces changements de biomasse de microalgues benthiques et les paramètres environnementaux, sur les plans intra- et interannuels, en s'appuyant d'une part sur l'analyse d'une collection de cartes satellitaires acquises au cours du projet et d'autre part sur la formulation d'un modèle de production primaire sur imagerie multispectrale complétée par les apports de la télédétection hyperspectrale.

- Un troisième axe ayant pour objectif de **proposer une analyse intégrée des évolutions du socio-écosystème**. Cet axe a impliqué le déploiement de deux étapes distinctes, mais

néanmoins très complémentaires : 1. une approche comparative entre les données issues des axes 1 et 2 ; et 2. la diffusion et l'appropriation des informations obtenues entre les différentes parties prenantes du socio-écosystème étudié, à savoir les gestionnaires du territoire, les professionnels conchylicoles et les chercheurs du projet DYCOFEL.

Le présent rapport propose une synthèse des résultats obtenus dans le cadre des quatre années du projet DYCOFEL (2015-2018), ainsi que les prolongements, en cours ou envisagés, des travaux initiés par ce financement de la Fondation de France (projets de valorisation et de vulgarisation et projets scientifiques).

## 2. Résultats scientifiques

La compréhension pluridisciplinaire des relations Homme-Nature et la caractérisation des interdépendances des socio-écosystèmes émaillent les réflexions contemporaines dans le champ des problématiques environnementales. Le caractère anthropisé des territoires littoraux légitime, plus encore, le développement de travaux au carrefour des sciences de l'environnement et des sciences humaines et sociales.

En nous appuyant sur l'existence d'une relation étroite entre un habitat spécifique – les vasières à substrat meuble du bassin de Marennes-Oléron, pourvoyeuses de nourriture – et le développement d'une activité économique emblématique et dont l'emprise spatiale est importante – la conchyliculture –, nous souhaitons interroger, dans le cadre du projet DYCOFEL, l'incidence de l'évolution des pratiques productives des ostréiculteurs (tant sur le plan technique que spatial) sur les dynamiques de production primaire de microalgues benthiques. En d'autres termes, la finalité de ce projet visait à caractériser l'influence des dynamiques spatio-temporelles de l'activité conchylicole sur la quantité et la production du microphytobenthos (MPB), dont on le sait, une partie est utilisée par les coquillages.

Cette entrée par les usages anthropiques nous a semblé d'autant plus intéressante que l'activité conchylicole est marquée, depuis les cinquante dernières années, par des bouleversements de différentes natures (tempêtes, marées noires, mortalités, progrès techniques) qui impactent les pratiques productives et l'utilisation de l'estran concédé par l'administration maritime (axe 1). Nous avons donc logiquement cherché à comprendre, en mobilisant de manière rétrospective les outils de la télédétection satellitaire et en nous appuyant sur l'élaboration d'un modèle de production primaire (axe 2), les effets des changements de pratiques conchylicoles sur la production de MPB (axe 3). Les recherches entreprises dans DYCOFEL ont également donné lieu à la production d'une réflexion innovante sur l'intégration et la circulation des connaissances relatives aux relations entre les activités conchylicoles, et le fonctionnement de l'écosystème littoral dans le bassin de Marennes-Oléron (axe 3).

### 2.1. Axe 1 : Evolution des usages conchylicoles

Audrey Rivaud (coord.), Thierry Sauzeau (coord.), Gabrielle Mossot, Emilie Imbert, Mathilde Charier

L'étude de l'évolution des usages conchylicoles, et plus particulièrement des usages ostréicoles, sur le bassin de Marennes-Oléron a été réalisée dans une perspective systémique. Afin de saisir le fonctionnement et les adaptations possibles de l'ostréiculture locale, ont été analysés : i) le système de gestion de la filière caractérisé par les gestionnaires ; et ii) le système de production représenté par les professionnels ostréiculteurs. Une approche méthodologique mobilisant des questionnaires d'entretiens et d'enquêtes soumis à la fois aux gestionnaires (9 entretiens à dire d'experts) et aux professionnels (70 enquêtes par questionnaire) a permis de collecter une partie des données utilisées dans le cadre de cet axe. Ces investigations de terrain ont révélé : i) la survenance de crises multiples au cours de la période étudiée (1960-2015) ; ii) le besoin structurel d'adaptabilité des exploitations ostréicoles, marqué par des transformations fréquentes et plus ou moins radicales des modes de production (partie 2.1.1.).

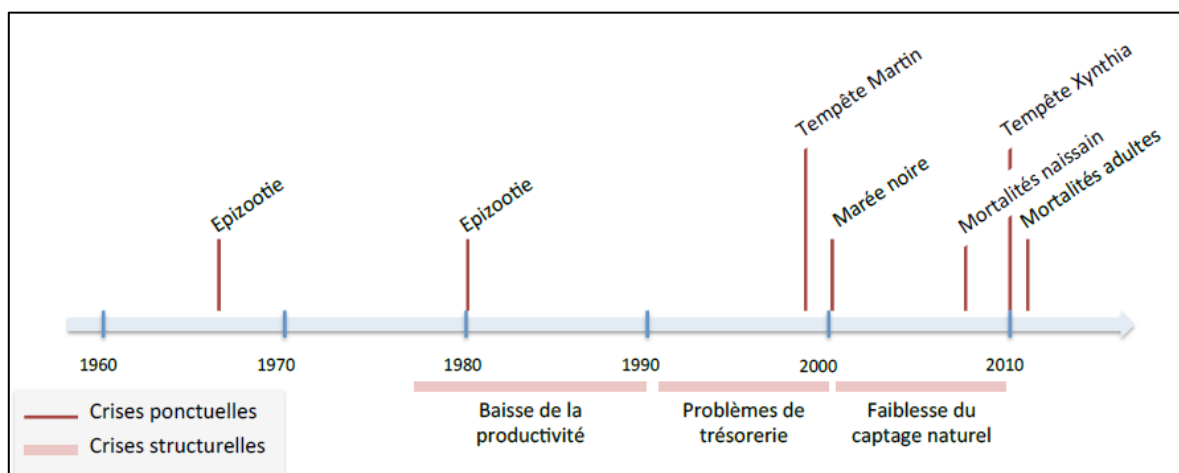
Les travaux de l'axe 1 ont également été nourris par deux enquêtes historiques menées dans les fonds d'archives du service historique de la défense de Rochefort (SHD-R) sur deux périodes différentes. Une première enquête a été réalisée sous forme de sondage, sur 2 ou 3 ans, selon un rythme décennal (1950-53 ; 1961-62 ; 1967-1972). Le choix de ces intervalles a

été réalisé en étroite liaison avec les membres du projet et coordonné avec les résultats de l'enquête menée auprès des ostréiculteurs du Bassin de Marennes-Oléron. Une seconde enquête a porté sur la période 1857-1924, dans le but de retracer plus en profondeur les transformations de l'activité ostréicole à Marennes-Oléron. L'analyse produite à partir de ce travail d'historien permet de souligner, elle aussi, le caractère adaptatif de l'activité ostréicole, dont on trouve des manifestations dès la structuration d'activité, et les liens étroits de cette dernière avec l'administration maritime pour favoriser son développement d'une part et son intégration au milieu d'autre part (partie 2.1.2.).

## 2.1.1. L'importance des logiques d'adaptation productives

### a. La fréquence et la diversité des crises

Eu égard à l'évolution de la conchyliculture sur le bassin de Marennes-Oléron, et compte tenu de la problématique du projet DYCOFEL, il nous a semblé intéressant de considérer, comme élément structurant de l'analyse, la fréquence et la variété des crises auxquelles est sujette l'activité ostréicole depuis les années 1960. La frise synthétique présentée ci-dessous (Figure 1), construite à partir d'investigations bibliographiques dans la littérature, la littérature grise et au travers d'entretiens à dire d'experts, rend compte des principaux épisodes marquants et déstabilisateurs.



**Figure 1** : Représentation schématique des facteurs de déstabilisation de l'ostréiculture sur la période contemporaine

Nous avons notamment retenu, comme élément marquant, l'épizootie de 1967, qui touche l'huître portugaise et qui aboutit à l'introduction au début des années 1970 d'une nouvelle variété d'huître, l'huître japonaise (*Crassostrea gigas*). Il est également à noter une seconde épizootie, en 1980, qui concerne l'huître plate encore présente jusqu'alors dans le bassin et qui en disparaîtra. Plus récemment, les ostréiculteurs ont été confrontés à des phénomènes de mortalités massives, sur les juvéniles en 2008, 2009 et dans une moindre mesure en 2010, et sur les huîtres de taille adulte, dans des proportions inédites, en 2011. L'ostréiculture a également été touchée dans la période contemporaine par deux tempêtes importantes (Martin en 1999 et Xynthia en 2010), par le naufrage de l'Erika qui occasionnera une marée noire plus au Nord sur la côte atlantique, mais dont le bassin de Marennes-Oléron souffrira en termes de commercialisation. Parallèlement à ces crises ponctuelles, l'ostréiculture a dû faire face à des crises structurelles, comme la baisse de la productivité dans les années 1980, les problèmes de trésorerie, ou encore la faiblesse du captage naturel dans les années 2000.

Cette brève chronologie des crises nous conduit à souligner la diversité, en termes d'origine et de nature, des facteurs de déstabilisation qui impactent l'ostréiculture et auxquels

il convient pour les professionnels de Marennes-Oléron de s'adapter pour persister. Par conséquent, l'une des questions centrales de l'axe 1 peut être reformulée de la manière suivante : comment une activité productive soumise à des facteurs de déstabilisation pluriels et fréquents parvient-elle à résister ? Pour répondre à cette question, nous avons cherché à caractériser les stratégies d'adaptation déployées par les ostréiculteurs pour faire face aux événements critiques. De cet état des lieux, nous proposons une hypothèse explicative de la résilience de l'activité, en nous appuyant sur les développements évolutionnistes de la firme, qui émergent en économie à partir des années 1980 (Nelson, Winter, 1982 ; Dosi, 1988 ; Lundvall, 1992).

## b. Les réponses des ostréiculteurs aux différentes crises

Dans le but de saisir les stratégies d'adaptation productives des ostréiculteurs du bassin de Marennes-Oléron depuis les années 1960, nous avons réalisé une enquête auprès d'un échantillon représentatif de 70 ostréiculteurs<sup>1</sup> sur l'ensemble du bassin (Figure 2) entre avril et juin 2015 (en première année du projet).



Figure 2 : Localisation des ostréiculteurs interrogés

Ce travail d'enquête nous a permis d'identifier les crises considérées comme les plus marquantes pour les professionnels<sup>2</sup> (Figure 3). Les quatre premières crises citées sont les mortalités de 2008, les mortalités de 2011 et les tempêtes Martin et Xynthia. Si l'on peut considérer que leur caractère plus récent explique en partie la trace laissée dans la mémoire des interviewés, nous soulignons tout de même l'importance de ces quatre événements qui ont eu pour implication majeure une destruction d'une partie du cheptel de coquillages.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux principales stratégies d'adaptation mises en œuvre par les professionnels pour surmonter ces crises (Figure 4). Il ressort que ces stratégies sont essentiellement individuelles et ont d'abord pour objet la reconstitution des stocks d'huîtres. Elles portent donc avant tout sur les pratiques productives et passent notamment par une augmentation de la production (achat de coquillages en éclosure, achats de coquillages

<sup>1</sup> Cette enquête a pris la forme d'entretiens en face à face.

<sup>2</sup> On notera que la moyenne d'âge des chefs d'entreprises de l'échantillon était de 49 ans. 19 des ostréiculteurs interrogés ont dépassé l'âge de la retraite.

hors bassin, augmentation du nombre de collecteurs à l'eau pour le naissain, etc.) ou encore par une recherche d'accélération du cycle de production (notamment pour compenser les destructions liées aux tempêtes et à la mortalités des huîtres adultes) en jouant sur les variations de vitesse de croissance des différents parcs ostréicoles. On note également le retour à une plus grande diversification de l'activité, autrement dit un retour à la réalisation de l'ensemble des étapes de la production allant du captage des huîtres à la commercialisation. Les logiques d'adaptation concernent également des stratégies de maîtrise des coûts de production. Elles concernent encore des demandes d'aides financières à l'Etat ou de nouveau prêt aux banques.

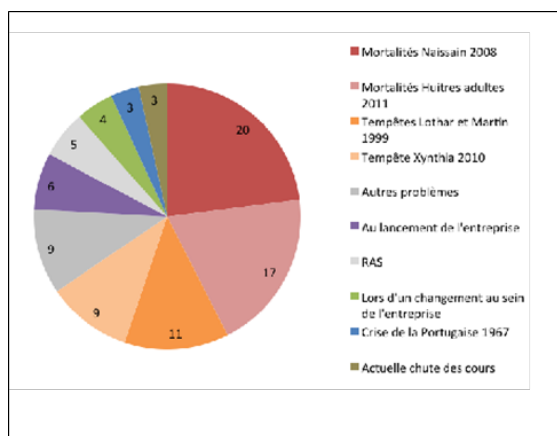


Figure 3 : Identification des crises les plus marquantes (Mossot, 2015)

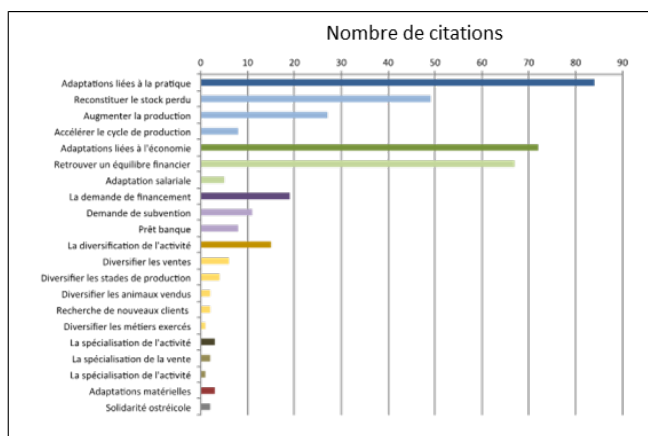


Figure 4 : Les stratégies d'adaptation face aux événements critiques (Mossot, 2015)

Lorsque l'on desserre la focale et que l'on s'intéresse non plus aux événements aigus mais aux crises structurelles, on en vient à souligner le déploiement de stratégies plus collectives à moyen terme (Figure 5). Ainsi, l'épizootie de l'huître portugaise a impliqué la mise en place de l'opération RESUR permettant l'introduction d'une nouvelle variété (huître japonaise). Les problèmes de productivité des années 1980 ont donné lieu au développement des huîtres d'écloserie, à l'élevage d'huîtres triploïdes (mise au point avec le concours de l'IFREMER) et dont la croissance est plus rapide que les huîtres diploïdes, au développement de labels (Label Rouge, Indication géographique protégée Marennes-Oléron) pour mieux valoriser la production, mais aussi à des logiques d'exploitation de parcs hors bassin. La faiblesse du captage naturel a impliqué des tentatives de développement de la production non plus sur l'estran mais en mer sur des filières.

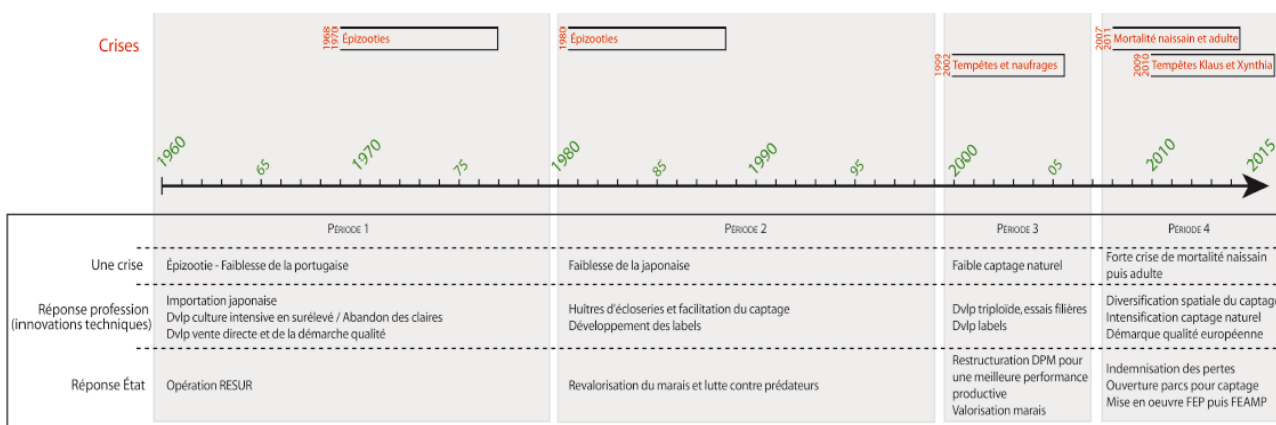


Figure 5 : Les réponses de la profession et de l'Etat aux crises majeures de 1960 à 2015 (Mossot, 2015)

Dans le cadre du projet, nous avons par la suite cherché à spatialiser les réponses des ostréiculteurs, ce qui a mis à jour une dynamique centrale pour la profession. Cette dynamique consiste à trouver ce que l'on peut appeler « **des arrangements spatiaux** » pour favoriser la survie et la croissance des coquillages. Elle implique donc une gestion variable



des parcs exploités par les ostréiculteurs. Par exemple, la mortalité du naissain en 2008 a donné lieu à un déstockage des huîtres en demi-élevage placées dans les parcs de dépôts pour les années 2009, 2010 et 2011. Stocks qui ont pu se constituer à partir de 2012 (Figure 6). On peut également évoquer les logiques d'abandon des parcs à plat après la tempête de 1999 puis leur réutilisation en parcs de demi-élevage depuis 2012 pour pallier les mortalités élevées (Figure 7), ou encore la dynamique très ponctuelle observée sur le banc de Lamouroux, réputé pour être l'un des plus productifs du bassin, très fortement touché par la crise des mortalités des huîtres adultes de 2011, non utilisé en 2012 par crainte d'une nouvelle mortalité et recolonisé en 2013 (Figure 8).

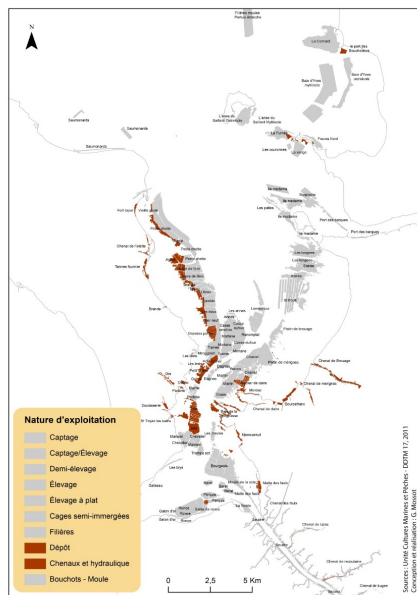


Figure 6 : 2008 – L'usage des parcs de dépôts (Mossot, 2015)

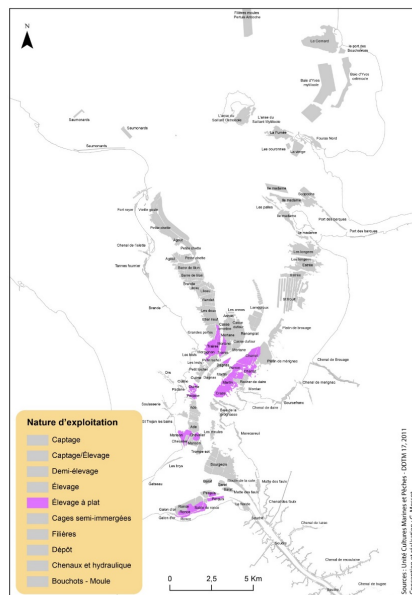


Figure 7 : 1999/2010 – L'abandon des parcs à plat (Mossot, 2015)

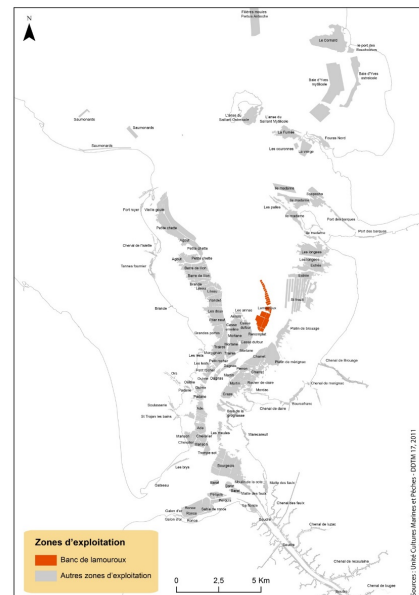


Figure 8 : 2011 – Les mortalités sur le banc de Lamouroux (Mossot, 2015)

### c. Les ressorts de la résilience

L'ensemble de ces résultats empiriques nous a conduit à interroger les ressorts de la résilience de l'ostréiculture. L'hypothèse que nous faisons pour répondre à cette interrogation porte sur le rôle fondamental de **la circulation, dans le temps, d'un ensemble de compétences**. L'ostréiculture est en effet une activité où les relations trans-générationnelles sont importantes : 56 professionnels sur les 70 interrogés sont issus d'une famille d'ostréiculteurs. Parmi ces 56 professionnels, 64% considèrent l'expérience acquise des parents comme une aide pour affronter les crises, ce qui pourrait impliquer la transmission entre génération d'une « culture de la crise ».

*« Les anciens ont aussi connu des crises, il y en a toujours eu. On relativise plus facilement car l'ostréiculture est basée sur des cycles et l'ostréiculteur travaille avec l'environnement, avec la nature ». (Extrait d'entretien)*

Au-delà de ces dimensions il convient d'insister sur la transmission d'un ensemble de compétences spécifiques (compétences tacites), comme en témoigne la référence à des qualités qui « ne s'apprennent pas dans les livres » (extrait d'entretien) ; ou encore à l'importance des conseils des anciens à « réadapter aux problématiques actuelles » (extrait d'entretien).

Pour reformuler cette idée de circulation des connaissances, nous considérons d'un point de vue analytique que les perturbations impliquent pour les professionnels de penser des adaptations. Ces adaptations nécessitent de mobiliser un certain nombre de compétences, autrement dit de ressources cognitives. Les approches évolutionnistes (Nelson, Winter, 1982 ; Dosi, 1988), qui placent la question des compétences au cœur de leur analyse du

développement et de l'évolution de la firme, sont particulièrement éclairantes pour saisir la dynamique de résilience des entreprises ostréicoles. Pour décrypter le processus d'innovation/adaptation, les auteurs évolutionnistes ont dans un premier temps cherché à préciser la spécificité des compétences. Ils insistent sur le fait que l'entreprise dispose en son sein d'une large part de compétences tacites (*i.e.* non codifiables, qui ne peuvent pas être inscrites sur un support). Le caractère tacite de ces compétences implique qu'elles ne sont pas facilement accessibles et qu'elles s'acquièrent essentiellement par l'apprentissage, la transmission et l'expérience. Ces compétences particulières sont logiquement mémorisées dans les routines de l'entreprise, par la répétition des actes. Elles peuvent cependant être oubliées dès lors que les actes ne sont plus répétés.

Ces théories insistent également sur le rôle de l'environnement social et institutionnel dans la dynamique des entreprises (Lundvall, 1992). Les capacités d'innovation/adaptation ne dépendent pas seulement des caractéristiques internes à la firme, mais aussi de son environnement, en d'autres termes des interactions avec les autres entreprises, du contexte réglementaire et plus généralement de l'environnement institutionnel.

A la lumière de ces éléments, la « résilience ostréicole » peut s'expliquer par la propension dont témoignent les ostréiculteurs à réactiver des savoirs et des savoir-faire ancestraux, du fait l'importance des liens trans-générationnels. Elle peut également s'expliquer par un environnement institutionnel local permissif, dans la mesure où l'administration maritime accompagne les changements de la filière. Les enseignements des enquêtes historiques réalisées dans le cadre du projet DYCOFEL, dont l'une remonte à la naissance de l'ostréiculture aux alentours de 1850, nous permettent de conforter cette hypothèse.

### 2.1.2. La remobilisation de savoirs hérités du temps long

Les fonds d'archives du service historique de la défense de Rochefort offrent la particularité de conserver la mémoire des activités maritimes du littoral de l'ancienne Intendance (avant 1789) devenu 5<sup>e</sup> arrondissement maritime. Rochefort a en effet été le siège d'une préfecture maritime, à l'instar de Brest aujourd'hui, dont le ressort s'étendait de la Loire aux Pyrénées. Parmi les fonds d'archives conservés et mis à la disposition des chercheurs, ceux qui relèvent de l'administration maritime dans son maillage territorial de proximité (le quartier maritime) sont particulièrement riches, car elles recèlent quantité d'informations sur la vie maritime au sens large, dont la conchyliculture est partie intégrante. Deux enquêtes y ont été menées au cours des quatre années du projet.

La première enquête a concerné les correspondances rédigées au départ du bureau du quartier maritime de Marennes, sur la période de l'après-guerre aux années 1980. Les courriers ont souvent une fréquence quotidienne, et les correspondants du commissaire de la marine sont d'une grande variété (maires, conchyliculteurs, marchands de marée ou bien préfet maritime voire ministère). L'enquête entreprise a été menée sous forme de sondages, sur 2 ou 3 ans, selon un rythme décennal (1950-53 ; 1961-62 ; 1967-1972). La méthodologie suivie a consisté à recenser les courriers relatifs à l'ostréiculture dans la masse des papiers échangés entre Marennes et les acteurs locaux d'une part et les autorités supérieures de l'autre. Les papiers ainsi dépouillés ont fait l'objet du renseignement de tableaux numériques destinés à permettre une analyse fine de l'activité.

La seconde enquête a fait l'objet d'une exploration sur la période 1857-1924. Une douzaine de cotes d'archives (10P2-6 à 10P2-18) ont été exploitées donnant lieu à la sélection de courriers relatifs à l'exploitation des ressources marines. Ces courriers, capturés en numérique, représentent 988 pages dont les passages les plus significatifs ont été retranscrits en une base de données de 707 enregistrements.

A partir de ces éléments, nous avons pu retracer les dispositifs d'adaptations développés par les ostréiculteurs depuis le milieu du XIXe siècle à nos jours. Nous mettons notamment en évidence l'existence d'une logique de remobilisation de pratiques, de traditions, de savoirs hérités du temps long.

### a. Les apports du progrès technique et le soutien des autorités

Depuis la naissance de l'ostréiculture, les professionnels ont cherché à répondre aux différents facteurs de perturbation de la production en combinant des logiques de progrès techniques et des logiques d'appui sur les autorités maritimes pour accompagner les transformations de l'activité. Il est intéressant de noter que le développement de l'ostréiculture, et la résistance de cette dernière, s'articule autour du triptyque suivant : i) l'évolution des techniques de production et en particulier des techniques de captage pour faire face aux différentes destructions de cheptels ; ii) l'introduction de nouvelles espèces d'huîtres dans le bassin initialement colonisé par l'huître plate, avec l'élevage de l'huître portugaise à partir de 1860, de l'huître japonaise à partir de 1970 ou encore de l'huître triploïde depuis les années 1990 ; iii) le recours à l'aide de l'administration (Tableau 1).

**Tableau 1** : Les adaptations liées au progrès technique et aux autorités

CRISES			RESILIENCE	
Années / décennies	Baisse de rendement jusqu'à mortalité		Tempête / catastrophe	Agent extérieur
	Naissain (à/p 1860')	Adultes		
2011		Mortalité des adultes		<b>Aide de l'administration</b> : FEAMP (2014-2020)
2010			Xynthia	<b>Aide de l'administration</b> : Indemnisations (État) + FEP (2007>2013)
2007	Mortalité du naissain			
1999	Faiblesse du captage	Faiblesse de la productivité	Martin / naufrage de l'Erika	<b>Aide de l'administration</b> : Nettoyage concessions par la Trézence (État, DDTM17) ; <b>Nouvelle espèce</b> : Triploïdes
1980	Epizootie ? %	Epizootie ? %		<b>Techniques de production</b> : Collecteurs synthétiques (tubes 1980' puis coupelles 1990')
1970		Epizootie -30 à - 50%		<b>Nouvelle espèce</b> : RESUR = huître Japonaise
1960		Croissance ralentie		
1920	Destruction des stocks	Pertes ? %	Grand hiver	<b>Techniques de production</b> : Collecteurs tuiles puis ardoises
1860	Hausse des prix des juvéniles			<b>Nouvelle espèce</b> : "Le Morlaisien" = Portugaise ; <b>Techniques de production</b> : collecteurs « moëllons »
1850	Importations 90%			<b>Aide de l'administration</b> : Dragage des bancs : nettoyage + élimination moules (Admin. Maritime) ; <b>Nouvelle espèce</b> : Début d'introduction de l'huître Portugaise

Ainsi, la mise au point de l'huître triploïde dans les années 1990, qui apparaît comme une réponse au problème de productivité de connaît alors le bassin de Marennes-Oléron, relève d'une logique par deux fois mise en œuvre dans le passé. De même, la capacité des professionnels à se tourner vers l'administration (locale, nationale ou européenne) s'exprime dès les origines de l'ostréiculture, comme en témoigne les mesures de dragages des bancs par

l'administration maritime dans les années 1850. Enfin, la recherche d'amélioration des techniques de captage, à la base du cycle de production, sont repérable dès le début du XXe siècle avec l'utilisation de tuiles, puis d'ardoise, en remplacement des moëllons<sup>3</sup>.

## b. Entre territorialité et nomadisme

Au-delà des dimensions relatives au progrès technique et au soutien de l'administration, les ostréiculteurs de Marennes-Oléron développent depuis plus d'un siècle et demi des logiques d'adaptations spatiales de leur production, entre territorialité et nomadisme (Tableau 2). En effet, les variations de production impliquent une recherche systématique d'amélioration de l'usage de l'espace d'exploitation, à la fois à l'intérieur du bassin avec la segmentation des bancs ostréicoles par phase du cycle de production, mais aussi hors du bassin avec l'éclatement géographique du cycle de production et la possibilité d'exploiter des parcs en Bretagne, en Normandie ou encore en Irlande. Par ailleurs, cet éclatement de la géographie du cycle de production peut également être compris de manière indirecte avec la valorisation de l'affinage en claires et l'importation d'huîtres dans le bassin pour cette étape finale de la production. Ainsi, pour faire face aux problèmes de productivité, les ostréiculteurs du bassin se sont progressivement spécialisés dans l'étape de l'affinage en claires.

**Tableau 2** : Le recours aux logiques d'adaptations spatiales

CRISES			RESILIENCE	
Années / décennies	Baisse de rendement jusqu'à mortalité		Tempête / catastrophe	Stratégie territoriale
	Naissain (à/p 1860')	Adultes		
2011		Mortalité des adultes		Promotion d'un élevage mobile dans & hors bassin (Bretagne, Normandie, Irlande) + éclosionerie + utilisation des parcs de dépôt du BMO
2010			Xynthia	
2007	Mortalité du naissain			Essais des filières à la Malconche
1999	Faiblesse du captage	Faiblesse de la productivité	Martin / naufrage de l'Erika	Restructuration du DPM + revalorisation des marais + logique de labellisation (valorisation des spécificités territoriales)
1980	Epizootie ? %	Epizootie ? %		
1970		Epizootie -30 à -50%		Renforcement de la segmentation
1960		Croissance ralentie		Mise en concession de Lamouroux
1920	Destruction des stocks	Pertes ? %	Grand hiver	
1860	Hausse des prix => collecteurs			Restauration du DPM : segmentation par terroir (naisseurs, éleveurs, expéditeurs)
1850	Importations 90%			

Ces stratégies territoriales, qui émaillent l'évolution de l'ostréiculture d'après-guerre (comme l'a montré l'enquête réalisée auprès des professionnels, *cf.* 2.1.1.), sont déjà initiées dans les années 1860, au moment de la structuration de l'activité à Marennes-Oléron.

## c. Abandonner ou recycler ?

L'étude des modalités d'adaptation des ostréiculteurs depuis les années 1850 face aux différentes crises permet enfin de mettre à jour, outre la transmission des réponses pouvant

<sup>3</sup> Les moëllons sont des pierres déposées sur l'estran et servant de support à la fixation des larves d'huîtres.

s'apparenter à des « routines » telles que décrites par les auteurs évolutionnistes (introduction de progrès technique, recours à l'administration, stratégies d'adaptation territoriale), des dynamiques plus inattendues de réactivation de savoir-faire abandonnés ( Tableau 3). On repère par exemple, à la fin du XXe siècle, une revalorisation de la technique de production de « pousse en claire » qui consiste à réaliser une grande partie de l'élevage de l'huître dans les marais aménagés (les claires), alors que cette technique avait été abandonnée au moment du développement de l'ostréiculture au milieu du XIXe siècle. De même, la construction de murets anti-drague qui disparaît au cours de la décennie 1860 réapparaît un siècle plus tard, dans les années 1960 pour contrôler les effets de la houle marine. Autre exemple encore, les premiers temps du développement de l'ostréiculture sont marqués par une forte intégration du cycle de production (du captage à la commercialisation des coquillages) qui tend à reculer au profit d'une activité plus segmentée et spécialisée (spécialisation des entreprises dans une ou deux étapes du cycle), pour être de nouveau déployé au début du XXIe siècle, alors que les perturbations de la filière sont fréquentes et aigues. Les professionnels voient dans ce retour à l'intégration du cycle de production un moyen de réduire les risques potentiellement associés à l'une ou l'autres des étapes du cycle.

**Tableau 3** : Le dialogue entre abandon et reprise de pratiques productives

CRISES			résilience : corrélations / causalités		
années	baisse de rendement jusqu'à mortalité		tempête / catastrophe	abandons	reprises
décennies	naissain (à/p 1860')	adultes			
2011		mortalité des adultes		spécialisation / terroir	intégration
2010			Xynthia		
2007	mortalité du naissain				label iGP (2009)
1999	faiblesse du captage		Martin / naufrage de l'Erika	élevage à plat	label rouge "pousse en claire" ; revalorisation des marais
1980	épizootie ?%	épizootie ? %			lutte contre prédateurs (bigorneaux perceurs) et compétiteurs (moules)
1970		épizootie -30 à - 50%		portugaise	importations : japonaise ; label 1974 huîtres Marennes-Oléron ; spécialisation / étape
1960		croissance ralentie		élevage à plat < 30%	murets (anti-houle) ; casiers bois ; tables fer
1920	destruction des stocks	pertes ? %	grand hiver	huîtres plates < 10% production	label "Marennes" refus extension 17
1870		raies pastenague		concessions	lutte contre prédateurs (raies) et compétiteurs (moules)
1860	hausse des prix (Bretagne, Arcachon)			importations ; murets (anti-drague)	DPM ; collecteurs : portugaises
1850	importations 90%			pêche des plates pour l'élevage ; ; intégration collecteur-parc-claire ; pousse en claire	spécialisation / étape (Oléron, Seudre, Port-des-Barques)

La capacité des ostréiculteurs à aller puiser dans l'histoire de leur profession pour trouver des réponses aux perturbations variées mais récurrentes qu'ils subissent nous semble corroborer l'hypothèse selon laquelle les logiques d'héritage cognitif trans-générationnel jouent un rôle important pour expliquer la résistance voire la résilience de cette activité économique.

**En conclusion**, il nous semble important d'insister sur les deux principaux résultats auxquels nous ont conduit les travaux entrepris dans l'axe 1. Le premier résultat porte sur l'absence de rupture marquante dans les usages de la vasière en réaction aux crises et sur la diversité des réponses apportées par les professionnels au sein des exploitations et entre les exploitations. Ce résultat est important car il suppose que les changements d'usage sont difficilement visibles à l'échelle du socio-écosystème et qu'ils relèvent de logiques d'adaptation variées et à petite échelle. L'unité « écosystème de Marennes-Oléron » initialement retenue dans le cadre du projet DYCOFEL pour caractériser les effets de rétroaction de l'ostréiculture sur la dynamique de la production primaire de microphytobenthos manque probablement de finesse. L'incidence des changements de

pratiques ostréicoles sur la biomasse et la production de microphytobenthos devra être conduite à l'échelle de zones plus restreinte.

Le second résultat notable renvoie au caractère profondément flexible dans le temps et dans l'espace des systèmes productifs ostréicoles. Le recueil de données empiriques par l'enquête auprès des professionnels et par les enquêtes historiques nous conduit à saisir cette spécificité comme un ressort potentiel de résilience de l'activité prenant appui sur des ressources cognitives transmises et héritée du temps long.

Ces résultats font l'objet d'un article :

Rivaud A., Sauzeau T. Chronique d'une activité résiliente : l'ostréiculture dans le bassin de Marennes-Oléron. Un éclairage par la théorie évolutionniste. En préparation pour la *Revue d'Histoire Maritime*.

## 2.2. Axe 2 : Variation de la quantité de la ressource trophique

Johann Lavaud (coord.), Vona Méléder (coord.), Laurent Barillé, Pierre Gernez, Astrid Lerouxel, Alexandre Barnett, Sylvain Gaillard

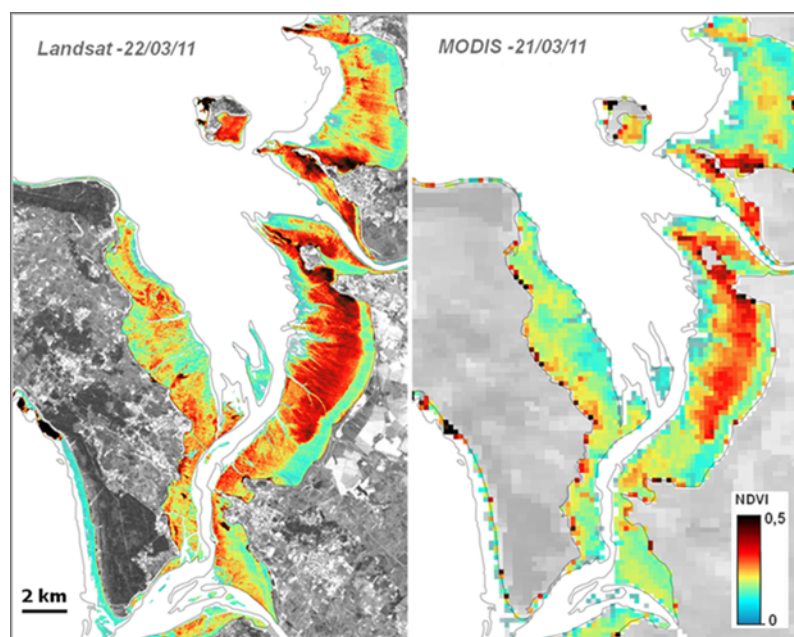
Des travaux de cartographie des variations de biomasse du microphytobenthos dans le temps et dans l'espace ont été réalisés en parallèle des actions effectuées dans le cadre de l'axe 1, avec pour objectif de croiser les informations obtenues dans ces deux axes pour déterminer les potentiels effets rétroactifs des usages conchylicoles sur la biomasse de microalgues du sédiment (*cf.* axe 3). Des travaux ont également été menés afin de construire un modèle de production primaire du microphytobenthos à l'échelle écosystémique (*i.e.* vasière de Brouage) dans le but d'avoir une approche dynamique dans la mise en comparaison entre changements d'usages et production primaire. Enfin, le financement du projet DYCOFEL par la Fondation de France a permis de répondre à d'autres appels à projets (*i.e.* AAP interdisciplinaire du CNRS Défi Littoral 2016 ; AAP Tosca du CNES ; AAP interne de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Nantes Atlantique), qui ont notamment permis d'acquérir et de traiter des images complémentaires et de qualité beaucoup plus élevée (*i.e.* images hyperspectrales aéroportées). La synergie entre ces différents travaux a permis de lever de nombreux verrous sur la cartographie de la distribution spatiale de la biomasse et de la production primaire du microphytobenthos.

### 2.2.1 Détermination des changements de biomasse dans le temps et dans l'espace par analyse d'images satellitaires

Une première étape de cette action a été de valider l'utilisation d'images satellitaires MODIS (pixels de 250 m) pour cartographier la distribution spatiale du microphytobenthos à l'échelle du bassin de Marennes-Oléron et déterminer l'évolution temporelle de cette distribution spatiale. En effet, ce sont habituellement les images issues des capteurs à haute résolution spatiale (pixels de quelques mètres à quelques dizaines de mètres), tels que SPOT ou Landsat, qui sont utilisées pour la cartographie de la biomasse du microphytobenthos. Cependant, ces capteurs ont une faible résolution temporelle, avec un temps de revisite de 26 jours pour SPOT et de 16 jours pour Landsat, limitant l'obtention de séries temporelles longues et complètes. C'est la raison pour laquelle les images satellitaires MODIS ont été utilisées au cours du projet DYCOFEL, celles-ci présentant l'avantage d'avoir une haute résolution temporelle (1-2 jours). Cependant, la résolution spatiale étant moindre que celle des capteurs satellitaires habituellement utilisés, l'utilisation d'images MODIS pour cartographier

la distribution du microphytobenthos a dû être validée par intercomparaison avec des images Landsat (Figure 9).

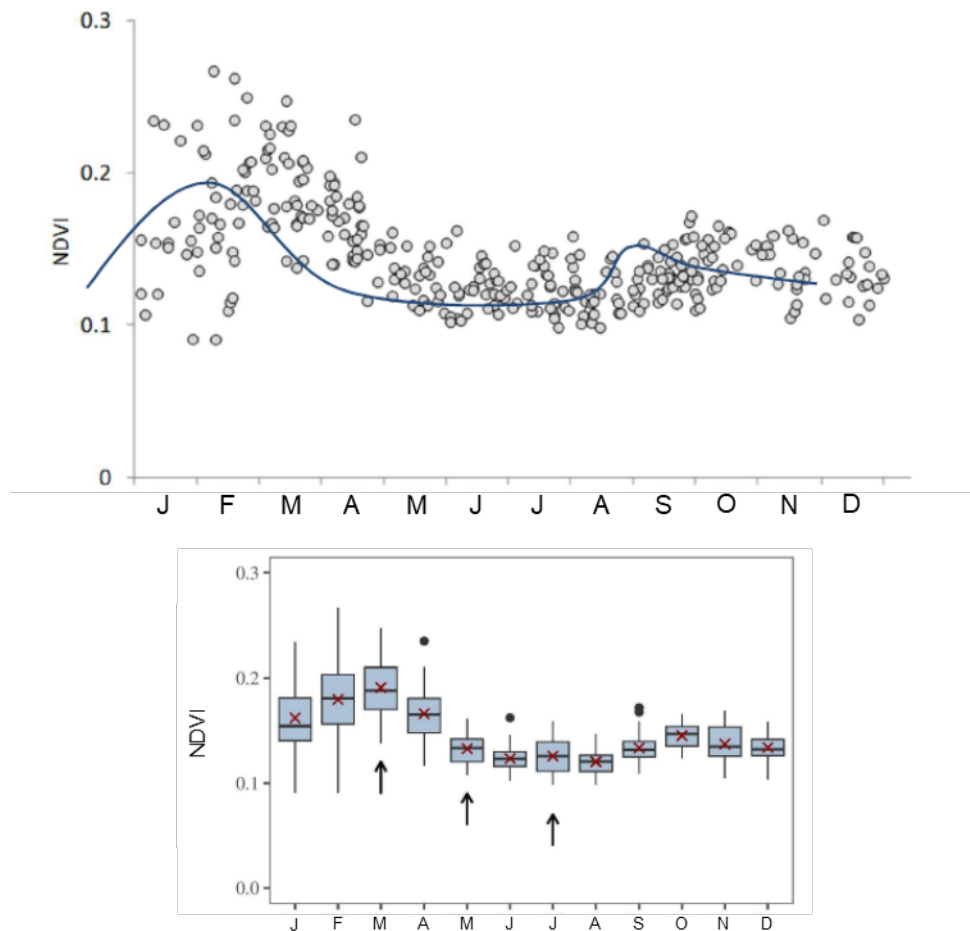
Afin de cartographier la biomasse, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est calculé à partir des réflectances des images pour chaque pixel. Plus le NDVI est fort, plus la biomasse est élevée. Pour le microphytobenthos, les valeurs de NDVI varient généralement entre 0,1 (peu de biomasse) et 0,4 (biomasse maximum). Sur les cartes NDVI issues de MODIS et Landsat, les valeurs de NDVI et la distribution spatiale de la biomasse sont similaires (Figure 9). L'utilisation du capteur MODIS a donc été validée pour la suite de l'étude.



**Figure 9** : Comparaison de la distribution spatiale du microphytobenthos obtenue à partir d'images Landsat et MODIS acquises au cours d'une marée basse en mars 2011, à un jour d'intervalle. Sur ces images calibrées en valeurs de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), les fortes biomasses microphytobenthiques apparaissent en rouge.

La haute résolution temporelle de la série MODIS a permis de suivre l'évolution interannuelle des peuplements de microphytobenthos et d'évaluer leur développement saisonnier. L'étude de la répartition spatio-temporelle des microalgues benthiques (*i.e.* ressource alimentaire des bivalves cultivés) sur les vasières du bassin de Marennes-Oléron a été réalisée entre les années 2000 et 2015 à partir des valeurs de NDVI calculées sur près de 380 scènes MODIS.

A l'échelle annuelle, le biofilm qui colonise la vasière de Brouage semble ainsi présenter d'importantes fluctuations de biomasse (Figure 10). Celles-ci sont caractérisées par l'apparition d'une prolifération (ou 'bloom') marquée entre la fin de période hivernale et le début du printemps. Les biomasses régressent ensuite rapidement jusqu'à l'automne suivant où un léger bloom semble se produire. Ces résultats permettent d'appréhender de façon inédite à cette échelle spatio-temporelle, le caractère saisonnier du développement microphytobenthique dans le bassin de Marennes-Oléron.



**Figure 10** : Evolution mensuelle des biomasses de microphytobenthos de la vasière de Brouage. Ces biomasses sont évaluées par l'application du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) sur l'ensemble des images de la série temporelle MODIS de 2000 à 2015. Les boîtes à moustache ainsi que les moyennes (croix rouge) sont calculées mensuellement. Les flèches indiquent les périodes d'échantillonnage du microphytobenthos pour l'élaboration du modèle de production primaire.

## 2.2.2 Détermination des changements de production / modèle de production

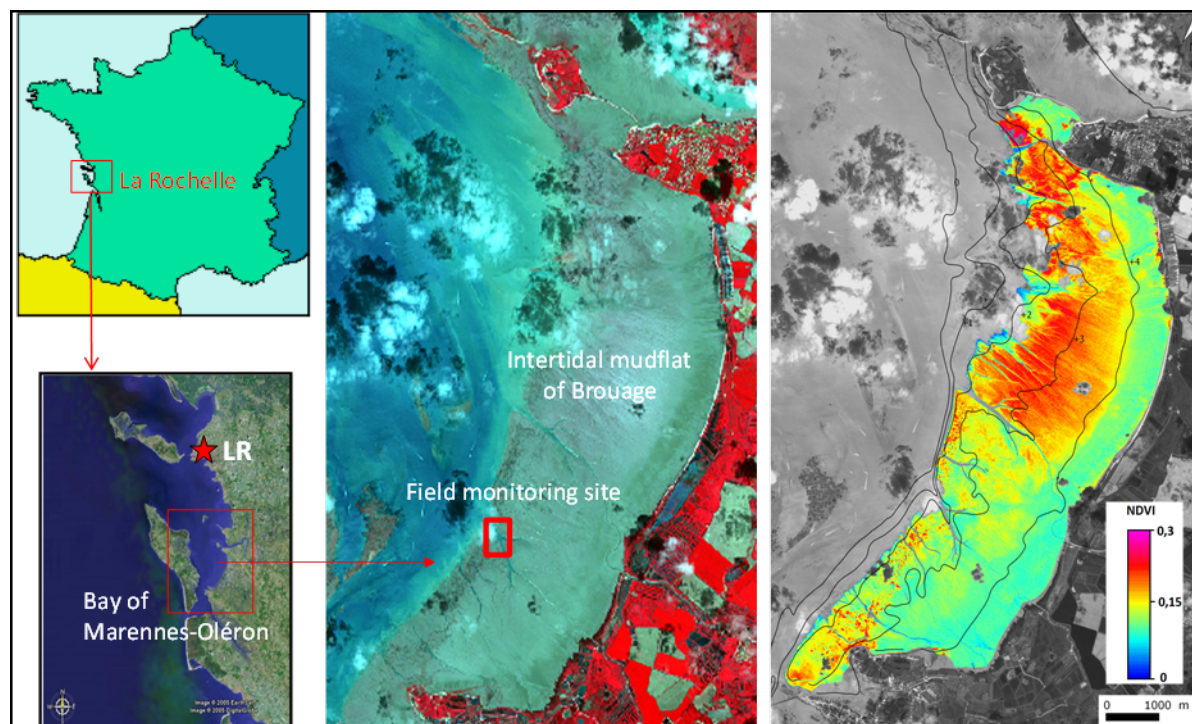
Tandis que les cartes de biomasse de microphytobenthos (qui sont basées sur les images satellitaires, voir 2.2.1) sont de plus en plus utilisées pour l'évaluation de l'état écologique des vasières et l'aide à leur exploitation raisonnée, la réalisation de cartes de production primaire a été une première dans le cadre du projet DYCOFEL.

La construction de telles cartes a nécessité un important travail de terrain et de laboratoire afin de calibrer divers paramètres du modèle de production primaire utilisé. Les travaux *in situ* ont été réalisés sur la vasière de Brouage (à proximité des parcs ostréicoles de Mérignac), qui est une des vasières les plus importantes du bassin de Marennes-Oléron, et sur laquelle l'activité conchylicole est fortement concentrée (Figure 11). De la vase et le microphytobenthos associé ont également été échantillonnés sur ce même site pour les expérimentations en laboratoire durant les jours suivants.

Les mesures *in situ* ont été effectuées à deux saisons (printemps (mai) et été (juillet) 2015) dans le cadre du projet DYCOFEL. Les résultats obtenus en cours de projet grâce à la série temporelle d'images MODIS ayant mis en évidence de fortes disparités saisonnières de biomasse, des campagnes de terrain complémentaires ont été mises en œuvre grâce à des financements obtenus via d'autres agences en complément du projet DYCOFEL. *In fine*, ce sont trois campagnes de terrain qui ont été réalisées, cette approche permettant de définir les paramètres du modèle de production avec une résolution temporelle à l'échelle saisonnière.



Ainsi, la campagne d'hiver a été réalisée en mars 2018. Cette campagne a été financée par le projet CNRS EC2CO-LEFE (MIMOSA) porté par Vincent Le Fouest (LIENSs, Université de la Rochelle), dont l'objectif est de comparer les cartes de biomasse et de production primaire générées par le modèle MARS 3D aux cartes obtenues par télédétection.



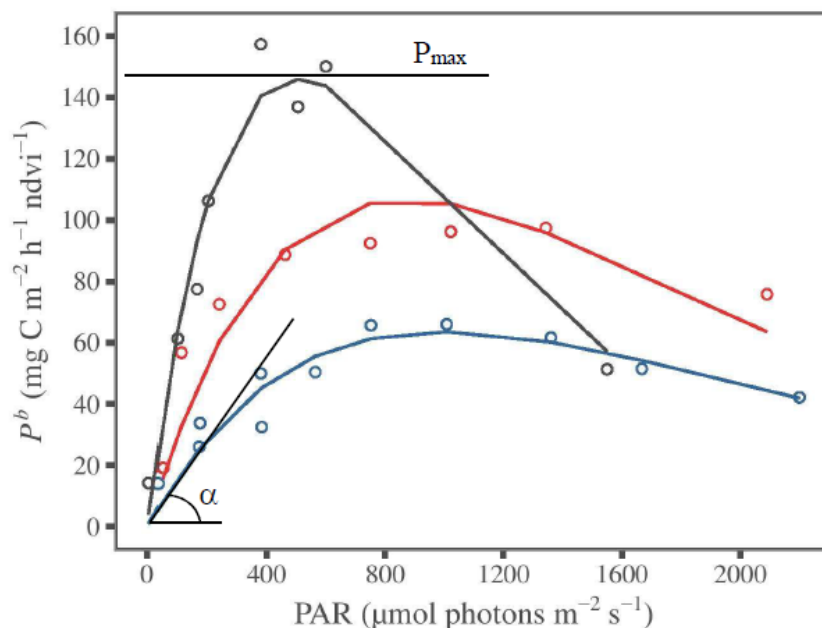
**Figure 11** : Localisation du site d'étude et carte de biomasse des microalgues. De la gauche au centre, les cartes localisent la baie de Marennes-Oléron dans la région de La Rochelle (LR), la vasière intertidale de Brouage et le site d'étude (image SPOT, 2015-05-18, 10:54 TU, résolution spatiale = 6 m). La carte la plus à droite illustre en fausses couleurs la biomasse de microalgues basée sur l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Lors de chaque campagne saisonnière, la production primaire brute (GPP, soit la photosynthèse nette et la respiration) du microphytobenthos a été mesurée *in situ*. De la vase et le microphytobenthos associé ont également été échantillonnés pour des mesures au laboratoire—dans des conditions contrôlées de lumière et de température—des paramètres de production photosynthétique (en particulier la production maximale, notée  $P_{max}$ ) et de la biomasse (mesures de concentrations en chlorophylle *a* par chromatographie liquide haute résolution et en NDVI par radiométrie). Par la suite, des images satellites ont été recherchées dans les archives (SPOT, Landsat et Pléiades) afin de trouver une image par campagne, acquise dans un intervalle de temps le plus proche possible du jour de la campagne. Ces images ont été converties en NDVI.

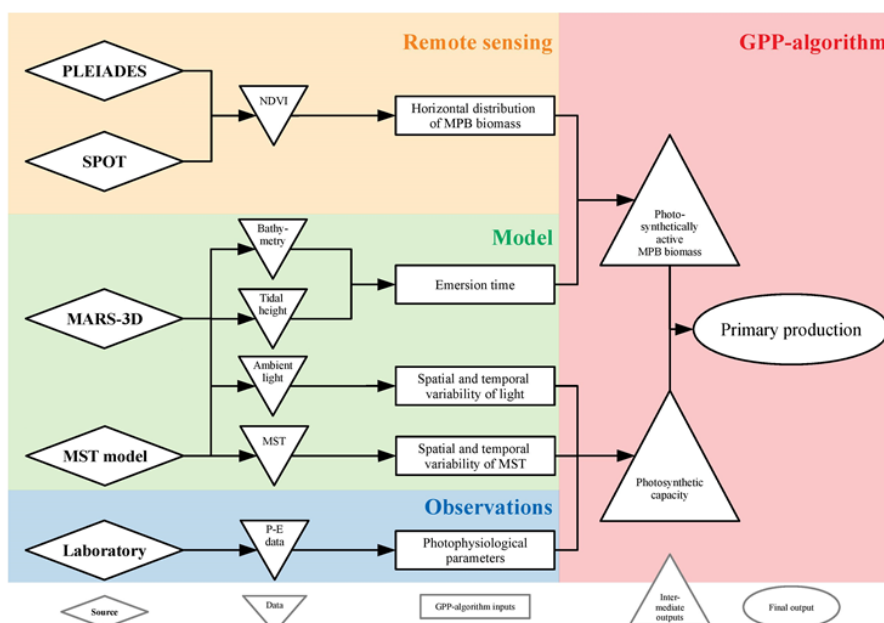
Les données obtenues lors de chaque campagne de terrain ont été intégrées dans des modèles de production afin de les calibrer. Différents formalismes ont été testés, et celui retenu se base sur ceux de Eilers and Peeters (1988) et de Blanchard *et al.* (1997) (Figure 12). Sur le plan saisonnier, la  $P_{max}$  est plus forte en mai ( $154,2 \text{ mg C.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{NDVI}^{-1}$ ) qu'en mars ( $70,41 \text{ mg C.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{NDVI}^{-1}$ ). Le paramètre  $\alpha$  de photoacclimatation est quant à lui plus faible en été (0,283) qu'au printemps (0,763). Ces résultats indiquent donc une acclimatation aux plus fortes lumières en été (faible  $\alpha$ ), mais aussi une photoinhibition (faible  $P_{max}$ ) à cette même période. Le microphytobenthos a donc, en été, une capacité à répondre à la lumière (et à son environnement en général) qui semble dépassée. Cela se retrouve dans les mesures de terrain avec une production primaire plus basse en été qu'au printemps pour une intensité similaire. Cette différence est expliquée par la température, qui est optimale sur le terrain au printemps ( $25^{\circ}\text{C}$  en mai), alors qu'elle dépasse les  $30^{\circ}\text{C}$  en été. Ces différences saisonnières

importantes, liées à la physiologie des microalgues, mettent en avant l'importance des travaux de terrain réalisés à l'échelle saisonnière afin de considérer au mieux les changements d'états physiologiques des microalgues en fonction des paramètres environnementaux (Figure 12).

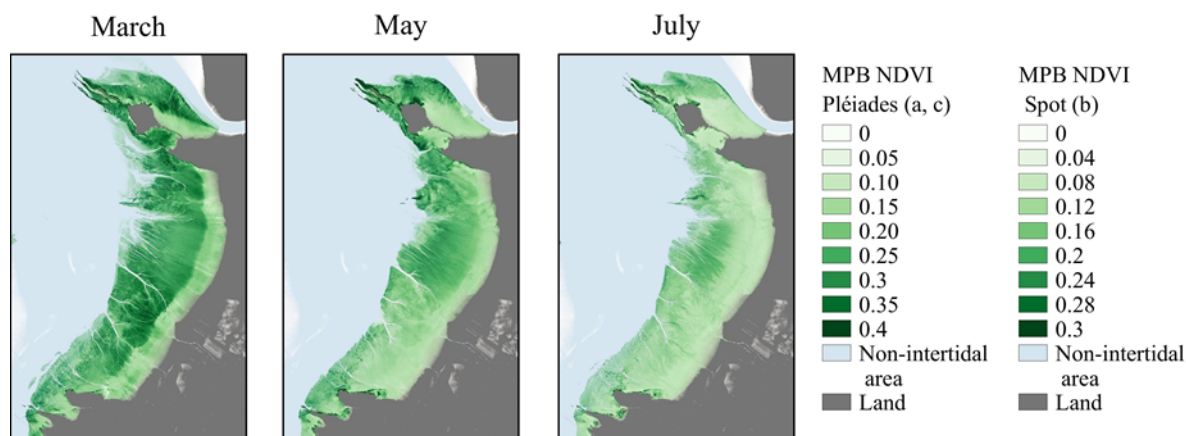
Une fois les paramètres photosynthétiques  $P_{max}$  et  $\alpha$  estimés, ils sont utilisés dans un nouvel algorithme, le GPP-algo (Figure 13), développé dans le cadre de la thèse de Raphaël Savelli (LIENSs, Université de La Rochelle). Cet algorithme permet de prédire et de cartographier la GPP en fonction de la biomasse du microphytobenthos (cartes de NDVI, Figure 14), de la marée, de la lumière incidente, de la température de la vase (ces 3 paramètres sont des sorties des modèles Mars 3D et MST) et des paramètres photosynthétiques mesurés *in situ* et en laboratoire pour les 3 périodes (Figure 12). Les sorties de cet algorithme sont les cartes de production horaire et journalière (Figure 15).



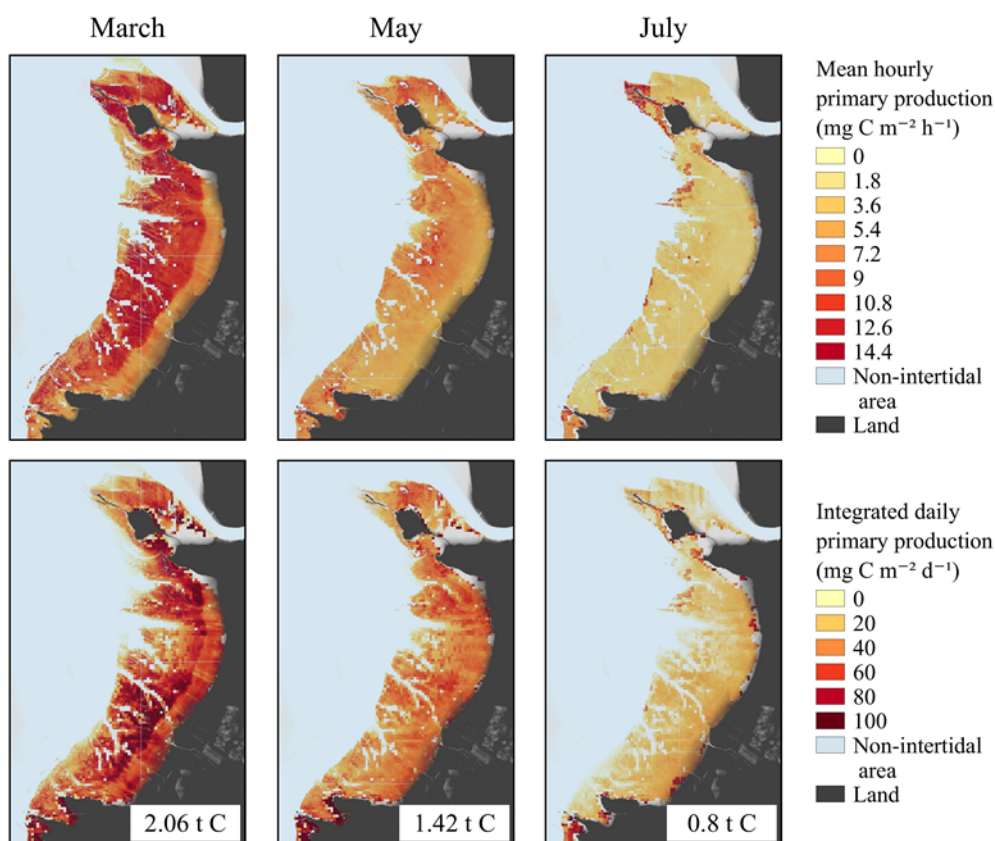
**Figure 12** : Production photosynthétique des microalgues ( $P^b$ ) versus intensité lumineuse (PAR) normalisée à la biomasse (Normalized Difference Vegetation Index), le modèle utilisé ici est celui de Eilers and Peeters (1988). Les paramètres photosynthétiques ( $P_{max}$  et  $\alpha$ ) dépendent de la saison (gris = printemps, rouge = été, bleu = hiver).



**Figure 13** : Algorithme permettant de prédire et de cartographier la production primaire du microphytobenthos (GPP) en croisant la télédétection (remote sensing), la modélisation et les observations.



**Figure 14** : Cartes de biomasse du microphytobenthos exprimées en NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), utilisée pour la cartographie de la GPP aux dates du 03/03/2018 et 17/07/2015 (Pléiades) et du 06/05/2015 (SPOT).



**Figure 15** : Cartes de production horaire (haut) et journalière (bas) pour les 3 périodes.

Ainsi, l'extrapolation à l'échelle annuelle des résultats obtenus à partir des trois saisons de mesures (en intégrant les données annuelles météorologiques et de cycle tidal) génère une production primaire variant entre 292 tC année<sup>-1</sup> et 752 tC année<sup>-1</sup> qui correspond bien à l'échelle de 500 tC année<sup>-1</sup> précédemment rapportée dans la littérature.

### 2.2.3 Apports de la télédétection hyperspectrale

La cartographie de la production primaire par télédétection est un enjeu actuel dans l'estimation globale de la participation des végétaux en général, et de la végétation marine en particulier, aux grands cycles biogéochimiques, notamment celui du carbone (*i.e.* carbone bleu). Le projet DYCOFEL a fourni des résultats très prometteurs sur la base de la

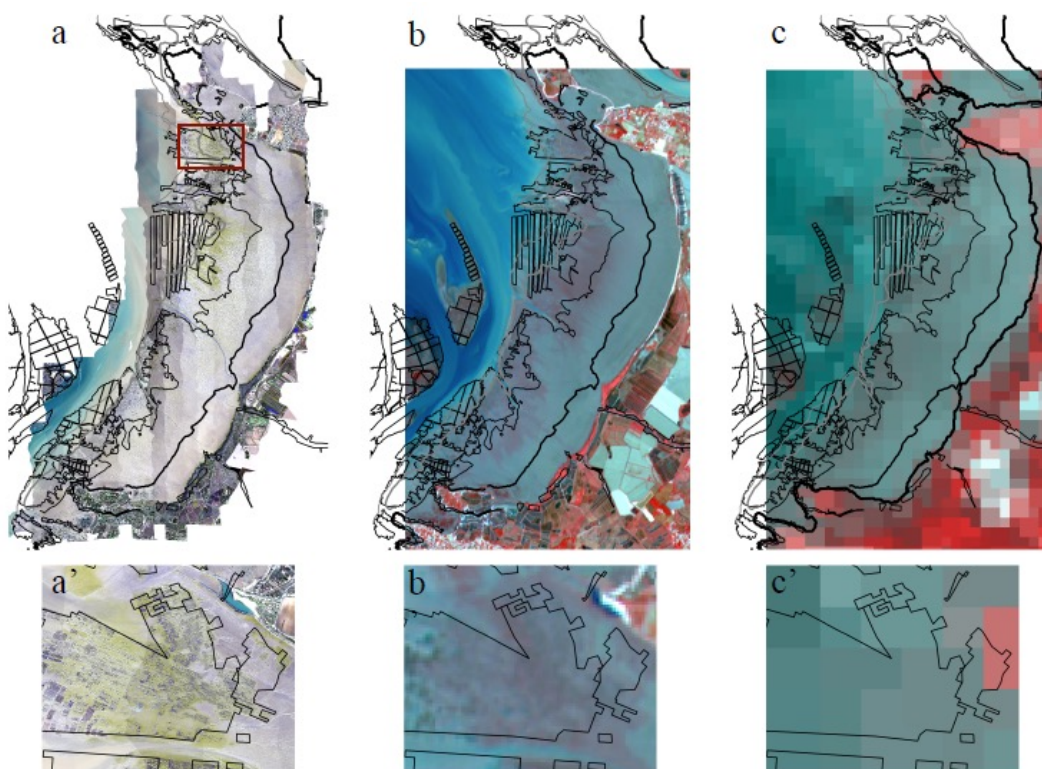
télétection multispectrale comme MODIS et SPOT.

Une technologie plus récente, celle de l'imagerie hyperspectrale, peut également être utilisée avec cet objectif de cartographie de production, comme cela a été démontré grâce à une première approche faite au laboratoire.

Une technologie plus récente, la technologie d'imagerie hyperspectrale, peut également être utilisée avec cet objectif de cartographie de production. Une image issue de cette technologie a été acquise par le capteur HySpex de l'OSUNA (Observatoire des Sciences de l'Univers de Nantes Atlantique, Université de Nantes) le 21/09/2016 en baie de Marennes-Oléron durant la marée basse, entre 12:00 et 14:00 TU (Figure 16). L'acquisition de cette image a été financée par un projet connexe au projet DYCOFEL, le projet OMPBI (financement CNRS-Mission pour l'Interdisciplinarité & OSUNA, coût d'une image hyperspectrale : 20 000 euros). Cette image est plus précise spectralement (160 bandes spectrales, contre 4 pour SPOT et 2 pour MODIS dans le domaine visible – proche infrarouge) mais également spatialement (70 cm de résolution contre 20 m pour SPOT et 250 m pour MODIS, Figure 9). Elle permet donc une cartographie plus précise, permettant de mettre en évidence des interactions spatiales entre la présence de parcs ostréicoles et la présence de biofilms, ce qui était un objectif majeur du projet (Figures 16 et 17). La mise en évidence de telles interactions est beaucoup plus difficile avec les images SPOT (20 m de résolution) et MODIS. En effet, sur l'image hyperspectrale, les parcs sont visibles (Figure 16), alors qu'ils sont flous sur l'image SPOT, et non visibles sur l'image MODIS (Figures 16 et 17).



**Figure 16** : Image hyperspectrale en composition colorée (vraies couleurs) acquise par le capteur HySpex (OSUNA-Université de Nantes) le 21/09/2016 entre 12:00 et 14:00 TU.



**Figure 17** : Images en compositions colorées de la vasière de Brouage (a) hyperspectrale HySpex acquise le 21/09/2016 ; (b) multispectrale SPOT acquise le 30/09/2012 ; (c) multispectrale MODIS acquise le 30/09/2015. Les résolutions spatiales sont respectivement de 70 cm, 20 m et 250 m. Le cadastre ostréicole ainsi que les isobathes de +3m à 0 m SHOM sont reportés. Les images a', b' et c' représentent le détail des parcs des Longées, indiqués par le rectangle rouge sur l'image HySpex (haut de la figure a).

Au-delà de la résolution spatiale, la très haute résolution spectrale des images HySpex permet l'estimation de la biomasse du microphytobenthos exprimée en mg de chlorophylle *a* ( $\text{mg chl } a \cdot \text{m}^{-2}$ ) de manière bien plus précise que par l'application d'un simple indice de végétation tel que le NDVI. Cette très haute résolution spectrale permet également de distinguer la diversité au sein des organismes végétaux en différenciant les micro- des macrophytes et, au sein de ces grands groupes, de différencier les organismes en fonction de leurs couleurs (verte/brune/rouge/bleue). Enfin, il est également possible de proposer une carte de production primaire. Ces différentes cartes (biomasse, diversité et production) peuvent par la suite être directement intégrées dans des modèles de flux de matière couplant les producteurs primaires (microalgues) et leurs consommateurs (huîtres), par exemple.

L'image hyperspectrale obtenue a été traitée selon les méthodes développées par des participants au projet DYCOFEL, ou en collaboration (Launeau *et al.*, 2018 ; Méléder *et al.*, 2018). Ces traitements ont permis d'obtenir différentes cartes de répartition spatiale du microphytobenthos, donnant respectivement des informations sur la diversité, la biomasse et la production primaire. Ces cartes ont été mises en relation avec les activités ostréicoles (*cf.* 2.1.1, Figure 7).

#### a. Cartographie de la diversité

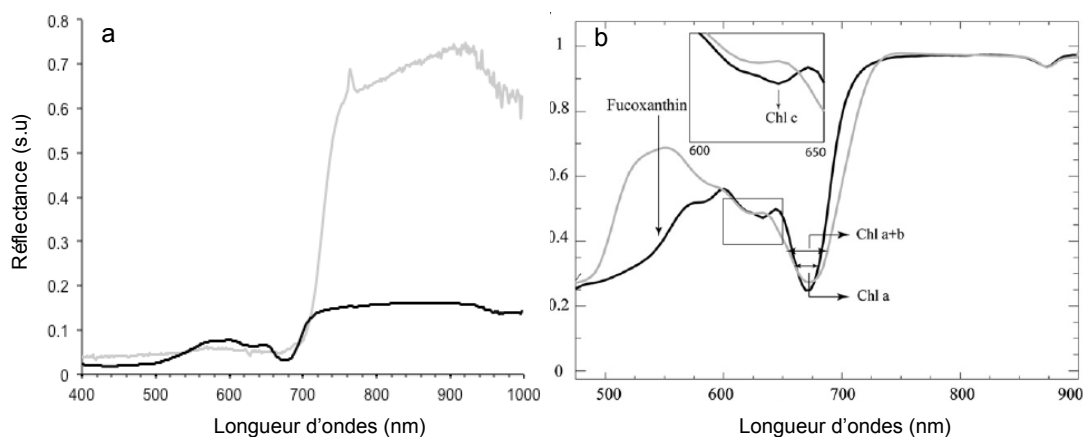
Alors que l'imagerie multispectrale de type SPOT ou MODIS ne permet le calcul que d'un seul type d'indice de végétation : le NDVI (Tableau 4), permettant la différenciation entre la végétation (riche en chlorophylle *a*) et ce qui ne l'est pas, l'imagerie hyperspectrale

permet quant à elle l'utilisation de différents indices, rendant possible la distinction de différents groupes végétaux. Ces indices reposent sur les propriétés spectrales de ces différents groupes (Tableau 4) :

- Le MPBI (Microphytobenthos Index) permet de différencier les macrophytes des microalgues. En effet, le MPBI est toujours supérieur au NDVI pour les microalgues, en raison de la richesse pigmentaire atteignant la saturation chez les macrophytes (Figures 18a et 19).
- Au sein du biofilm, les classes algales peuvent être différenciées à l'aide de différents indices reposant sur leurs compositions pigmentaires. La présence de chlorophylle *c* et de fucoxanthine chez les diatomées fait que leur spectre présente un pic de transmittance centré sur 600 nm, alors que chez les euglènes et les chlorophycées, l'absence de fucoxanthine décale ce pic vers 553 nm (Figure 18b). Les calculs d'indice  $I_{Diatom}$  et  $I_{Euglenid}$  reposent sur cette différence (Tableau 4). Lorsque  $I_{Diatom}$  est supérieur à  $I_{Euglenid}$ , alors le biofilm est dominé par les diatomées, et inversement (Figures 18 et 19).

**Tableau 4** : Calculs des indices utilisés pour la cartographie du microphytobenthos par télédétection hyperspectrale. Rxxx correspond à la valeur de la réflectance à la longueur d'onde xxx nm.

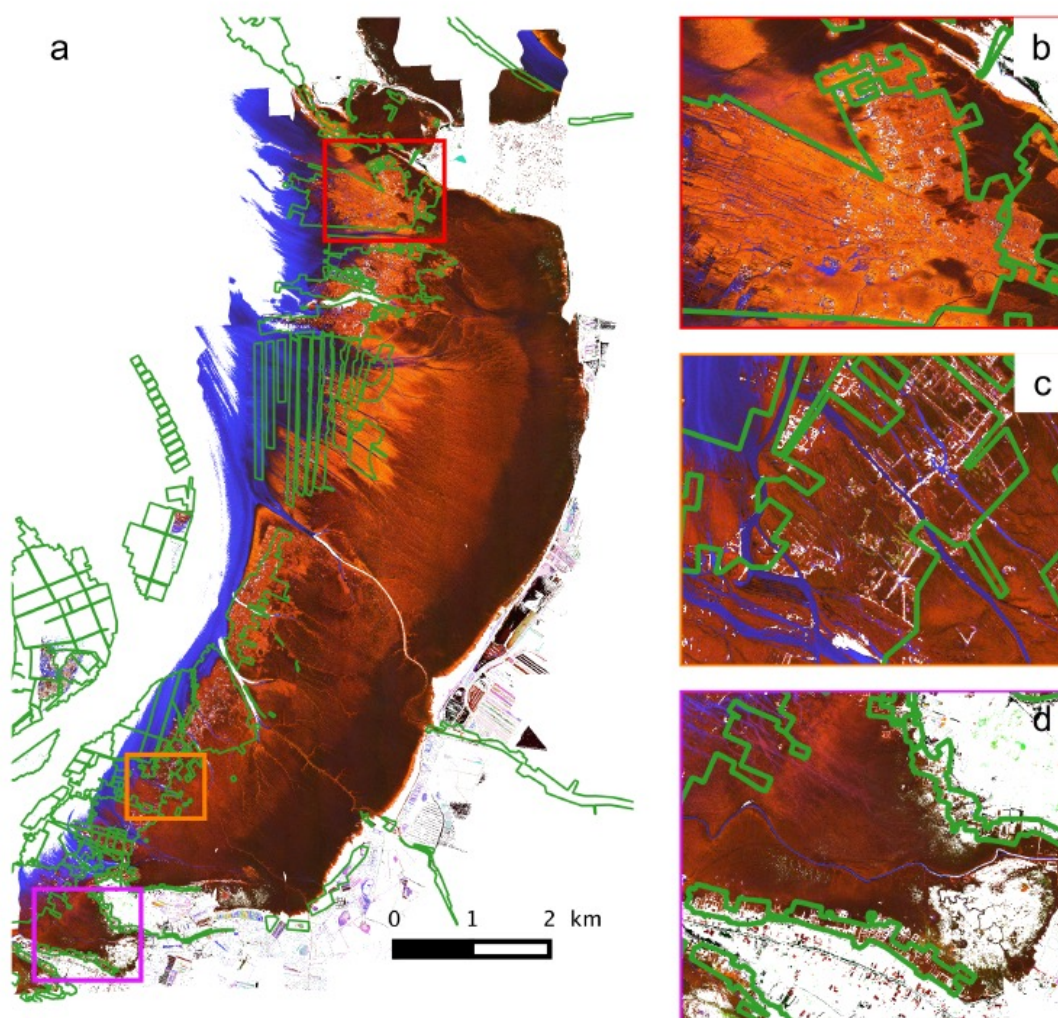
Equation des Indices
$NDVI = \frac{R_{800} - R_{673}}{R_{800} + R_{673}}$
$MPBI = \frac{2 \times R_{586}}{R_{495} + R_{673}} - 1$
$I_{Diatom} = \frac{2 \times R_{600}}{R_{549} + R_{673}} - 1$
$I_{Euglenid} = \frac{2 \times R_{553}}{R_{600} + R_{495}} - 1$



**Figure 18** : Comparaison des spectres de réflectance, a) d'un biofilm microphytobenthique dominé par des diatomées (courbe noire) et d'une macrophyte brune, *Fucus sp.* (courbe grise) ; b) de diatomées (courbe noire) et d'euglènes (courbe grise).

L'utilisation de ces indices a permis de masquer toutes les zones ne correspondant pas à du biofilm. Ces zones apparaissent en blanc sur la carte de diversité, aussi bien sur la vasière qu'en dehors (Figure 19). Par exemple, la végétation terrestre est exclue du traitement, mais également les zostères (Figure 19d). Les tables ostréicoles sont également exclues, ainsi que d'autres supports de macroalgues (Figures 19b et c). Au sein même du biofilm de la vasière de Brouage, la diversité est largement dominée par les diatomées, l'indice  $I_{Diatom}$  étant le plus souvent supérieur à l'indice  $I_{Euglenid}$ . Ceci se voit sur la carte de diversité par la couleur rouge/orange dominante (Figure 19). Cependant sur certaines zones, c'est  $I_{Euglenid}$  qui domine,

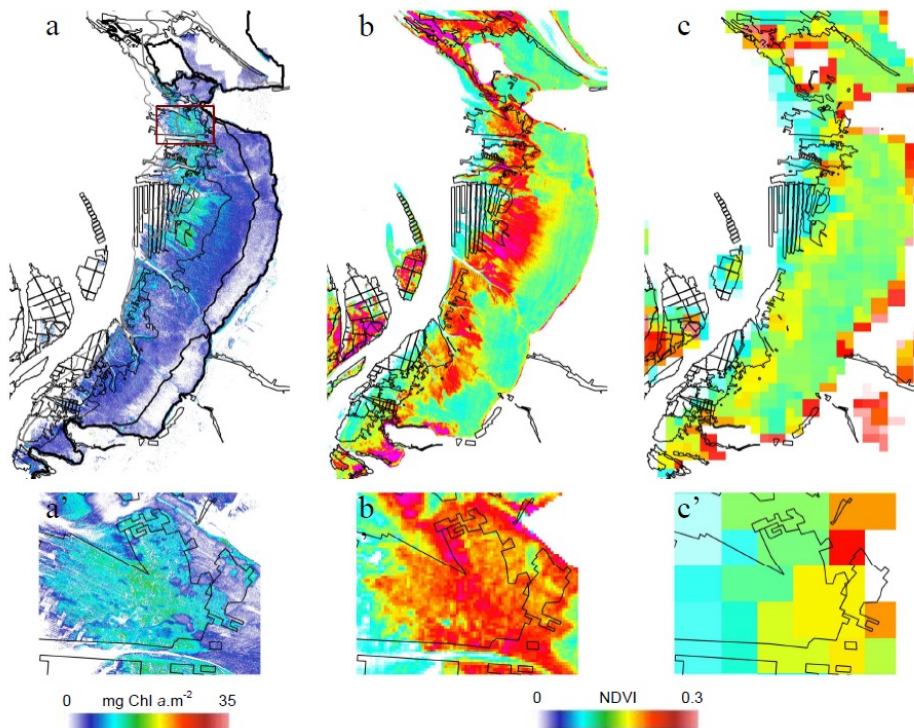
visualisé par la couleur verte. Ces zones sont les parcs du Rocher de Daire ainsi que ceux de la Baie de la grognasse (Figures 6 et 19d) qui sont les seuls sur la vasière de Brouage cartographiée à être utilisés pour l'activité ostréicole de dépôt (cf. 2.1.1, Figure 6).



**Figure 19** : Carte de la diversité micro-algale par télédétection hyperspectrale avec superposition du cadastre ostréicole (lignes vertes). Les indices  $I_{Diatom}$ ,  $I_{Euglenid}$  sont respectivement représentés en rouge et vert. La couleur bleue indique la présence d'eau, la couleur blanche correspond aux zones n'étant pas du biofilm. a) Vasière de Brouage entière ; b) Parcs des Longères ; c) Parcs de la Roche de daire ; d) Herbier de zostères.

## b. Cartographie de la biomasse

Le projet DYCOFEL a donc permis de comparer les cartes de biomasse du microphytobenthos obtenues à partir de différents capteurs : HySpex (Figure 20a et a'), SPOT (Figure 20b et b') et MODIS (Fig 20c et c'). Les images présentées ici ont toutes été acquises au mois de septembre, mais pas durant les mêmes années : 2016 pour HySpex, 2012 pour SPOT et 2015 pour MODIS. Ceci explique les différences de biomasse détectées. En 2015 et 2016, les valeurs sont assez faibles par rapport aux valeurs maximales possibles. En effet, la valeur maximale de NDVI pour du microphytobenthos est connue pour être égale à 0,3, celle en  $mg\ chl\ a.m^{-2}$  est de 35, alors que les valeurs cartographiées atteignent 0,2 en 2015 (MODIS, Figure 20c et c') et 20  $mg\ chl\ a.m^{-2}$  en 2016 (HySpex, Figure 20a et a'). Au contraire, l'image de 2012 (SPOT, Figure 20b et b') présente de fortes biomasses avec de nombreux pixels atteignant la valeur maximale de 0,3. Ces résultats illustrent l'importance de l'utilisation de séries temporelles sur de nombreuses années pour en déduire les tendances intra-annuelles, afin de s'affranchir des variations interannuelles (Figure 10).

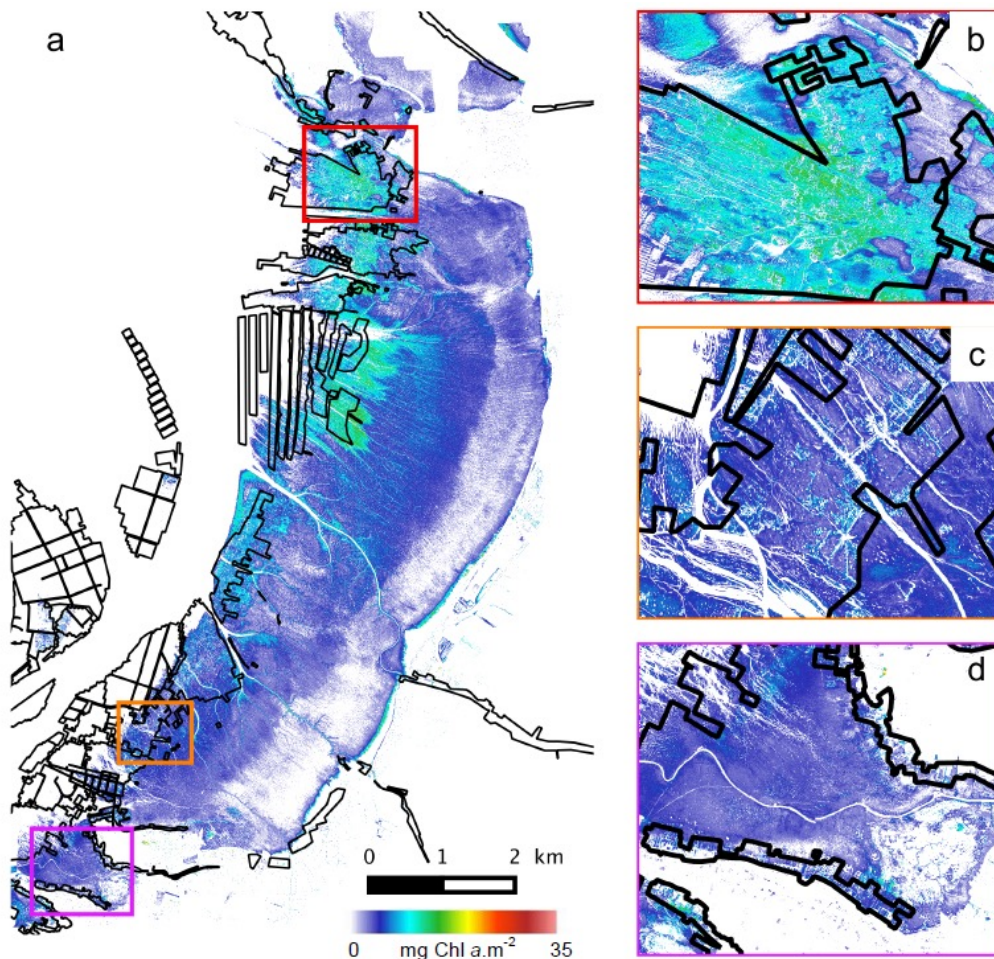


**Figure 20** : Cartes de biomasse du microphytobenthos de la vasière de Brouage issues des images présentées en figure 17. La biomasse est exprimée en mg chl  $a.m^{-2}$  sur la carte HySpex (a et a') et en NDVI sur les cartes SPOT (b et b') et MODIS (c et c').

L'imagerie hyperspectrale est donc la seule technologie permettant la cartographie de la biomasse en l'exprimant en  $mg\ Chl\ a.m^{-2}$ , par l'application du modèle de Kazémipour *et al.* (2012) modifié par Launeau *et al.* (2018). Ce modèle permet de cartographier la biomasse des zones dominées par les diatomées (Figure 21). Les valeurs maximales de biomasse sont de  $20\ mg\ Chl\ a.m^{-2}$ , ce qui est assez faible par rapport à ce qu'on peut cartographier en baie de Bourgneuf par la même technique à la même période. Pour la vasière de Bourgneuf, en septembre, la biomasse peut atteindre  $35\ mg\ Chl\ a.m^{-2}$  (voir carte de biomasse de 2003 à 2013 sur le catalogue des bases de données de l'OSUNA : <http://ids.osuna.univ-nantes.fr/catalogue-de-metadonnees>). Sur les cartes de Brouage, il apparaît une relation forte entre parcs ostréicoles et biomasse de microphytobenthos dans la partie nord. La biomasse atteint les valeurs maximales dans les parcs des Longées (Figure 21b), d'Estrée, St Froult et Platin de Brouage. Dans la partie sud, cette relation est moins flagrante, avec des biomasses plus faibles (Figure 21c). Les parcs du nord sont ceux utilisés pour le captage, alors que ceux du sud sont utilisés pour du demi-élevage (Parcs de Mérignac), de l'élevage à plat et du dépôt (Rocher de Daire, Figure 21c).

Il faut toutefois noter que les parcs au sud n'étaient pas tous découverts lors de la prise d'image, et que cette faible biomasse peut être due à une faible migration des microalgues, en raison de la présence d'eau.

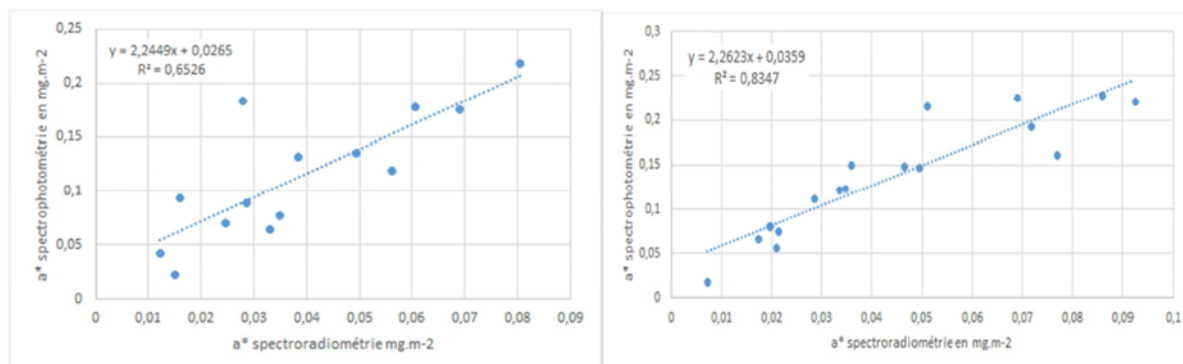




**Figure 21** : Carte de la biomasse des diatomées du microphytobenthos par télédétection hyperspectrale avec superposition du cadastre ostréicole (lignes noires). a) Vasière de Brouage entière ; b) Parcs des Longères ; c) Parcs de la Roche de daire ; d) Herbier de zostères.

### c. Cartographie de la production primaire du microphytobenthos

La cartographie de la biomasse du microphytobenthos exprimée en  $\text{mg chl } a \cdot \text{m}^{-2}$  est une première étape dans l'estimation de la production primaire. La seconde étape est l'estimation de la lumière absorbée par cette biomasse (*i.e.* absorption cross section ou  $a^*$ ), et donc à disposition de la photosynthèse et de la production. Cette estimation a été abordée au cours d'un stage de Master 1 (S. Gaillard, 2015-16, Université de Nantes) dont l'objectif était de comparer les valeurs de  $a^*$  obtenues par télédétection et celles obtenues par spectrophotométrie, qui est la méthode optique standard. Ces mesures ont été effectuées en laboratoire sur 2 espèces du microphytobenthos : *Entomoneis paludosa* et *Biremis lucens*, acclimatées à deux intensités de lumière (faible :  $50 \mu\text{E}$  et forte :  $280 \mu\text{E}$ ). Les résultats de comparaison des valeurs de  $a^*$  obtenues par les deux techniques montrent qu'il existe des relations linéaires significatives entre les deux modes d'estimation, avec des coefficients de détermination respectivement de 0,65 et 0,83 pour *Entomoneis paludosa* et *Biremis lucens* ; l'acclimatation n'engendrant pas de différence significative entre les mesures (Figure 22). Pour les deux espèces testées, la pente de régression est similaire, soit 2,25, indiquant une sous-estimation de la mesure de  $a^*$  par télédétection. Cependant, ce coefficient peut être dû à la diffusion du filtre utilisé pour les mesures en spectrophotométrie. Des mesures supplémentaires doivent être réalisées pour confirmer cette hypothèse et s'assurer de la bonne estimation du  $a^*$  par télédétection.



**Figure 22** : Comparaison des valeurs d'absorption cross section ( $a^*$ ) par télédétection (abscisse) et par spectrophotométrie (ordonnées) pour 2 espèces de diatomées benthiques : (a) *Entomoneis paludosa* et (b) *Biremis lucens*, acclimatées à 2 intensités de lumière (50  $\mu\text{E}$  et 280  $\mu\text{E}$ ).

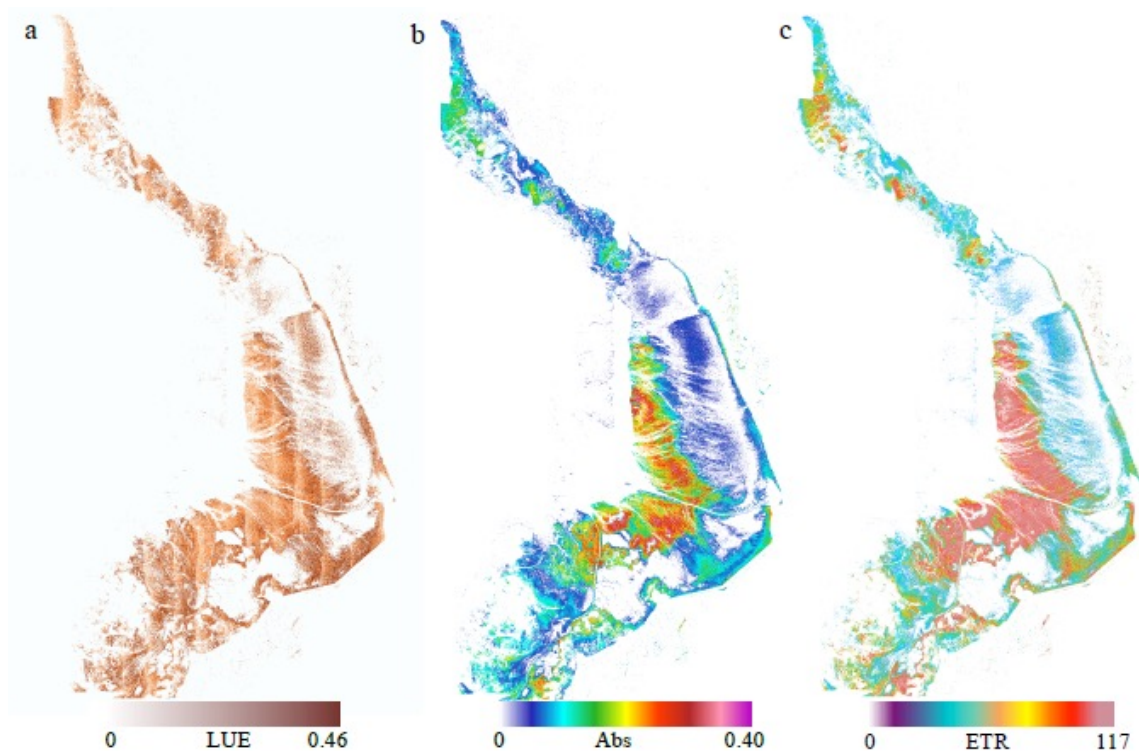
Malgré cette différence, Méléder *et al.* (2018) ont proposé dans le cadre du projet DYCOFEL un indice, le  $\text{MBP}_{\text{LUE}}$ , afin d'estimer la production primaire par télédétection hyperspectrale. Dans un premier temps, l'application de cet indice a été faite sur une image de la baie de Bourgneuf acquise le 17 octobre 2016 (projet OMBPI). A partir de l'indice  $\text{MBP}_{\text{LUE}}$ , il est possible d'en estimer l'efficacité photosynthétique ou Light Use Efficiency (LUE) selon l'équation (1). Ce paramètre photosynthétique permet alors le calcul de l'ETR (Taux de Transfert d'Electron) qui est un proxy de la production primaire selon l'équation (2) :

$$\text{LUE} = 0.0493 \text{MPB}_{\text{LUE}} + 0.3175 \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{ETR} = \text{LUE} \times a^* \times E \quad \text{Eq. 2}$$

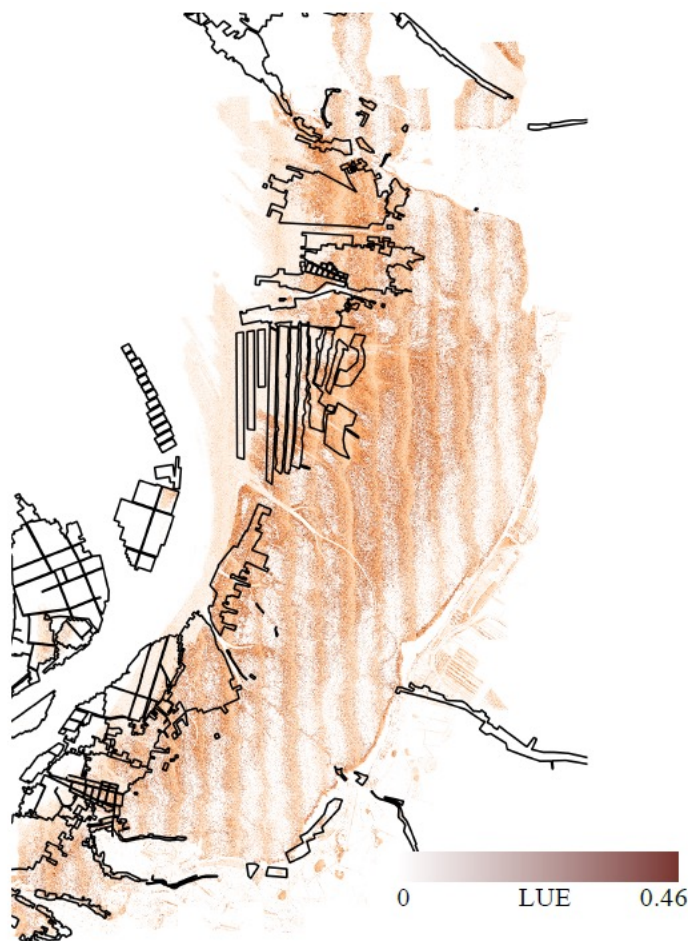
Avec  $a^*$  (*i.e.* absorption cross section), l'absorption de la lumière par le biofilm, et  $E$ , la lumière incidente.

Le  $a^*$  est lui aussi cartographié par télédétection à partir du modèle PBOM (Kazémipour *et al.*, 2011), dont un des paramètres de sortie est le coefficient d'absorption. Les résultats obtenus pour la baie de Bourgneuf le sont pour une intensité de lumière de 1500  $\mu\text{mol photon.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (Figure 23).



**Figure 23** : Cartographie de la production primaire par télédétection hyperspectrale, cas de la Baie de Bourgneuf. a) Cartographie de la LUE d'après Méléder *et al.* (2018) ; b) Cartographie de l'absorption d'après Kazemipour *et al.* (2012) ; c) Cartographie de l'ETR selon l'équation 2 pour une intensité lumineuse de 1500  $\mu\text{mol photon.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Cette méthodologie a été appliquée à l'image de la vasière de Brouage. Cependant, les résultats sont moins satisfaisants (Figure 24) que ceux obtenus en baie de Bourgneuf. La carte de LUE est très bruitée et ce bruit est à l'origine d'une mauvaise estimation de l'ETR (résultats non présentés). Ceci montre la nécessité d'une amélioration du traitement des images, qui est actuellement encore en cours de réalisation.



**Figure 24** : Carte de la LUE de la vasière de Brouage par télédétection hyperspectrale. Cette carte est trop bruitée pour permettre la cartographie de l'ETR.

**En conclusion**, cet axe du projet DYCOFEL a été à l'origine de nombreuses avancées sur la compréhension de la dynamique du microphytobenthos dans les vasières intertidales, et ceci en suivant plusieurs approches.

Une approche temporelle a été menée dans le cadre du suivi d'images MODIS entre 2000 et 2015. Ce suivi montre que les biomasses de microphytobenthos sont plus importantes dans le bassin de Marennes-Oléron de la fin d'hiver jusqu'au début du printemps, puis qu'elles diminuent graduellement jusqu'à l'automne, au cours duquel une légère augmentation peut se produire. Ces variations d'ordre temporel sont très probablement à mettre en relation avec les changements saisonniers de paramètres abiotiques (*i.e.* lumière, température, concentrations en sels nutritifs) et sont vraisemblablement peu liées à de potentiels changements d'usages au cours de l'année. La production du microphytobenthos est en effet réduite en période estivale, en relation avec des intensités lumineuses très fortes et des températures élevées, induisant une photo-/thermo-inhibition chez les microalgues. L'utilisation de la série temporelle obtenue pour une mise en comparaison avec les changements d'usages à l'échelle du bassin de Marennes-Oléron a montré ses limites, celles-ci étant très majoritairement liées à l'absence de ruptures marquées dans les usages malgré les crises qui ont affecté la profession sur la période 2000-2015, et en raison de la grande diversité des modes d'adaptation des conchyliculteurs, dans le temps et dans l'espace. Des changements d'usages se sont en effet opérés sur cette période, mais à une échelle fine et de manière très dispersée à l'échelle du bassin de Marennes-Oléron, d'où une grande difficulté à opérer des changements d'échelle (*i.e.* du parc ostréicole vers l'écosystème) pour la détermination de potentiels effets de rétroaction des changements d'usages sur la biomasse de

microphytobenthos.

Deux approches complémentaires ont été développées dans le projet pour palier à ce manque : une approche dynamique, basée sur un modèle de production, et une approche spatiale à très haute résolution, basée sur la télédétection hyperspectrale.

L'approche dynamique était prévue dès le début du projet et visait à construire des modèles de production afin d'étudier le fonctionnement du socio-écosystème en se basant sur les flux et non plus sur les stocks, tout particulièrement en relation avec le fait qu'il est bien connu que la biomasse de microphytobenthos est très rapidement mobilisée (soit par remise en suspension dans la colonne d'eau, soit suite à sa consommation par la faune benthique). La construction de tels modèles de production a été une première dans le cadre du projet DYCOFEL et elle est très prometteuse pour les années à venir. Le développement d'un tel modèle à l'échelle écosystémique permet en effet de décrire le fonctionnement du microphytobenthos en se basant sur une approche dynamique, et non plus statique (telle que la biomasse), ce qui est particulièrement important pour l'étude d'un compartiment aussi dynamique que le microphytobenthos (*i.e.* très forte productivité, remise en suspension biquotidienne, prédation par les consommateurs). A l'avenir, de tels modèles pourraient donc être confrontés à des modèles—également dynamiques—de changement d'usages, sous réserve que ces changements d'usages puissent être bien identifiables, tant à l'échelle spatiale qu'à l'échelle temporelle. La résolution spatiale des modèles de production de microphytobenthos reste néanmoins à améliorer car la résolution temporelle (*i.e.* SPOT) ou spatiale (*i.e.* MODIS) des images reste encore trop limitée.

L'approche spatiale à très haute résolution permet de combler les limites liées à la plus faible résolution spatiale des images satellitaires actuelles (*i.e.* SPOT, mais surtout MODIS). Cette approche a pu être développée grâce à des financements complémentaires obtenus en parallèle de la réalisation du projet DYCOFEL. Cette approche, basée sur la télédétection hyperspectrale, permet de travailler à l'échelle écosystémique avec une précision très fine, ce qui permet ainsi de réaliser facilement des changements d'échelle. Il est ainsi possible, sur une même image, de passer de la description de processus très fins (à l'échelle de la dizaine de m<sup>2</sup>, par exemple des changements d'usages) à la description de tendances à l'échelle globale. Cette approche permet donc une cartographie plus précise, permettant de mettre en évidence des interactions spatiales entre la présence de parcs ostréicoles et la présence de biofilms, ce qui était un objectif majeur du projet. Nous avons ainsi pu mettre en évidence une relation forte entre parcs ostréicoles et biomasse de microphytobenthos dans la partie nord de la vasière de Brouage, les parcs situés au nord étant plus utilisés pour le captage. La compréhension des interactions fines entre usages et biomasse de microphytobenthos peut donc être largement améliorée grâce à la télédétection hyperspectrale.

L'avenir repose donc, pour ce qui est de la compréhension des interactions usagers-production de ressources trophiques, sur la construction de modèles de production globaux, construits grâce à des cartes à haute résolution spatiale basées sur l'imagerie satellitaire hyperspectrale. Ces modèles mêleront ainsi deux approches complémentaires : l'imagerie hyperspectrale (*e.g.* via des drones) et la modélisation de la production primaire. La mise en œuvre de telles approches nécessitera de lever certains verrous méthodologiques, liés notamment au développement d'algorithmes pour le traitement des images.

Ces résultats font l'objet de trois articles :

Méléder V., Jesus B., Barnett A., Barillé L., Lavaud J., 2018. Microphytobenthos primary production estimated by hyperspectral reflectance. PLoS One 13, e0197093.

Méléder V., Savelli R., Barnett A., Polsenaere P., Gernez P., Cugier P., Lerouxel A., Le Bris A., Dupuy C., Le Fouest V., Lavaud J. Mapping the intertidal microphytobenthos gross

primary production. Part I: coupling multispectral remote sensing and physical modelling. Soumis en décembre 2019 à *Frontiers in Marine Science*.

Savelli R., Méléder V., Cugier P., Polseneare P., Dupuy C., Lavaud J., Barnett A., Le Fouest V. Mapping the intertidal microphytobenthos gross primary production. Part II: merging remote sensing and physical-biological coupled modelling. En révision pour *Frontiers in Marine Science*.

### 2.3. Axe 3 : Analyse intégrée des évolutions du socio-écosystème

Benoit Lebreton (coord.), Audrey Rivaud (coord.), Nicolas Bécu, Jean Prou

#### 2.3.1. La caractérisation des effets de rétroaction de l'ostréiculture sur le microphytobenthos

##### a. Choix des hypothèses

Plusieurs hypothèses d'évolution des pratiques ostréicoles ont été testées sur la série d'images MODIS, en relation avec les « arrangements spatiaux » mis en évidence dans le cadre de l'axe 1 du projet, et décrits en 2.1.1.b. Ces tests s'appuient sur l'hypothèse qu'une fluctuation des biomasses ostréicoles et de leur distribution spatiale liée à un changement d'usage influent sur la distribution spatio-temporelle et la biomasse du biofilm microphytobenthique. Ainsi, une augmentation de la biomasse d'huîtres sur l'estran entraînerait un accroissement de la biomasse de microphytobenthos visible sur les images, et, à l'inverse, une diminution des huîtres cultivées induirait une réduction de la biomasse des microalgues benthiques.

Pour évaluer de tels effets, des zones de vasière localisées à proximité des bancs ostréicoles ont été extraites des séries temporelles d'images MODIS calibrées en valeurs de NDVI. Selon les secteurs concernés, la résolution spatiale des images MODIS peut être un facteur limitant. En effet, les zones d'extraction doivent couvrir plusieurs dizaines de pixels MODIS, ce qui exclut de ce fait certains bancs comme celui de Lamouroux, dont la superficie d'une centaine d'hectares apparaît trop réduite (Figures 6 et 7). De même, les surfaces extraites doivent concerner des zones de vasière "nue", non recouverte par de la zostère ou par les parcs ostréicoles, où la présence de macroalgues recouvrant les poches ostréicoles induit un risque de confusion avec la présence de microphytobenthos. La vasière de Brouage et celle du banc de Bourgeois, localisée sur la rive nord de la Seudre, correspondent à ces exigences et ont été choisies pour tester 4 hypothèses d'évolution d'usage des pratiques ostréicoles.

Ces hypothèses, reprises dans la figure 25, sont décrites ci-dessous, par secteur géographique :

##### **Brouage Sud**

###### ➤ **Hypothèse 1 : Abandon et recolonisation des parcs de dépôt**

Cette hypothèse s'appuie sur 3 périodes :

- l'utilisation des parcs de dépôt de manière classique jusqu'à la crise du naissain en 2008.
- leur abandon sur la période 2009-2011.
- leur recolonisation depuis 2012 avec la reprise des stocks.

*Cette évolution de pratique concerne le banc du Rocher de Daire localisé dans le secteur sud de Brouage (Figure 26).*

### ➤ **Hypothèse 2 : Abandon des parcs à plat**

Cette hypothèse concerne les périodes suivantes :

- une présence importante de cultures à plat jusqu'au moment de la tempête de 1999.
- l'abandon progressif de la culture à plat sur la période 2000-2011, accéléré par la crise en 2008.
- la réutilisation des parcs à plat depuis 2008, avec la reprise des stocks en 2012.

*Ces changements ciblent les parcs du Craze, de Martin, du Perron et de Charret (Figure 26).*

### **Brouage Nord**

#### ➤ **Hypothèse 3 : Augmentation de la pose de collecteurs dans les zones de captage**

Cette hypothèse s'appuie sur la chronologie suivante :

- une utilisation classique des zones de captage jusqu'à la crise du naissain de 2008.
- une augmentation de la pose de collecteurs pour pallier les pertes sur la période 2009-2011.
- un retour à la normale et un chargement classique des collecteurs depuis 2012.

*Ces modifications d'usage concernent les zones de captage localisées à l'embouchure de la Charente (bancs de Saint-Froult, d'Estrée et Les Longées) (Figure 26).*

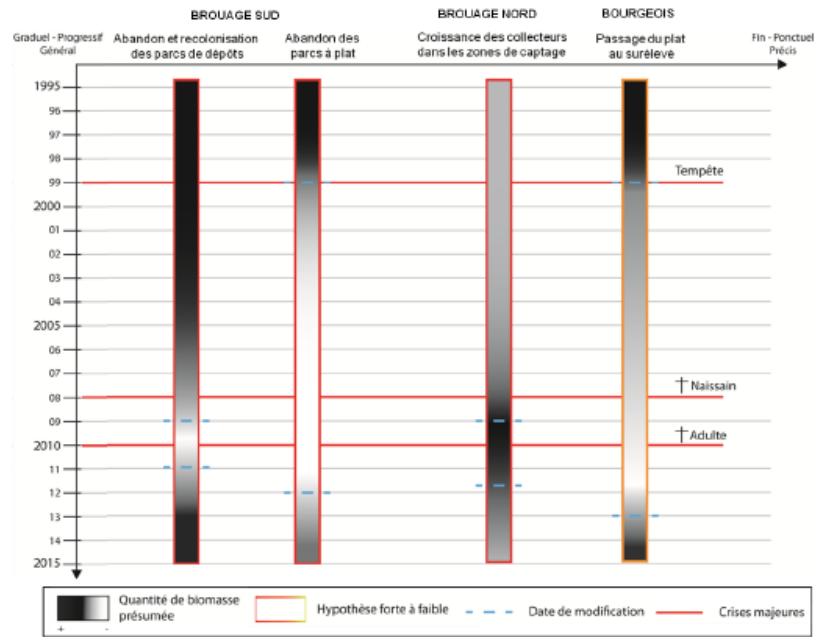
### **Bourgeois**

#### ➤ **Hypothèse 4 : Changement de technique : passage du plat au surélevé**

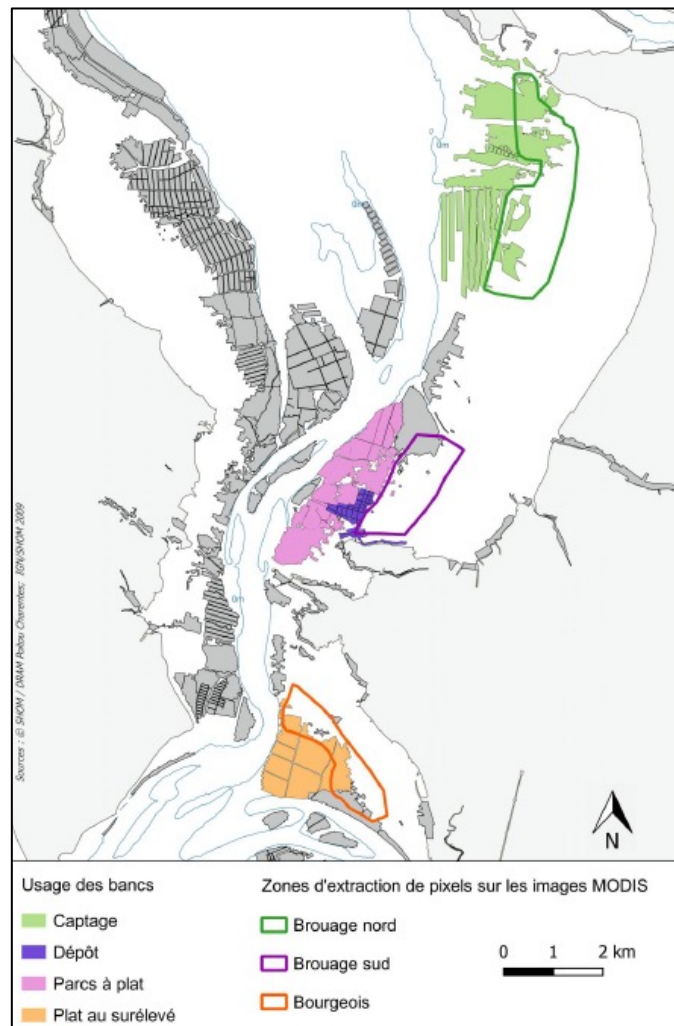
Cette hypothèse concerne le banc de Bourgeois pour les périodes suivantes :

- une présence importante des cultures à plat jusqu'au moment de la tempête de 1999.
- un abandon progressif de la zone à plat sur la période 2000-2013 avec une forte accélération à partir de 2008.
- un passage de la culture à plat au surélevé à partir de 2013, avec une recolonisation du banc par les ostréiculteurs suite au changement de technique.

Les deux hypothèses d'évolution de pratiques localisées au sud de la vasière de Brouage ont été testées par l'extraction d'une seule zone de pixels car les bancs concernés sont présents dans le même secteur géographique (Figure 26). De plus, nous faisons l'hypothèse que les bancs concernés suivraient les mêmes tendances, avec une diminution de biomasse suite aux mortalités entre 2009 et 2011 et un retour à la normale à partir de 2012 (Figure 25). Deux zones supplémentaires ont été extraites à partir des images MODIS dans le secteur nord de Brouage et à proximité du banc de Bourgeois afin de tester les hypothèses 3 et 4 formulées pour ces secteurs ostréicoles (Figure 25).



**Figure 25** : Schématisation des quatre changements de pratiques ostréicoles retenus pour tester l'effet des interactions entre les changements de pratiques et les changements de biomasse de microphytobenthos.



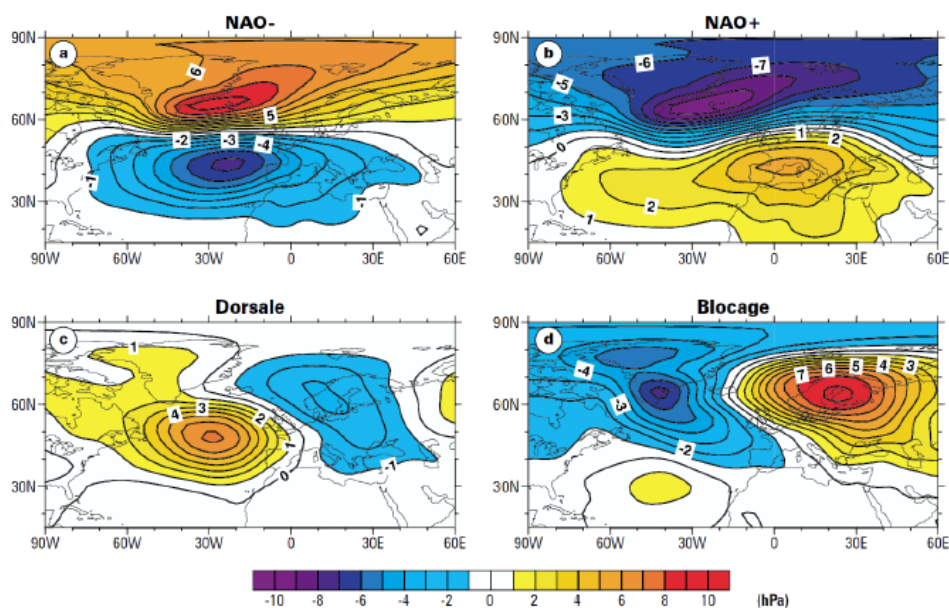
**Figure 26** : Evolution d'usage des bancs ostréicoles dans le bassin de Marennes-Oléron et zones extraites sur la série temporelle MODIS pour tester ces hypothèses évolutives.



## b. Choix des années de comparaison

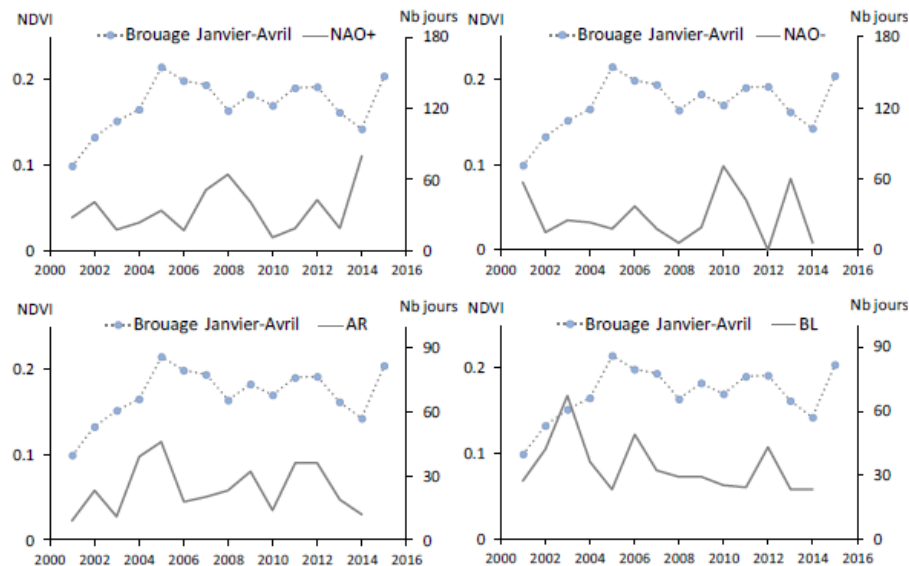
Dans un premier temps, les valeurs de NDVI ont été extraites de l'ensemble des images MODIS de la série temporelle 2000-2015 et comparées par grande période d'évolution de pratique ostréicole. Puis, dans un second temps, seules les années similaires en termes de climatologie ont été comparées entre elles. En effet, le microphytobenthos est sensible aux variations environnementales et notamment aux conditions climatiques induisant des changements de température (Van der Wal *et al.*, 2010 ; Brito *et al.*, 2013) ou d'éclairement (Serôdio *et al.*, 2006 ; Coelho *et al.*, 2011). Ces conditions environnementales sont ainsi susceptibles d'influer sur les variations interannuelles du compartiment microphytobenthique et de masquer les effets liés aux changements ostréicoles.

Dans la région atlantique nord européenne, quatre grands régimes climatiques expliquent les variations de température hivernale (Figure 27). Deux de ces régimes sont liés à l'oscillation nord-atlantique (NAO pour *North Atlantic Oscillation*). Ce phénomène désigne les variations des champs de pression atmosphérique dans la région située entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande (Hurrell *et al.*, 2003). Le NAO est en phase positive (notée NAO+, Figure 27a) lorsqu'il existe une différence de pression importante liée à l'activité simultanée de ces deux pôles. Il est en phase négative (notée NAO-, Figure 27b) lorsque cette différence est faible. Le régime NAO+ induit une intensification des flux océaniques d'ouest, amenant des hivers doux et humides en Europe du Nord, et une période sèche en région méditerranéenne (Cassou, 2004). Les deux autres régimes climatiques sont les régimes de dorsale atlantique (caractérisée par le déplacement de l'anticyclone des Açores au milieu de l'océan, Figure 27c) et de blocage (persistance anticyclonique en région scandinave, Figure 27d).



**Figure 27** : Anomalies de pression de surface (hPa) illustrant les quatre régimes climatiques de la région atlantique nord-Europe. **a)** Régime NAO-. **b)** Régime NAO+. **c)** Régime de dorsale. **d)** régime de blocage. D'après Cassou (2004).

Des tests de corrélation réalisés entre les valeurs moyennes de NDVI extraites des images MODIS et le nombre de jours attribués annuellement à ces quatre régimes climatiques ont été réalisés (Figure 28 et Tableau 5). Au final, les années similaires en termes de climatologie ont été identifiées à l'aide de l'indice NAO+. Cet indice est en effet fréquemment utilisé dans la littérature en tant que variable explicative de l'évolution de compartiments biologiques. Une corrélation positive a notamment été établie entre l'indice NAO+ et les biomasses phytoplanctoniques (Beaugrand & Reid, 2003).

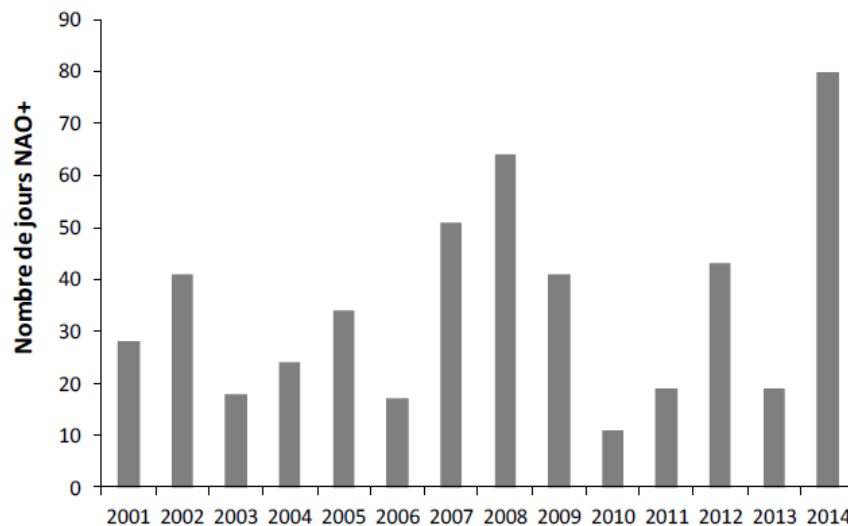


**Figure 28** : Evolution des valeurs moyennes de NDVI calculées entre janvier et avril pour la vasière de Brouage et du nombre de jours attribués aux régimes climatiques hivernaux NAO+, NAO-, Atlantique Ridge (AR) et Blocage (BL).

**Tableau 5** : Résultats des tests de corrélation (test de Pearson) obtenus entre le NDVI extrait des images MODIS et le nombre de jours attribués aux 4 régimes climatiques hivernaux.

Indice climatique	Coefficient de corrélation (R)
NAO+	0,01 (p=0,69)
NAO-	0,05 (p=0,46)
AR	0,41 (p<0,05)
BL	0,001 (p=0,9)

L'occurrence en nombre de jours du régime NAO+ est calculée chaque année pour la période allant de décembre à mars (Figure 29). Pour tester les 4 hypothèses de modification de pratiques ostréicoles, seules les années analogues en termes de nombre de jours attribués au régime NAO+ (Figure 29) et associées à une phase de changement d'usage (Figure 26) ont été comparées. Ainsi, pour les hypothèses liées aux secteurs nord et sud de Brouage, ce sont les années 2007 et 2008 (51 et 64 jours de phase NAO+) qui ont été comparées à l'année 2009 (41 jours de phase NAO+) et à l'année 2012 (43 jours de phase NAO+). Pour l'hypothèse liée au banc de Bourgeois (qui suppose une recolonisation du banc en 2013), ce sont les années 2010 et 2011 (11 et 19 jours de phase NAO+) qui ont été comparées à l'année 2013 (19 jours de phase NAO+).

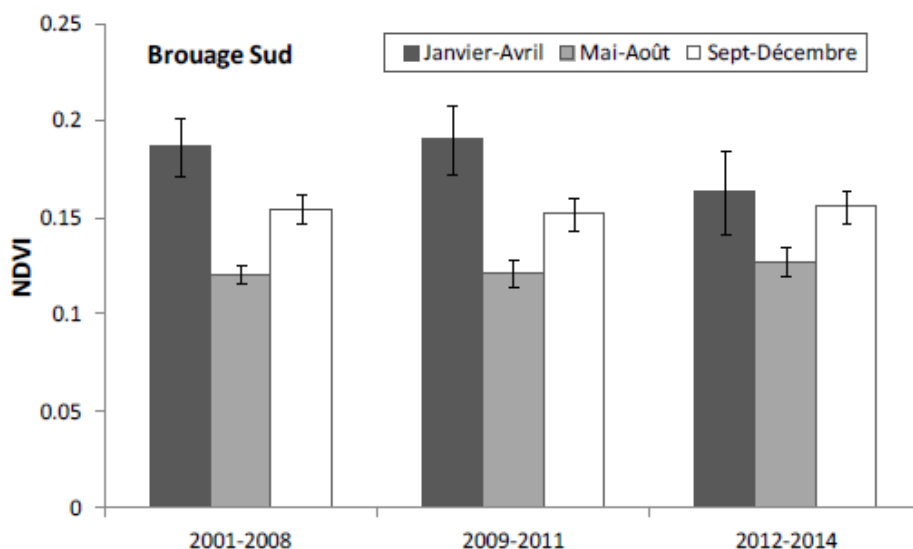


**Figure 29** : Nombre de jours attribués au régime climatique NAO+ entre 2001 et 2014. Source des données : Christophe Cassou (CERFACS).

En plus de potentielles variations interannuelles liées aux changements de régime climatique, les biomasses des peuplements microphytobenthiques du bassin de Marennes-Oléron présentent des variations saisonnières, comme montré sur la Figure 10. Aussi, pour s'affranchir au maximum de la variabilité induite par ces phénomènes saisonniers, les années sont comparées par période saisonnière : janvier-avril, mai-août et septembre-décembre.

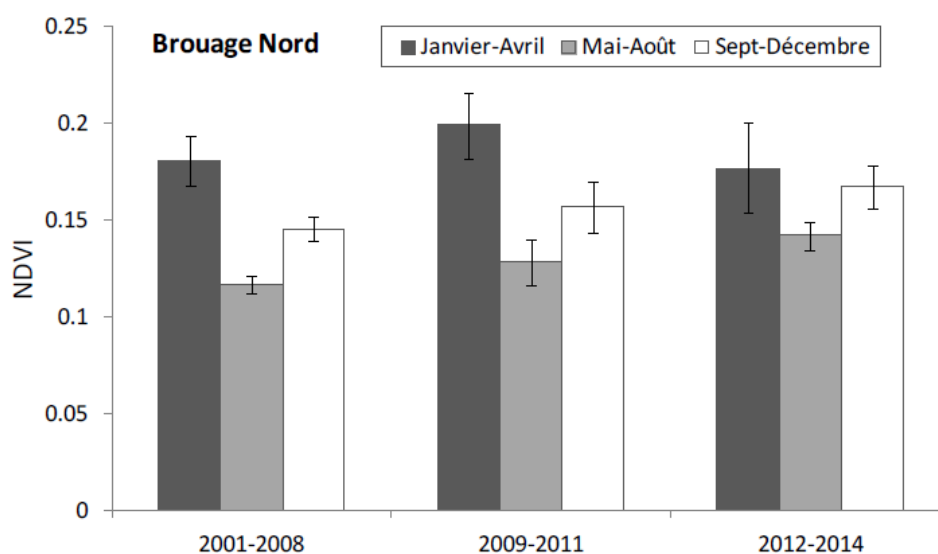
### c. Comparaisons sur l'ensemble des années de la période d'acquisition MODIS

La figure 30 présente l'évolution des valeurs moyennes de NDVI extraites du secteur sud de la vasière de Brouage afin de tester les hypothèses 1 et 2 (Figures 25 et 26). Ces hypothèses sont associées à des prélèvements dans les parcs de dépôt et à l'abandon de cultures à plat sur la période 2009-2011, suivi d'un retour à la normale à partir de l'année 2012. Ces modifications de pratiques culturales supposent une diminution des biomasses microphytobenthiques entre 2009 et 2011. L'évolution des valeurs moyennes de NDVI ne suit cependant pas cette tendance (Figure 30). Entre janvier et avril, il n'y a pas de différences des valeurs de NDVI pour les périodes 2001-2008 et 2009-2011 (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,18$ ). On observe même une diminution sur la période 2012-2014 (NDVI = 0,16), alors que la reprise de l'activité et l'augmentation des stocks d'huîtres en 2012 aurait dû se traduire par une hausse du NDVI si l'hypothèse d'une stimulation de la biomasse microphytobenthique liée à la présence des huîtres s'avérait exacte. Pour les 2 autres périodes saisonnières, les valeurs de NDVI ne sont pas significativement différentes quelles que soient les années (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ). Le NDVI avoisine une moyenne de 0,12 en mai-août et une moyenne de 0,15 en septembre-décembre.



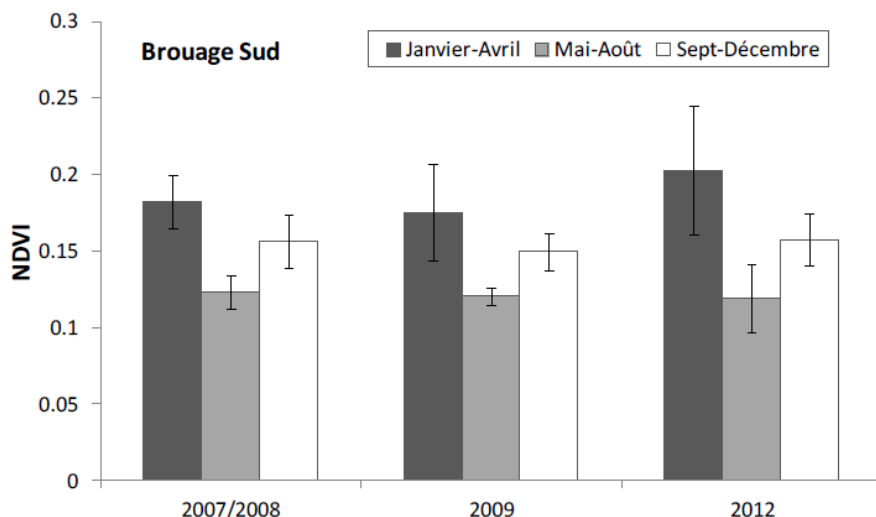
**Figure 30** : Comparaison des valeurs moyennes de NDVI extraites de la série MODIS afin de tester les hypothèses 1 et 2 de modification des pratiques ostréicoles (secteur sud de Brouage). Ces valeurs sont calculées à partir de l'ensemble des images acquises entre 2001 et 2014. Les moyennes sont représentées avec leur intervalle de confiance à 95 %.

Les variations moyennes de NDVI au nord de la vasière de Brouage (test de l'hypothèse 3) sont présentées figure 31. Dans ce secteur ostréicole, l'augmentation entre 2009 et 2011 de la charge en collecteurs et donc de la biomasse d'huîtres cultivées pourrait avoir induit un développement microphytobenthique plus important au cours de cette période qu'au cours des autres années. Cette tendance est confirmée sur la période janvier-avril. Le NDVI passe en effet d'une valeur moyenne de 0,18 pour les années 2001-2008 à une valeur de 0,2 entre 2009 et 2011 pour repasser à une valeur moyenne de 0,18 sur la période 2012-2014. Les différences entre ces valeurs moyennes ne sont cependant pas significatives (ANOVA à 1 facteur,  $p = 0,16$ ). Pour les deux autres périodes saisonnières, l'indice augmente au cours des années testées. Il passe ainsi progressivement d'une valeur de 0,15 à 0,17 pour la période mai-août et d'une valeur de 0,12 à 0,14 pour la période septembre-décembre. Pour ces deux périodes, les différences entre les valeurs moyennes de NDVI sont significatives (ANOVA à 1 facteur,  $p < 0,05$ ).



**Figure 31** : Comparaison des valeurs moyennes de NDVI extraites de la série MODIS afin de tester l'hypothèse 3 de modification des pratiques ostréicoles (secteur nord de Brouage). Ces valeurs sont calculées à partir de l'ensemble des images acquises entre 2001 et 2014. Les moyennes sont représentées avec leur intervalle de confiance à 95 %.

La figure 32 présente l'évolution des valeurs moyennes de NDVI extraites au niveau du banc de Bourgeois (hypothèse 4). L'hypothèse liée à ce secteur ostréicole suppose une recolonisation du banc liée à un changement de pratique de culture (passage de la culture à plat au surélevé) à partir de l'année 2013, ce qui aurait pu induire une augmentation des biomasses microphytobenthiques. Les résultats obtenus varient selon les périodes d'analyse. Une diminution de l'indice est ainsi constatée pour la période janvier-avril entre les années 2001-2012 (moyenne de NDVI égale à 0,18) et l'année 2013 (moyenne de NDVI égale à 0,14) (test de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). Sur la période mai-août, les moyennes de NDVI sont stables (test de Mann-Whitney,  $p = 0,78$ ). L'indice ne présente pas non plus de variation significative sur la période septembre-décembre (test de Mann-Whitney,  $p = 0,75$ ).

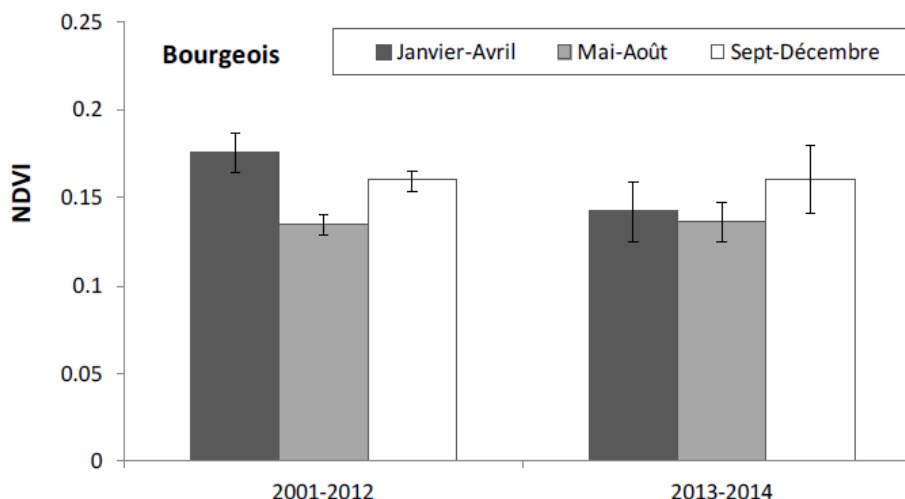


**Figure 32** : Comparaison des valeurs moyennes de NDVI extraites de la série MODIS afin de tester l'hypothèse 4 de modification des pratiques ostréicoles (banc de Bourgeois). Ces valeurs sont calculées à partir de l'ensemble des images acquises entre 2001 et 2014. Les moyennes sont représentées avec leur intervalle de confiance à 95 %.

#### d. Comparaisons sur des années similaires en termes de climatologie

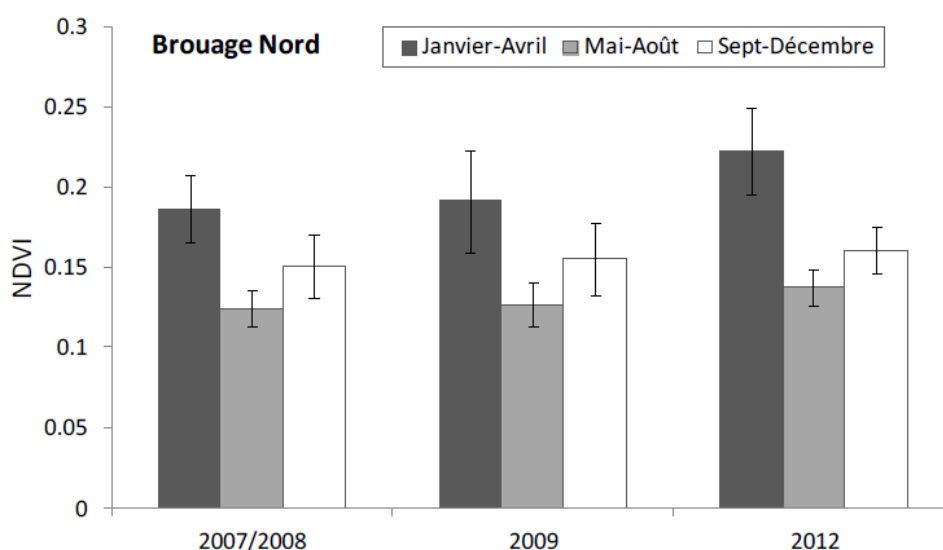
Les figures 33, 34 et 35 présentent l'évolution des valeurs moyennes de NDVI extraites des images MODIS pour tester les hypothèses 1 à 4 sur des années similaires en termes d'indice NAO+ (Figure 28).

La figure 33 présente l'évolution des valeurs moyennes de NDVI au sud de la vasière de Brouage (test des hypothèses 1 et 2). Sur la période janvier-avril, les variations de NDVI suivent la tendance attendue par la formulation des hypothèses de modification de pratiques ostréicoles, à savoir une diminution des biomasses microalgales sur la période 2009-2011. Le NDVI passe en effet d'une valeur moyenne de 0,18 pour les années 2007-2008 à une valeur de 0,17 pour l'année 2009. Il augmente ensuite jusqu'à 0,2 pour l'année 2012. Ces différences sont néanmoins trop faibles pour être significatives (ANOVA à 1 facteur,  $p = 0,4$ ). Pour les deux autres périodes saisonnières, les valeurs moyennes de NDVI restent sensiblement les mêmes selon les années testées. Pour la période mai-août, le NDVI oscille entre 0,15 (année 2009) et 0,16 (années 2007-2008 et 2012) (ANOVA à 1 facteur,  $p = 0,15$ ). Pour la période septembre-décembre, la moyenne extraite est identique sur l'ensemble des années (NDVI = 0,12).



**Figure 33** : Comparaison des valeurs moyennes de NDVI extraites de la série MODIS afin de tester l'hypothèse 3 de modification des pratiques ostréicoles (secteur sud de Brouage). Ces valeurs sont moyennées sur des années similaires en terme d'indice NAO+. Les moyennes sont représentées avec leur intervalle de confiance à 95 %.

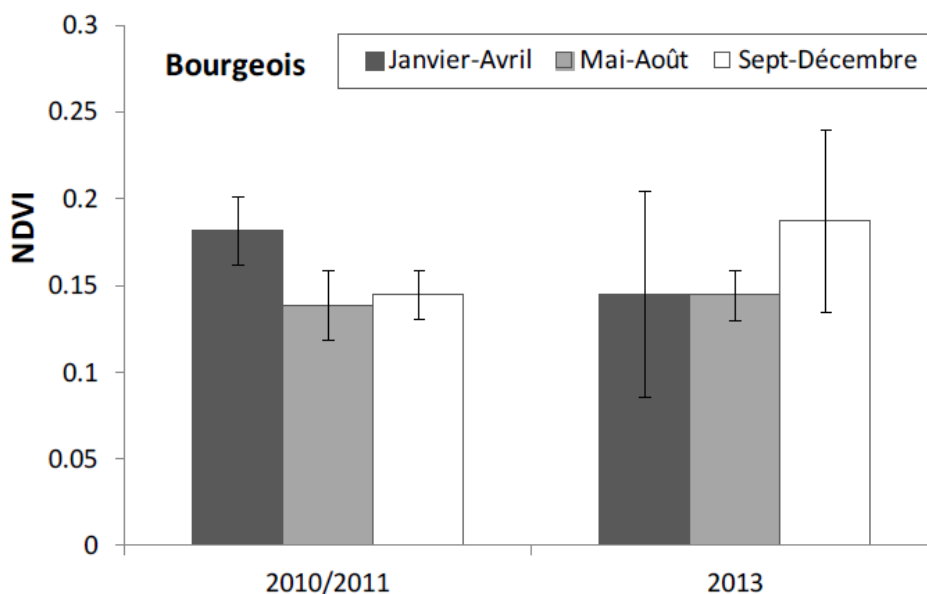
Les variations moyennes de NDVI au nord de la vasière de Brouage (hypothèse 3) sont présentées figure 34. Dans ce secteur ostréicole, l'augmentation de la charge en collecteurs entre 2009 et 2011 induirait un développement microphytobenthique plus important au cours de cette période que les autres années. L'analyse des images MODIS ne permet cependant pas de valider cette hypothèse. Sur la période janvier-avril, les valeurs moyennes de NDVI augmentent progressivement au cours des années étudiées : l'indice passe ainsi d'une valeur de 0,18 pour les années 2007-2008 à une valeur de 0,19 pour l'année 2009 et à une valeur de 0,22 pour l'année 2012. Les différences entre ces valeurs moyennes de NDVI ne sont pas significatives (ANOVA à 1 facteur,  $p = 0,23$ ). Les variations de l'indice sont moins nettes sur les autres saisons. Sur la période mai-août le NDVI moyen varie entre 0,12 (années 2007-2008 et 2009) et 0,13 (année 2012) tandis que pour septembre-décembre, il varie entre 0,15 (années 2007-2008 et 2009) et 0,16 (année 2012). Ces différences ne sont pas significatives (ANOVA à 1 facteur,  $p = 0,25$  et  $p = 0,66$ ).



**Figure 34** : Comparaison des valeurs moyennes de NDVI extraites de la série MODIS afin de tester les hypothèses 1 et 2 de modification des pratiques ostréicoles (secteur nord de Brouage). Ces valeurs sont moyennées sur des années similaires en termes d'indice NAO+. Les moyennes sont représentées avec leur intervalle de confiance à 95 %.

La figure 35 présente l'évolution des valeurs moyennes de NDVI extraites au niveau du banc de Bourgeois (hypothèse 4). Dans ce secteur, les changements de pratique ostréicole

pourraient avoir favorisé le développement microphytobenthique à partir de 2013. Les résultats obtenus varient selon les périodes d'analyse. Néanmoins, pour la période janvier-avril, les moyennes de NDVI sont stables entre les années 2010-2011 (moyenne de NDVI égale à 0,18) et l'année 2013 (moyenne de NDVI égale à 0,14) (test de Student,  $p = 0,2$ ). Il n'existe pas non plus de différences visibles pour la période mai-août avec une valeur moyenne de NDVI égale à 0,14 sur l'ensemble des années (test de Student,  $p = 0,66$ ). Une augmentation de l'indice est constatée sur la période septembre-décembre avec une valeur moyenne de NDVI de 0,15 en 2010-2011 et une valeur moyenne de 0,19 en 2013 (test de Student,  $p < 0,05$ ).



**Figure 35** : Comparaison des valeurs moyennes de NDVI extraites de la série MODIS afin de tester l'hypothèse 4 de modification des pratiques ostréicoles (banc de Bourgeois). Ces valeurs sont moyennées sur des années similaires en termes d'indice NAO+. Les moyennes sont représentées avec leur intervalle de confiance à 95 %.

**En conclusion**, si les prémices d'un rapport entre présence d'huîtres—et donc de parcs ostréicoles—et biomasse plus importante de microphytobenthos semble être mis en avant grâce à l'imagerie hyperspectrale (*cf.* 2.2.3), la validation d'une telle relation, et des relations de cause à effets, restent à développer. Le travail réalisé à l'échelle temporelle en fonction des différents scénarios grâce aux séries d'images MODIS ne permet pas de définir de relation claire entre les changements d'usages observés et un changement de biomasse de microphytobenthos. Une des raisons majeures pouvant expliquer cette absence peut être liée à des problèmes de changement d'échelle, à savoir le passage de l'échelle d'un parc à celui d'un banc ostréicole. Ce problème est à mettre en relation avec un manque de résolution spatiale de l'information, tant sur le plan des usages que sur le plan des cartes de distribution de biomasses. Si ce problème de résolution avait quelque peu été anticipé pour ce qui était de la variabilité à l'échelle spatiale des biomasses de microphytobenthos (et a été à l'origine de l'acquisition d'une image hyperspectrale), la diversité des usages à micro-échelle, montrée dans le cadre de l'axe 1, avait été nettement moins anticipée. Ainsi, si la mise en évidence de la diversité des usages à l'échelle spatiale est un résultat majeur de l'axe 1, ceci a très fortement complexifié le travail de compréhension des interactions entre pratiques et biomasses de microphytobenthos.

Les variations de biomasse du biofilm microphytobenthique sont par ailleurs marquées par des fluctuations saisonnières importantes, ce qui complexifie l'analyse des images et implique de les considérer en fonction de la saisonnalité. Dans un premier temps, ces variations ont été analysées sur l'ensemble de la période d'acquisition MODIS. Les résultats

obtenus apparaissent variables et difficiles à relier de manière certaine aux hypothèses d'évolutions ostréicoles. Les facteurs à l'origine de cette variabilité temporelle sont multiples et d'autant plus susceptibles de brouiller les signaux liés aux modifications de pratiques culturelles. C'est pourquoi l'effet des variations climatiques a été intégré dans un second temps à l'analyse d'images par le choix d'années semblables en termes de nombre de jours associés au régime climatique NAO+. Les résultats obtenus ne sont cependant pas plus clairs lorsque l'on sélectionne les années en fonction de ce critère que lorsque l'on analyse l'ensemble des années sans critère distinctif. Il pourrait être judicieux d'affiner ces critères de sélection en intégrant d'autres paramètres météorologiques dans le choix des années. La température et l'irradiance influent ainsi fortement sur la capacité photosynthétique des diatomées benthiques (Guarini *et al.*, 1998 ; Blanchard *et al.*, 1997). La force du vent et les vagues peuvent également jouer un rôle déterminant sur la distribution des biomasses, soit par la remise en suspension du sédiment, soit en réduisant le temps d'émersion des vasières (Van der Wal *et al.*, 2010).

Sur le plan des usages, la mise en place d'hypothèses d'évolution de pratiques culturelles a permis de cibler de grandes périodes de mutation ostréicole. La formulation de ces hypothèses repose cependant majoritairement sur les résultats issus des enquêtes de terrain menées auprès des professionnels, et ces dernières restent probablement perfectibles. Il apparaît notamment difficile d'obtenir une estimation précise des fluctuations des biomasses en culture d'après les seuls retours des ostréiculteurs. Aussi, les impacts liés aux changements de pratiques ostréicoles pourraient différer des prédictions. Notamment, les biomasses associées à la pose de collecteurs au nord de la baie de Marennes-Oléron pourraient être trop faibles pour que leur influence soit détectable à grande échelle. La mise en évidence de tendances à l'échelle du bassin ostréicole reste donc très difficile, et constitue un challenge important pour les années à venir. En plus de la télédétection et des enquêtes, un tel changement d'échelle passera sans doute par la combinaison d'expérimentations sur le terrain et de modélisation à l'aide de systèmes d'information géographique. Les approches basées sur la télédétection, si possible hyperspectrale, pourront être basées sur des mesures à plus petite échelle (*i.e.* mesures à l'aide de drones), et donc moins coûteuses. Un travail important devra également être réalisé sur la mémoire des usages à court (*i.e.* dernières années) et à moyen terme (*i.e.* dernières décennies), afin de collecter des informations précises sur les changements d'usages, tant sur les plans spatiaux que temporels. Un tel travail pourrait être réalisé grâce à la mise en place de zones ateliers, voire d'observatoires sur les pratiques, qui permettraient de suivre l'évolution des usages en temps réel, permettant la construction de bases de données beaucoup plus fiables et, non moins secondairement, de mieux connecter les acteurs de la profession et ceux de la recherche. La seconde partie de cet axe 3 a en effet clairement mis en avant l'intérêt et l'importance des échanges entre ces deux communautés.

### 2.3.2. L'interface science-acteurs : la circulation des connaissances

Le second pan des recherches entreprises dans l'axe 3 concernait l'intégration des connaissances science-acteurs quant aux relations entre les activités conchyloles et le fonctionnement de l'écosystème littoral dans le bassin de Marennes-Oléron. L'interrogation initiale, et qui a présidé à la décision d'investir la problématique de la circulation des savoirs, portait sur la diffusion des connaissances issues de la production scientifique depuis ces 40 dernières années sur les vasières. Compte tenu de l'importance de cet habitat dans le fonctionnement du socio-écosystème en général et pour la conchyliculture en particulier, nous souhaitons capter un état des représentations des différentes parties prenantes du territoire quant au rôle et la place des vasières dans leur compréhension du système, considérant ces représentations comme point de départ d'un questionnement sur la diffusion des connaissances. Cette interrogation nous semble centrale, notamment dans une perspective d'élaboration de plan de gestion concerté des espaces littoraux.



Pour reformuler, notre question était donc : existe-t-il des représentations partagées des relations entre activités conchylicoles, fonctionnement de l'écosystème littoral et gestion du territoire de Marennes Oléron ? Cette question était volontairement plus large que l'interaction ostréiculture-vasière au centre du projet DYCOFEL, dans le but de capter l'état des connaissances, partagées ou non, sur le territoire de Marennes-Oléron. Pour y répondre, nous avons mobilisé les outils de modélisation d'accompagnement fondés sur la méthode ARDI (Acteurs-Ressources-Dynamiques-Interactions). Cette méthode a été mise au point au sein du réseau ComMod. Elle a vocation à accompagner la décision collective sur les « objets » environnementaux, en cherchant à prendre en compte la complexité des systèmes où interviennent de nombreux acteurs ayant des enjeux et des intérêts variables et parfois contradictoires. Lors d'une série d'ateliers collectifs portant sur la compréhension d'une question clairement énoncée, les points de vue et représentations de différentes parties prenantes d'un socio-écosystème sur les Acteurs, les Ressources, les Dynamiques et les Interactions sont identifiés et explicités (Etienne, 2010). Cet exercice conduit à la construction d'une carte mentale permettant de répondre à la question posée.

Dans le cadre du projet DYCOFEL, la question posée a été la suivante : « **Quels liens entre les activités conchylicoles, le fonctionnement de l'écosystème littoral et la gestion du territoire de Marennes-Oléron ?** ». Nous avons procédé à l'aide d'une démarche en deux temps. Nous avons d'abord organisé trois ateliers autonomes faisant intervenir les collectifs d'acteurs identifiés comme parties prenantes du socio-écosystème étudié : les **chercheurs** impliqués dans le projet (atelier tenu le 27/06/2016)<sup>4</sup> ; les **gestionnaires du territoire** (atelier tenu le 28/09/2017)<sup>5</sup> ; et **conchyliculteurs** (atelier tenu le 29/09/2017)<sup>6</sup>. Nous avons par la suite organisé un atelier de restitution au cours duquel nous avons réuni les trois collectifs pour échanger autour de leurs représentations (atelier tenu le 29/01/2018).

A l'issue de la première phase, nous avons obtenu trois cartes mentales représentant le modèle conceptuel du socio-écosystème du Bassin de Marennes-Oléron tel que perçu par les trois sous-catégories d'acteurs (Figures 36 à 38).

---

<sup>4</sup> S'agissant des chercheurs, l'atelier a concerné l'ensemble du consortium, composé de quatre écologues, d'un écophysiologiste, d'un historien, d'une économiste et de deux biologistes. Seul un géographe n'a pas participé à l'atelier, dans la mesure où il en assurait l'animation.

<sup>5</sup> S'agissant des gestionnaires, l'atelier a regroupé deux représentants de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer, un représentant du Comité Régional de la Conchyliculture, deux représentants du Parc Naturel Marin, un représentant de la Réserve naturelle de Moëze, un représentant du Pays de Marennes-Oléron et deux représentantes de la Communauté de Communes de l'Île d'Oléron. L'animation de cet atelier, comme du suivant, a été externalisée auprès d'un bureau d'études spécialisé dans l'ingénierie de la concertation (LISODE).

<sup>6</sup> S'agissant des professionnels, l'atelier a rassemblé six ostréiculteurs, dont le président du Comité Régional Conchylicole. Le directeur du Comité Régional Conchylicole était également présent à cet atelier, en observateur.

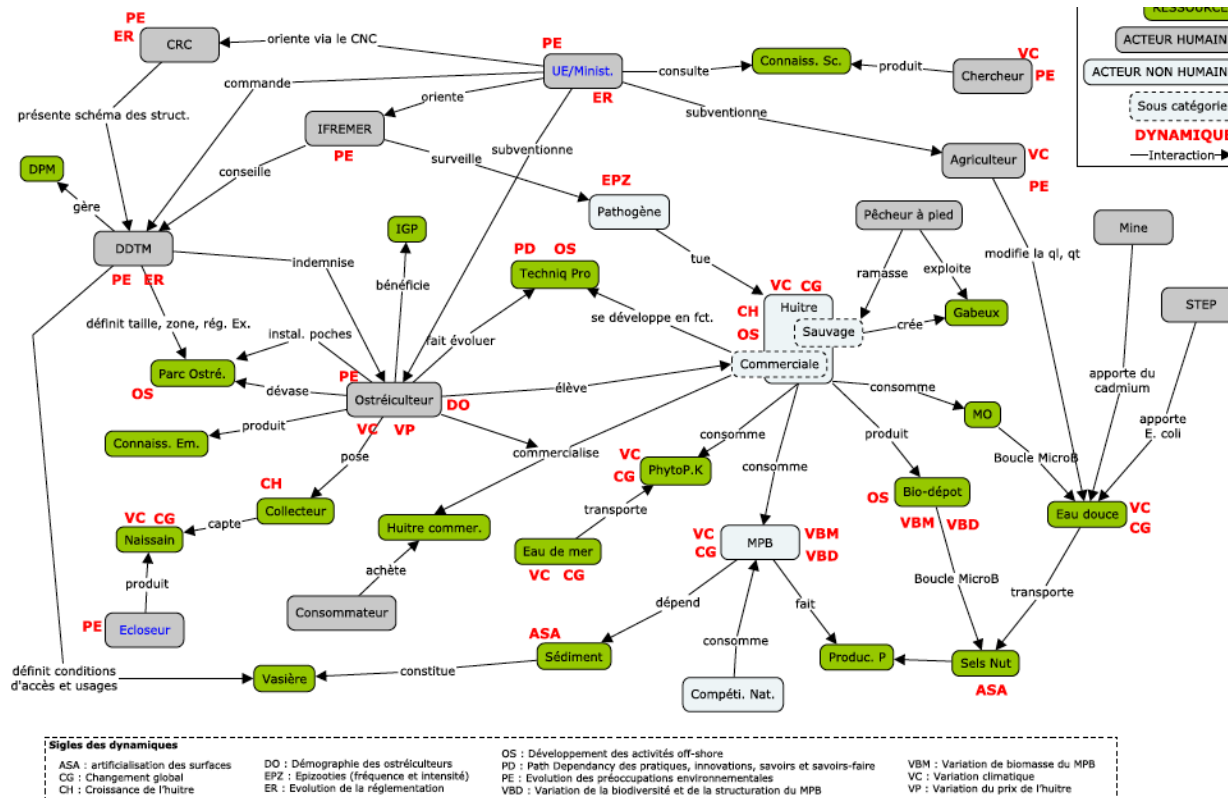


Figure 36 : Le modèle des chercheurs impliqués dans DYCOFEL.

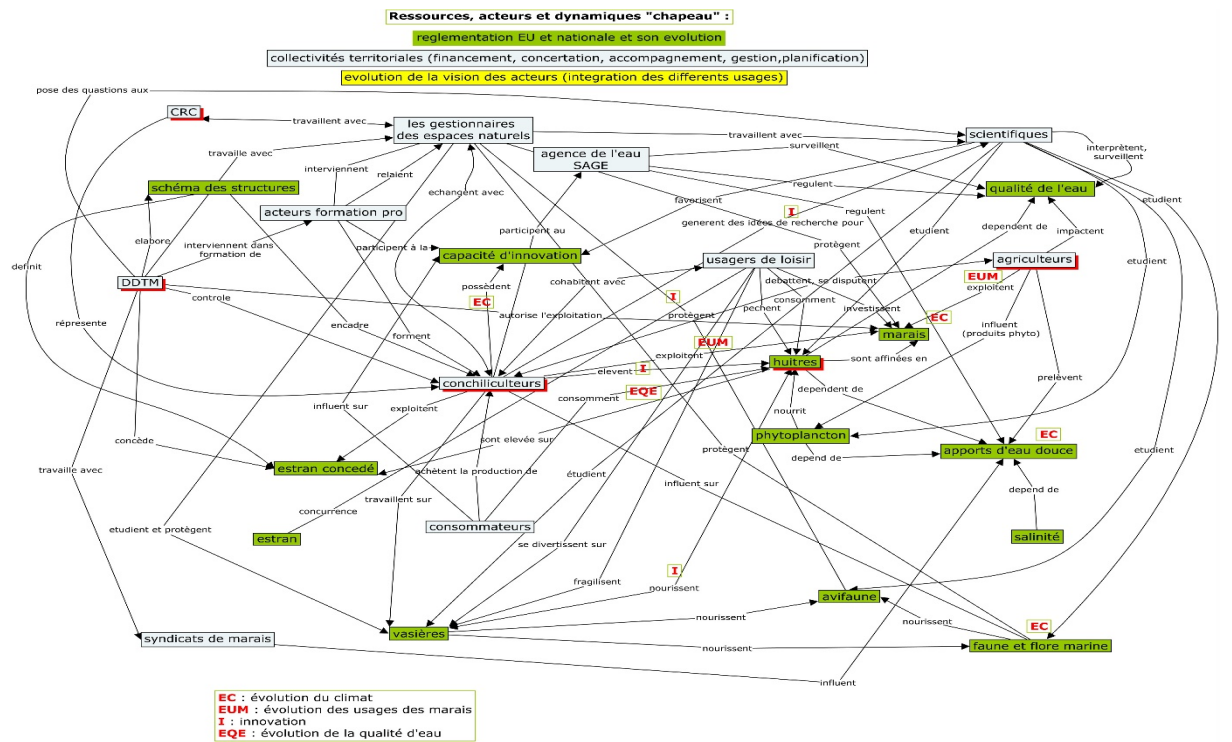
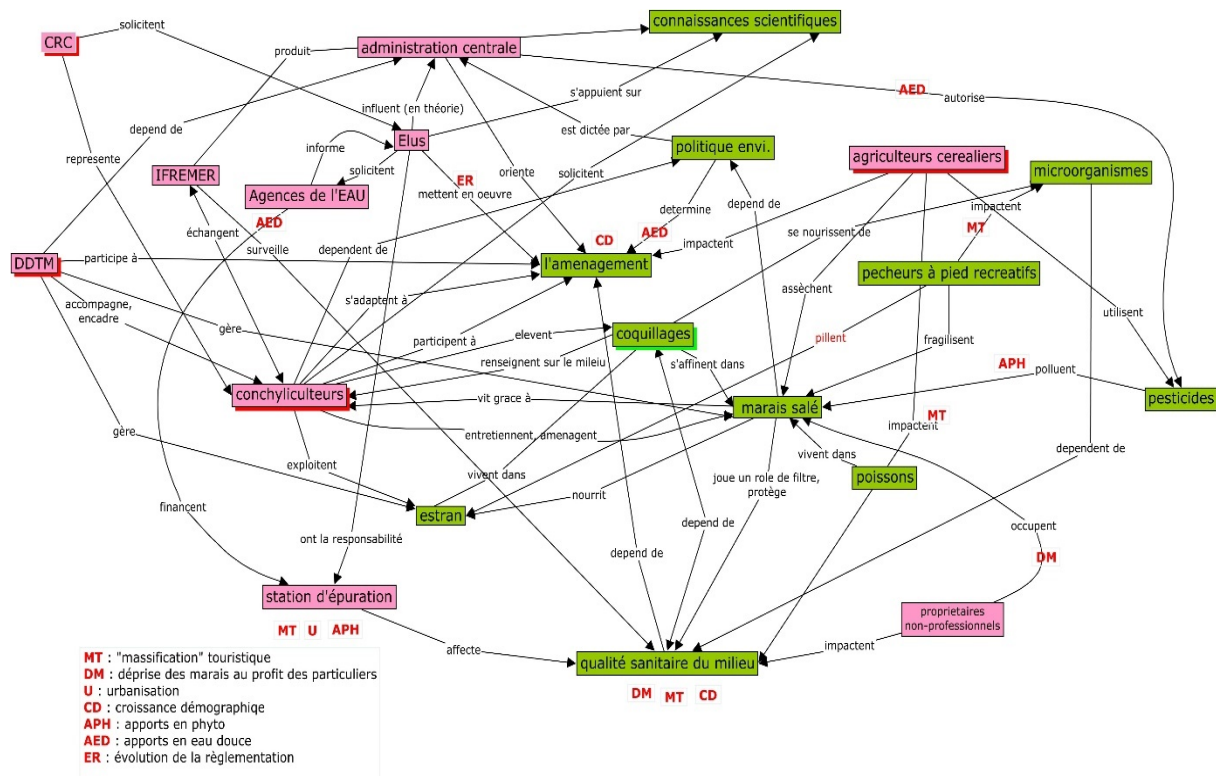


Figure 37 : Le modèle des gestionnaires du territoire de Marennes-Oléron.



**Figure 38** : Le modèle des conchyliculteurs de Marennes-Oléron

A partir de ces trois cartes, nous avons développé une démarche comparative permettant d'interroger le caractère partagé, ou non, des représentations du socio-écosystème. Il convient de souligner que, dans cette démarche, les représentations des collectifs ayant travaillé dans le cadre des ateliers ARDI ne font pas l'objet d'une hiérarchie des savoirs. Les cartes sont considérées comme équivalentes du point de vue des connaissances qu'elles contiennent. A partir de ce matériau nous avons : i) réalisé une analyse des termes utilisés pour décrire le socio-écosystème. Cette analyse des termes a permis de faire émerger les thématiques les plus importantes par rapport à la question posée ; et ii) repéré, via une analyse des interactions, les éléments centraux des différentes cartes.

### a. L'analyse sémantique

S'agissant de l'analyse sémantique, le premier travail a consisté à repérer les termes communs aux trois cartes, dans les différentes catégories : acteurs, ressources, dynamiques. Ce que l'on note en première analyse, c'est le faible nombre de termes communs : à titre d'illustration, sur 82 ressources et acteurs cités par les trois collectifs, nous retrouvons seulement 5 termes communs. On note également que les entités identifiées sont en lien avec la nature de l'activité des participants, ce qui implique de considérer, de manière relativement intuitive, le fait que le contexte de l'action influence les représentations. Le contexte d'action semble particulièrement prégnant en ce qui concerne les dynamiques, pour lesquelles les différentes notions évoquées sont révélatrices des problématiques propres à chaque collectif. Par exemple, si nous retrouvons des dynamiques relatives à l'état de l'environnement pour les trois collectifs, les dynamiques citées par les conchyliculteurs concernent plus particulièrement la question de la densification de l'occupation du littoral, alors que celles citées par les scientifiques portent sur les évolutions du socio-écosystème en lien avec le changement climatique.

Toutefois, l'analyse des termes permettant de désigner les ressources met à jour des proximités entre les trois collectifs, autrement dit des points de convergence plus nombreux qu'en apparence. Le descriptif des ressources porte globalement, dans chacune des cartes, sur quatre ensembles de ressources (plus ou moins détaillées) :

- i) des ressources biologiques (huîtres, microphytobenthos, phytoplancton, microorganismes, faune et flore marines, etc.) ;
- ii) des ressources physiques (estran, vasière, eau douce, etc.) ;
- iii) des ressources cognitives (connaissances scientifiques et empiriques, techniques productives, Indication géographique protégée, etc.) ;
- iv) et des ressources réglementaires (aménagement, schéma des structures, politique environnementale, etc.).

A partir de ces premiers éléments d'analyse, nous nous sommes concentrés sur deux sous-ensembles d'entités se rapportant pour le premier aux processus biologiques à l'œuvre dans l'écosystème (Figure 39), et pour le second à la vasière, autrement dit aux modalités de description de l'habitat au cœur du projet DYCOFEL (Figure 40).

Les processus biologiques, qui sont considérés par les trois collectifs d'acteurs comme constitutifs du fonctionnement du socio-écosystème de Marennes-Oléron, font l'objet de descriptions relativement détaillées.

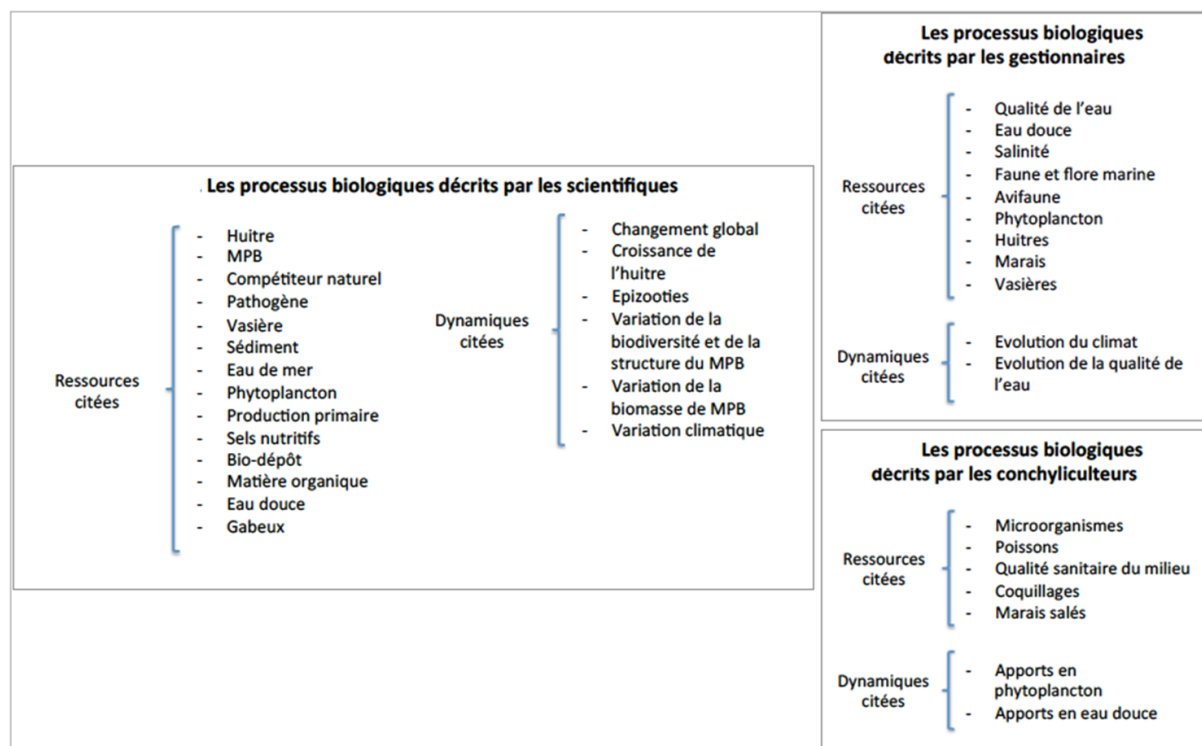
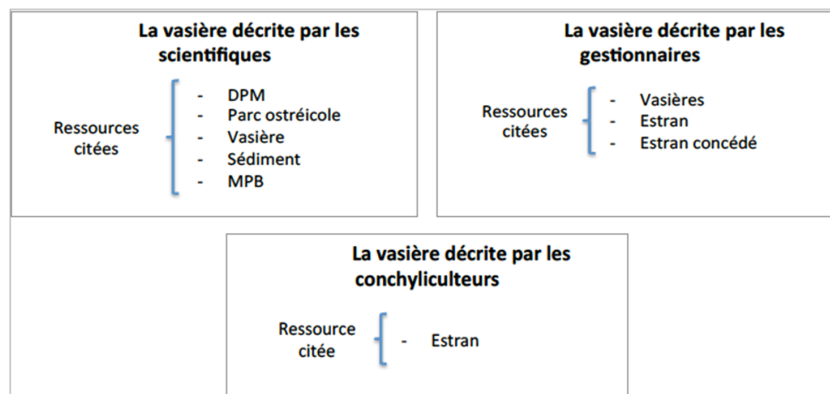


Figure 39 : La description des processus biologiques

Objets d'étude des chercheurs écologues et biologistes impliqués dans le projet DYCOFEL, les processus biologiques sont décrits par l'intermédiaire de 20 éléments, toutes catégories confondues (ressources et dynamiques). Ces processus sont caractérisés par l'intermédiaire de 11 éléments par les gestionnaires et de 6 éléments par les conchyliculteurs. S'agissant de ces deux derniers collectifs, les processus biologiques pris en compte sont corrélés à l'activité exercée dans le socio-écosystème du bassin de Marennes-Oléron. En effet, une partie des gestionnaires présents à l'atelier ARDI étaient en charge des espaces naturels, ce qui peut expliquer l'identification de ressources telles que la faune et la flore marine, l'avifaune ou encore les marais. S'agissant des ostréiculteurs, les ressources et dynamiques identifiées concernent principalement les conditions de la production de coquillages (microorganismes, qualité sanitaire du milieu, apports en phytoplancton et apports en eau douce). Enfin, nous pouvons insister sur le fait que le microphytobenthos, objet central du projet DYCOFEL et ressource trophique importante dans l'écosystème étudié, n'est cité que par les scientifiques alors que le phytoplancton (*i.e.* microalgues présentes dans la colonne d'eau) est cité par les trois collectifs d'acteurs.

Le deuxième sous-ensemble étudié concerne la vasière. Cette dernière est décrite par un nombre de termes assez réduit. Néanmoins, nous avons souhaité analyser ce sous-ensemble car les différences de termes employés par les trois collectifs d'acteurs nous semblent significatives et intéressantes à souligner du point de vue de la divergence de représentations du socio-écosystème.



**Figure 40** : La description de la vasière

Pour les scientifiques, la vasière est le support spatial de la production ostréicole. Le domaine public maritime (DPM) et les parcs ostréicoles se situent sur cet habitat, comme pour les conchyliculteurs et les gestionnaires. Toutefois, la vasière est également décrite en fonction de ses propriétés physiques (le sédiment) et biologiques (production de ressources trophiques). Pour les gestionnaires et pour les conchyliculteurs, le nombre de termes utilisés (estran et estran concédé) et les ressources associées à la vasière sont moins nombreux. Cependant, pour ces deux collectifs d'acteurs, l'habitat vasière est le support de nombreuses interactions et est notamment le lieu de développement d'une source de nourriture pour les huîtres (*cf. infra*). En d'autres termes, les conchyliculteurs considèrent la vasière de manière uniforme, les gestionnaires font la distinction entre estran et estran concédé et, pour les scientifiques, plusieurs fonctions sont pointées. Pour ce qui est de la perception de la vasière, les scientifiques et les gestionnaires voient cette entité par ses fonctions alors que, chez les conchyliculteurs, cette ressource est associée à un support (bien que les interactions précisent certaines fonctions de la vasière).

Au final, l'analyse sémantique nous semble marquante à plusieurs égards, dans la mesure où elle met à jour : 1. un faible nombre de termes communs, que ce soit pour les acteurs, les ressources ou les dynamiques ; 2. des divergences dans la description des dynamiques impactantes (influence du contexte d'action) ; 3. mais, aussi, des visions assez proches du système d'acteurs (bien que plus détaillé par les collectifs des gestionnaires et des conchyliculteurs) ; 4. enfin, des convergences notables dans la représentation des fonctionnements du socio-écosystème, particulièrement incarnées par la catégorie des ressources. De cette première lecture, il nous semble par ailleurs intéressant de souligner l'importance des fonctions écologiques du milieu dans les cartographies produites, et donc dans les représentations du socio-écosystème. Ces éléments de convergences permettent donc d'identifier des formes de proximités cognitives (Boschma, 2005), favorables à la mise en œuvre d'actions concertées en matière de gestion du socio-écosystème. Celles-ci favorisent également le partage de connaissances, comme souvent montré dans la littérature (*e.g.* Marshall, 1919 ; Brusco, 1982 ; Saxenian, 1990).

## b. L'analyse des points centraux

Les points centraux désignent les entités d'une carte mentale regroupant le plus d'interactions (*i.e.* de flèches). Deux points centraux identiques se dégagent dans chacune des cartes produites (*i.e.* par les scientifiques, par les gestionnaires et par les conchyliculteurs) : l'huître et les conchyliculteurs. Nous les avons étudiés en nous intéressant au couple « huître-



les usages et identifient les liens entre ces usages. Les conchyliculteurs décrivent ce qui est produit, ce qui est utile à la production et ce qui fragilise la production.

Concernant le couple « conchyliculteurs-huître », l'analyse révèle que les perceptions des relations entre les acteurs du socio-écosystème divergent en fonction des collectifs. Ces perceptions différentes pourraient être interprétées comme l'expression d'attentes des uns et des autres vis-à-vis des acteurs considérés comme centraux (à savoir dans les trois cartes : les conchyliculteurs, la direction départementale des territoires et de la mer (DDTM), le Comité régional de la conchyliculture et les scientifiques/chercheurs).

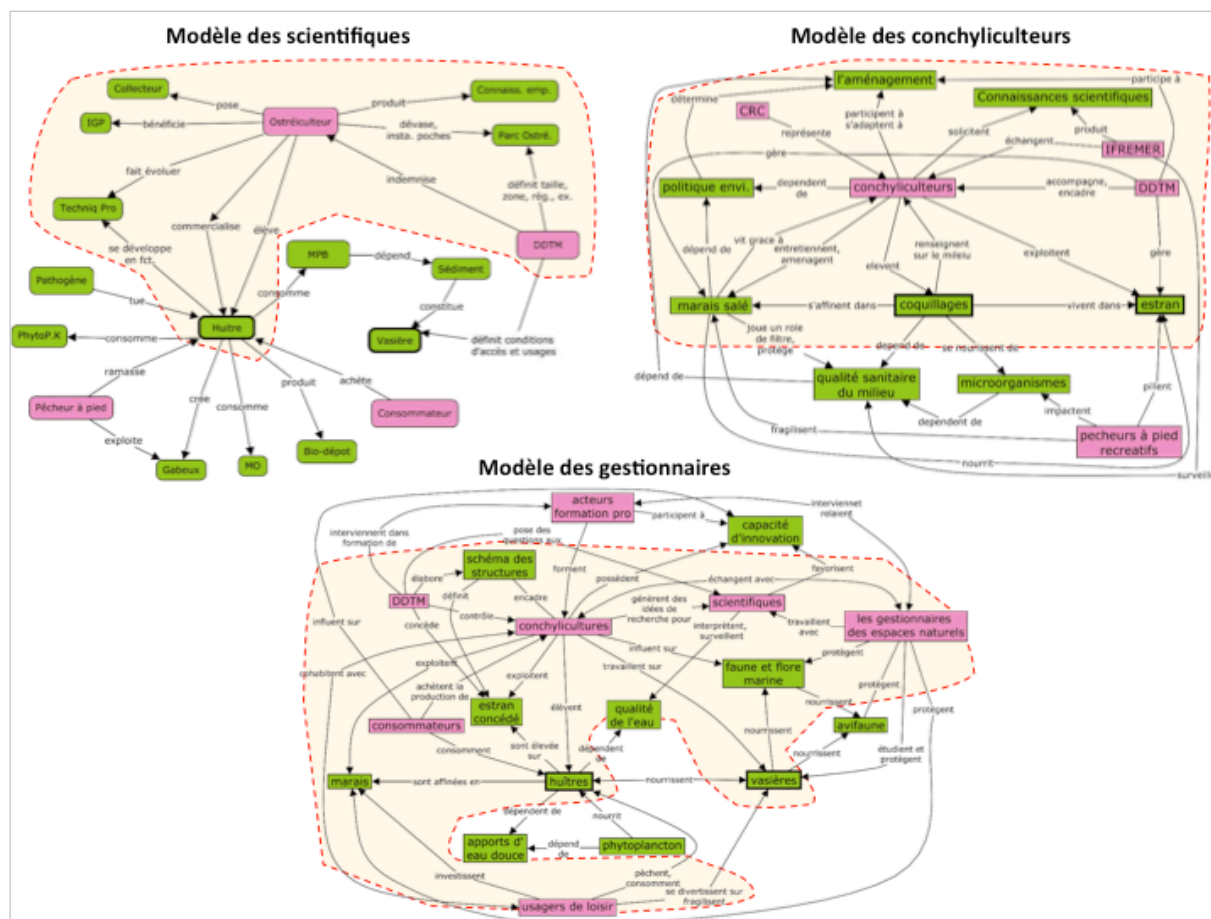


Figure 42 : Le couple conchyliculteurs-huître

Pour illustrer ce propos, nous notons que le collectif des scientifiques décrit la place et le rôle des conchyliculteurs (désigné *ostréiculteur* dans la carte mentale) dans le système de la manière suivante : l'ostréiculteur *produit, commercialise, est indemnisé et fait évoluer* ses pratiques ; dans sa relation aux autres acteurs, l'ostréiculteur est indemnisé par la DDTM et il n'a pas de relation directe avec les *scientifiques*. La description de la place des conchyliculteurs par les conchyliculteurs eux-mêmes fait référence au fait que le conchyliculteur *élève* (il ne *produit* pas), *est accompagné* par (et non pas *indemnisé*). Par ailleurs, la carte des conchyliculteurs fait état d'une relation directe entre le *conchyliculteur* et le *scientifique* (non perçue comme telle pour les scientifiques comme nous venons de le mentionner). Enfin, la description des interactions des *conchyliculteurs* par le collectif des gestionnaires trouve quelques similitudes avec celle du collectif des conchyliculteurs, de par l'utilisation de termes tels que *élève* et *échange*, mais elle se distingue également avec des termes comme *cohabite*. Ce dernier terme traduit le mode de penser des gestionnaires, plutôt axé sur la relation entre les usages, comme nous avons pu le voir plus haut. De même, la relation entre la DDTM et les *conchyliculteurs* est décrite par « la pratique », à savoir que la DDTM réalise des *contrôles* auprès des conchyliculteurs. S'agissant des relations entre les acteurs, le collectif des gestionnaires rend compte d'une relation directe entre les

*conchyliculteurs* et les *scientifiques* (cette relation allant des conchyliculteurs vers les scientifiques).

A partir de l'ensemble de ces éléments, il nous semble important de souligner que le choix des mots n'est pas anodin<sup>7</sup> et qu'il est probablement stratégique. La façon dont les acteurs décrivent le système expose les intérêts de ceux-ci, et leurs attentes (Kickert *et al.*, 1997).

En complément, si ces résultats montrent que les trois collectifs d'acteurs s'accordent « plus ou moins » sur la composition du réseau d'acteurs principaux (pour rappel, *conchyliculteurs-CRC-DDTM-scientifiques*) ainsi que sur certains des acteurs « périphériques » (*agriculteurs, pêcheurs à pied, consommateurs*), chaque collectif intègre également des acteurs « périphériques » spécifiques à ses habitudes de travail. Ainsi, les scientifiques intègrent l'*Union Européenne* et les *ministères*, ou encore les *mines* pourvoyeuses de cadmium sur le littoral. Les gestionnaires intègrent les *gestionnaires d'espace naturels* ou encore les *acteurs de la formation professionnelle*. Les conchyliculteurs intègrent les *propriétaires non professionnels* ou encore les *élus*. Le fait que le réseau d'acteurs périphériques perçus ne soit pas le même n'est pas un frein en soi pour travailler ensemble, dans la mesure où le réseau d'acteurs principaux fait l'objet d'un relatif consensus. Toutefois, le fait de faire entrer de nouveaux acteurs dans le réseau, ou de donner plus de poids à un acteur périphérique, peut être un acte stratégique visant à faire valoir les intérêts propres d'un sous-groupe (éventuellement au détriment de l'intérêt général) en modifiant la constitution du réseau. Cette logique correspond à une « (de)activation du réseau » dans la classification des stratégies d'acteurs de Kickert *et al.* (1997) (*Ibid.*).

**En conclusion** de cette sous-partie de l'axe 3, l'analyse comparée des cartes mentales fait apparaître un certain nombre de convergences et de divergences dans les représentations. Ces convergences et divergences sont synthétisées dans le tableau 6.

**Tableau 6** : Synthèse de l'analyse comparée des cartes mentales

Convergences	Divergences
<p><b>Connaissances globalement identiques des ressources</b>, comme par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- phytoplancton (biologique)</li> <li>- estran (physique)</li> <li>- connaissances scientifiques et empiriques (cognitif)</li> <li>- schéma des structures (réglementaire)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des vocabulaires différents / des grains de description différents.</li> <li>• Microphytobenthos uniquement présent dans la carte des scientifiques (même si la fonction nourricière de la vasière est explicitée ou sous-jacente pour les gestionnaires et les conchyliculteurs).</li> </ul>
<p><b>Vision commune</b> (pas de contradictions) du système d'interactions « activités conchylicoles / écosystème littoral / gestion du territoire Marennes-Oléron ».</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais des vocabulaires différents (qui traduisent les intérêts individuels).</li> <li>• Des grains de description différents (processus internes pour les scientifiques, grandes relations écosystémiques pour les gestionnaires) ; points d'entrée (façon de penser) propres aux pratiques. <ul style="list-style-type: none"> <li>- (Scientifiques) Composants &amp; processus.</li> <li>- (Conchyliculteurs) Utilité &amp; production.</li> <li>- (Gestionnaires) Usages &amp; activités.</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Réseau d'acteurs</b> principaux commun (Conchyliculteur-CRC-DDTM-scientifiques-agriculteurs-pêcheurs à pieds).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rôle/relation avec les scientifiques.</li> <li>• Types de relation avec la DDTM.</li> <li>• Poids de certains acteurs périphériques.</li> </ul>

<sup>7</sup> Le choix des mots est d'autant moins anodin qu'il fait l'objet d'un processus délibératif : Avant d'être positionnée sur la carte, chaque interaction fait l'objet d'une discussion entre les participants à l'atelier, afin que le choix du terme retenu fasse consensus.



La dynamique des divergences est intéressante car, outre les différences de vocabulaire et de grain de description de certains processus, elle exprime la vision stratégique des acteurs : stratégique vis-à-vis de l'exercice ARDI que les scientifiques du projet DYCOFEL ont initié ; mais également stratégique dans les relations des acteurs entre eux. Autrement dit, nous admettons que la vision systémique d'un acteur ou d'un collectif d'acteurs sur un objet est porteuse d'une stratégie et les modalités de description d'un système sont empreintes d'une portée politique.

Néanmoins, l'utilisation de la méthode ARDI dans le cadre du projet DYCOFEL met à jour une dynamique des convergences relativement inattendue. La description du système des ressources est globalement identique entre les trois collectifs d'acteurs et renvoie à quatre catégories de ressources (biologiques, physiques, cognitives et réglementaires). Les parties-prenantes des ateliers semblent avoir une vision commune du système d'interactions « activités conchylicoles / écosystème littoral / gestion du territoire de Marennes-Oléron », dans la mesure où les cartes construites ne révèlent pas de contradictions fondamentales. Enfin, les scientifiques, les gestionnaires et les conchyliculteurs perçoivent le même réseau d'acteurs principaux du système. L'une des hypothèses que l'on peut formuler pour éclairer cette situation tient au fait que la question posée, à savoir « Quels liens entre les activités conchylicoles, le fonctionnement de l'écosystème littoral et la gestion du territoire de Marennes-Oléron ? », relève d'un « enjeu froid ». En effet, cette question ne comportait pas directement de dimension conflictuelle pour les parties-prenantes identifiées. La situation aurait pu être différente si nous avions réalisé un atelier avec les agriculteurs et/ou les pêcheurs à pieds (acteurs identifiés comme potentiellement antagonistes aux conchyliculteurs). Par ailleurs, les ateliers ont été conduits dans une perspective compréhensive, sans que ne soit présent un enjeu de décision collective réglementaire, économique ou de conservation, à engager à court terme. Les résultats auraient probablement été autres si l'accent avait été mis sur les questions de partage de l'eau douce par exemple (Rivaud, 2010). Dès lors, le diagnostic partagé du fonctionnement du socio-écosystème de Marennes-Oléron pourrait utilement servir une planification concertée du territoire, notamment à l'égard de la vasière. A cet endroit, il nous semble que les travaux réalisés sur le territoire au cours des quatre années du projet DYCOFEL ont eu une incidence positive sur la reconnaissance sociale du rôle de cet habitat.

*« J'ai vraiment pris la mesure de l'intérêt que pouvait représenter cette étude DYCOFEL lorsque je suis allé à Paris avec Benoit LEBRETON et Audrey RIVAUD pour faire une présentation de l'état d'avancement du projet à la Fondation de France. (...) Ce que j'ai appris, effectivement, a bouleversé un petit peu ma vision des choses, ma vision de la vasière en particulier parce que j'étais resté sur des choses assez superficielles quant à la nourriture des huîtres et des coquillages, avec l'histoire des blooms planctoniques qu'on avait au printemps, éventuellement à l'automne et qui permettaient de nourrir les coquillages. Je n'avais pas bien vu que la moitié, c'est ce qui a été quand même assez nouveau pour moi, que la moitié de la nourriture n'était pas en fait du phytoplancton mais du microphytobenthos qui était produit par la vasière, alors que la vasière, je voyais ça, comme quelque chose de relativement neutre, de stérile, n'ayant pas un grand intérêt. » - Extrait de l'entretien réalisé auprès du directeur du Comité Régional de la Conchyliculture (novembre 2017)*

Au regard de ces éléments, l'objectif relatif à la circulation des connaissances scientifiques quant au rôle des vasières intertidales et du microphytobenthos dans le fonctionnement du socio-écosystème de Marennes-Oléron est en partie atteint.

Ces résultats font l'objet d'un article :

Bécu N., Rivaud A. Representations of the functioning of the socio-ecosystem of Marennes-Oléron (France): convergences and divergences of visions between scientists, land managers and shellfish farmers. En préparation pour *Environmental Management*.

## 2.4. Références bibliographiques citées

- Blanchard G.F., Guarini J.-M., Gros P., Richard P., 1997. Seasonal effect on the relationship between the photosynthetic capacity of intertidal microphytobenthos and temperature. *Journal of Phycology* 33, 723-728.
- Boschma R., 2005. Proximity and innovation. A critical assessment. *Regional Studies* 39, 61-74.
- Bourdieu P., 1979. *La Distinction : Critique sociale du jugement*. Les Editions de Minuit, 672 p.
- Brito A.C., Benyoucef I., Jesus B., Brotas V., Gernez P., Mendes C.R., Launeau P., Dias M.P., Barillé L., 2013. Seasonality of microphytobenthos revealed by remote-sensing in a South European estuary. *Continental Shelf Research* 66, 83-91.
- Bruco S., 1982. The Emilian model: productive decentralisation and social integration. *Cambridge Journal of Economics* 6, 167-184.
- Cassou C., 2004. Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation nord-atlantique. *La Météorologie* 45, 21-32.
- Coelho H., Vieira S., Serôdio J., 2011. Endogenous versus environmental control of vertical migration by intertidal benthic microalgae. *European Journal of Phycology* 46, 271-281.
- Dosi G., 1988. Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature* 26, 1120-1171.
- Eilers P.H.C., Peeters J.C.H., 1988. A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. *Ecological modelling* 42, 199-215.
- Etienne M., 2010. *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*. Editions Quae, 384 p.
- Guarini J.-M., Blanchard G.F., Bacher C., Gros P., Riera P., Richard P., Gouleau D., Galois R., Prou J., Sauriau P.-G., 1998. Dynamics of spatial patterns of microphytobenthic biomass: inferences from a geostatistical analysis of two comprehensive surveys in Marennes-Oléron Bay (France). *Marine Ecology Progress Series* 166, 131-141.
- Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., 2003. An overview of the North Atlantic Oscillation. In: Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M. (Eds.). *The North Atlantic Oscillation*, American Geophysical Union, 1-35.
- Kazémipour F., Launeau P., Méléder V., 2012. Microphytobenthos biomass mapping using the optical model of diatom biofilms: Application to hyperspectral images of Bourgneuf Bay. *Remote Sensing of Environment* 127, 1-13.
- Kazémipour F., Méléder V., Launeau P., 2011. Optical properties of microphytobenthic biofilms (MPBOM): Biomass retrieval implication. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 112, 131-142.
- Kickert W.J.M., Klinj E.-H., Koppenjan J.F.M., 1997. *Managing complex networks: Strategies for the public sector*. SAGE Publications Ltd, 206 p.
- Lapijover A., 2018. *Révéler la dimension socio-politique des interactions entre pêcheries et petits cétacés dans le golfe de Gascogne*. Thèse de doctorat ès Géographie, Université de La Rochelle, 314 p.
- Launeau P., Méléder V., Verpoorter C., Barillé L., Kazemipour-Ricci F., Giraud M., Jesus B. and Le Menn E., 2018. Microphytobenthos biomass and diversity mapping at different spatial scales with hyperspectral optical model. *Remote Sensing* 10, 716.
- Lundvall B.A., 1992. *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. Anthem Press, 404 p.

- Marshall A., 1919. Industry and trade. Macmillan, 906 p.
- Méléder V., Jesus B., Barnett A., Barillé L., Lavaud J., 2018. Microphytobenthos primary production estimated by hyperspectral reflectance. PLoS One 13, e0197093.
- Mossot G., 2016. Identification des dynamiques spatio-temporelles de l'ostréiculture au sein du Bassin de Marennes-Oléron sur la période contemporaine. Rapport d'activité du projet DYCOFEL, Université de Montpellier, UMR ART-Dev, 188 p.
- Nelson R., Winter S., 1982. An evolutionary theory of economic change. Harvard University Press, 454 p.
- Rivaud A., 2010. Coordination autour d'une ressource commune et logiques d'acteurs. Une analyse au travers des usages agricoles et ostréicoles de l'eau dans le bassin versant de la Charente. Meilleure Thèse de doctorat de la Faculté des Sciences économiques, Université de Poitiers, 359 p.
- Serôdio J., Coelho H., Vieira S., Cruz S., 2006. Microphytobenthos vertical migratory photoresponse as characterised by light-response curves of surface biomass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68, 547-556.
- Van der Wal D., Wielemaker-van den Dool A., Herman P.M.J., 2010. Spatial synchrony in intertidal benthic algal biomass in temperate coastal and estuarine ecosystems. *Ecosystems* 13, 338-351.

### 3. Conclusion générale

Les connaissances en écologie acquises au cours des trente dernières années ont démontré le rôle majeur des vasières intertidales dans la production des ressources trophiques (*i.e.* les microalgues du sédiment), celles-ci étant à la base du développement considérable de l'activité conchylicole. L'hypothèse fondatrice de ce projet a consisté à envisager l'existence d'effets de rétroaction entre les pratiques conchylicoles mises en œuvre dans le bassin de Marennes-Oléron et la production de microalgues dans le milieu. Les objectifs du projet étaient ainsi :

1. de retracer les évolutions des pratiques conchylicoles depuis l'avènement de la conchyliculture moderne, et de déterminer les effets de ces changements à l'échelle du socio-écosystème pris comme modèle (*i.e.* le bassin de Marennes-Oléron), tant au niveau de l'emprise spatiale que des usages de la zone littorale par les conchyliculteurs.
2. de mettre en relation ces changements de pratiques avec des changements de biomasse et de production de microalgues observées par images satellitaires au cours des deux dernières décennies.

Les travaux menés sur les pratiques ont mis en évidence l'absence de rupture marquante dans les usages de la vasière en réaction aux crises et la diversité des réponses apportées par les professionnels au sein des exploitations et entre les exploitations. Ceci est à mettre en relation avec le caractère profondément flexible dans le temps et dans l'espace des systèmes productifs ostréicoles. Les données collectées conduisent en effet à saisir cette spécificité comme un ressort potentiel de résilience de l'activité prenant appui sur des ressources cognitives transmises et héritées du temps long.

Ainsi, si le suivi temporel (entre 2000 et 2015) a permis de montrer des variations saisonnières de la biomasse de microphytobenthos, cette approche a montré ses limites lors de la mise en comparaison avec les changements d'usages à l'échelle du bassin de Marennes-Oléron ; ces limites étant très majoritairement liées à l'absence de ruptures marquées dans les usages et en raison de la grande diversité des modes d'adaptation des conchyliculteurs, dans le temps et dans l'espace.

L'approche spatiale à très haute résolution (*i.e.* imagerie hyperspectrale) permet de combler les limites liées à la plus faible résolution spatiale des images satellitaires actuelles. Elle a donné lieu à la réalisation d'une cartographie plus précise permettant de mettre en évidence des interactions spatiales entre la présence de parcs ostréicoles et la présence de biofilms, ce qui était un objectif majeur du projet. La compréhension des interactions fines entre usages et biomasse de microphytobenthos peut donc être largement améliorée grâce à la télédétection hyperspectrale. Par ailleurs, de telles images permettent la construction de modèles de production primaire, ouvrant la possibilité au développement d'une approche dynamique dans l'étude de telles interactions. La mise en place de tels modèles n'en est néanmoins qu'à ses débuts.

L'avenir repose donc, pour ce qui est de la compréhension des interactions usagers-production de ressources trophiques, sur la construction de modèles de production globaux, construits grâce à des cartes à haute résolution spatiale basées sur l'imagerie satellitaire hyperspectrale. Ces modèles mêleront ainsi deux approches complémentaires : l'imagerie satellitaire hyperspectrale et la modélisation de la production primaire.

En parallèle, nous avons pu mettre en avant l'importance des enjeux en termes de circulation de connaissances entre les différents groupes d'acteurs du territoire (qu'il s'agisse des professionnels de la conchyliculture, les gestionnaires du territoire ou les scientifiques travaillant sur le bassin de Marennes-Oléron). Les rencontres et échanges organisés dans le cadre du projet DYCOFEL ont mis à jour des représentations globalement convergentes en ce qui concerne la description du fonctionnement du socio-écosystème et de ses ressources.

Nous notons toutefois que cette relative entente entre les différents acteurs est probablement liée au fait que l'on a affaire à un « enjeu froid ». Dès lors, le diagnostic partagé du fonctionnement du socio-écosystème de Marennes-Oléron pourrait utilement servir une planification concertée du territoire, notamment à l'égard de la vasière. La mise en place d'un tel mode de gestion pourrait ainsi permettre d'anticiper des crises entre acteurs dans le cadre d'un fonctionnement plus intégré du territoire.

En conclusion, si les prémices d'un rapport entre présence d'huîtres—et donc de parcs ostréicoles—et biomasse plus importante de microphytobenthos semblent être mis en avant grâce à l'imagerie hyperspectrale, la validation d'une telle relation, et des relations de cause à effets, restent à développer. Les approches basées sur la télédétection, si possible hyperspectrale, pourront s'appuyer sur des mesures à plus petite échelle (*i.e.* mesures à l'aide de drones), et donc moins coûteuses. Un travail important devra également être réalisé sur la mémoire des usages à court terme (*i.e.* dernières années) et à moyen terme (*i.e.* dernières décennies), afin de collecter des informations précises sur les changements d'usages, tant sur les plans spatiaux que temporels. Un tel travail pourrait être réalisé grâce à la mise en place de zones ateliers, voire d'observatoires sur les pratiques, qui permettraient de suivre l'évolution des usages en temps réel. Ceci pourrait donner lieu à la construction de bases de données beaucoup plus fiables et de mieux connecter les acteurs de la profession et ceux de la recherche.

## 4. Prolongements

Le soutien financier apporté par la Fondation de France au projet DYCOFEL a permis d'obtenir des financements additionnels par d'autres agences ou instituts. Ces financements ont permis la réalisation d'actions complémentaires. Ces différentes actions, dont on notera tout particulièrement celle portant sur l'acquisition et le traitement d'images hyperspectrales, ont été réalisées en parallèle des actions initialement prévues. D'autres projets ont été financés dans la continuité du projet DYCOFEL, tant sur le plan des sciences sociales que sur celui des sciences de l'environnement, ce qui permet à l'équipe mise en place de rester dans la dynamique établie suite au lancement du projet DYCOFEL. Ces projets sont détaillés ci-après.

### 4.1. Projet « Modélisation rétrospective du fonctionnement du socio-écosystème vaseux » (2018, financement par la Fédération de recherche en environnement pour le développement durable).

Dans la continuité des ateliers ARDI mis en place dans le cadre de l'axe 3, nous avons souhaité réaliser un atelier similaire avec d'anciens ostréiculteurs, afin de définir comment les interactions Homme-Nature ont abouti au fonctionnement du bassin de Marennes-Oléron tel qu'il l'est de nos jours. En effet, les relations Homme-Nature, et notamment les changements de pratiques conchylicoles par le passé, ont probablement participé à l'évolution de ce socio-écosystème. Pour cela, nous avons privilégié la piste de la collecte de mémoire auprès d'anciens ostréiculteurs, via le réseau de l'Université Populaire du Littoral Charentais. Ainsi, au cours de cet atelier ARDI, les anciens ostréiculteurs du bassin de Marennes-Oléron ont formalisé leur propre diagnostic des relations entre la production conchylicole et l'écosystème afin, dans un second temps, de permettre de comparer cette représentation du socio-écosystème avec celles de chercheurs, gestionnaires et conchyliculteurs en activité. Plus précisément, il s'agissait, au cours de cet atelier, d'insister sur les dimensions évolutives du socio-écosystème en s'appuyant sur la parole et l'expérience de professionnels à la retraite.

Cette démarche a permis de remonter un demi-siècle en arrière, afin d'identifier les changements intervenus à la faveur de l'adoption de nouvelles méthodes de culture (passage de l'élevage « à plat » vers l'élevage surélevé durant les années 60) et le remplacement d'une espèce décimée par l'épizootie de 1970-72 (*Crassostrea angulata*) par une nouvelle espèce (*Crassostrea gigas*). La carte des interactions construite par les anciens ostréiculteurs au cours de l'atelier ARDI met à jour un système dans lequel les dynamiques temporelles sont très présentes. Cette spécificité n'est pas sans lien avec la question posée aux participants (pour rappel « L'évolution du travail ostréicole et les changements observés sur l'estran, la côte, depuis 1945 ? »). La lecture de cette carte nous conduit à insister sur deux observations majeures :

- i) Le monde ostréicole de l'après seconde guerre mondiale et de la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle apparaît comme peu en lien avec les autres usagers et activités économiques du bassin de Marennes-Oléron, bien que l'agriculture soit évoquée comme source de dégradation du milieu naturel. Le système d'acteurs s'organise autour des professionnels, de la Section régionale (devenue depuis Comité Régional de la Conchyliculture) et de l'administration maritime. En jeu, se trouve la question de l'établissement de règles de chargement de l'estran dans le but de développer et/ou de contrôler l'activité ostréicole. Les problématiques de gestion du socio-écosystème semblent alors porter sur la charge en coquillages, jugée comme potentiellement trop importante et impliquant des problèmes de productivité des entreprises ostréicoles du bassin (gestion du cycle de croissance de l'huître) ;
- ii) La période sur laquelle nous avons recueilli et cherché à organiser la parole des anciens est marquée par des transformations radicales de la profession (mécanisation, modification des techniques d'élevage, introduction d'une nouvelle espèce d'huître) et des évolutions de l'environnement naturel dans lequel évoluent les ostréiculteurs en relation avec l'envasement de certains espaces (modification de la granulométrie du sédiment).

Ces éléments nous semblent particulièrement intéressants au regard des problématiques contemporaines de l'ostréiculture et du fonctionnement du socio-écosystème du bassin de Marennes-Oléron. Alors que ces dernières, révélées dans le cadre du projet DYCOFEL, pointent la complexité du système d'acteurs/usagers du bassin de Marennes-Oléron et les interactions entre l'activité ostréicole et l'écosystème (fournisseur de nourriture, à la base de la spécificité productive de l'ostréiculture charentaise du fait de la présence des claires, etc.), les témoignages des anciens ostréiculteurs rendent compte d'une profession plus « autonome ». Plus particulièrement, la question des conflits d'usage est absente de la représentation coconstruite par les « anciens ». Les enjeux relatifs à l'appropriation de nouvelles techniques de production et à la transformation du métier sont quant à elles très présentes. La mise en comparaison des différentes cartes mentales laisse donc entrevoir des perspectives fertiles en termes de compréhension des dynamiques évolutives du socio-écosystème de Marennes-Oléron et de l'activité conchylicole.

#### **4.2. Projet « Cartographie de la production primaire du microphytobenthos des vasières intertidales par télédétection hyperspectrale : couplage réflectance / Eddy covariance atmosphérique » (2019-2020, financement par le Centre National d'Etudes Spatiales).**

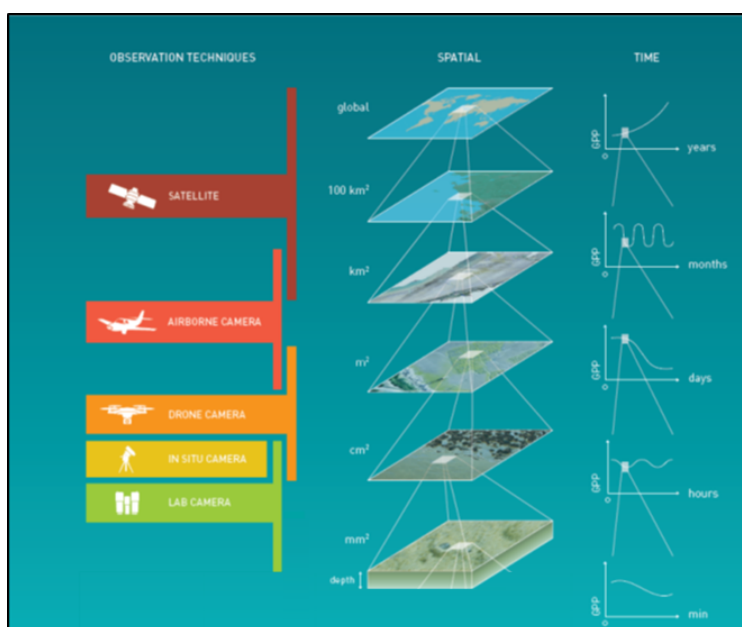
L'utilisation de la télédétection par imagerie hyperspectrale au cours de ce projet a permis de lever un important verrou méthodologique, en permettant un changement d'échelle spatiale pour l'étude du rôle du microphytobenthos dans le fonctionnement des écosystèmes littoraux à substrat meuble. En effet, comme démontré dans ce rapport (*cf.* 2.2.3), l'étude des interactions potentielles entre microphytobenthos et usages conchylicoles doit faire l'objet de mesures à une résolution spatiale très fine, en relation avec la grande diversité des usages sur le terrain. Cette résolution spatiale très fine, combinée à la grande échelle de la zone investiguée (*i.e.* écosystème), permet ainsi de construire des cartes de biomasse de microalgues et de production primaire.

Ainsi, l'objectif de ce projet est de développer de nouveaux algorithmes afin d'estimer la production primaire du microphytobenthos sur la base de ses signatures spectrales dans le domaine du visible-proche infrarouge (400-1000 nm). L'originalité de ce projet est de coupler radiométrie/biodiversité/production primaire à l'aide de 1. une approche expérimentale en laboratoire afin de reproduire les conditions environnementales associées aux changements globaux, et 2. le couplage *in situ* de l'imagerie hyperspectrale à des mesures de flux verticaux

de CO<sub>2</sub> à l'interface air-sédiment par Eddy covariance atmosphérique afin de valider les mesures de laboratoire. La méthodologie développée a ainsi pour objectif de lever les verrous scientifiques concernant les changements d'échelles spatiales et temporelles (Figure 43) étant en partie à l'origine de la divergence entre les observations sur le terrain et les estimations de production primaire depuis l'espace. Les processus écologiques sont en effet très changeants dans le temps et dans l'espace ; le changement d'échelle est donc un verrou majeur. Les biofilms de microalgues n'échappent pas à cette règle : ils présentent une biodiversité variable dans le temps et l'espace, ainsi qu'une répartition spatiale hétérogène (en tâches) depuis la micro-échelle jusqu'à la macro-échelle. Enfin, leurs réponses à un changement environnemental peuvent être de l'ordre de la seconde à plusieurs heures, à l'instar du phytoplancton. Ces variations impactent la forme de la signature spectrale des biofilms, ce qui ne peut être appréhendé que par de l'imagerie hyperspectrale à haute résolution spatiale. Le seul moyen de procéder à un étalonnage efficace des images afin d'utiliser des données obtenues localement pour pouvoir les extrapoler à plus grande échelle consiste à obtenir des mesures de télédétection sur différentes plateformes (sol, drone, avion, satellite) aux mêmes échelles temporelles et spatiales que des mesures de flux de carbone. Ce projet sera le premier à mettre en œuvre cette approche d'étalonnage complète dans le temps et l'espace (Figure 43).

Lever ces verrous en comprenant mieux ces variations de signature spectrale en fonction de la biodiversité des biofilms et des conditions environnementales sera une réelle avancée dans l'utilisation de l'imagerie hyperspectrale pour l'estimation de la production primaire du microphytobenthos. Ce projet vise donc à :

- Établir en laboratoire des lois de production primaire en fonction des changements de réflectance de biofilms de biodiversités différentes (mono- et plurispécifique) en conditions contrôlées de lumière et de température mimant différents scénarii.
- Valider ces lois de production primaire sur le terrain en couplant les mesures d'Eddy covariance atmosphérique et les mesures de réflectance obtenues par imagerie hyperspectrale à différentes échelles spatiales et temporelle (*in situ*/drone/aéroportée).
- Cartographier les flux de CO<sub>2</sub> de la micro- à la macro-échelle.



**Figure 43 :** Approche méthodologique développée afin de cartographier la production primaire (GPP, Gross Primary Production) des vasières littorales depuis le biofilm jusqu'à l'écosystème par télédétection hyperspectrale. L'échelle globale sera abordée par télédétection multispectrale.



#### **4.3. Projet « Approche comparée des trajectoires d'évolution des socio-écosystèmes côtiers à vocation conchylicole (Baie des Veys, Pertuis Charentais, Lagune de Thau) » (2019-2022, financement par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer).**

Ce projet, mettant en comparaison trois socio-écosystèmes, devrait inclure un volet historique pour ce qui est des travaux menés sur le bassin de Marennes-Oléron. Ce volet impliquera une partie de l'équipe mise en place lors du projet DYCOFEL. Dans le bassin de Marennes-Oléron, les travaux réalisés dans le cadre de l'axe 1 (cf. 2.1.) ont clairement démontré la complexité de l'évolution des usages conchylicoles dans ce socio-écosystème, en relation avec des crises environnementales et sociétales, et des changements d'ordres plus graduels. L'évolution du socio-écosystème du bassin de Marennes-Oléron sur les quarante dernières années n'a donc pas été linéaire. En effet, l'entrée dans les années 1970 a correspondu à une reconversion majeure pour les ostréiculteurs : le remplacement de l'huître portugaise par l'huître japonaise. La mortalité de la fin des années 1960 était contemporaine de l'adaptation à toute une série de nouveautés dans les domaines des techniques, de l'entreprise, de la commercialisation, de la réglementation, de la communication et de la valorisation d'un métier, d'un paysage, d'un produit. L'objectif du volet historique de ce projet est donc d'appréhender plus finement comment les usages ont évolué au cours des dernières décennies, afin, à terme, de mettre l'évolution de ces usages en parallèle avec l'évolution de l'écosystème. Un tel travail peut être réalisé à l'aide de ressources historiques, tel que cela a déjà été mis en place dans le cadre du projet DYCOFEL. Une partie de l'axe 1 ainsi été dédiée à l'étude des rapports entre l'État et les acteurs via l'étude des archives des quartiers maritimes, conservées au Service Historique de la Défense de Rochefort.

Des fonds d'archives potentiellement intéressants ont été identifiés au Comité Régional de la Conchyliculture, basé à Marennes, et dont la mémoire papier remonte précisément au début des années 1970. Il serait donc souhaitable de croiser les visions du Service Historique de la Défense de Rochefort avec celles du Comité Régional de la Conchyliculture. L'ensemble de ces ressources pourra ainsi donner lieu à la confection d'une base de données relationnelle, prenant la forme d'un système d'information historique intégrant des données statistiques, de la géolocalisation, des événements, des acteurs. L'outil permettra de questionner le terrain d'études en dégagant des tendances, en déterminant des ruptures, en définissant des processus d'adaptation des professionnels, du milieu, des coquillages élevés en lien avec leurs symbiotes ou leurs compétiteurs. Outre la poursuite des travaux du programme DYCOFEL, les apports de ce projet viennent aussi croiser les travaux de l'Atlas Historique de la Nouvelle-Aquitaine (AhNA 2018-2021 / Criham Poitiers) dont la Saintonge maritime (Marennes, Oléron, Rochefort et Royan) est un chantier prioritaire.

#### **4.4. Projet de films de vulgarisation (2018-2022, financement par le Comité Régional Conchylicole et l'Université de La Rochelle).**

En parallèle des projets évoqués précédemment, qui visent à continuer l'acquisition des connaissances, nous avons également démarré un projet de transfert du savoir sur le fonctionnement du socio-écosystème vasières et les interactions Homme-Nature dans ce système. Ce projet a débuté en 2018, en partenariat avec le Comité Régional Conchylicole, qui finance une très grande partie de cette initiative. L'objectif de ce projet est de réaliser des vidéos en images de synthèse qui présentent le fonctionnement du socio-écosystème sous différents angles : écologiques, économiques, sociaux... Ainsi, les thématiques abordées dans ces films portent sur la socio-économie de la conchyliculture, les itinéraires techniques des professionnels, la connexion entre le fonctionnement des écosystèmes littoraux et la conchyliculture, le rôle du microphytobenthos en tant que source trophique pour les huîtres, et les fonctions écologiques potentiellement apportées par les huîtres et par la conchyliculture

(plus de détails sur le contenu de ces vidéos sont présentés dans le cahier des charges mis en place, *cf.* annexe 2).

La durée de ces vidéos sera comprise entre 2 et 4 minutes. Ces vidéos de vulgarisation sont destinées à être utilisées en accompagnement lors de conférences, de séminaires scientifiques et de présentation des activités de recherche des différents laboratoires impliqués dans le projet. Ces vidéos seront également diffusées via vidéo-projection ou sur des écrans lors d'expositions fixes ou mobiles. Enfin, ces vidéos seront mises à disposition sur des sites d'hébergement de vidéos (*e.g.* Youtube, Vimeo, site web du laboratoire LIENSs). Le public visé est relativement large, allant des étudiants au grand public, en passant bien sûr par les usagers du socio-écosystème (*e.g.* conchyliculteurs, pêcheurs à pied). Les travaux menés dans le cadre de l'axe 3 ont en effet bien mis en évidence que les connaissances des chercheurs, des usagers et des gestionnaires n'étaient pas les mêmes, et qu'un effort des chercheurs devait être fait vers la société pour transmettre les connaissances acquises dans le courant des dernières décennies.

## 5. Valorisation scientifique

A ce jour, les connaissances collectées dans le cadre du projet DYCOFEL ont fait l'objet de 9 publications dans des journaux à comité de lecture, de 3 rapports d'activité, de 20 présentations lors de conférences nationales ou internationales, et de 15 conférences grand public ou au sein de laboratoires. La diversité des moyens de valorisation a permis de communiquer auprès de nombreuses communautés, allant des scientifiques aux citoyens, en passant par les usagers.

Au sein des références ci-dessous, les noms soulignés correspondent aux noms des personnes impliquées dans le projet DYCOFEL. \* indique que les deux auteurs ont contribué de manière équivalente.

### 5.1. Articles dans journaux à comité de lecture et chapitres d'ouvrage

- Athimon E., Maanan M., Sauzeau T., Sarrazin J.-L., 2016. Vulnérabilité et adaptation des sociétés littorales aux aléas météo-marins entre Guérande et l'île d'Oléron, France (XIV<sup>e</sup> - XVIII<sup>e</sup> siècle). *VertigO* 16.
- Laviale M., Barnett A., Ezequiel J., Lepetit B., Frankenbach S., Méléder V., Serodio J., Lavaud J., 2015. Response of intertidal benthic microalgal biofilms to a coupled light-temperature stress: evidence for latitudinal adaptation along the Atlantic coast of Southern Europe. *Environmental Microbiology* 17, 3662-3677.
- Lebreton B.\*, Rivaud A.\*, Picot L., Prévost B., Sauzeau T., Barillé L., Beseres Pollack J., Lavaud J., 2019. From ecological relevance of the ecosystem services concept to its socio-political use. The case study of intertidal bare mudflats in the Marennes-Oléron Bay, France. *Ocean and Coastal Management* 172, 41-54.
- Méléder V., Jesus B., Barnett A., Barillé L., Lavaud J., 2018. Microphytobenthos primary production estimated by hyperspectral reflectance. *PLoS One* 13, e0197093.
- Méléder V., Savelli R., Barnett A., Polseneare P., Gernez P., Cugier P., Lerouxel A., Le Bris A., Dupuy C., Le Fouest V., Lavaud J. Mapping the intertidal microphytobenthos gross primary production. Part I: coupling multispectral remote sensing and physical modelling. Soumis en décembre 2019 à *Frontiers in Marine Science*.
- Prévost B., Rivaud A., 2018. The World Bank's environmental strategies: a critical assessment of the influence of the New Institutional Economics on legal issues. *Ecosystem Services* 29, 370-380.
- Prévost B., Rivaud A., Michelot A., 2016. Economie politique des services écosystémiques : de l'analyse économique aux évolutions juridiques. *Revue de la Régulation* 19.
- Sauzeau T., 2017. Salines de Brouage et d'Oléron dans l'enquête Bouthillier (1714). In: Laget F., Josserand P. (Eds.), Entre horizons terrestres et marins. Sociétés, campagnes et littoraux de l'Ouest atlantique. Presses Universitaires de Rennes, 317-330.
- Savelli R., Méléder V., Cugier P., Polseneare P., Dupuy C., Lavaud J., Barnett A., Le Fouest V. Mapping the intertidal microphytobenthos gross primary production. Part II: merging remote sensing and physical-biological coupled modelling. Soumis en décembre 2019 à *Frontiers in Marine Science*.

### 5.2. Rapports

- Gaillard S., 2016. Mesure de l'absorption cross-section (a\*) de biofilms microalgaux acclimatés à différentes intensités de lumière. Rapport de stage de master 2<sup>e</sup> année. Université de Nantes, 23 p.

- Lerouxel A., Gernez P., Barillé L., 2016. Analyse par télédétection de la distribution spatiale du microphytobenthos dans le bassin de Marennes-Oléron : interactions avec l'ostréiculture. Rapport d'activités du projet DYCOFEL. Université de Nantes, 40 p.
- Mossot G., 2016. Identification des dynamiques spatio-temporelles de l'ostréiculture au sein du Bassin Marennes-Oléron sur la période contemporaine. Rapport d'activités du projet DYCOFEL. Université de Montpellier, UMR ART-Dev, 188 p.

### 5.3. Présentations et posters lors de conférences

- Barrillé L., Gernez P., 2018. Télédétection satellite de la variabilité spatio-temporelle des biofilms de microalgues benthiques dans les vasières de Marennes-Oléron. Séminaire Interactions Hommes-Nature en milieu littoral, 11 décembre, Montpellier, France.
- Barillé L., Lerouxel A., Lebris A., Buchet R., Echappé C., Ribeiro L., Gernez P., Hernandez-Fariñas T., 2018. NDVI time-series: a tool for water quality assessment in transitional water? 66<sup>th</sup> Annual Meeting of the British Phycological Society, 8-11 janvier, Southend, Royaume-Uni.
- Bécu N., Rivaud A., 2018. Les représentations du fonctionnement du socio-écosystème de Marennes-Oléron : convergences et divergences de vision entre chercheurs, gestionnaires et conchyliculteurs. Séminaire Interactions Hommes-Nature en milieu littoral, 11 décembre, Montpellier, France.
- Champeau L., 2018. La conchyliculture en Charente-Maritime : quels enjeux pour les professionnels ? Séminaire Interactions Hommes-Nature en milieu littoral, 11 décembre, Montpellier, France.
- Lavaud J., 2015. Response of benthic diatoms inhabiting intertidal flats to environmental stresses. 6<sup>th</sup> European Phycology Congress, 23-28 août, Londres, Royaume-Uni.
- Lebreton B., Beseres Pollack J., Haraldsson M., Montagna P., Blomberg B., Palmer T., Gräfe C., Wang Y., Han Q., Liu D., Guillou G., Asmus H., Asmus R., 2015. Benthic algae count! Evidence that benthic algae play an important role in coastal food webs. 23<sup>rd</sup> Biennial Coastal and Estuarine Research Federation Conference, 8-12 novembre, Portland, USA.
- Lebreton B., Rivaud A., 2018. DYCOFEL : Dynamiques conchylicoles et fonctionnement des écosystèmes littoraux. Séminaire Interactions Hommes-Nature en milieu littoral, 11 décembre, Montpellier, France.
- Lebreton B., Rivaud A., Picot L., Prévost B., Barillé L., Sauzeau T., Lavaud J., 2017. From ecological relevance of ecosystem services to their use in governance: Case study of mudflats. 24<sup>th</sup> Biennial Coastal and Estuarine Research Federation Conference. 5-9 novembre, Providence, USA.
- Lebreton B., Rivaud A., Picot L., Prévost B., Beseres Pollack J., Barillé L., Sauzeau T., Lavaud J., 2018. De l'intérêt écologique à l'usage socio-politique du concept de services écosystémiques : une analyse à partir des vasières intertidales de Marennes-Oléron. Séminaire Interactions Hommes-Nature en milieu littoral, 11 décembre, Montpellier, France.
- Lerouxel A., Gernez P., Lebreton B., Barillé L., 2016. Temporal dynamics of seagrass beds and microphytobenthos in Marennes-Oléron Bay using MODIS time-series data. Oceanext Interdisciplinary Conference, 8-10 juin, Nantes, France.
- Méléder V., 2019. Diversité, biomasse et production primaire du microphytobenthos des vasières littorales : de la cellule à l'écosystème. Ilicio-Resomar 2019, 4-6 novembre, Nantes, France.
- Méléder V., Jesus B., Lavaud J., Barillé L., Launeau P., 2017. Cartographie du taux de transfert des électrons (ETR), proxy de la production primaire du microphytobenthos

des vasières intertidales par télédétection hyperspectrale. 5<sup>ème</sup> Colloque Imagerie Hyperspectrale de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, 9-11 mai, Brest, France.

- Méléder V., Jesus B., Lavaud J., Launeau P., Barillé L., Williamson C., Perkins R., Mouget J.L., 2017. Radiometry vs. fluorometry: the use of hyperspectral reflectance to retrieve photosynthetic parameters from algal biofilms. Climate Change Cluster 2017 Colloquium - AQUAFUO II, 4-8 décembre, Sydney, Australie.
- Méléder V., Lavaud J., 2018. Microphytobenthos primary production mapping using multispectral remote sensing: from the tide to the season. Séminaire Interactions Hommes-Nature en milieu littoral, 11 décembre, Montpellier, France.
- Prévost B., Rivaud A., 2015. L'économie politique verte : chronique d'une catastrophe annoncée ? Colloque "Penser l'écologie politique", 15-16 juin, Paris, France.
- Prévost B., Rivaud A., 2015. Services écosystémiques et développement humain : intérêts et limites d'une approche par les capacités. 52<sup>ème</sup> colloque ASRDLF, 7-9 juillet, Montpellier, France.
- Prévost B., Rivaud A., 2016. Biodiversité, services écosystémiques et communs. L'évaluation et la valorisation économiques de la biodiversité sont-elles cohérentes avec la défense des communs ? XVI<sup>èmes</sup> rencontres du RIUESS, 25-27 mai, Montpellier, France.
- Rivaud A., Lebreton B., Barillé L., Barnett A., Bécu N., Gernez P., Imbert E., Lerouxel A., Méléder V., Mossot G., Prou J., Sauzeau T., Lavaud J., 2017. DYCOFEL : le socio-écosystème des vasières ostréicoles au carrefour des études disciplinaires. III<sup>ème</sup> congrès du GIS d'histoire & sciences de la mer, 15-17 novembre, Poitiers, France.
- Rivaud A., Lebreton B., Méléder V., Barillé L., Bécu N., Gernez P., Prou J., Sauzeau T., Barnett A., Imbert E., Lerouxel A., Mossot G., Lavaud J., 2019. Contributions of remote sensing for the dynamic study of coastal socio-ecosystems: the case study of the Marennes-Oléron bay – France. OCEANEXT 2019: Interdisciplinary Conference, 3-5 juillet, Nantes, France.
- Rivaud A., Sauzeau T., 2018. Pratiques conchylicoles dans le bassin de Marennes-Oléron : la résistance aux crises par l'adaptabilité. Séminaire Interactions Hommes-Nature en milieu littoral, 11 décembre, Montpellier, France.

#### 5.4. Autres présentations

- Lavaud J., 2015. Diatom photobiology: regulation and ecophysiology. Université de Mount Allison, Laboratoire d'Ecophysiologie du Phytoplancton. 12 mars, New Brunswick, Canada.
- Lavaud J., 2015. Diatom photobiology: regulation and ecophysiology. Université de Laval, Québec Océan-Takuvik UMI 3376. 23 février, Québec, Canada.
- Lavaud J., 2015. Diatom photobiology: regulation and ecophysiology. Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-Mer - UMR 7093. 2 avril, Villefranche-sur-Mer, France.
- Lebreton B., Beseres Pollack J., Haraldsson M., Montagna P., Blomberg B., Palmer T., Gräfe C., Wang Y., Han Q., Liu D., Guillou G., Asmus H., Asmus R., 2015. Benthic algae count! Evidence that benthic algae play an important role in coastal food webs. Texas A&M University-Corpus Christi. 18 novembre, Corpus Christi, USA.
- Lebreton B., Beseres Pollack J., Haraldsson M., Montagna P., Blomberg B., Palmer T., Gräfe C., Wang Y., Han Q., Liu D., Guillou G., Asmus H., Asmus R., 2015. Benthic algae count! Evidence that benthic algae play an important role in coastal food webs. Alfred Wegener Institute – Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Station marine de Sylt. 8 décembre, List/Sylt, Allemagne.

- Lebreton B., Beseres Pollack J., Haraldsson M., Montagna P., Blomberg B., Palmer T., Gräfe C., Wang Y., Han Q., Liu D., Guillou G., Asmus H., Asmus R., 2015. Benthic algae count! Evidence that benthic algae play an important role in coastal food webs. Journée scientifique de l'UMR LIENSs. 17 décembre, La Rochelle, France.
- Lebreton B., Beseres Pollack J., Haraldsson M., Montagna P., Blomberg B., Palmer T., Gräfe C., Wang Y., Han Q., Liu D., Guillou G., Asmus H., Asmus R., 2016. Benthic algae count! Evidence that benthic algae play an important role in coastal food webs. "Pépites" de l'UMR LIENSs. 28 avril, La Rochelle, France.
- Lebreton B., Lavaud J., Barillé L., Barnett A., Bécu N., Gernez P., Imbert E., Lerouxel A., Méléder V., Mossot G., Prou J., Sauzeau T., Rivaud A., 2017. DYCOFEL: Human-Nature Interdependencies: Dynamic analysis of the relationships between changes of practices in shellfish farming and functioning of coastal ecosystems. Annual Meeting – Bilateral Wadden Sea Research. 9-10 janvier, List/Sylt, Allemagne.
- Lebreton B., Lavaud J., Méléder V., Barillé L., Gernez P., Lerouxel A., Prou J., Sauzeau T., Bécu N., Barnett A., Imbert E., Mossot G., Rivaud A., 2017. Interdépendances Homme-Nature : analyse dynamique des changements d'usages conchylicoles sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux. Journées Scientifiques de l'Université de Nantes. 2 juin, Nantes, France.
- Lebreton B., Rivaud A., Champeau L., Barillé L., Bécu N., Gernez P., Méléder V., Prou J., Sauzeau T., Barnett A., Imbert E., Lerouxel A., Mossot G., Lavaud J., 2017. DYCOFEL : Interdépendances Hommes-Nature : analyse dynamique des changements d'usages conchylicoles sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux. 6<sup>èmes</sup> Journées du Littoral – Fondation de France. 29-30 Mars, Paris, France.
- Lebreton B., Rivaud A., Lavaud J., 2015. Présentation du projet DYCOFEL : Interdépendances Hommes-Nature : analyse dynamique des changements d'usages conchylicoles sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux. Workshop du DiPEE Centre Poitou-Charentes : Fonctionnement des écosystèmes passés et actuels. 1<sup>er</sup> juillet, La Rochelle, France.
- Lebreton B., Rivaud A., Lavaud J., Michelot A., Picot L., 2015. Approche exploratoire – La solidarité écologique. Les pertes de potentialités écologiques : le cas des microalgues en milieu littoral. Séminaire de la Fédération de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (FREDD). 15 octobre, La Rochelle, France.
- Rivaud A., Lebreton B., Lavaud J., 2015. DYCOFEL : Interdépendances Hommes-Nature : analyse DYnamique des changements d'usages Conchylicoles sur le Fonctionnement des Ecosystèmes Littoraux. 4<sup>èmes</sup> Journées du Littoral – Fondation de France. 9-10 avril, Paris, France.
- Sauzeau T., 2017. Le rôle des zones humides dans la prévention des catastrophes. Conférence donnée à l'invitation de RAMSAR – France dans le cadre de la Journée Mondiale des Zones Humides. 2 février, Brouage, France.
- Sauzeau T., 2017. Histoire du foncier de l'île d'Oléron. Conférence donnée à l'invitation de la Communauté de Communes de l'île d'Oléron dans le cadre des Journées Agricoles / Journées Inter Îles. 25 novembre, Saint-Pierre d'Oléron, France.

## 6. Mise en œuvre opérationnelle

Cette section récapitule les points majeurs de la mise en œuvre du projet depuis son démarrage en janvier 2015 jusqu'à sa clôture en décembre 2018.

### 6.1. Composition de l'équipe scientifique

Le consortium pluridisciplinaire constitué pour ce projet a rassemblé 6 laboratoires ou instituts de recherche, regroupant 9 chercheurs permanents. Le projet a également bénéficié du recrutement en CDD de 3 ingénieurs d'études et de 3 stagiaires de master.

Institution	Chercheur.euse	Discipline, domaine de compétence et tâches réalisées
<b>ART-Dev</b> <i>Acteurs, Ressources et Territoires dans le Développement, UMR 5281 CNRS – Univ. Montpellier 3 – Univ. Perpignan – Univ. Montpellier – CIRAD</i>	Audrey Rivaud, MCF <b>(co-responsable du projet)</b>	Economiste <i>Environnement, coordination autour des ressources communes, conflits d'usage</i> - Coordination du projet - Coordination de l'axe 1 et de l'axe 3
<b>LIENSs</b> <i>Littoral, Environnement et Sociétés, UMR 7266 Univ. La Rochelle - CNRS</i>	Benoit Lebreton, MCF <b>(co-responsable du projet)</b>	Ecologue <i>Structure et fonctionnement des réseaux trophiques littoraux, flux de matière</i> - Coordination du projet - Coordination de l'axe 3 - Implication dans l'axe 2
	Nicolas Bécu, CR CNRS	Géographe <i>Gestion participative des ressources naturelles, modélisation d'accompagnement</i> - Implication dans l'axe 3
<b>TAKUVIK</b> <i>UMI 3376 CNRS – Univ. de Laval (Canada)</i>	Johann Lavaud, CR CNRS	Ecophysiologiste <i>Ecophysiologie et biodiversité des microalgues marines/production primaire littorale</i> - Coordination de l'axe 2
<b>CRiHAM</b> <i>Centre de Recherche Interdisciplinaire, Histoire, Histoire de l'Art et Musicologie, EA 4270, Univ. Poitiers</i>	Thierry Sauzeau, PR	Historien <i>Histoire des sociétés littorales des Pertuis charentais, conflits pêche/ostréiculture</i> - Coordination de l'axe 1
<b>IFREMER</b> <i>Institut Français de Recherche sur l'exploitation de la Mer</i>	Jean Prou, Ex-directeur de la station IFREMER de La Tremblade	Sciences de l'environnement <i>Capacité trophique des écosystèmes conchylicoles, gestion de l'eau, intégration des savoirs empiriques et scientifiques dans la gouvernance de la zone littorale</i> - Implication dans l'axe 3
<b>MMS</b> <i>Mer, Molécules, Santé, EA 2160 Univ. Nantes</i>	Vona Méléder, MCF HDR	Ecologue <i>Ecologie et biodiversité des microalgues, cartographie par télédétection satellitaire</i> - Coordination de l'axe 2
	Pierre Gernez, MCF	Ecologue <i>Ecosystèmes côtiers et estuariens, télédétection de la couleur de l'océan</i> - Implication dans l'axe 2
	Laurent Barillé, PR	Ecologue <i>Ecologie des huîtres, production ostréicole</i> - Implication dans l'axe 2

L'équipe de recherche a également bénéficié du soutien et de la participation de Laurent Champeau, directeur du Comité Régional de la Conchyliculture – Charente Maritime.

## 6.2. Séminaires et réunions

### 6.2.1 Séminaires de travail avec le consortium scientifique

Des séminaires de travail regroupant l'ensemble du consortium scientifique se sont tenus au cours des quatre années du projet, à raison de deux à trois par an. Ces séminaires permettaient de faire le point à intervalles réguliers sur les avancées du projet et sur les directions à prendre. Chaque séminaire était suivi d'une réunion de débriefing entre les porteurs du projet.

NB : Il n'y a pas eu de séminaire de travail regroupant l'ensemble du consortium scientifique en 2017, car cela n'a pas été jugé nécessaire (l'accent ayant été mis majoritairement sur les ateliers avec les ostréiculteurs et les gestionnaires du bassin de Marennes-Oléron).

Les points majeurs abordés lors de l'ensemble des séminaires sont précisés ci-dessous:

- **Séminaire de lancement : 17 février 2015**

Ce séminaire a permis la rencontre entre les différentes équipes appartenant à des laboratoires et à des disciplines différentes. Nous y avons rappelé la cohérence d'ensemble du projet et explicité les problématiques spécifiques et les approches disciplinaires des axes 1 et 2. Ce séminaire a également permis d'amorcer, dès le commencement du projet, la dynamique transdisciplinaire, d'une part en définissant de façon concertée les sites d'étude privilégiés à l'intérieur du bassin de Marennes-Oléron et les fenêtres temporelles étudiées, d'autre part en précisant le travail réalisé en concertation avec les partenaires locaux.

- **Séminaire de travail : 28 et 29 juin 2015**

Ce séminaire avait pour objectifs de faire un bilan intermédiaire sur les actions menées au sein des différents axes et de présenter les données acquises entre janvier et juin 2015. Il avait aussi pour objectif de bien définir les tâches des ingénieurs d'étude en contrat jusque fin 2015, en se basant sur les informations déjà obtenues.

- **Séminaire de travail : 26 janvier 2016**

Au cours de ce séminaire ont été présentés les bilans des travaux réalisés par les trois ingénieurs d'étude, à savoir la description des dynamiques spatio-temporelles de l'ostréiculture sur la période contemporaine (axe 1), la cartographie des biomasses de microalgues benthiques par télédétection (axe 2) et la détermination du potentiel de production de ces microalgues (axe 2). Un premier travail de croisement des informations entre les pratiques sur le littoral et les cartes de biomasses a été présenté au cours de ce séminaire. Enfin, les orientations du volet histoire (*i.e.* analyse des dynamiques de long terme) et du volet sur la diffusion et l'appropriation des connaissances ont été définies.

- **Ateliers ARDI destinés aux chercheurs du projet : 27 juin 2016**

L'ensemble des scientifiques participant au projet a été réuni lors de ce workshop pour la construction d'une carte cognitive basée sur la méthode ARDI (Acteurs, Ressources, Dynamiques et Interactions). Cette carte décrit les interactions, telles qu'elles sont vues par les scientifiques, entre êtres vivants, facteurs abiotiques, usagers (*i.e.* ostréiculteurs) et les acteurs de la gouvernance. Cette carte cognitive a été comparée avec deux autres, l'une basée sur la perception du système par les usagers, l'autre basée sur la perception du système par les représentants des instances de gouvernance locales.

- **Séminaire de travail : 28 novembre 2016**

Au cours de ce séminaire, la carte cognitive a été finalisée et validée. Les données issues des dépouillements réalisés dans le cadre de l'approche historique ont été présentées et l'exploitation de ces données dans le cadre du projet a été envisagée.

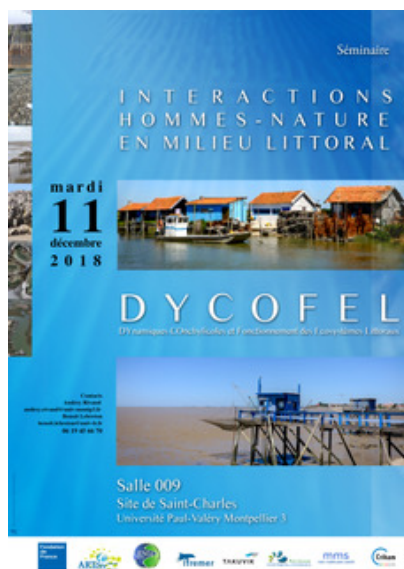


- **Séminaire de travail : 31 janvier 2018**

Ce séminaire visait à dresser un bilan des ateliers de co-construction, à faire le point sur les avancées de l'année 2017 (volet « histoire » et « modèle de production primaire »). Il visait également à définir la liste d'articles scientifiques qui seront réalisés (ou qui sont en cours de réalisation) dans le cadre de ce projet.

- **Séminaire de clôture du projet : 11 décembre 2018**

Temps fort de l'année 2018, ce séminaire de clôture s'est tenu à l'Université Paul-Valéry Montpellier 3 et a été l'occasion de présenter les dernières avancées du projet, mais aussi de rendre public les principaux résultats obtenus dans le cadre de DYCOFEL. Il a été pensé comme un séminaire ouvert à l'ensemble de la communauté scientifique. La programmation de la journée a d'ailleurs permis de donner la parole à des chercheurs travaillant sur la thématique des relations Homme-Nature en milieu littoral, notamment en Méditerranée (cf. programme en annexe 3).



Affiche du séminaire de clôture



Participants au séminaire de clôture – Montpellier Site Saint-Charles – 11 décembre 2018

## 6.2.2 Ateliers de co-construction avec les usagers et les gestionnaires

Un des objectifs du projet a été de construire des cartes cognitives des représentations du socio-écosystème de Marennes-Oléron, tant par les scientifiques que par les usagers (ostréiculteurs) et par les gestionnaires du territoire. La construction de ces cartes a été réalisée en 2017, dans le cadre de différents ateliers. Ces ateliers ont été animés par la société coopérative LISODE, basée à Montpellier, spécialisée dans l'ingénierie de la concertation.

- **Atelier avec les gestionnaires : le 28 septembre 2017**

Cet atelier a réuni des représentants de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer, du Comité Régional de la Conchyliculture Marennes-Oléron, du Parc Naturel Marin de l'Estuaire de la Gironde et de la Mer des Pertuis, du Syndicat Mixte du Pays Marennes Oléron, de la réserve naturelle de Moëze-Oléron et de la Communauté de communes de l'île d'Oléron.

- **Atelier avec les ostréiculteurs : le 29 septembre 2017**

Cet atelier, organisé avec l'aide du Comité Régional de la Conchyliculture, a réuni 6 ostréiculteurs. La carte cognitive construite a été réalisée suivant le même protocole que lors des ateliers regroupant les scientifiques et les gestionnaires.

- **Atelier de restitution auprès des trois groupes : le 30 janvier 2018**

Les trois cartes cognitives ont été présentées aux différents groupes (ostréiculteurs, gestionnaires, scientifiques) lors d'une session plénière. L'interprétation des cartes a été

suivie de sessions d'échanges, afin de travailler sur les points de contradiction ou les points de blocage. L'idée était de définir quels sont les enjeux liés au socio-écosystème vasières pour les années à venir.

NB : l'atelier avec les scientifiques a eu lieu lors d'un séminaire de projet (cf. 2.2.1)

### 6.2.3 Réunions spécifiques aux axes

Une première réunion, à visée méthodologique, a eu lieu le 11 mai 2015. Elle rassemblait des chercheurs impliqués dans chacun des trois axes et a essentiellement concerné les questions de réflexivité et d'intégration relatives à la transdisciplinarité du projet.

Une deuxième réunion, à visée opérationnelle, a eu lieu le 21 octobre 2015. Elle a permis d'identifier les premières pistes d'analyse des effets de rétroaction des pratiques ostréicoles sur le microphytobenthos (discussion autour des potentialités de croisement des cartes produites au sein des deux premiers axes).

Une troisième réunion a été organisée le 6 avril 2016 afin de préciser la démarche opérationnelle pour le dépouillement et l'exploitation des archives utilisées dans le volet historique.

Dans le courant de l'année 2018, plusieurs réunions ont été dédiées à la mise en place du projet de transfert de connaissances via la création de vidéos en images de synthèse (cf. 3.4), à savoir deux réunions pour la définition des thèmes abordés et la rédaction de l'appel à projet, et une réunion pour le choix du prestataire qui est en charge de la création des vidéos.

## 6.3. Recrutements

La gestion financière du projet par le CNRS (cf. annexe 1) nous a permis de recruter trois ingénieurs d'études dès la première année. Les phases de collecte, de production et d'analyse de données pour les axes 1 et 2 ont de ce fait pu être amorcées très rapidement.

**Axe 1 (*Evolution des usages conchylicoles et analyse des dynamiques de long terme*) :**

- Recrutement d'une ingénieure d'étude en géographie (durée de 11 mois) du 1<sup>er</sup> janvier au 30 juin 2015, puis du 1<sup>er</sup> septembre 2015 au 31 janvier 2016 – Gabrielle Mossot. **Réalisation de deux séries d'enquêtes distinctes** : 1. enquêtes à dire d'experts (9 entretiens) en mars 2015 ; 2. enquêtes auprès des professionnels (70 entretiens) en mai, juin et septembre 2015. Valorisation du travail sous forme d'un rapport.
- Recrutement d'une stagiaire étudiante en histoire de l'université de Poitiers / laboratoire CRiHAM EA4270, du 1<sup>er</sup> mai au 31 août 2016 – Emilie Imbert. **Réalisation de sondages dans les fonds d'archives du service historique de la défense de Rochefort (SHD-R)**. Synthèse des informations collectées dans une base de données.
- Recrutement d'une stagiaire étudiante en histoire de l'université de Poitiers / laboratoire CRiHAM EA4270, du 15 avril au 15 octobre 2017 – Mathilde Charrier. Exploitation des correspondances au départ du bureau de l'inscription maritime de Marennes sur la période 1865-1945, dans les **fonds d'archives du service historique de la défense de Rochefort**. Focus sur les courriers enregistrés sous le titre "ostréiculture", "pêche" et autres. Synthèse des informations dans une base de données.

**Axe 2 (*Variation de la quantité de la ressource trophique*) :** le projet prévoyait le recrutement de deux ingénieurs :

- Recrutement d'une ingénieure d'étude en SIG et modélisation (durée de 10 mois) du 15 janvier au 15 octobre 2015 – Astrid Lerouxel. **Acquisition d'images Landsat et**

**MODIS et réalisation d'un travail de traitement des images satellitaires.**  
Valorisation du travail sous forme d'un rapport.

- Recrutement d'un ingénieur d'étude en écologie (durée de 6 mois) du 1er janvier au 30 juin 2015 – Alexandre Barnett. **Coordination de deux campagnes de terrain (en mai et juillet 2015).**

Recrutement d'un stagiaire étudiant en écophysiologie des microalgues de l'université de Nantes / Laboratoire MMS EA 2160 (master 1<sup>ère</sup> année, durée 2 mois) – Sylvain Gaillard. **Mesures de paramètres écophysiologiques sur les microalgues benthiques en laboratoire afin de calibrer les modèles de production.** Valorisation du travail sous forme d'un rapport.

## 7. Annexes

### Annexe 1 : Budget et dépenses au 31/12/2018

Le montant de la subvention attribuée s'élève à 143 233 € (frais de gestion inclus). Le versement de cette subvention a fait l'objet de la mise en place d'une convention avec le CNRS. La Fondation de France a versé 45 000 euros au CNRS lors du démarrage du projet, puis de nouveau 45 000 euros en débuts de 2<sup>e</sup> année et de 3<sup>e</sup> année. Elle versera 8 233 euros en fin de projet. Le CNRS a ouvert l'ensemble des crédits, soit 143 233 euros, dès le début du projet, ce qui a permis à l'équipe de recherche d'anticiper les embauches des personnels en contrat à durée déterminée et en stage dès 2015 et également en 2016.

Axe	Année	Type de dépense	Détail / Description	Montant (€)
Axe 1	2015	Salaire	Salaire CDD ingénieur d'étude G. Mossot (9 mois)	26 732,41
		Missions	Missions pour enquêtes sur le terrain	977,87
		Equipement	Ordinateur portable	913,03
	2016	Salaire	Salaire CDD ingénieur d'étude G. Mossot (1 mois)	2 761,60
		Gratification stage	Gratification de stage E. Imbert (4 mois)	2 202,24
		Missions	Missions pour enquêtes sur le terrain et travaux d'archives	257,35
		Traductions	Traduction manuscrits scientifiques	1 491,32
	2017	Gratification stage	Gratification de stage M. Charrier (6 mois)	3 021,26
		Missions	Missions pour enquêtes sur travaux d'archives	856,00
	2018	Traductions	Traduction manuscrits scientifiques	360,76
Axe 2	2015	Salaire	Salaire CDD ingénieur d'étude A. Barnett (6 mois)	18 102,50
		Salaire	Salaire CDD ingénieur d'étude A. Lerouxel (10 mois)	29 380,00
		Missions	Missions de reconnaissance et de prélèvements sur le terrain	1 496,45
		Fonctionnement	Matériel terrain et laboratoire	1 077,30
		Fonctionnement	Hébergement sur le terrain	637,88
		Fonctionnement	Fournitures de bureau	303,81
	2016	Missions	Missions sur le terrain	634,93
		Fonctionnement	Prestations analytiques - Université de Nantes	1 407,87
Axe 3	2016	Honoraires	Prestations IFREMER année 1	5 000,00
	2017	Honoraires	Prestations IFREMER année 2	5 000,00
		Honoraires	Prestations LISODE	4 800,00
		Missions	Missions pour ateliers « représentations mentales »	518,75
	2018	Honoraires	Prestations IFREMER année 3	5 000,00

		Fonctionnement	Ateliers participatifs	363,74
		Fonctionnement	Prestations analytiques	3866,99
<b>Tous axes</b>	2015	Missions	Réunions de projet	1 654,75
		Missions	Journées littorales de la Fondation de France	492,88
		Fonctionnement	Réunions de projet	499,24
	2016	Missions	Réunions de projet	1 740,11
		Fonctionnement	Réunions de projet	794,73
	2017	Missions	Réunions de projet	1 076,86
		Fonctionnement	Frais de gestion ART-Dev	831,82
	2018	Missions	Réunions de projet	733,03
		Fonctionnement	Séminaire de clôture	3826,13
		Fonctionnement	Frais de gestion ART-Dev	3809,39
	2015-2018	Fonctionnement	Frais de gestion CNRS LIENSs	4391,00
		Fonctionnement	Frais de gestion CNRS ART-Dev	6219,00
		<b>Total dépenses 2015</b>		82 268,12
		<b>Total dépenses 2016</b>		16 290,15
		<b>Total dépenses 2017</b>		16 104,69
		<b>Total dépenses 2018</b>		17 960,04
		<b>Total dépenses 2015 - 2018</b>		10 610,00
		<b>Total</b>		143 233,00



## Films d’animation sur les écosystèmes littoraux, les huîtres et la conchyliculture

par

**Benoît Lebreton**

(UMR Littoral, Environnement et Sociétés, CNRS - Université de La Rochelle).

**Laurent Champeau**

(Comité Régional Conchylicole Poitou Charentes).

**Armelle Combaud**

(UMR Littoral, Environnement et Sociétés, CNRS - Université de La Rochelle).

Ce projet vise à produire plusieurs animations vidéo portant sur le fonctionnement des écosystèmes littoraux, le rôle des huîtres et de la conchyliculture dans ces écosystèmes. Ces animations se déclineront idéalement en une série de 6 vidéos faites en images de synthèse sur une approche similaire à celle développée dans l’émission *Le dessous des cartes*, chaque vidéo ayant une durée d’environ 2 minutes.

### 1. Thèmes abordés dans les vidéos.

**Animation 1.** La socio-économie de la conchyliculture, à l’échelle régionale, nationale, mondiale. Cette animation insistera sur l’importance régionale de l’ostréiculture dans un cadre mondialisé, et sur le fait que cette production est basée sur un grand nombre de petites entreprises, ayant une large diversité d’activités. Cette animation présentera le nombre d’emplois généré par les activités conchylicoles, les chiffres d’affaires, les tonnages produits et les voies majeures d’exportation de ces produits de la mer.

**Scientifique référent :** Dr. Audrey Rivaud (Acteurs, Ressources et Territoires dans le Développement, UMR 5281 CNRS - Université de Montpellier 3 - CIRAD – Université de Montpellier 1).

**Animation 2.** Les itinéraires techniques de la production d’une huître, du captage du naissain jusqu’à l’affinage. Cette animation aura également pour objectif d’insister sur le fait que les huîtres sont déplacées en permanence, à l’échelle des écosystèmes (bassin de Marennes-Oléron, Normandie, Bretagne), des pays (France, Irlande...), voire même des continents (importation d’espèces, telles *Crassostrea gigas*).

**Scientifiques référents :** Dr. Jean Prou (IFREMER de La Tremblade), Laurent Champeau (Comité Régional Conchylicole Poitou Charentes).

**Animation 3.** L’ostréiculture est adossée à un écosystème naturellement producteur de coquillages. L’objectif de cette animation sera de montrer que les huîtres ne se développent que dans des conditions particulières, en relation avec la courantologie, l’éclairement, la température, les apports en eau douce, l’hydrodynamisme... Cette vidéo insistera donc sur les conditions environnementales nécessaires au développement des huîtres afin d’insister sur l’importance des écosystèmes littoraux pour le développement des activités ostréicoles et mytilicoles. Ce film insistera également sur l’importance de la connexion entre les différents

habitats qui constituent le continuum estuarien (marais doux, marais salé, estuaire, vasière, colonne d'eau).

**Scientifique référent :** Pr. Laurent Barillé (Mer, Molécules, Santé, EA 2160 Université de Nantes).

**Animation 4.** Le rôle des microalgues du sédiment dans l'alimentation des huîtres, notamment dans les vasières. La production des vasières équivaut à celle d'une forêt tropicale (soit 12 kg de matière fraîche par m<sup>2</sup> et par an, soit 48 salades par m<sup>2</sup> et par an). Cette production exceptionnelle est liée à la présence de nutriments, mais surtout à la resuspension des microalgues à chaque marée, qui stimule leur production. C'est donc la rotation du Soleil et de la Lune autour de la Terre, à des millions de km de nous, qui stimule la production d'organismes microscopiques (quelques dizaines ou centaines de µm) dans les vasières. Une fois dans la colonne d'eau, ces microalgues sont utilisées par les huîtres comme source de nourriture.

**Scientifiques référents :** Dr. Benoit Lebreton (UMR Littoral, Environnement et Sociétés, CNRS - Université de La Rochelle), Dr. Johann Lavaud (UMI Takuvik, CNRS – Université Laval), Dr. Vona Méléder (Mer, Molécules, Santé, EA 2160 Université de Nantes).

**Animation 5.** Les fonctions écologiques des huîtres. En créant des récifs ou lorsqu'elles sont cultivées, les huîtres apportent des fonctions écologiques, qui peuvent bénéficier directement ou indirectement à l'Homme. Parmi ces fonctions, l'épuration de l'eau, le piégeage des particules, la construction d'un habitat pour d'autres animaux, la construction de récifs, qui protègent le littoral, etc...

**Scientifiques référents :** Dr. Jennifer Pollack (Department of life sciences, Texas A&M University Corpus-Christi, USA), Dr. Brittany Blomberg (Dauphin Island Sea Laboratory, University of Alabama, USA).

**Animation 6.** L'histoire de l'ostréiculture. *Si possible...*

**Scientifique référent :** Pr. Thierry Sauzeau (Centre de Recherche Interdisciplinaire, Histoire, Histoire de l'Art et Musicologie, EA 4270, Université de Poitiers).

## 2. Mise en œuvre.

Ces animations vidéo seront d'environ 2 minutes, et, idéalement au nombre de 6. L'objectif est de pouvoir diffuser ces animations par vidéo-projection lors de conférences, de séminaires scientifiques et de présentation des activités de recherche des différents laboratoires impliqués dans le projet. Ces vidéos seront également diffusées via vidéo-projection ou sur des écrans TV lors dans des expositions fixes ou mobiles. Enfin, ces vidéos seront mises à disposition sur des sites d'hébergement de vidéos (e.g. Youtube, Vimeo).

**Recherche et écriture, documentation :** Le travail de recherche, de synthèse des connaissances et d'écriture des scénarii sera réalisé par un ingénieur d'étude employé par le Comité Régional Conchylicole Poitou Charentes et co-dirigé par Laurent Champeau (Comité Régional Conchylicole Poitou Charentes) et Benoit Lebreton (UMR Littoral, Environnement et Sociétés, CNRS - Université de La Rochelle). L'ingénieur d'étude écrira les scénarii correspondant à chaque film d'animation en partenariat avec les différents experts référents, reconnus pour leur expertise dans les différentes thématiques abordées dans les films d'animation. Les scénarii seront minutés et un story-board sera développé afin de détailler les différentes informations et éléments graphiques qui seront présentés à chaque étape du film d'animation. L'ingénieur d'étude travaillera en interaction avec le graphiste pendant la phase de construction des animations. L'ingénieur d'étude sera étroitement associé à la phase de création, en relation avec le prestataire. Des modèles de chartes graphiques seront proposés avant la création des films.

**Réalisation, graphisme, montage, mixage, habillage :** La construction des films d'animation sera réalisée par un graphiste d'une société sous-traitante. Le graphiste produira et habillera les différentes scènes en se basant sur le scénario et le story-board correspondant à chaque vidéo. Il serait souhaitable que l'univers graphique décliné dans la première vidéo soit rappelé dans les vidéos suivantes. Le graphiste montera les différentes scènes et fera le mixage avec la bande son.

**Iconographies et cartographies :** Le graphiste aura pour charge de créer les iconographies ou les cartes nécessaires aux vidéos. Ces ressources pourront également provenir de fonds documentaires. L'inclusion de données fournies par les référents scientifiques sous forme de graphiques—créés par le graphiste—sera à envisager.

**Bandes sons, voix-off et musique :** Une voix off décrira les différentes scènes (images, cartes, graphiques) et fera la connexion entre ces différentes scènes. Dans un souci d'homogénéité, il est souhaité que cette voix off soit la même sur l'ensemble des vidéos. Les vidéos seront faites en français et en anglais, et sous-titrées dans les deux langues (la vidéo en français sera sous-titrée en français et la vidéo en anglais sera sous-titrée en anglais). Des sonorités complémentaires (voire une bande son) pourront être ajoutées, mais devront figurer au second plan.

**Production et diffusion :** La production et la diffusion seront assurés par l'Université de La Rochelle et le CRC, auxquels les droits d'auteurs seront intégralement cédés. Cette diffusion sera assurée avec l'appui de la Direction Recherche Partenariats Innovation de l'Université de La Rochelle et de la cellule communication de l'UMR LIENSs (CNRS – Université de La Rochelle).

### 3. Délai de réalisation

L'ingénieur d'étude sera embauché du 1<sup>er</sup> mars au 31 août 2018, pour assurer la construction des story-boards. Les vidéos devront être terminées et livrées pour le 31 août 2018.

### 4. Grille d'évaluation des propositions faites par l'agence de création graphique.

Prix : 30 %

Compréhension du projet : 20 %

Approche créative, originalité : 20 %

Composition de l'équipe, disponibilité de l'équipe : 20 %

Qualité de la vidéo produite : 10 %



# Annexe 3 : Programme du séminaire « Interactions Hommes-Nature en milieu littoral », Journée de restitution et d'échanges interdisciplinaires autour du projet DYCOFEL – Dynamiques Conchylicoles et Fonctionnement des Ecosystèmes Littoraux.

## Résumé du projet DYCOFEL :

Les connaissances en écologie et écophysiologie accumulées au cours des trente dernières années sur le Bassin de Marennes-Oléron (Charente-Maritime, France) ont démontré le rôle majeur des vasières intertidales dans la production des ressources trophiques (les microalgues du sédiment) à la base du développement considérable de l'activité conchylicole. Toutefois, la mise à jour de cette relation entre le fonctionnement d'un compartiment de l'écosystème et le développement de la conchyliculture n'est qu'une étape dans la compréhension des interactions entre l'Homme et son milieu.

L'hypothèse à la base de ce projet consiste à envisager l'existence d'effets de rétroaction entre les pratiques conchylicoles mises en œuvre dans le bassin de Marennes-Oléron et la production de microalgues dans le milieu. Nous posons cette hypothèse dans une perspective dynamique, dans le but : i) de prendre en considération les évolutions des pratiques conchylicoles depuis l'avènement de la conchyliculture moderne ; ii) d'interroger les incidences de ces évolutions du point de vue de l'emprise spatiale et des usages de la zone littorale par les conchyliculteurs ; iii) de mettre en relation ces changements de pratiques avec des évolutions de quantités (i.e. biomasse) et de production de microalgues observées par images satellitaires au cours des vingt dernières années.

Université Paul Valéry  
Site Saint-Charles  
Salle 009  
2, rue du Professeur Henri Gerre  
34090 Montpellier  
Tram L1, arrêt Place St Charles

Contacts  
Audrey Rivaud  
06 19 45 66 70  
audrey.rivaud@univ-montp3.fr

Benoit Lebreton  
benoit.lebreton@univ-lyr.fr



11 déc 2018  
Université Paul Valéry  
Site Saint-Charles - Salle 009 - Montpellier

## Séminaire

### Interactions Hommes-Nature en milieu littoral

# DYCOFEL

Dynamiques Conchylicoles et Fonctionnement des Ecosystèmes Littoraux



Les territoires littoraux sont des espaces emblématiques des questionnements sur les relations entre les sociétés et leur environnement naturel. Zones d'intérêts écologiques, socio-économiques ou encore culturelles et patrimoniaux, ils font l'objet de constantes évolutions à différentes échelles spatio-temporelles en lien avec des pressions d'origines multiples. À partir du projet DYCOFEL (2016-2018 – financement Fondation de France – AAP « Quels littoraux pour demain ? ») et du consortium pluridisciplinaire qui le nourrit, l'objectif de cette journée est de rassembler des scientifiques d'horizons variés afin de progresser dans la caractérisation des interdépendances Hommes-Nature en milieu littoral, tant sur le plan conceptuel que sur le plan appliqué.

Le programme de la journée articule des temps de restitution du projet, ce dernier étant emparé des questions posées par les rapports entre les dynamiques socio-économiques, les changements graduels du milieu et les interactions biologiques qu'il abrite dans le bassin de Marennes-Oléron (Charente-Maritime, France), et des temps d'échanges avec des chercheurs et chercheuses travaillant sur d'autres cas d'étude.

**08:00 – 09:15**  
**Accueil et présentation de la journée**

**09:15 – 09:45**  
**Session 1 - ENJEUX CONCEPTUELS ET APPLIQUÉS**

**09:15 – 09:45**  
**« Peut-on échapper à un questionnement ontologique des services écosystémiques ? »**  
BENOIT PHEVOST, Economiste, UMR ART-Dev, Université Montpellier 3

**09:45 – 10:15**  
**« De l'intérêt écologique à l'usage socio-politique du concept de services écosystémiques : une analyse à partir des vasières intertidales de Marennes-Oléron »**  
BENOIT LEBRETON, Ecologue, UMR LIENSs, Université de La Rochelle

**10:15 – 10:30**  
**Pause Café**

**10:30 – 11:00**  
**« La conchyliculture en Charente-Maritime : quels enjeux pour les professionnels ? »**  
LAURENT CHAMPEAU, Directeur du Comité Régional de la Conchyliculture du Poitou-Charentes

**11:00 – 11:30**  
**Session 2 - RESTITUTION DU PROJET DYCOFEL (1)**

**11:00 – 11:30**  
**« DYCOFEL : Dynamiques conchylicoles et fonctionnement des écosystèmes littoraux » - Présentation du projet**  
BENOIT LEBRETON, Ecologue, UMR LIENSs, Université de La Rochelle et AUDREY RIVAUD, Economiste, UMR ART-Dev, Université Montpellier

**11:30 – 12:00**  
**Télé-détection satellite de la variabilité spatio-temporelle des biofilms de microalgues benthiques dans les vasières de Marennes-Oléron »**  
LAURENT BARILLE, Ecologue, MMS, Université de Nantes et PIERRE GERNEZ, Ecologue, MMS, Université de Nantes

**12:00 – 14:00**  
**Pause déjeuner**

**14:00 – 14:30**  
**Session 3 - LES ENJEUX LITTORAUX – REGARDS CROISES**

**14:00 – 14:30**  
**« Interactions Conchyliculture / Environnement dans la lagune de Thau via les approches combinées in vitro et in situ »**  
MARION RICHARD, Océanographe, IFREMER, LER-Languedoc-Roussillon, Sète

**14:30 – 15:00**  
**« Quelles lagunes pour quel littoral demain ? L'exemple des étangs palavasiens et de l'Or (Hérault, France) »**  
STEPHANE GHIOTTI, Géographe, UMR ART-Dev, CNRS

**15:00 – 15:30**  
**« Côte du Golfe du Lion : du diagnostic partagé au(x) projet(s) controversé(s) »**  
ALEXANDRE BRUN, Urbaniste, UMR ART-Dev, Université Montpellier 3, WILLIAM HAYET, architecte, ENSA Lyon et DOMINIQUE GANBEK, historien, Université Montpellier 3

**15:30 – 15:45**  
**Pause Café**

**15:45 – 16:15**  
**Session 4 - RESTITUTION DU PROJET DYCOFEL (2)**

**15:45 – 16:15**  
**« Microphytobenthos primary production mapping using multispectral remote sensing: from the tide to the season »**  
JOHANN LAVALD, Ecophysiologiste, Takuvik, Université de Laval-CNRS et VOMM MELEDER, Ecologue, MMS, Université de Nantes

**16:15 – 16:45**  
**« Une activité résiliente : l'ostréiculture dans le bassin de Marennes-Oléron »**  
AUDREY RIVAUD, Economiste, UMR ART-Dev, Université Montpellier 3 et THIERRY SALZEAU, Historien, CRIHAM, Université de Poitiers

**16:45 – 17:15**  
**« Les représentations du fonctionnement du socio-écosystème de Marennes-Oléron : convergences et divergences de vision entre chercheurs, gestionnaires et conchyliculteurs »**  
NICOLAS BÉGU, Géographe, UMR LIENSs, CNRS et AUDREY RIVAUD, Economiste, UMR ART-Dev, Université Montpellier 3

**17:15 – 18:00**  
**Session 5 - OUVERTURE**

**17:15 – 18:00**  
**Discussion générale : « De l'ingénierie écologique à l'ingénierie socio-écologique. Quels enjeux pour la recherche pluridisciplinaire ? »**

