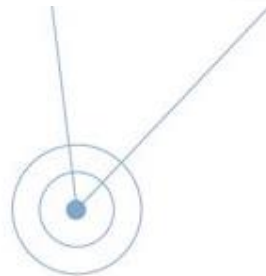


# Rapport d'activité 2021

## UNITE RBE/PFOM

Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins



## Fiche documentaire

Titre du rapport : Rapport d'activité 2021 UNITE RBE/PFOM	
<b>Référence interne :</b> <b>Diffusion :</b> <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : AAA/MM/JJ <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	<b>Date de publication :</b> <b>Version :</b> 1.0.0 <b>Référence de l'illustration de couverture</b> <b>Langue(s) :</b> Français Station d'Argenton (C. Corporeau) Microscope et Œufs épinoches (J. Devergne) Prise de sang (K. Salin) Ecobloc de restauration sur le banc du Roz (Matthias Huber) Vibriophages (Sophie Le Panse, Roscoff)
<b>Résumé/ Abstract:</b>	
<b>Mots-clés/ Key words:</b>	
<b>Comment citer ce document:</b>	
<b>Disponibilité des données de la recherche :</b>	
<b>DOI:</b>	

Commanditaire du rapport:	
Nom / référence du contrat :	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) :	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
David Mazurais	Ifremer / Département Ressources Biologiques et Environnement / Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins
Frédérique Le Roux	
Fabrice Pernet	
José Zambonino	
Compilation et mise en page : Rachel Ignacio-Cifre - Cindy Marhic - Pierrick Le Souchu	
Destinataire:	
Validé par : José Zambonino	
Adresse électronique : <a href="mailto:jose.luis.zambonino@ifremer.fr">jose.luis.zambonino@ifremer.fr</a>	

## Table des matières

<b>Introduction : objectifs généraux de l'unité.....</b>	<b>6</b>
<b>Moyens et effectifs .....</b>	<b>7</b>
Organisation de l'unité .....	7
Moyens expérimentaux.....	12
Moyens analytiques.....	13
Implication dans la démarche qualité de l'institut.....	13
<b>Résultats obtenus en 2021 .....</b>	<b>14</b>
Laboratoire Adaptation, Reproduction, Nutrition (ARN) .....	14
Réponses associées au changement climatique et facteurs anthropiques.....	14
Problématique aquacole .....	22
Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (LPI) .....	25
Production de naissain standardisé.....	25
ECOSCOPA .....	25
Analyses et mise à disposition de 26 ans de données de croissance et de mortalité d'huîtres creuses .....	27
Effets des polluants et des algues toxiques.....	27
Interactions Environnement-Hôtes-Pathogènes .....	30
Structure et adaptation des populations .....	30
Acclimatation et trajectoire de vie dans un environnement changeant.....	33
Equipe Génomique des Vibrios (GV) .....	35
<b>ANNEXES .....</b>	<b>37</b>
Annexe 1 : Production scientifique et technologique 2021 (uniquement celle impliquant du personnel de PFOM).....	38
Article dans des revues avec comité de lecture (de rang A) indexées dans le WOS.....	39
Expertises/Avis .....	41
Rapports .....	41
Ouvrages / Chapitres d'ouvrages .....	43
Posters.....	43
Communications sans actes : .....	43
Publications dans des colloques.....	44
Jeux de données publiés dans SEANOE.....	44
Annexe 2 : Nouveaux projets soumis en 2021 (selon IMAGO) .....	45
Annexe 3.....	47
Implication dans la formation .....	47

Accueil et encadrement de stagiaires .....	48
Accueil et encadrement de post-doctorants.....	49
Accueil et encadrement de doctorants .....	50
Participation à jurys de thèse ou HDR.....	54
Annexe 4 : informations communiquées en CODIR du Centre Bretagne .....	56
CODIR Centre du 26 janvier 2021.....	56
CODIR Centre du 18 mai 2021.....	57
Annexe 5 : Partenariats .....	58

## Introduction : objectifs généraux de l'unité

---

Pour faire face aux environnements changeants, les organismes marins mettent en œuvre des réponses physiologiques dans différents tissus et organes. Ces réponses se déclinent à différentes échelles (moléculaires, cellulaires, tissulaires, organismes entier) au niveau individuel, et mettent aussi en jeu des interactions complexes avec d'autres organismes marins, incluant ceux unicellulaires. Une compréhension globale de ces réponses est essentielle en vue d'une exploitation durable en milieu naturel ou en élevage.

L'unité s'attache à étudier plus particulièrement les bactéries, mollusques, et poissons par des approches expérimentales, en conditions contrôlées de laboratoire et in situ. Nous examinons les effets combinés (multi-stress) de plusieurs facteurs environnementaux biotiques (phytoplancton fourrage ou toxique ; flore microbienne commensale, prébiotique, probiotique ou pathogène ; proies et prédateurs) et abiotiques (température, polluants, salinité, pH) sur l'ensemble du cycle de vie des organismes étudiés, avec l'ambition de répondre à différentes questions :

- Quels sont les effets des facteurs environnementaux sur les phases précoces du développement (œuf et phase larvaire), les impacts à moyen et long terme sur la physiologie des stades ultérieurs (juvénile et adulte) ?
- Quelles sont les conséquences de ces effets sur le recrutement, la croissance et la survie des espèces au sein d'écosystèmes naturels ou exploités ?
- Quels sont les déterminants de la virulence et de l'émergence des bactéries pathogènes du genre *Vibrio* ?

L'unité développe des approches méthodologiques en biologie moléculaire et cellulaire, génomique, écophysiologie et modélisation, à l'échelle de l'organisme ou de l'écosystème. Nos travaux contribuent ainsi à améliorer la durabilité des productions aquacoles, aident à la conservation d'espèces menacées et visent à permettre une exploitation plus durable des écosystèmes côtiers.

## Moyens et effectifs

### Organisation de l'unité

L'unité PFOM, est constituée de deux laboratoires et d'une équipe :

- Le Laboratoire « Physiologie des Invertébrés » (LPI), Responsable : Fabrice Pernet, implanté sur le Centre Bretagne à Plouzané et sur le site expérimental d'Argenton.
- Le Laboratoire « Adaptation, Reproduction et Nutrition des poissons » (ARN), Responsable : David Mazurais, implanté sur le Centre Bretagne à Plouzané.
- L'Equipe « Génomique des Vibrio » (GV), Responsable : Frédérique Le Roux, Station Biologique de Roscoff.

LPI et ARN font partie de l'UMR 6539 LEMAR (Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin, UBO/CNRS/IRD/Ifremer, Direction : Géraldine Sarthou) depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2021.

L'équipe GV fait partie de l'UMR 8227 LBI2M (Laboratoire de Biologie Intégrative des Modèles Marins, CNRS/UPMC Direction : Stéphane Egée) depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014.

#### 1. Tableau de synthèse des personnels de l'unité au 31/12/2021

<b>Personnel permanent (dont 100 % en UMR)</b>	<b>34.8</b>	
<b>Scientifique et technologique</b>		
- animation scientifique et technique		<b>3 (dont 3 HDR)</b>
- chercheurs (dont ayant une HDR)		<b>17 (dont 7 HDR)</b>
- ingénieurs recherche et développement	<b>3</b>	
<b>Soutien à la recherche</b>		
- ingénieur	<b>1</b>	
- technicien	<b>12</b>	
- appui opérationnel		
<b>Fonctions support</b>		
- gestionnaire	<b>2</b>	
- direction		
<b>Personnel non permanent* (dont % en UMR)</b>		
- Alternants	<b>4</b>	
- CDD	<b>8</b>	
- Doctorants (dont étrangers)	<b>5 (1)</b>	
- Post-doctorants (dont étrangers)	<b>4 (2)</b>	
- Chercheurs étrangers invités		

## 2. Tableau de l'évolution du personnel permanent

Nom	Date effective de départ	Date d'arrivée	Raison du mouvement (retraite, MI, CSS, recrutement...)	Catégorie	Compétence(s)
CAHIER Karine		01/03/2021	Recrutement	Technicienne géonomie des vibrions	Géonomie
DUPOUE Andréaz		01/09/2021	Recrutement	Chercheur en écophysiologie	Ecophysiologie
GOUDENEGE David		01/03/2021	Recrutement		
LE DELLIU Hervé	31/07/2021		Retraite	Technicien biochimie	Biochimie

## 3. Personnel permanent Ifremer (au 31/12/2021)

Nom	Prénom	Emploi	UMR et équipe de rattachement*
CAHIER	Karine	Technicienne géonomie des vibrions	LBI2M, équipe GV
COLLET	Sophie	Technicienne en zootechnie	LEMAR, équipe 1
CORPOREAU	Charlotte	Chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1
Di POI BROUSSARD	Carole	Chercheur en écophysiologie	LEMAR, équipe 1
DIAGNE	Moussa	Technicien zootechnie	LEMAR, équipe 1
DUBREUIL	Christine	Technicienne en biologie moléculaire et histologie	LEMAR, équipe 1
DUPOUE	Andréaz	Chercheur en écophysiologie évolutive	LEMAR, équipe 1
FLEURY	Elodie	Chercheuse en physiologie	LEMAR, équipe 1
GOUDENEGE	David	Ingénieur	LBI2M, équipe GV
HERVIO-HEATH	Dominique	Chercheuse en microbiologie	LEMAR, équipe 1
HUBER	Matthias	Technicien zootechnie	LEMAR, équipe 1
HUVET	Arnaud	Chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1
IGNACIO-CIFRE	Rachel	Assistante de direction	LEMAR
KOECHLIN	Hugo	Ingénieur Expérimentation Animale	LEMAR, équipe 1
LABREUCHE	Yannick	Chercheur en microbiologie	LBI2M, équipe GV
LE DELLIU	Herve	Technicien biochimie	LEMAR, équipe 1



LE GALL	Marie Madeleine	Technicienne en biologie moléculaire	LEMAR, équipe 1
LE GRAND	Jacqueline	Technicien en biologie	LEMAR, équipe 1
LE ROUX	Frédérique	Chercheur en microbiologie	LBI2M, équipe GV
LE ROY	Valerian	Technicien en biologie	LEMAR, équipe 1
LE SOUCHU	Pierrick	Assistant de Direction	LEMAR
LOIZEAU	Véronique	Chercheuse en Bioaccumulation des contaminants organiques	LEMAR, équipe 1
LOZACH	Solen	Technicien(ne) bactériologie, biologie moléculaire et culture cellulaire	LEMAR, équipe 1
MADEC	Lauriane	Technicienne en biologie	LEMAR, équipe 1
MARHIC	Cindy	Assistante de direction	LEMAR
MAZURAS	David	Responsable de laboratoire, Chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1
MINER	Philippe	Ingénieur en biologie	LEMAR, équipe 1
MOUCHEL	Olivier	Ingénieur en biologie	LEMAR, équipe 1
PERNET	Fabrice	Responsable de laboratoire, Chercheur en biologie	LEMAR, équipe 1
PETTON	Bruno	Chercheur en biologie	LEMAR, équipe 1
PETTON	Sébastien	Ingénieur en traitement de données	LEMAR, équipe 1 & 2
POUVREAU	Stéphane	Chercheur en biologie	LEMAR, équipe 2
QUEAU	Isabelle	Technicien en zootechnie	LEMAR, équipe 1
QUILLIEN	Virgile	Technicien en biologie moléculaire et histologie	LEMAR, équipe 1
QUERE	Claudie	Technicien en biochimie	LEMAR, équipe 1
SALIN	Karine	Chercheur en écophysiologie	LEMAR, équipe 1
SERVILI	Arianna	Chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1
SIMON	Victor	Technicien en écophysiologie et expérimentation	LEMAR, équipe 1
ZAMBONINO	Jose-Luis	Responsable d'unité, Chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1

\* LEMAR équipe 1 : PANORAMA, LEMAR équipe 2 : DISCOVERY ; LBI2M équipe GV : Génomique des Vibrios.

#### 4. Personnel temporaire Ifremer en CDD (hors post-doc)

Nom	Prénom	Motif CDD
ARTIS	Thomas	Contrat en alternance

CAILLON	Coline	Aide financière à la formation recherche (thèse)
DASZKOWSKI	Pauline	Contrat d'apprentissage
DAUTRIAT	Alexandre	Contrat en alternance
DUGENY	Elyne	Aide financière à la formation recherche (thèse)
FLEURY	Marie-Lou	Contrat en alternance
GROMBERG	Theo	CDD Surcroît avec recettes
LABBE	Clémentine	Intérim
LANGLOIS	Fanny	Intérim
LOZAC'H	Léann	Contrat d'apprentissage
LUTIER	Mathieu	Aide financière à la formation recherche (thèse)
MAT	Audrey	CDD classique
MICHEL	Camille	Contrat de professionnalisation
PIEL	Damien	CDD Surcroit d'activité sans recettes associées
PRINTZI	Aliki	Aide financière à la formation recherche (thèse)
QUEMENEUR	Jean Baptiste	Aide financière à la formation recherche (thèse)
TALLEC	Kevin	CDD Surcroît avec recettes
VITRE	Thomas	Intérim

5. Personnel temporaire Ifremer en post-doc

Nom	Prénom	Post-doctorante
BERGER	Chloe	Post-doctorante
COHEN	Mishal	Post-doctorante
DETREE	Camille	Post-doctorante
GARCIA FERNANDEZ	Cristina	Post-doctorante

6. Accueils de longue durée : chercheurs, enseignant chercheurs, doctorants, post-doctorants

Nom	Prénom	Statut / Organisme d'origine	Période d'accueil
CLAIREAUX	Guy	Professeur, Université de Bretagne Occidentale	Depuis 02/2012
HERVY	Magali	Technicienne, Société SPF	Depuis 06/2007
LANCIEN	Frédéric	Enseignant-chercheur, Université de Bretagne Occidentale	Depuis 01/2017
OLLIVIER	Hélène	Enseignant-chercheur, Université de Bretagne Occidentale	Depuis 06/2015
VAGNER	Marie	Chercheur stagiaire – CNRS Université de La Rochelle	Depuis 09/2018

7. Accueils de courte durée et visiteurs occasionnels

Nom	Prénom	Organisme d'origine	Période d'accueil
Bernadini	Ilaria	Univ degli Studi PAdova (Italie)	02/2021-05/2021

## Moyens expérimentaux

- Expérimentations poissons

Les infrastructures expérimentales de l'unité PFOM dédiées aux poissons sont localisées dans le bâtiment Raoul Anthony-218 RDC du Centre Ifremer Bretagne à Plouzané. Elles apparaissent dans la tarification de l'Ifremer depuis 2010. D'une surface totale de 800 m<sup>2</sup>, elles comportent 2 halls. Le premier hall est composé de 5 unités regroupées en 3 blocs, chaque bloc étant dédié à une phase du cycle de vie, plus 2 bassins « animalerie ». Chaque unité a un débit d'eau maximal de 10 m<sup>3</sup>/h et possède une thermorégulation froide (minimum 9°C) et chaude de l'eau de mer (maximum 30°C) et un réglage de l'intensité lumineuse, de la photopériode. Le second hall est subdivisé en 4 zones, dédiées aux expérimentations sur juvéniles et adultes. Elles accueillent les poissons devant être maintenus sur des durées de plusieurs mois. Ces zones permettent aussi des ajustements de températures (3 températures possibles), et se distinguent surtout par leur très grande flexibilité car tous types de bassins (cylindro-coniques, cubiques de tailles différentes) peuvent-être facilement mis en place selon les besoins et la taille des poissons. De plus, elles peuvent aussi accueillir des dispositifs de mesure de digestibilité, de réglage du pH et O<sub>2</sub> de l'eau. Les débits d'eau utilisés peuvent aller jusqu'à 40 m<sup>3</sup>/heure pour l'ensemble des zones. Un tunnel de nage, unique en France, et récemment mis en place dans le cadre du LEMAR, permet d'effectuer des épreuves afin de caractériser les performances de nage des différents lots de poissons en fonction de leur trait de vie ou de leur origine. Il permet d'expérimenter sur plusieurs dizaines de poissons à la fois.

- Expérimentations mollusques

Les infrastructures expérimentales dédiées aux mollusques sont localisées dans le bâtiment Raoul Anthony- 218 et 217 bis RDC du Centre Ifremer Bretagne à Plouzané et sur le site d'Argenton. Ces deux infrastructures expérimentales sont complétées par un site atelier en milieu naturel à la Pointe du Château en rade de Brest.

Le site expérimental d'Argenton (bâtiments 260.00 et .01), d'une superficie totale de 800 m<sup>2</sup> (incluant les surfaces de laboratoires « secs » d'analyses), se caractérise plus spécifiquement par :

- Une eau sous influence océanique éloignée des zones de productions ostréicoles, aux caractéristiques physico-chimiques très stables, pompée dans un vivier d'environ 10 000 m<sup>3</sup> ;
- Une capacité de pompage importante (12 m<sup>3</sup>/h) pour alimenter en continu dix salles expérimentales ; cette eau filtrée (10, 5 et 1 µm) est traitée par UV en entrée des salles ;
- Une production de microalgues assurée tout au long de l'année sur plusieurs espèces
- Des structures d'élevage de formes et volumes variés (de 1 à 600 L), adaptées à tous les stades de vie étudiés (de la larve à l'adulte) ;
- Des automates de mesures des conditions expérimentales dans les bacs/structures (e.g. température, salinité, concentration cellulaire, pH, turbidité, oxygène)

Sur le site de Plouzané, les salles expérimentales mollusques, d'une superficie d'environ 122 m<sup>2</sup>, sont dédiées aux expérimentations sur les mollusques, avec un dispositif spécifique de traitement des effluents. Les infrastructures sur ce site se caractérisent par :

- Deux salles climatisées en chaud et froid (67 m<sup>2</sup>) permettant des expérimentations impliquant des infections expérimentales avec pathogènes, algues toxiques ou polluants et une salle de production d'algues (53 m<sup>2</sup>) connectées à une cuve de traitement des effluents (système de traitement au chlore mis en place en 2014).

Au sein du LB2M, l'équipe 'Génomique des vibrios' est amenée à utiliser les moyens expérimentaux suivants à la Station Biologique de Roscoff :

- Aquarium de stockage de naissain d'huîtres (capacité maximale : 10 000 ind.), nourries 3 fois par semaine avec du phytoplancton ;
- Salle d'infection expérimentale contenant 100 bacs de 2 litres ;
- Service mer/CRBM (FR2424) de la station de Roscoff.

### Moyens analytiques

L'unité dispose de moyens analytiques relevant des domaines suivants :

- Biochimie, lipidomique (plateforme « LipidOcéan »), enzymologie ;
- Histologie, immuno-histochimie, hybridation in situ ;
- Biologie moléculaire, génomique (expression de gènes bas débit (qPCR et dd-qPCR) et haut-débit : microarray, RNA-seq) et protéomique (electrophèse2D) ;
- Analyses des paramètres comportementaux (comportement de nage et fixation, Daniovision et EthoVision Noldus)
- Bactériologie, séquençage et annotation des génomes bactériens, mutagénèse.

L'ensemble des moyens analytiques et équipements du LEMAR sont recensés dans une base de données sous 'Labcollector': <http://www-iuem.univ-brest.fr/LEMAR/moyens-analytiques/maerl>.

L'unité PFOM fait également appel aux plateformes techniques et analytiques d'autres unités de l'Ifremer, de l'IUEM, de la Station Biologique de Roscoff, notamment dans le cadre du réseau des plates-formes Biogenouest (<http://www.biogenouest.org/>).

Au sein du LB2M, l'équipe 'Génomique des vibrios' dispose, à la Station Biologique de Roscoff, des moyens analytiques suivants :

- Plateformes de bio-informatique, séquençage, microscopie, surexpression des protéines, cristallographie et spectrométrie ;
- Laboratoire de microbiologie moléculaire.

### Implication dans la démarche qualité de l'institut

Dans le cadre de sa démarche Qualité, l'Ifremer a obtenu en novembre 2012, la certification ISO 9001 pour l'ensemble de son périmètre. Dès lors, des audits externes menés par l'AFNOR, sont organisés chaque année pour les différents processus se rapportant à l'ensemble des secteurs d'activités de notre organisme. Le renouvellement de cette certification a été validé en 2015 à l'issue d'une première période de 3 ans.

En 2017, la démarche Qualité initiée à PFOM a été poursuivie au travers de plusieurs points : alimentation de l'espace disque PFOM dédié à la Qualité et accessible par l'ensemble du personnel de l'unité, le suivi de la maintenance des équipements et le développement de la métrologie, la planification annuelle des activités et poursuite de la démarche d'amélioration au travers d'enquêtes de satisfaction. En effet, une diffusion systématique de « fiches de satisfaction clients » destinées à identifier les éventuels points faibles liés à l'exploitation de ses équipements a été mise en œuvre. L'objectif de cette démarche est de pouvoir envisager au travers du retour de ces fiches, les actions correctives nécessaires à l'amélioration de ses moyens expérimentaux.

## Résultats obtenus en 2021

Les travaux de recherche du laboratoire PFOM/ARN visent à mieux appréhender la réponse physiologique des poissons marins face à des contraintes environnementales principalement associées au changement global (acidification, augmentation des températures, désoxygénation et pollution). Cette réponse est évaluée à différentes échelles intégrant les dimensions moléculaires (expression génique, microbiote), cellulaires (mesure de respiration et mise au point de cultures), tissulaires (dosages proximaux, imagerie) et individuelles (test de performance et comportement). D'autres études touchent à des problématiques aquacoles, en particulier en rapport avec la nutrition.

Le laboratoire s'appuie sur une structure expérimentale et sur des compétences zootechniques permettant de contrôler les paramètres d'élevage pour reproduire des scénarios susceptibles d'être rencontrés par les poissons dans le milieu naturel. Une approche de physiologie intégrative tant en termes d'expertises (fonctions de reproduction, nutrition, métabolisme énergétique, système cardiovasculaire, système nerveux, système digestif, microbiote, bioaccumulation des contaminants) que méthodologiques est mise en œuvre pour répondre aux questionnements scientifiques posés.

### Laboratoire Adaptation, Reproduction, Nutrition (ARN)

Les travaux de recherche du laboratoire PFOM/ARN visent à mieux appréhender la réponse physiologique des poissons marins face à des contraintes environnementales principalement associées au changement global (acidification, augmentation des températures, désoxygénation et pollution). Cette réponse est évaluée à différentes échelles intégrant les dimensions moléculaires (expression génique, microbiote), cellulaires (mesure de respiration et mise au point de cultures), tissulaires (dosages proximaux, imagerie) et individuelles (test de performance et comportement). D'autres études touchent à des problématiques aquacoles, en particulier en rapport avec la nutrition.

Le laboratoire s'appuie sur une structure expérimentale et sur des compétences zootechniques permettant de contrôler les paramètres d'élevage pour reproduire des scénarios susceptibles d'être rencontrés par les poissons dans le milieu naturel. Une approche de physiologie intégrative tant en termes d'expertises (fonctions de reproduction, nutrition, métabolisme énergétique, système cardiovasculaire, système nerveux, système digestif, microbiote, bioaccumulation des contaminants) que méthodologiques est mise en œuvre pour répondre aux questionnements scientifiques posés. Du fait de son appartenance à l'UMR 6539 LEMAR et à l'équipe PANORAMA, le laboratoire accueille 1 CR CNRS et 3 enseignants chercheurs de l'UBO (2 Maîtres de Conférences et un Professeur) qui sont totalement intégrés dans les thématiques de recherche conduites par le laboratoire.

Réponses associées au changement climatique et facteurs anthropiques

#### **Métabolisme énergétique**

Lien entre nage aérobie et performance mitochondriale.

Travail réalisé par un doctorant, Jean-Baptiste Quéméneur, en collaboration avec Hélène Ollivier et Guy Claireaux (LEMAR).

Les animaux côtiers sont de plus en plus fréquemment exposés aux diminutions de la concentration en oxygène dissoute dans l'eau. Une diminution modérée du niveau d'oxygénation peut limiter les performances mitochondriales et peut amener à des diminutions de la nage aérobie des animaux. Un poisson chroniquement exposé à de faible niveau en oxygène pourrait s'acclimater vers des mitochondries plus efficaces à faire de l'ATP, l'énergie cellulaire. Pour répondre à cette hypothèse, nous avons suivi 80 poissons, 40 acclimatés à une hypoxie et 40 poissons contrôles (Figure 1). Les performances de nage de chaque poisson ont été mesurées à l'aide d'un test d'accélération constante dans un tunnel

de nage les fonctions mitochondriales du muscle rouge de chaque poisson ont été mesurées. Les données sont en cours d'analyse.

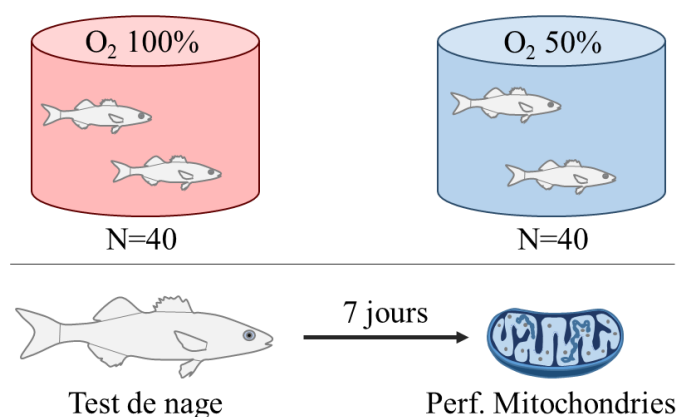


Figure 1 : illustration du design experimental

Comparaison de méthodes pour la mesure de l'efficacité mitochondriale.

Travail réalisé par une alternante, Léann Lozach, en collaboration avec Damien Roussel (Université Lyon 1 clade Bernard), Frank Seebacher (Université de Sydney) et Christos Chinopoulos (Université de Semmelweis).

Les mitochondries, organites de nos cellules, permettent la synthèse d'adénosine tri-phosphate (ATP) en consommant de l'oxygène. Leur capacité à réaliser cette synthèse est appelée efficacité mitochondriale et est mesurée par le rapport de phosphorylation sur l'oxydation (P/O). Dans cette étude sur le bar, nous avons comparé trois méthodes de mesure de l'ATP : fluorimétrie (longue et complexe), spectrophotométrie (rapide et complexe) et polarographique (rapide et simple). La détermination de la production en ATP et le ratio P/O calculé pour les méthodes fluorimétrie et polarographique sont répétables. La méthode polarographique est la plus fiable pour l'évaluation de l'efficacité mitochondriale quand on s'affranchit du paramètre « mesure de la production en ATP ». En prenant en compte tous les paramètres, la méthode fluorimétrie semble plus judicieuse. La méthode spectrophotométrique n'est pas répétable et semble nécessiter un approfondissement afin de déterminer d'où provient le bruit de fond de la consommation en dioxygène. A l'issue des essais, la méthode fluorimétrie semble la plus répétable et cohérente pour la mesure des différents paramètres permettant le calcul du ratio P/O.

Etude des effets transgénérationnels de l'exposition à l'acidification sur le métabolisme énergétique du bar européen (Intervenants : Hélène Ollivier et Guy Claireaux).

Dans le cadre du projet PACIO (Programme « Acidification des Océans (AO) » financé par la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité), nous avons étudié en 2017, l'effet de l'acidification sur le métabolisme énergétique du bar européen (*Dicentrarchus Labrax*). Chez des poissons de **génération F0**, nous avons comparé, par respirométrie, les taux métaboliques standard et maximal (SMR et MMR), ainsi que le registre métabolique (AS) et l'écart interquartile (IR) de deux lots d'animaux : l'un élevé dans les conditions de pH actuel (« Contrôles », pH 8.0) et l'autre dans les conditions de pH prévues dans le scénario RCP8.5 du GIEC (« Acidifiés », pH 7.6). Nos résultats ont montré une différence significative pour plusieurs paramètres. Toutefois, la dispersion des données (mesurée à travers le paramètre IR) plus élevée chez les poissons « contrôles » que chez les poissons « acidifiés » montrent que ces différences entre lots seraient davantage liées à des différences de comportement (agitation dans les respiromètres) qu'à des différences de phénotypes respiratoires/métaboliques (physiologie). En 2021, nous avons

reproduit des expériences similaires sur des bars de **génération F1**, afin d'évaluer les effets intergénérationnels d'une exposition à l'acidification. Pour tous les paramètres mesurés, nos résultats ne montrent aucune différence significative entre les deux lots d'animaux (figure2). Ces expériences, menées à 4 années d'intervalle sur deux générations distinctes de bar, nous incitent donc à conclure que d'une manière générale, ce niveau d'acidification (scénario GIEC) impacte peu ou pas le métabolisme énergétique du bar. Des expériences complémentaires seraient nécessaires pour déterminer la valeur limite de pH en-deçà de laquelle les processus métaboliques sont perturbés chez le bar. De toute évidence, cette valeur critique est inférieure à 7.6, un constat peu surprenant au regard de la présence de cette espèce dans des eaux dont le pH atteint couramment 7.0.

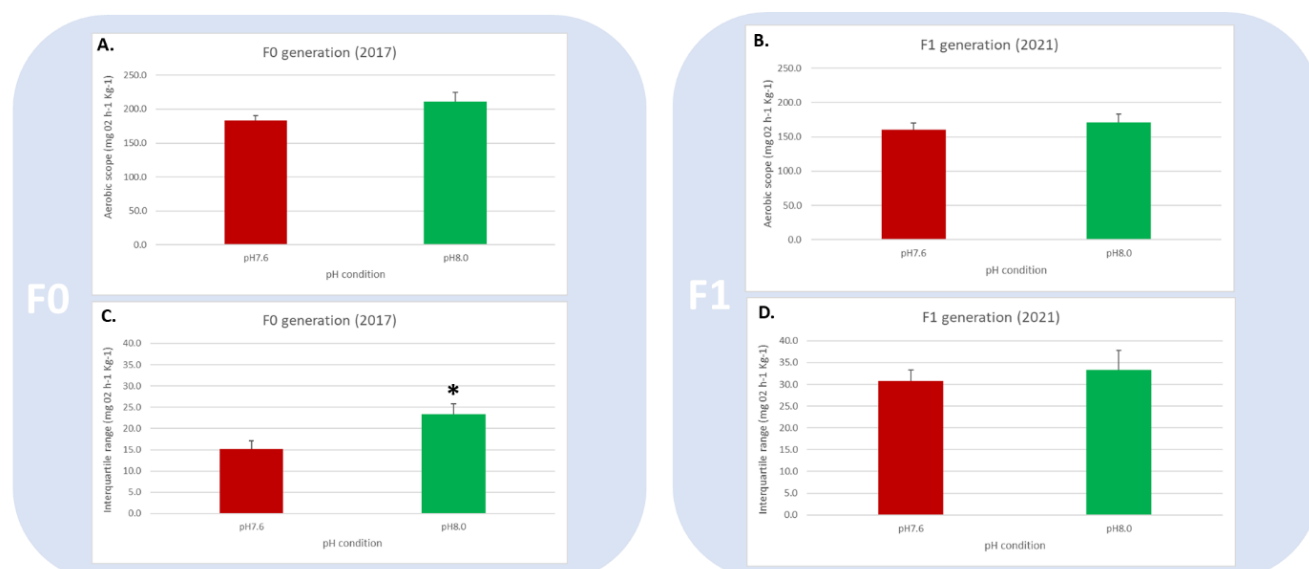


Figure 2 : Le registre métabolique (A. et B.) et l'écart interquartile (C. et D.) ont été mesurés par respirométrie chez deux lots de bars : un lot « contrôles » à pH 8.0 (en vert) et un lot « acidifiés » à pH 7.6 (en rouge). Les résultats obtenus sur la génération F0 figurent à gauche et ceux obtenus sur la génération F1 figurent à droite. L'astérisque (\*) indique une différence significative entre les lots.

### Système neuroendocrinien et de la fonction de reproduction

Développement et caractérisation d'outils in vitro pour l'étude des effets de l'acidification des océans sur le contrôle central de la reproduction (Intervenants : Soizig Le Garrec, Audrey Duval, Olivier Mouchel et Arianna Servili).

Les stages de Soizig Le Garrec et Audrey Duval ont permis d'optimiser le protocole d'obtention et cultures primaires de cellules neurales de bars européen de façon à stimuler la viabilité et les connexions neuronales.

En 2021 nous avons mis en évidence une influence de l'acidification des océans sur la production de neuromodulateurs impliqués dans l'axe de la reproduction, en utilisant les cultures primaires enrichies en neurones de bar européen et la lignée cellulaire stable de cerveau de dorade (SaB-1) (figure 3). Par immunohistochimie et expression génique (RT-qPCR), une augmentation de la production de GnRH-1, GnRH-2 et de sérotonine a été démontrée en condition d'acidification. La régulation de ces neurohormones est influencée par la signalisation GABAergique, comme démontré par la diminution de leur fluorescence et la sous-expression observées lors du traitement à la gabazine (antagoniste du récepteur à GABA A) et également par l'augmentation de leur fluorescence et surexpression observées après un traitement au muscimole (agoniste de récepteur à GABA A). Ces résultats permettraient d'expliquer l'avancement de la période de ponte observée chez certaines espèces de poissons en condition d'acidification, bien que d'autres hypothèses comme celle d'un dérèglement de la rythmicité circadienne ne sont pas à exclure.



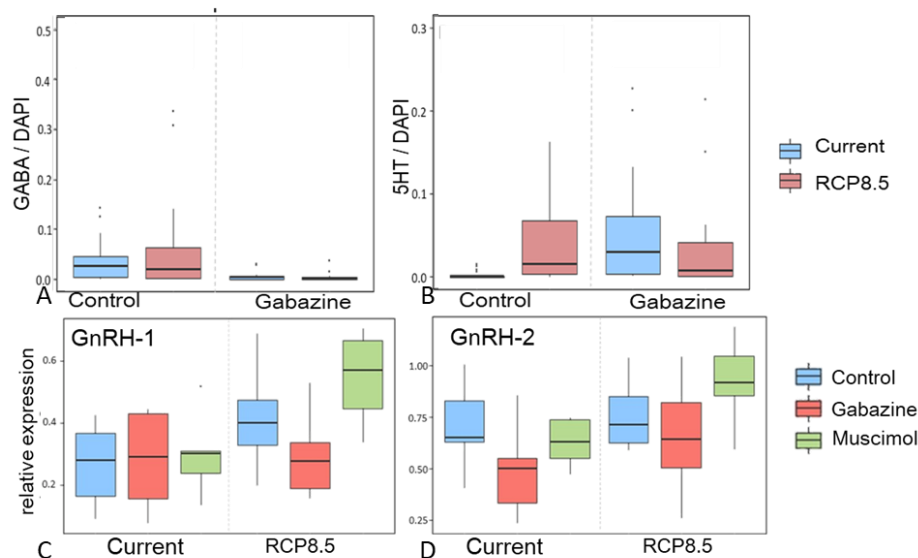


Figure 3 : A-B représentent la quantification de la fluorescence obtenue par immunohistochimie avec un anticorps anti GABA (A) et anti sérotonine (B) normalisée par celle du DAPI (marqueur de noyaux) dans les cultures primaires de cerveau de bar. Les boîtes à moustache en bleu correspondent aux cellules cultivées en condition « Présent », celles en rose aux cellules cultivées en condition d'acidification ; à gauche les résultats pour la condition contrôle et à droite les résultats après traitement à la gabazine (antagoniste du récepteur à GABA A). C-D représentent les niveaux d'expression relative corrigés des gènes GnRH-1 (C) et GnRH-2 (D) en fonction des milieux de culture (conditions « Présent » ou « AO ») et du traitement expérimental (Bleu : contrôle, Rouge : exposition à la gabazine, Vert : exposition au muscimole), chez les cellules de la lignée SaB-1.

Effets combinés de l'acidification et de l'augmentation de température des océans avec la présence d'un polluant

Projet IceFish-ECHANGE : effet de l'Éthinylestradiol sur le cycle de vie et la physiologie d'un poisson sentinelle euryhalin en condition de CHANGement climatique. EC2CO-DYCOVI (2020-2021). (Intervenants : Jimmy Devergne, Sophie Collet, Olivier Mouchel, Véronique Loizeau, Arianna Servili)

Le contexte de changement climatique conduit à l'altération des paramètres physico-chimiques des océans qui génèrent des conséquences sur la physiologie et la résilience des organismes aquatiques tributaires des variations de leurs milieux. Par ailleurs, ces organismes sont également soumis à un nombre croissant de contaminants chimiques dont les perturbateurs endocriniens susceptibles également d'impacter leur fitness. Dans un contexte multi-stress, et par une approche expérimentale, cette étude vise : 1/ à caractériser les effets de la température (+3°C) et du pH (-0.4) (scénario RCP8.5) sur les fonctions physiologiques de l'épinoche marine (*Gasterosteus aculeatus*) et 2/ à évaluer si la présence d'un contaminant présentant une activité biologique connue (stress oestrogénique avec une exposition à l'éthinylestradiol (EE2)) module ces effets au cours de son cycle de vie complet. Afin de répondre à ces questions en 2021 les épinoches (F0) ont été réparties en 2 scénarii environnementaux (Actuel et RCP8.5) et leur descendance (F1), obtenue par fertilisation in vitro au laboratoire, a été soumise au même scénario climatique que leurs géniteurs et également à une contamination chimique réaliste d'un point de vue environnemental (15ng EE2.L<sup>-1</sup>), pendant le stade embryon-larvaire. Nous avons réalisé un suivi de croissance, de performances reproductives et également de prélèvements tissulaires afin de déterminer les phénotypes de 2 groupes expérimentaux et de 2 générations (F0 et F1), par des approches moléculaires et biochimiques. Les premiers résultats montrent une tendance des œufs à avoir un diamètre plus faible et un espace périvitellin plus important 3 jours après fécondation en condition RPC8.5 indépendamment du traitement chimique. Les taux de croissance des individus F1 de la condition RCP8.5,

contaminée à l'EE2 montrent les valeurs les plus faibles, tandis que les taux les plus élevés sont observables dans la condition Témoin (Actuelle, non contaminée). Ces premiers résultats exploratoires suggèrent des effets précoces des conditions environnementales et chimiques. D'autres analyses histologiques, biochimiques et moléculaires sont actuellement en cours afin de mieux caractériser le phénotype de chaque population.

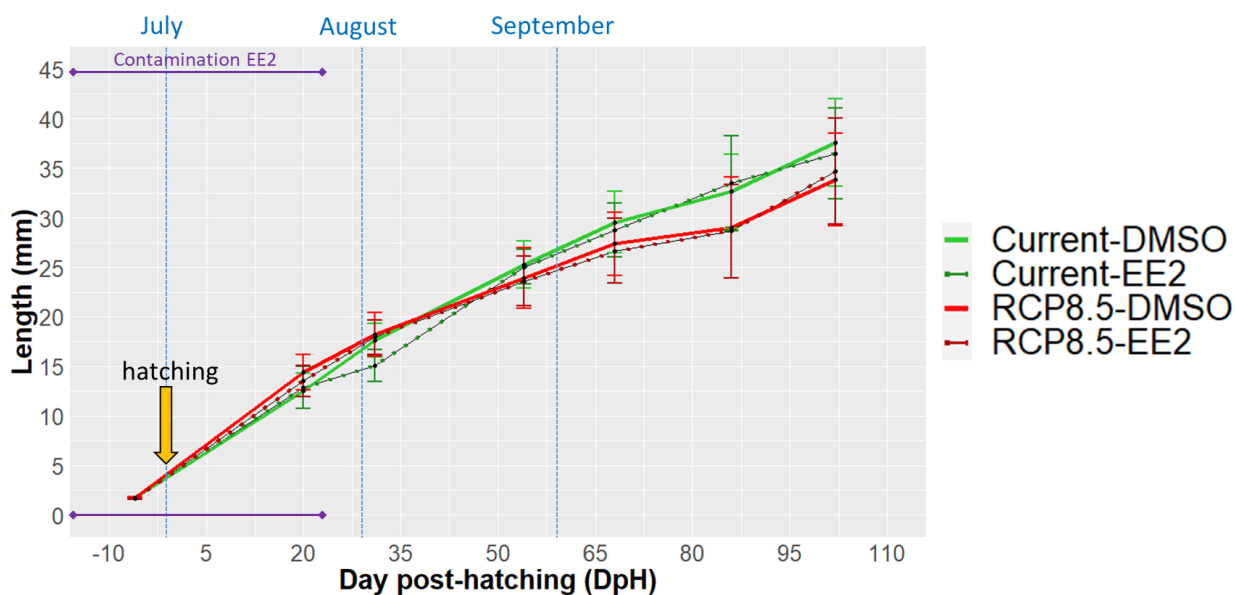


Figure 4 : Evolution de la croissance en taille des épinoches (F1) des différents groupes expérimentaux (Température et pH actuel sans contamination chimique « Current-DMSO » et avec une contamination à l'EE2 « Current-EE2 » ; Condition de réchauffement et d'acidification sans « RCP8.5-DMSO » et avec contamination à l'EE2 « RCP8.5-EE2 »). La contamination chimique a eu lieu pendant la phase embryonnaire.

Aucours de cette année, nous avons également réalisé des prélèvements tissulaires sur les épinoches conditionnées dans les structures expérimentales de l'INERIS, soumises aux mêmes conditions expérimentales (Température, pH, contamination EE2) en condition d'eau douce. Ces échantillons seront également analysés prochainement.

#### **Effets combinés de multiples facteurs sur des paramètres physiologiques en vue de modélisation**

**SEAWISE H2020 "BG-10 Fisheries in the full ecosystem context proposal"** (Intervenants : David Mazurais, José Zambonino, Véronique Loizeau, Karine Salin, Helene Ollivier, Guy Claireaux, Marie Vagner, Olivier Mouchel, Marie Madeleine, Lauraine Madec, Arianna Servili)

Le laboratoire intervient dans le WP3 (« Ecological effects on fisheries yield ») et est plus particulièrement en charge de fournir des données expérimentales sur les effets des facteurs environnementaux et polluants chimiques sur les principaux processus biologiques contrôlant le recrutement, la croissance, la maturation sexuelle et la survie du bar européen. Afin de compléter des résultats antérieurs acquis par ARN (projets PACIO, FITNESS, OASYS, DEADLY-TRIO) et en collaboration avec les collègues du laboratoire de biologie halieutique (LBH), et de l'unité Contamination Chimique des Ecosystèmes Marins (CCEM<sup>o</sup>, un « design » expérimental a été planifié et les demandes d'autorisations pour l'expérimentation animale sont en cours.

#### **Effet d'une carence en oméga 3 sur les performances physiologiques et comportementales d'espèces d'intérêt.**

**OMEGA (Projet Flagship Isblue 2021-2024)** (Intervenants : Marie Vagner, Arianna Servili, David Mazurais, José Zambonino, Sophie Collet, Victor Simon, Mathilde Bertrand).

Les oméga-3 marins à longue chaîne (Oméga 3 LC dont l'EPA et le DHA) sont nécessaires aux différentes fonctions vitales des êtres humains (développement du cerveau des fœtus et des jeunes enfants, croissance, protection contre de nombreuses pathologies comme les maladies cardio-vasculaires ou certains cancers...). Les oméga-3 terrestres présents dans les huiles végétales (huile de lin, de noix...) ne sont pas des EPA et DHA et ne sont que très faiblement transformés en EPA et DHA par les êtres humains (5- 10%), ce qui est insuffisant pour assurer une santé humaine optimale.

Les populations de petits poissons pélagiques, ou poissons bleus comme la sardine ou l'anchois, sont la source principale d'oméga-3 marins pour la consommation directe ou indirecte (fabrication d'huile et de farines destinées à l'aquaculture et à l'élevage) par les populations humaines. Les plus importantes populations de poissons bleus se trouvent dans les zones côtières d'Amérique du Nord et du Sud, d'Afrique de l'Ouest, et d'Afrique du Sud.

Pourtant les poissons bleus, comme la majorité des poissons marins, ne produisent que de faibles quantités d'EPA et de DHA, et doivent les obtenir par leur alimentation. Ces oméga-3 marins sont produits par les premiers maillons de la chaîne alimentaire (les microalgues principalement), et sont ensuite transférés le long de la chaîne alimentaire.

Le changement climatique est susceptible d'entraîner une diminution de cette production par les microalgues. Ce phénomène, combiné à l'exploitation des stocks de poissons bleus et à l'augmentation de la population humaine, conduit actuellement à un avertissement clair que l'approvisionnement en oméga-3 marins pourrait devenir insuffisant d'ici 2040.

Dans ce contexte, OMEGA couple les observations in situ sur 5 chantiers (Mexique, Pérou, Afrique Du sud, Sénégal et Golfe de Gascogne), l'expérimentation en laboratoire, la modélisation, l'économie et la psychosociologie pour comprendre l'évolution de l'offre et de la demande pour répondre aux enjeux de disponibilité en oméga-3 pour les humains, tout en maintenant l'état de santé des écosystèmes.

Le laboratoire est impliqué dans le volet expérimental de ce projet, avec pour ambition de mener des expérimentations sur une espèce de petit pélagique locale, la sardine du golfe de Gascogne, à différents stades de vie (larvaire et adulte). Des poissons adultes sont actuellement en stabulation au laboratoire, et vont prochainement être soumis à 2 conditions d'alimentation (riche ou pauvre en oméga 3). Leurs performances physiologiques en terme d'indice de condition, métabolisme des acides gras, métabolisme énergétique (mesure de taux métaboliques), et comportementaux (réponse de fuite, comportement en banc) seront étudiés après 6 mois de conditionnement.

**ADJUST (Projet Emergence Isblue / EC2CO)** (Intervenants : Marie Vagner, David Mazurais, Victor Simon, Mickael Péron)

Les objectifs de ce projet sont de :

- (1) Faire un état des lieux, en milieu naturel, de la capacité d'une espèce euryhaline d'intérêt à produire des oméga-3 LC en fonction de son lieu de prélèvement (2 estuaires français : la Loire et la Seine) et de son stade ontogénique,
- (2) Évaluer expérimentalement la plasticité de ces voies de synthèse naturelles en mesurant leur modulation face à un scénario futur de baisse trophique en oméga-3 LC,
- (3) Évaluer expérimentalement le coût métabolique au niveau individuel de la mise en œuvre de ces voies de synthèse.

L'accent est mis sur le bar *D. labrax*, espèce euryhaline d'une grande importance écologique et économique en Europe (écolabellisation du « bar de ligne »), et pierre angulaire dans le transfert des oméga-3 LC produits en milieu marin vers l'homme et dans l'exportation de matières, dont les oméga-3 LC, des eaux marines où elle se reproduit, vers les eaux saumâtres (estuaires et lagunes côtières), et parfois les rivières.

L'hypothèse qui sera vérifiée est que, face à un scénario futur dans lequel l'environnement trophique est appauvri en oméga 3 LC, le bar aurait la capacité d'ajuster ses voies de synthèse en oméga 3 LC pour maintenir ses fonctions physiologiques.

Des bars de stade 1 an sont actuellement en conditionnement au laboratoire avec deux types d'aliments (carencé ou non en oméga 3), avant que des mesures physiologiques et comportementales soient faites.

**Effets combinés de l'acidification et de l'augmentation de température des océans sur la composition et la diversité bactérienne du microbiote intestinal chez le bar européen**

**Projet Microbar** (intervenants Océane Reneteaud - M2, Thomas Artis - alternant L3P, Solen Lozach, Cyril Noel, Gwenaëlle Le Blay, Dominique Hervio Heath)

Le projet Microbar vise à appréhender l'impact de stress environnementaux (température et acidification) sur le microbiote (composition et diversité) du bar européen et les conséquences éventuelles sur la physiologie et la santé de l'hôte.

Des juvéniles de bar ont été acclimatés à deux conditions de pH et de température (6 mois au scénario actuel et au scénario GIEC RCP8.5 : température +3°C et pH -0.4 ; projets IMPACIBL et DEADLY-TRIO). Des prélèvements d'intestin (contenu et paroi intestinaux), de peau et de branchies (mucus) ont été réalisés chez les bars ainsi que des prélèvements d'eau des bacs et des aliments, avant et à l'issue de cette acclimatation, afin (i) de déterminer la composition et la structure des communautés bactériennes associées à la peau, aux branchies et à l'intestin de juvéniles de bar (NGS métabarcoding, ARNr 16S) et (ii) de caractériser les effets de l'acidification sur ces communautés.

Dans cette étude, nous avons comparé trois méthodes d'extraction d'ADN dont deux comprenant une lyse chimique suivie de l'utilisation de kits commerciaux et une méthode comprenant une lyse chimique et une extraction phénol-chloroforme (CTAB-PCI). La détermination de la quantité et de la qualité des ADN extraits et l'amplification de la région hypervariable V3-V4 de l'ARNr 16S ont montré que la méthode utilisant le kit FastDNA Spin for Soil était la plus répétable et la plus fiable pour l'amplification des ADN bactériens à partir des prélèvements intestinaux (Figure 5). Le séquençage des ARNr 16S (Illumina Miseq) est actuellement en cours.

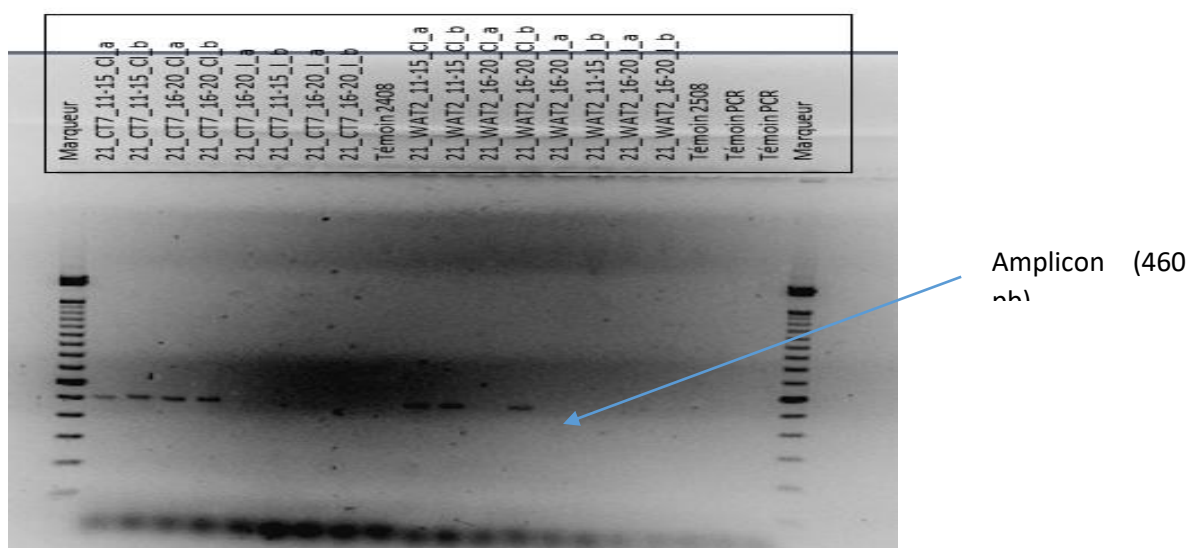


Figure 5 : Amplification de la région V3-V4 (ARNr 16S) à partir des tissus intestinaux (contenu intestinal, ci et paroi, I) prélevés chez des juvéniles de bar en conditions contrôle (CT, scénario actuel) ou GIEC RCP8.5 (WAT).

**Effets des captures sur les paramètres physiologiques de la sole**

**Projet DREAM** « Devenir des REjets : de l’Air au fond de la Mer » (Intervenants : José Zambonino, Sophie Collet, Laurianne Madec, Thomas Vitré-CDD)

Le projet DREAM, « Devenir des REjets : de l’Air au fond de la Mer » vise à comprendre le processus de réintégration des rejets dans l’écosystème afin d’être en mesure de proposer des pistes d’amélioration qui limiteraient l’incidence de la pêche sur ce compartiment. Pour cela, il était nécessaire d’estimer le devenir des rejets et d’identifier quelles espèces pourraient en bénéficier et dans quelles mesures. Le projet a combiné l’étude de la vitalité avec la télémétrie en baie de Bourgneuf pour étudier le devenir des soles rejetées vivantes après chalutage.

Pour cette phase, des expérimentations en mer ont eu lieu à bord d’un chalutier professionnel ciblant les divers poissons. L’état de vitalité des soles a été évalué en quatre catégories en sortie du chalut : excellent, bon, moyen ou mort. Les soles ont été placées dans des cages séparées dans un réservoir alimenté en eau de mer courante. Une prise de sang a été réalisée sur les 3 premières catégories de soles à différents temps de récupération (0, 30, 60 et 90 minutes) et pour déterminer le niveau d’épuisement physique et de stress subi par les poissons (e.g. glucose, lactate et cortisol). Les soles ont été immédiatement euthanasiées après chaque prélèvement sanguin, et le plasma a été récupéré après centrifugation (10 min à 3000g) et congelé à -20°C en attendant les analyses. Un total de 60 soles a été traité.

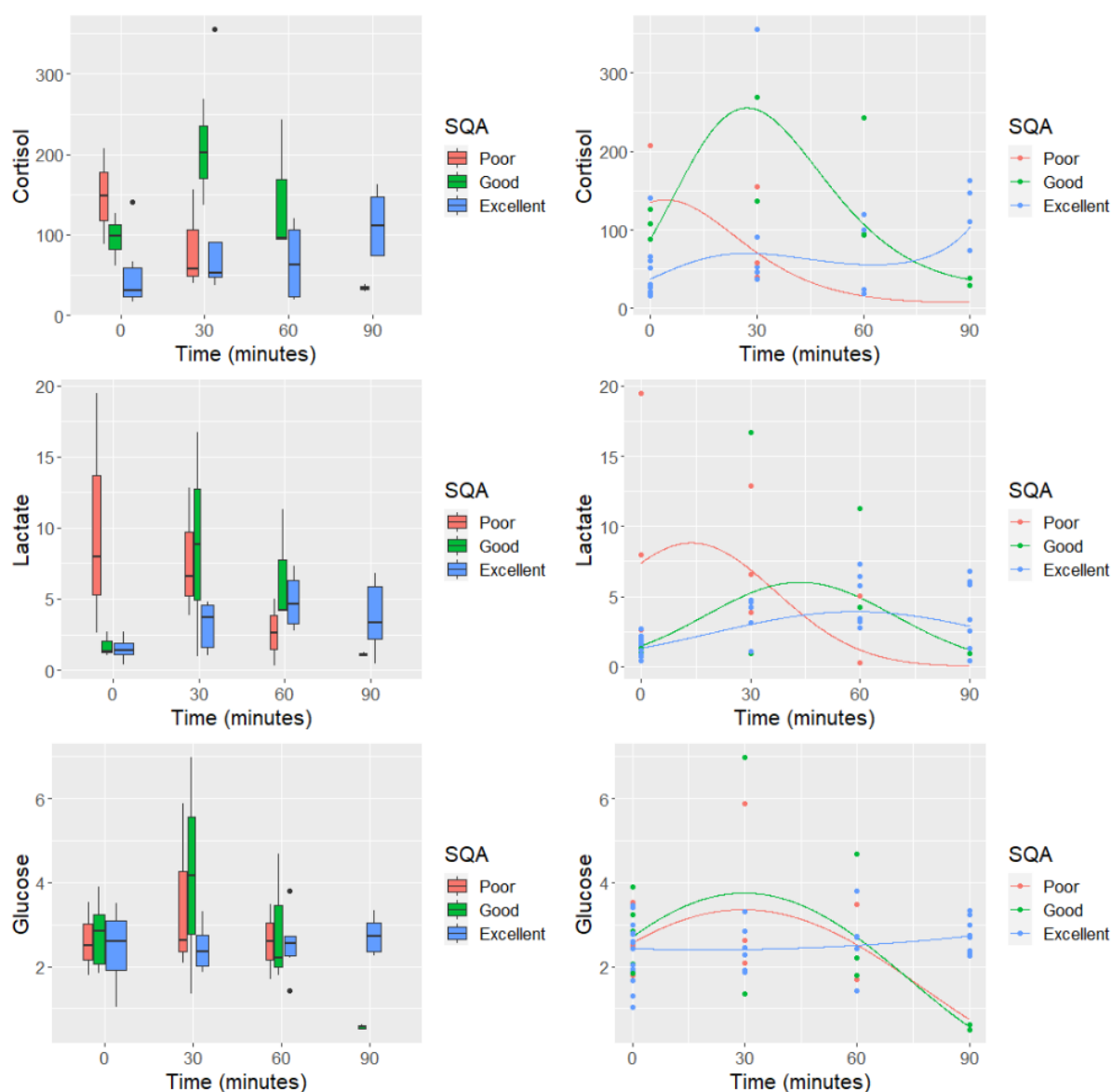


Figure 6 : Concentrations de Cortisol, lactate et glucose déterminées dans le plasma des trois différentes catégories (Excellent, Bon, Mauvais) de soles pendant la période de récupération. Gauche : Boxplots pour

chaque temps de surveillance. Droite : Prédiction (lignes) issues d'une régression gaussienne pour les trois paramètres plasmatiques observés (points) en fonction de la vitalité et du temps de surveillance.

Au temps 0, les trois catégories de vitalité se distinguent clairement par les niveaux de cortisol et de lactate: plus les niveaux sont élevés, plus l'altération des réflexes est importante. Le profil des taux de cortisol, de lactate et de glucose suit généralement un schéma similaire pour tous les poissons, avec un pic généralement observé 1 à 2 heures après le début du stress. Ces pics ne semblent pas survenir au même moment chez les poissons conservés dans le bac à bord, puisqu'ils sont observés à 30 min et 60 minutes pour les poissons bons et excellents respectivement, alors qu'une diminution a été notée chez les individus présentant une plus grande altération des réflexes (catégorie Mauvais). Ces décalages suggéreraient que le stress de la capture dans le chalut n'a pas été vécu au même moment par les poissons, ce qui signifierait que les 3 catégories de vitalité reflètent principalement la durée de la capture ; selon cette hypothèse, les poissons dits excellents seraient ceux qui ont été capturés en dernier. La baisse relative des niveaux de cortisol et de lactate dans les soles présentant les plus mauvais scores RAMP (catégorie Mauvais) semble correspondre davantage à un état à partir duquel une récupération complète est moins probable. Dans les deux autres catégories, une récupération semble se produire et laisserait supposer que ces soles ont une forte probabilité de survivre si remises à l'eau.

Problématique aquacole

### ***Effet des peptides alimentaires sur le développement osseux des poissons***

Projet de thèse d'Aliki Printzi (Financement Ifremer ; Intervenants : José Zambonino, David Mazurais, Sophie Collet, Victor Simon)

L'objectif de la thèse d'Aliki Printzi est de mieux appréhender l'effet des peptides alimentaires sur le développement du squelette et les procédures de remodelage osseux chez deux espèces de poissons, le poisson zèbre (*Danio rerio*) et le bar européen.

La comparaison des transcriptomes par analyse RNAseq entre des échantillons prélevés chez des poissons zebres présentant des malformations et des poissons ne présentant pas de malformation à l'issue d'un challenge de nage (prélèvements réalisés en 2020) révèle que les processus biologiques associés à la différenciation des cellules mésenchymateuses en cellules osseuses ou encore à la réparation aux dommages à l'ADN sont impliqués dans le remodelage osseux.

Par ailleurs, les résultats obtenus au cours de l'expérience réalisée en 2021 chez les larves et juvéniles de bar vont dans le même sens que ceux obtenus l'année précédente chez le poisson zèbre. Les poissons alimentés avec un régime enrichi en petits peptides présentent moins de malformations squelettiques (lordoses et scolioses) à l'issue du développement larvaire et ont une meilleure résilience vis-à-vis de malformations générées par un exercice de nage intense (figure 7).

## P12 increases tolerance against swimming-induced haemal lordosis

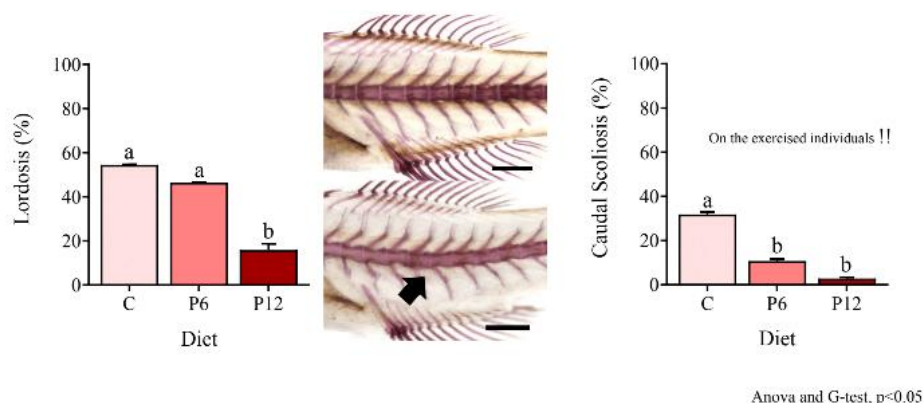


Figure 7 : Les bars alimentés avec des régimes enrichis en petits peptides (groupes P6 et P12) présentent significativement moins de malformations squelettiques à l'issue d'un exercice de nage que les poissons nourris avec un aliment traditionnel contrôle (C).

### **Valorisation des nutriments résiduels par l'intégration des technologies de digestion algale et anaérobie**

Expérimentations réalisées dans le cadre du projet Interreg NWE ALG-AD (Intervenants : José Zambonino, Victor Simon)

L'huile de poisson est un ingrédient clé des aliments destinés aux espèces de poissons et de crustacés d'élevage, car elle est utilisée comme source d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne n-3 (AGPI LC n-3) essentiels. L'utilisation de microalgues, comme source alternative d'AGPI n-3 LC aux huiles de poisson provenant de petits poissons pélagiques (par exemple, anchois, sardines), a suscité un intérêt croissant au cours des dernières années. Les espèces du genre *Schizochytrium* sont particulièrement pertinentes pour ce type d'application, principalement en raison de leur teneur élevée en AGPI n-3 LC.

Le projet visait à : i) appliquer un processus de production d'*Aurantiocytrium mangrovei* (anciennement appelé *Schizochytrium*) par fermentation hétérotrophe en utilisant un milieu contenant des effluents liquides de digestion anaérobie, ii) valoriser cette biomasse riche en AGPI n-3 LC et en protéines de bonne qualité comme ingrédients alimentaires pour les juvéniles de bar.

Deux bioréacteurs de 800 L ont été utilisés pour produire la biomasse d'*Aurantiocytrium* dans des conditions non-axéniques. La biomasse récoltée a été lyophilisée et incluse à 15% dans l'aliment de Juvéniles de Bar dans deux expérimentations.

Dans la première expérimentation, des juvéniles de bar âgés de six mois ( $32,7 \pm 4,2$  g) ont été nourris avec des régimes témoins et à base d'*Aurantiocytrium* à raison de 2% de la masse du poisson par jour, pendant 38 jours. Une croissance équivalente a été obtenus entre les deux régimes, démontrant la possibilité de remplacer 15% d'un aliment standard par de la biomasse d'*Aurantiocytrium*. La composition du foie en acides gras des juvéniles de bar a été significativement affectée par les régimes. Les proportions de 22:6n-3, 22:5n-6, 20:4n-6 par rapport aux acides gras totaux ont augmenté de manière significative chez les poissons nourris avec le régime à base d'*Aurantiocytrium*. Une empreinte alimentaire similaire a été observée dans le muscle juvénile, mais dans une moindre mesure.

Au cours de la deuxième expérimentation d'une durée de 6 semaines, les juvéniles ont eu un gain de poids de 60g à 85g et 90g lorsqu'ils étaient respectivement nourris avec le régime témoin et le régime *Aurantiocytrium*, soit un gain de croissance de 6% avec la biomasse d'*Aurantiocytrium*. Comme observé

dans le premier essai d'alimentation des poissons, le foie est plus intensivement imprégné que le muscle par les acides gras fournis par le régime à base d'*Aurantiocytrium*.

Ces expérimentations sur les juvéniles de bar ont montré que la biomasse d'*Aurantiocytrium* a été bien assimilée dans les tissus des poissons et peut remplacer l'huile de poisson dans l'alimentation du bar. En plus de fournir un niveau élevé d'AGPI n-3 LC, la biomasse d'*Aurantiocytrium* peut également apporter d'autres composés nutritionnels tels que des acides aminés essentiels, des vitamines, des pigments. Dans le futur, il sera essentiel d'optimiser davantage le couplage entre la culture d'*Aurantiocytrium* et la production d'aliments pour poissons et confirmer les résultats zootechniques et biochimiques.

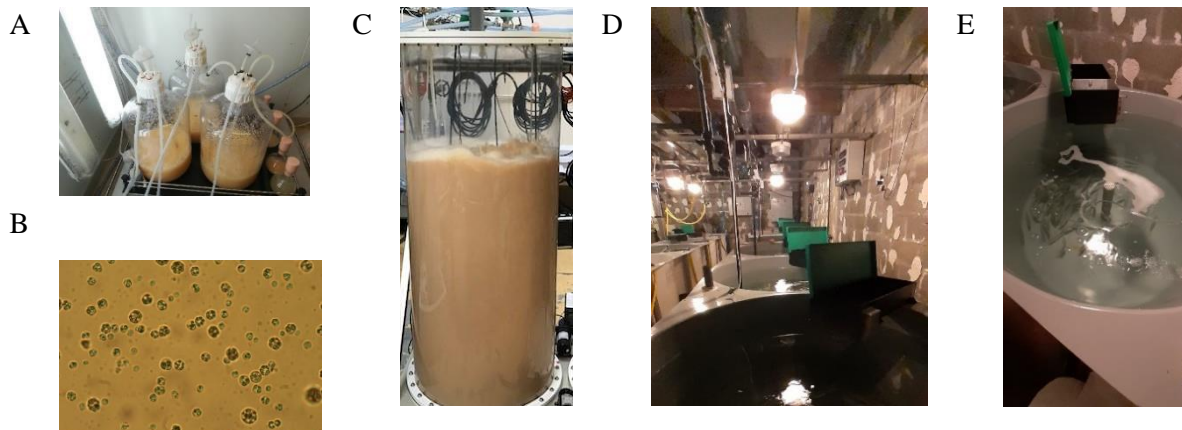


Figure 8 : Culture de 8L dans des carboys de 20L pour l'inoculum pilote (A), contrôle microscopique de la qualité de l'inoculum (B), Culture pilote dans des cylindres de 800L en poly(méthylméthacrylate) (PMMA) (C), salle expérimentale (D) et bassin d'élevage (E).



## Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (LPI)

Le LPI conduit des travaux de recherche sur les réponses physiologiques des mollusques exploités (huîtres creuse et plate, coquille Saint Jacques, pétoncle, palourde, praire, ormeaux) face aux modifications de leur environnement, portant par exemple sur les paramètres température, pH, salinité, qualité et quantité des ressources trophiques, présence de pathogènes ou de contaminants tels que les microplastiques. Plus précisément, le questionnement du LPI vise à comprendre les réponses physiologiques de ces organismes marins, aux différents stades de leur cycle de vie, dans un environnement fluctuant, via des approches expérimentales d'écophysiologie. Pour ce faire, les principaux traits de vie (e.g. reproduction, croissance, survie) sont étudiés à différentes échelles (de l'individu à la population) en milieu contrôlé ou en milieu naturel, par le biais de plusieurs outils (moléculaires, protéiques, biochimiques, éco-physiologiques ou de modélisation).

Les actions développées par le laboratoire s'orientent donc autour de trois objectifs principaux :

- Développer des indicateurs physiologiques intégrateurs de la réponse des individus aux changements de l'environnement par des approches couplées in vitro, in situ et in silico.
- Étudier l'impact de l'élévation de la température, l'acidification des océans, la modification de la productivité primaire, l'occurrence croissante de crises dystrophiques, d'efflorescences de phytoplancton toxique, d'épizooties et de contaminants (micro- et nano-plastique, contaminants émergents) sur la réponse physiologique et le comportement des organismes marins,
- Étudier, en milieux naturel et contrôlé, l'importance de la physiologie et du comportement des bivalves dans le déterminisme du recrutement et ainsi contribuer à améliorer les modèles de dispersion larvaire et de connectivité des populations.

Les actions de recherche portées par le LPI sont cofinancées par différents « guichets » régionaux et nationaux : Région Bretagne, ISBlue, Direction des Pêches Maritime et de l'Aquaculture (DPMA), Agence Nationale de la Recherche (ANR), Europe (H2020, FEAMP) et également par des financements internes à l'Ifremer : soutien du département Ressources Biologiques et Environnement (RBE) ou financement de la Direction Scientifique (DS).

### Production de naissain standardisé

La production de matériel biologique initiée en 2010, devenue l'action RBE FINA en 2013, est portée par le LPI depuis cette date (coordination initiale B. Petton, transfert de l'action en 2021 à H. Koechlin PFOM et V. Le Razavet PMM). Elle a pour objectif de fournir un matériel biologique de référence (larves, naissains ou adultes d'huîtres creuses standardisées Ifremer, respectivement LSI, NSI et ASI) à l'ensemble des projets Ifremer, et accessible aux partenaires extérieurs de l'Institut. Ces productions font l'objet d'une collaboration entre les outils contrôlés de PFOM/PI Argenton et de la PMM de Bouin. Le parcours en élevage des LSI, NSI et ASI est assujéti à l'utilisation de procédés standardisés lors des deux périodes successives, i) à Argenton pour la gestion du cheptel d'animaux reproducteurs, la maturation, la reproduction et les phases précoces de développement jusqu'au jour 40 de vie de la jeune huître (taille 1,4 mm), ii) à Bouin pour le grossissement d'une durée de 6 mois pour les NSI, et jusqu'à 18 mois pour les ASI. Ce matériel biologique est caractérisé par l'utilisation d'un pool d'environ 100 reproducteurs d'origine sauvage (captage Ile d'Aix) pour les deux cohortes produites annuellement. L'utilisation de ces animaux demeure contrainte par l'obligation de résultats négatifs aux analyses sanitaires, portant sur le virus OsHV1 et le parasite *Haplosporidium costale*, associée à une traçabilité des livraisons.

### ECOSCOPA

Occupant une place de premier ordre dans les paysages côtiers français, l'ostréiculture est le premier contributeur de la filière aquacole française avec une production estimée à 85000 tonnes ces dernières années. Depuis 2008, cette espèce est affectée par des épisodes de mortalités massives et récurrentes

déclenchées par la présence d'agents infectieux viraux (de type Herpes virus OsHV-1  $\mu$ Var) en conjonction avec des facteurs environnementaux (i.e. élévation de la température). Cette infection virale induit une altération des défenses antimicrobiennes ainsi qu'une déstabilisation de son microbiote. Ce processus conduit à une infection secondaire par des bactéries opportunistes potentiellement pathogènes qui se multiplient rapidement entraînant des dommages tissulaires irréversibles conduisant à la mort de l'animal. En parallèle et bien que mal renseignées, ces mortalités touchent aussi les nombreux bancs sauvages présents sur la côte française. Or, la filière ostréicole repose sur un approvisionnement en naissain qui provient majoritairement du captage naturel, pratiqué désormais dans plusieurs bassins ostréicoles. Cependant, sur tous ces secteurs, la reproduction et le recrutement présentent des performances très variables d'une année à l'autre. Ce contexte de crise (épisodes de mortalités, défaut du recrutement, variabilité de la croissance...) nécessite la mise en œuvre de moyens d'observation pertinents à l'échelle nationale permettant de mesurer objectivement au travers de différents proxys l'état général de santé des populations d'huîtres cultivées et sauvages, et ce pour les différentes phases sensibles de leur cycle de vie (reproduction, écologie larvaire, recrutement, croissance, survie). L'objectif général réseau ECOSCOPA est donc de pérenniser les dispositifs d'observation actuels, et d'y ajouter progressivement une série de nouveaux indicateurs physiologiques et environnementaux pertinents, contribuant à une analyse plus fine du cycle de vie de cette espèce en lien avec les pressions climatiques et anthropiques. Cet observatoire s'inscrit ainsi aujourd'hui dans le contexte du changement climatique et propose de fournir des éléments objectifs permettant de mieux anticiper les éventuelles crises à venir.

Pour l'année 2021, suite à la crise COVID des années précédentes, une partie du réseau a dû être relancée suite à l'interruption de près de deux ans sur les suivis de mortalité et de croissance de lots standardisés. Les résultats acquis ne concernent que la classe d'âge naissain (contrairement à un suivi sur 3 classes d'âge en fonctionnement classique) : les suivis seront de nouveau complets en 2023. Les autres résultats sont complets et concernent les suivis des paramètres environnementaux sur les huit sites atelier, une expérimentation spécifique sur la survie en fonction de la bathymétrie, une analyse exhaustive du cycle de reproduction et du recrutement de l'huître (Réseau VELYGER) et les suivis cytogénétiques du naissain sauvage. En ce qui concerne le traitement des données environnementales, un travail particulier a été réalisé, car, avec désormais plus de dix années de suivi sur certains sites, il devient possible de commencer à observer l'effet du changement climatique à une échelle locale avec l'augmentation de température.

Les principaux résultats obtenus au cours de cette campagne 2021 indiquent que, sur le plan des facteurs environnementaux, cette année s'inscrit dans la tendance générale du réchauffement climatique, mais de façon plus modérée que les années précédentes. Au niveau des sites du réseau, 2021 s'inscrit dans la continuité des dernières années avec une anomalie thermique moyenne supérieure de +0.5°C par rapport à la normale, qui résulte surtout d'une forte anomalie dès l'hiver : les températures de l'eau de mer ont dépassé les normales, mais tardivement dans l'été. En termes d'apports phytoplanctoniques, les concentrations en phytoplancton étaient plutôt dans les normales. Les phases de reproduction et de pontes ont eu lieu à une période « normale », ni précoce, ni tardive, de façon relativement synchrone permettant un apport de larves dans les normales, à l'exception du site de la baie de Bourgneuf, pour lequel les concentrations en jeunes larves ont été faibles. Compte tenu des températures assez variables et tout juste dans les normes dans les différents bassins, le captage qui a suivi a été relativement hétérogène selon les secteurs, très bons sur certains sites, quasiment nul sur d'autres. Les mortalités de naissain observées pour 2021 sont pour la première fois très faibles (à l'exception des sites de la baie de Veys et de Marennes-Oléron) et la moyenne nationale passe en dessous des 50% : cela est en partie lié à l'absence de mortalités observées sur le lot NSI suivi à Marseillan.

## Analyses et mise à disposition de 26 ans de données de croissance et de mortalité d'huîtres creuses

Nous avons utilisé un ensemble de données compilées provenant d'un réseau de surveillance de la production ostréicole coordonné par l'IFREMER. Ce réseau surveille la croissance et la mortalité de l'huître creuse le long des côtes françaises depuis 1993. Les archives, bien que disponibles publiquement, ont été difficiles à utiliser en raison des changements de protocoles et du peu d'informations sur les métadonnées. Nous décrivons ici la collecte des données pendant près de 30 ans, leur nettoyage et leur traitement. Pour 13 sites, nous avons modélisé la croissance et la mortalité des naissains (individus de moins d'un an) et des huîtres à mi-parcours (individus d'un à deux ans) en fonction du temps pour faire face aux changements de fréquence d'acquisition des données, et nous avons produit des indicateurs normalisés de croissance annuelle et de mortalité cumulative pour améliorer l'exploitabilité des données. Cette base de données améliorée devrait être utilisée par les écologistes intéressés par l'évolution des indicateurs du cycle de vie d'une espèce marine sous l'influence du changement climatique. Elle peut également être précieuse pour les épidémiologistes car les données de mortalité retracent l'émergence et la propagation d'une épizootie massive.

## Effets des polluants et des algues toxiques

### **Plastique**

Les premiers stades de vie (ELS) de nombreux invertébrés marins doivent faire face à des contaminants d'origine humaine, notamment des débris plastiques, pendant leur phase pélagique. Parmi la diversité des particules plastiques, les débris de taille nanométrique, connus sous le nom de nanoplastiques, peuvent avoir des effets sur les premiers stades de vie de divers modèles biologiques, dont l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Nous avons par exemple montré que l'exposition de nanoplastiques de 50 nm induit une diminution significative du succès de la fécondation et du développement des embryons et des larves avec de nombreuses malformations jusqu'à des arrêts de développement. Ici, nous avons étudié les effets d'une dose subléthale (0,1 µg/mL) de nanobilles de polystyrène de 50 nm (nano-PS) avec un surfactant aminé sur les embryons d'huîtres (exposition de 24 h) afin d'évaluer les conséquences de cette exposition précoce sur les performances des larves et des adultes sur deux générations d'huîtres. Cette dose a été déterminée comme étant celle à laquelle les premiers effets sur le développement-embryolaire de l'huître avaient été observés avec des nanosphères de polystyrène (Tallec et al 2018). A cette dose subléthale permettant un développement embryonnaire quasi normal, peu d'effets significatifs ont été observés ultérieurement sur les première et seconde générations. Les analyses lipidiques ont révélé que les embryons de première génération (G1) exposés précocement au nanobilles de polystyrène présentaient une augmentation relative du contenu en cardiolipine (+9,7%), suggérant une modification du fonctionnement de leurs mitochondries. Les larves de première génération G1 issues d'embryons exposés ont également montré une diminution de la croissance larvaire (-9%) et du stockage des lipides (-20%). Aucun effet n'a été observé au stade adulte en première génération G1 en termes de croissance, de paramètres écophysologiques (respiration, prise alimentaire, efficacité d'absorption), ou de reproduction (développement gonadique, qualité des gamètes). Les larves de deuxième génération (G2) issues d'embryons G1 témoins ont montré une réduction significative de leur croissance après une exposition embryonnaire G2 aux nanosphères de polystyrène (-24%) par rapport au témoin (comme observé à la première génération). Par contre, aucun effet intergénérationnel n'a été détecté sur les larves G2 non exposées issues d'embryons G1 exposés. Dans l'ensemble, la présente étude expérimentale suggère une faible incidence d'une courte exposition embryonnaire aux nanosphères modèles de polystyrène sur les phénotypes des huîtres tout au long du cycle de vie jusqu'à la génération suivante. Ces conditions expérimentales ne sont pas le reflet de la complexité de l'environnement marin et notamment de la diversité des déchets plastiques face à laquelle les organismes peuvent être exposés (cocktails de micro et de nanoplastiques diverses) pouvant engendrer une multitude d'impacts qu'il faudra rechercher.

### **Algues toxiques : effet de *Lepidodinium chlorophorum* sur la physiologie de l'huître creuse**

Les décolorations vertes de l'eau de mer (GSD) causées par le dinoflagellé marin *Lepidodinium chlorophorum* sont fréquemment observées en été le long de la côte sud de la Bretagne (Atlantique Nord-Est, France). Bien que *L. chlorophorum* ne produise pas de toxines, les GSDs sont suspectés de causer la mortalité de la faune. Dans le cadre de la thèse de Pauline Roux, la réponse physiologique de l'huître du Pacifique *Crassostrea gigas* exposée à *L. chlorophorum* a été étudiée. Les huîtres ont été exposées pendant 48 heures à une faible concentration (500 cellules mL<sup>-1</sup>) et à une concentration de bloom (7500 cellules mL<sup>-1</sup>) de *L. chlorophorum* et comparées à des témoins nourris avec l'haptophyte *Tisochrysis lutea*. Les conséquences directes de l'exposition à *L. chlorophorum* ont été évaluées par une analyse histologique. Ensuite, la phase de récupération de 24h a été étudiée en utilisant un système de mesure écophysiological individuel (huîtres nourries en continu avec *T. lutea*). Les huîtres ingèrent avec succès les cellules de *L. chlorophorum*, bien qu'elles affectent les cellules des tubules digestifs par la production de glycoconjugués acides. Les huîtres préalablement exposées à une concentration de *L. chlorophorum* ont présenté des taux de clairance significativement plus faibles que les animaux exposés à *T. lutea*, mais leur efficacité d'assimilation était deux fois supérieure à celle du témoin. Ces effets pourraient probablement être attribués à la production de particules exopolymères transparentes par *L. chlorophorum*. Cette augmentation de l'assimilation pendant la phase de récupération est peut-être une compensation pour une diminution qui aurait eu lieu pendant la phase d'exposition. Pour la première fois, des expériences en laboratoire ont contribué à la compréhension des mortalités d'huîtres observées lors des GSD sur le terrain.

### **Algues toxiques : effet de *Pseudo nitzschia* sur la coquille St Jacques *Pecten maximus***

L'acide domoïque (AD), la phycotoxine responsable de l'intoxication amnésique par les mollusques (ASP) chez l'homme, est un acide aminé excitateur extrêmement dangereux produit naturellement par au moins vingt-six espèces de diatomées marines *Pseudo-nitzschia* spp formant des fleurs d'eau. Au cours des deux dernières décennies, les épidémies d'ASP sont devenues plus intenses et plus fréquentes dans le monde entier, touchant d'importantes populations exploitables de mollusques, qui sont le principal vecteur de la toxine ASP, puisqu'ils peuvent accumuler et retenir longtemps de grandes quantités d'AD dans leurs tissus, menaçant ainsi la santé humaine et entraînant des fermetures de longue durée de pêcheries et de graves pertes économiques ultérieures. Ceci est particulièrement problématique pour la coquille Saint-Jacques *Pecten maximus*, qui est une ressource de grande valeur en Europe, et la troisième espèce de pêche la plus importante en France, avec des captures annuelles supérieures à 60 000 tonnes pour un total de 87 millions d'euros en 2017. Cette espèce peut accumuler des quantités jusqu'à ~3,000 mg DA kg<sup>-1</sup> dans la glande digestive (DG), et les conserver pendant des mois à des années en raison de ses taux de dépuraison extrêmement bas, comparé à d'autres bivalves dépurateurs rapides de DA, comme les moules *Mytilus* spp ou même d'autres coquilles Saint-Jacques comme *Argopecten purpuratus* ou *Chlamys varia*, qui sont capables de dépurer des charges élevées de cette toxine en quelques heures à quelques jours.

Une des expériences réalisées au cours de la thèse de Jose Luis Corona vise à fournir une meilleure compréhension des principaux mécanismes moléculaires impliqués dans la forte accumulation et la lente décontamination de l'AD chez *P. maximus*. Les premiers résultats acquis montrent que l'AD a été détecté in situ par immunohistochimie dans les tissus de pédoncles, et il a été supposé qu'une des clés de la longue rétention de la toxine pourrait être la formation d'autophagosomes qui encapsulent l'AD dans les cellules digestives de cette espèce. Pour cette raison, l'objectif de ce travail à suivre est de quantifier l'expression de certains gènes liés aux récepteurs du glutamate, au transport médié par les vésicules et à l'autophagie, récemment identifiés dans le transcriptome de la glande digestive de *P. maximus* après une injection intramusculaire de l'AD. Ces mesures seront effectuées dans les glandes digestives du *P. maximus*, dépurateur lent de l'AD, et de la moule *Mytilus edulis*, dépurateur rapide, exposés in vitro à de l'AS dissout. L'ensemble des résultats seront traités pour l'année 2022.

# Domoic Acid Subcellular Immunodection

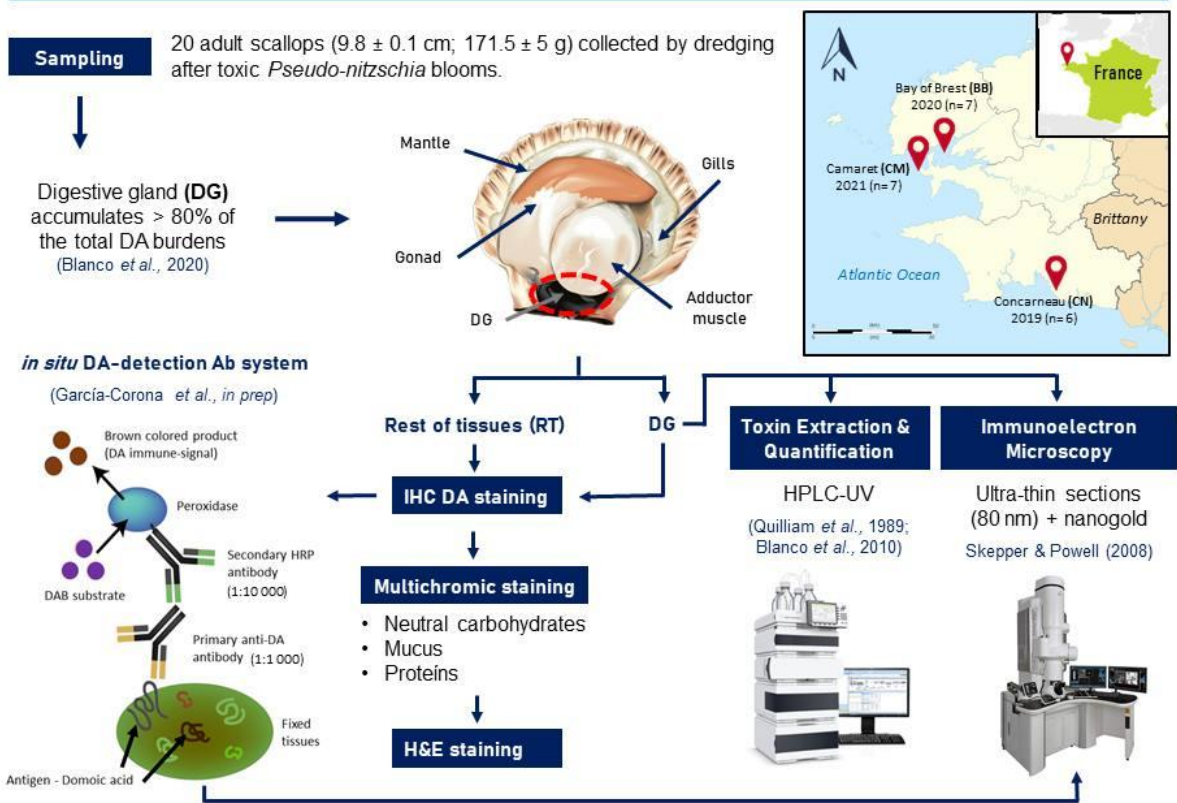


Figure 9 : L'immunohistochimie comme outil pour déchiffrer les mécanismes subcellulaires impliqués dans l'accumulation et la longue rétention de la phycotoxine acide domoïque chez la coquille Siant Jacques *Pecten maximus*

## Interactions Environnement-Hôtes-Pathogènes

Depuis des décennies, l'huître creuse a connu des épisodes de mortalité, mais le phénomène s'est considérablement aggravé depuis 2008. Les épizooties affectent principalement les huîtres juvéniles, décimant jusqu'à 100% des jeunes huîtres dans les fermes ostréicoles françaises. Ces dernières années, cette maladie, qui a été nommée syndrome de mortalité des huîtres du Pacifique (POMS), est devenue panzootique. Le consortium du projet DECICOMP a déchiffré le code du POMS en utilisant une approche moléculaire holistique développée en mésocosme. Nous avons montré que l'infection par le virus de l'herpès de l'huître (OsHV-1  $\mu$ Var) est la première étape du processus infectieux conduisant à une immunosuppression de l'animal, qui évolue vers une septicémie causée par des bactéries pathogènes opportunistes chez les huîtres juvéniles. Néanmoins, en élucidant le mécanisme de la pathogenèse du POMS, seule une partie de la complexité de cette maladie a été déchiffrée. En effet, cette maladie multifactorielle est étroitement contrôlée par une série de facteurs dépendants de l'hôte et de l'environnement (température, âge et régime alimentaire des huîtres). Cependant, nous ignorons les mécanismes par lesquels ces facteurs clés contrôlent l'expression de la maladie. Le premier objectif du projet DECICOMP est de déterminer comment la température, l'âge des huîtres et leur régime alimentaire contrôlent l'expression du POMS. Le deuxième objectif est de pondérer et d'évaluer les interactions entre tous ces facteurs. Enfin, notre troisième objectif consiste à modéliser les risques épidémiologiques liés au POMS.

En 2021, nous avons poursuivi les expérimentations en laboratoire et sur le terrain. Nous avons réalisé une infection expérimentale sur quatre familles d'huître âgées de 16 mois pour comparer leur sensibilité à la maladie avec leur homologue âgée de 4 mois testées de la même manière en 2020. Aussi, nous avons étudié l'effet de l'âge et du régime alimentaire sur la sensibilité des huîtres à une infection en milieu naturel. Nous avons vu confirmé que l'âge a un effet majeur, les huîtres plus jeunes étant plus sensibles, et que le jeun pouvait améliorer sensiblement la survie des huîtres. Enfin, nous avons réalisé une expérimentation à Argenton visant à étudier les voies de signalisation nutritionnelle impliquées dans la maladie POMS par une approche pharmacologique avec LY294002.

## Structure et adaptation des populations

### **Déterminisme du recrutement**

Les populations marines répondent aux conditions physiques de leur habitat et à la fluctuation des ressources environnantes. Dans le contexte actuel de pressions environnementales multiples et croissantes, l'étude de l'effet des facteurs environnementaux sur le cycle de vie des organismes et la dynamique des populations qui en découle constitue une action de recherche prioritaire avec de nombreuses applications concrètes en milieu côtier, notamment en termes de solutions de conservation, de restauration et d'usage durable des ressources marines. Dans le cas précis des invertébrés benthiques à cycle de vie benthopélagique, une étape clé pour la population réside dans le recrutement et la colonisation d'un nouvel habitat. Si, pour des raisons environnementales, le recrutement échoue plusieurs fois de suite, la population décline et peut disparaître surtout si d'autres facteurs de dégradation de l'habitat s'additionnent, par exemple, des facteurs liés aux pressions anthropiques. En outre, dans le cas particulier des espèces-ingénieurs d'écosystème comme les huîtres (creuses et plates), les répercussions affectent aussi fortement la biodiversité et les fonctions associées à ces récifs biogéniques. Par contre, dès que les conditions redeviennent favorables à la vie larvaire et au recrutement, la forte fécondité individuelle, caractéristique fréquente chez ces espèces, suffit à reconstituer rapidement de nouvelles populations (e.g. Hugues et al., 2000).

En travaillant sur deux modèles biologiques complémentaires (*Crassostrea gigas* et *Ostrea edulis*), cette thématique cherche à analyser les processus clés qui déterminent le recrutement, la dynamique et le maintien de ces espèces en milieu naturel. Outre son intérêt pour des questions aquacoles et halieutiques,

cette thématique véhicule de nombreuses implications en biologie de la conservation, ces deux espèces et les formations récifales qu'elles édifient constituant de véritables sanctuaires de biodiversité de nos milieux côtiers européens. L'huître plate est d'ailleurs une espèce et un habitat menacés listés dans la convention OSPAR de protection du milieu marin de l'Europe de l'Ouest.

Différents projets structurent cette thématique : le projet FOREVER puis le projet REEFORST sur l'écologie de la restauration des populations sauvages d'huîtres plates (Convention Ifremer-OFB 2022-2026) et le projet VELYGER sur la dynamique du recrutement sur les côtes françaises (depuis 2017, le projet-réseau VELYGER est intégré à l'action ECOSCOPIA de la convention Ifremer-DPMA). Les principaux résultats sont résumés dans les rapports de contrat disponibles dans les liens suivants :

Projet FOREVER : <https://doi.org/10.13155/79506>

Réseau VELYGER : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00771/88331/>

De façon originale, ces deux projets sont aussi pourvoyeurs de publication de jeux de données (SEANOE publications), disponible dans les liens suivants :

Projet FOREVER : <https://doi.org/10.17882/79821>

Réseau VELYGER : <https://doi.org/10.17882/41888>

Pour ces raisons, ces deux projets contribuent aux séries biologiques de l'observatoire OSU-IUEM :

<https://www-iuem.univ-brest.fr/observation-iuem/observation-littorale-et-cotiere/velyger-et-forever/>

Pour 2021, pour illustrer cette thématique, l'un des résultats marquants, obtenus dans le cadre d'un travail de post doctorat concerne le recrutement de l'huître plate. On a ainsi précisé en milieu naturel les préférences des larves pédivéligères d'huîtres plates en terme de colonisation du substrat au moment de la fixation (Potetl et al., 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106159>), comme en témoigne la figure ci-dessous.

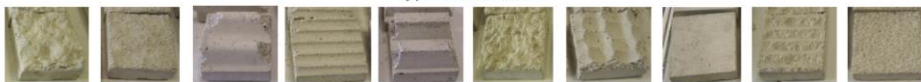
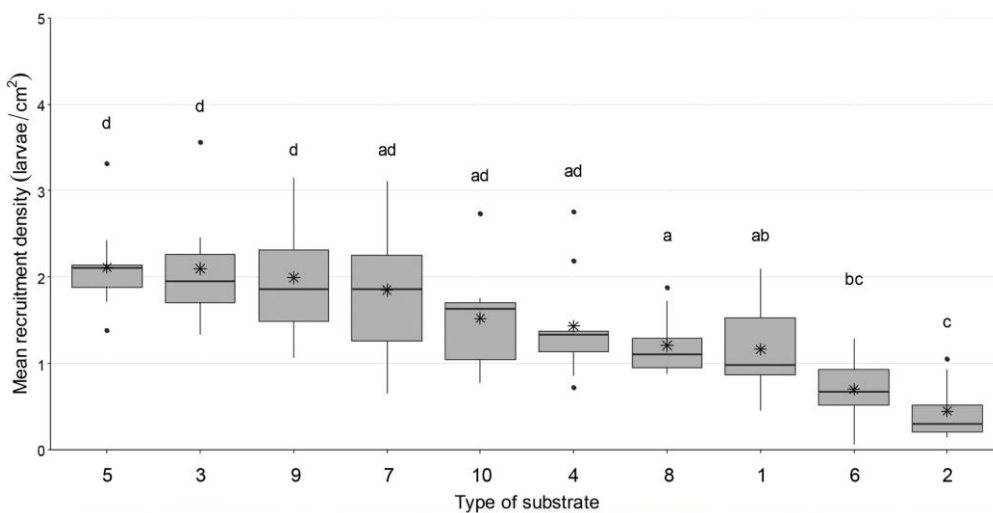
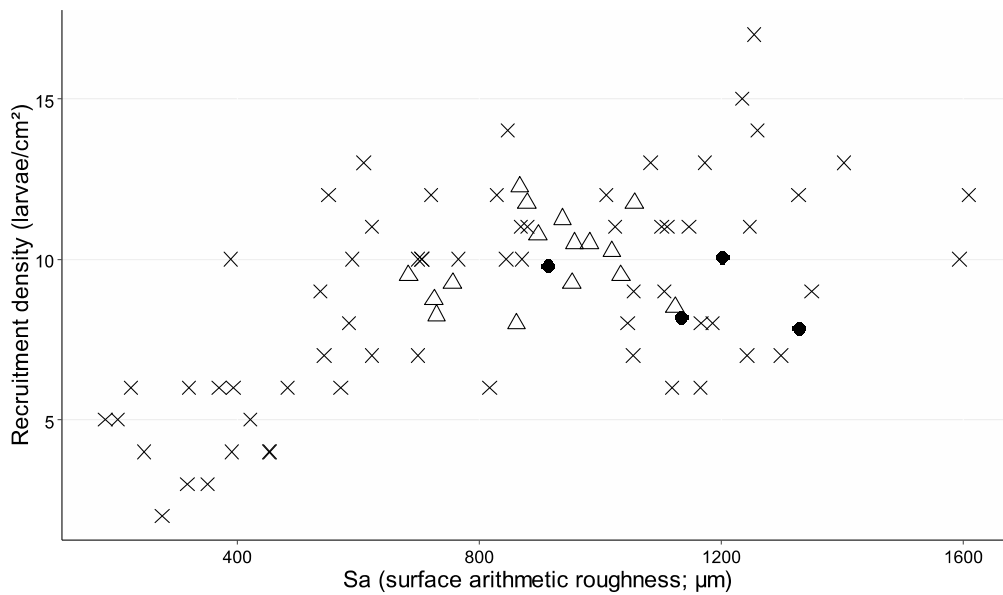
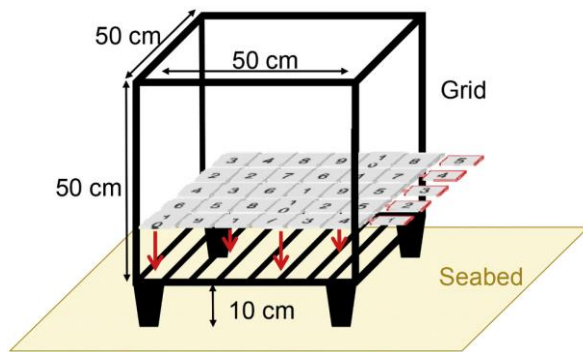


Figure 10 : Préférence de colonisation des larves d'*O. edulis* sur différents types de substrats artificiels en condition naturelle (nombre d'individus par  $\text{cm}^2$ ). En haut, présentation du plan expérimental avec une vue schématique des damiers aléatoires servant au test des différents substrats associée à une photo du dispositif expérimental positionné sur le fond au milieu du banc d'huîtres plates de la rade de Brest. Au milieu, relation entre la rugosité de surface du substrat et la densité de colonisation des post-larves. En bas, principaux résultats obtenus pour chaque type de substrats testés et représentés sous forme de



boites à moustaches : les substrats les plus lisses présentent une colonisation en post larves 5 fois plus faibles que les substrats rugueux. D'après Potet et al. (2021).

### Acclimatation et trajectoire de vie dans un environnement changeant

En 2020, nous avons obtenu un financement du **FEAMP** pour réaliser le projet **CocoriCO2** (la conchyliculture dans un monde riche en CO<sub>2</sub>). CocoriCO2 est un projet interdisciplinaire d'intérêt collectif qui a pour objectif d'accroître la résilience, la durabilité et la compétitivité de l'ensemble des entreprises conchyloles françaises en prenant en compte le changement climatique et plus particulièrement l'acidification des océans (AO). Pour atteindre cet objectif, nous proposons un partenariat innovant entre des écologues spécialisés dans les interactions conchyliculture/environnement (Ifremer Bretagne), des bio-géochimistes reconnus pour leurs travaux sur l'acidification des océans (CNRS Villefranche), des représentants de la filière au niveau national (CNC) et régional (CRC Bretagne Nord et Méditerranée) impliqués dans la mise en œuvre et dans le suivi du projet, et une filiale de l'Université de Nantes spécialisée en économie des ressources naturelles, aquaculture marine et gestion des risques (Capacités SAS). Le projet CocoriCO2 repose sur plusieurs disciplines complémentaires, i.e. écologie, bio-géochimie, physiologie, économie et sciences sociales, bien couvertes par le partenariat. Les objectifs spécifiques du projet consistent à observer, analyser, anticiper et remédier les effets de l'AO sur la conchyliculture et permettra pour la première fois d'évaluer la vulnérabilité des écosystèmes, des espèces en élevage et des entreprises. Nous allons mettre en place le premier suivi du pH et des carbonates de l'eau de mer à l'aide de capteurs innovants dans les zones conchyloles pour évaluer leur vulnérabilité au risque AO. Puis, nous allons évaluer à l'aide de mésocosmes « écologiquement réalistes » les impacts de l'AO en fonction de plusieurs scénarios de changement climatiques sur la performance et la qualité des bivalves (huîtres et moules) pendant un cycle de vie complet sur les côtes Atlantique et Méditerranéennes. Nous mènerons des enquêtes sur l'ensemble des bassins de production pour évaluer la perception du risque AO par les conchyliculteurs et les stratégies d'adaptation, et nous estimerons, à l'aide d'une approche comptable, l'impact de l'AO sur la performance économique des entreprises. Enfin, nous testerons en laboratoire et sur le terrain le potentiel des macroalgues (végétalisation) et de produits alcalins issus de déchets coquillés pour limiter localement les effets de l'AO.

L'acquisition des données pH sur le littoral français a débuté en 2021 sur 12 sites d'études répartis le long du littoral français, de la baie de Morlaix à la Méditerranée à l'aide de capteur SeaFET et SeapHOx (Sea-Bird). Tous les capteurs ont été acquis et déployés sur l'ensemble des sites d'étude en 2020.

D'autre part, deux unités expérimentales consistant en conteneurs climatisés équipés de bassins en flux ouvert munis d'un dispositif de contrôle de la température de l'eau, du pH et de la photopériode ont été conçu en 2020 et ont été mis en place en juin 2021 en Bretagne Nord (écloserie de Porscave du CRCBN) et en Méditerranée (mas ostréicole du CRCM). Des huîtres et des moules y sont maintenues en conditions ambiantes (témoins) et dans des conditions de pH et de température projetées pour 2050, 2075 et 2100 en triplicat pendant 24 mois.

Enfin, nous avons contribué à la conception d'enquête à destination des conchyliculteurs pour évaluer leur perception de l'acidification et son impact sur la filière.

En parallèle, nous avons réalisé à Argenton une expérimentation à plus petite échelle visant à étudier la réponse physiologique de jeunes huîtres creuses exposées pendant 3 mois à des scénarios climatiques ambiants et futurs (+3°C, -0,3 unité de pH) sous deux régimes alimentaires (*ad libitum* vs restreint) et deux niveaux de marée (subtidal vs intertidal, émergence deux fois par jour) (thèse C. Caillon). Les huîtres ont été échantillonnées pour des mesures biométriques et physiologiques (respiration et prise alimentaire), biochimique (réserves énergétiques et dosage enzymatique) et d'histologique pour évaluer l'état reproducteur. A la fin de l'expérience, les huîtres ont été soumises à une maladie virale pour étudier le coût physiologique de l'acclimatation à ces conditions et leur réponse immunitaire. Les analyses préliminaires suggèrent que le niveau de nourriture était le facteur le plus influent, suivi par le scénario

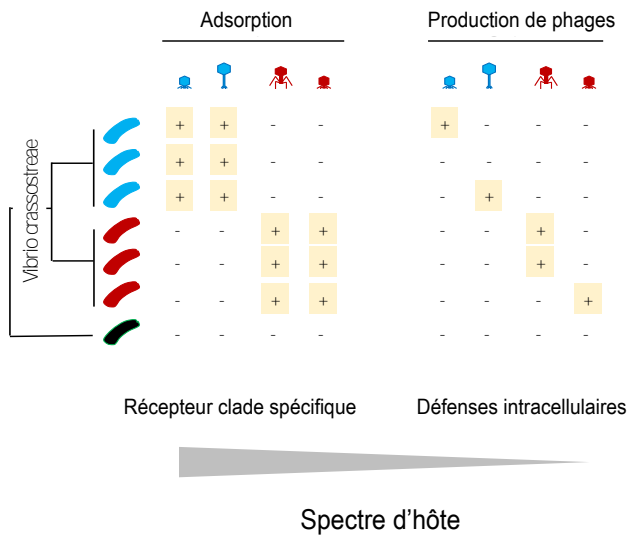
climatique et le niveau des marées. Nous avons en effet constaté que la croissance, l'apport alimentaire, la reproduction et la résistance aux maladies des huîtres étaient négativement affectés par la restriction alimentaire. Les conditions futures ont amélioré la croissance, les taux physiologiques et la maturation sexuelle des huîtres, en particulier à des niveaux de nourriture élevés. Enfin, le niveau de marée n'a pas eu d'effet majeur sur ces variables, suggérant des mécanismes de compensation physiologique à l'émersion. Notre étude suggère que l'huître est robuste aux conditions climatiques futures, même lorsque l'alimentation a été restreinte.

## Equipe Génomique des Vibrios (GV)

Notre projet de recherche concerne l'**évolution des interactions hôte-parasite dans un environnement naturel, le milieu marin**. Le parasitisme qui qualifie une relation biologique durable entre deux espèces, constitue un véritable paradoxe. Comment une interaction bénéfique pour le parasite mais néfaste pour l'hôte peut être considérée durable ? Pour répondre à cette question il est nécessaire de distinguer les parasites non obligatoires (e.g. les vibrios) des parasites obligatoires (e.g. les phages virulents), de comprendre les mécanismes de virulence, de résistance et leur évolution. Un grand nombre de parasites sont des pathogènes opportunistes, c'est à dire que leur virulence est conditionnée par la sensibilité de l'hôte, la présence d'autres pathogènes ou l'environnement. Explorer les interactions hôte-parasite requiert donc une approche intégrative au niveau du patho-système et de la méthodologie.

Cette année a été marquée par la finalisation du projet ANR-REVENGE (soumission du rapport scientifique le 30 juin 2021) et le démarrage des projets ERC DYNAMIC (janvier 2021) et ANR RESISTE (avril 2021).

- **ANR-REVENGE** : La question principale du projet concernait l'évolution et l'écologie de vibrio pathogènes d'huîtres creuses, en particulier *V. crassostreae*. L'acquisition d'un plasmide a conduit à l'émergence de souches virulentes dans des zones ostréicoles subissant des mortalités massives. Les prédateurs viraux de ces vibrios, les phages, montrent une forte spécificité pour leurs hôtes co-occurents en raison i) (des) récepteur(s) spécifique(s) ; ii) de nombreux mécanismes de résistance chez l'hôtes. Ce projet a été valorisé par des articles i) décrivant la dynamique d'infection des huîtres en zone ostréicole ; ii) identifiant des mécanismes de virulence communs ou spécifiques aux espèces de *Vibrio*; iii) explorant les gènes impliqués dans la coévolution vibrio-huîtres et enfin iv) par une revue sur le rôle des transferts horizontaux dans la dynamique évolutive des vibrios.
- **ERC-DYNAMIC** : Le démarrage du projet a consisté d'une part à recruter un ingénieur bio-informaticien et une technicienne sur des postes permanents IFREMER ainsi qu'une post-doctorante et des étudiants de Master 1 et 2. D'autre part, nous avons engagé l'intégralité des dépenses en équipement (mise en place de marché, achat de gros et petits équipements nécessaires au projet) et réalisé une restructuration de l'organisation de l'équipe en matière de gestions des commandes et des stocks (depuis 10 ans gérées uniquement par le CNRS à la station). D'un point de vue scientifique, l'équipe s'est concentrée sur un échantillonnage en série temporelle en zone ostréicole couvrant les épisodes de mortalités d'huîtres (juin-septembre 2021). Par la suite, 1200 phages infectants *V. crassostreae* ont été isolés et stockés en vue d'un séquençage en masse. Environ 250 souches de *V. crassostreae* ont aussi été isolées. Enfin une collaboration entre F. Le Roux et l'équipe du Professeur M. Polz du MIT a été valorisée par un article publié dans Science le 22 octobre 2021 (ERC cité comme financeur).
- **ANR-RESISTE** : Ce projet impliquant une collaboration avec le Dr Eduardo Rocha de l'Institut Pasteur a démarré par le séquençage de 20 génomes de *V. crassostreae* en PacBio afin d'établir des assemblages complets des génomes, plasmides et autres éléments génétiques mobiles. Il s'agit d'une étape essentielle à l'étude des supports génétiques de la résistance aux antimicrobiens.



**Résultats majeurs du projet REVENGE:** Le vibrio pathogène d'huître, *Vibrio crassostreae*, se structure en clades épidémiques dont la virulence dépend en partie de la présence d'un plasmide de virulence. Chaque groupe génomique de phages s'adsorbe spécifiquement à un clade de *V. crassostreae* mais la production de phages dépend de la présence de gènes de résistance chez l'hôte et/ou de gènes de contre résistance chez le phage (Piel, bioRxiv 2021).



Annexe 1 : Production scientifique et technologique 2021  
(uniquement celle impliquant du personnel de PFOM)

Indicateurs extraits des dépôts dans Archimer	Nombre
Article dans des revues avec comité de lecture (de rang A) indexées dans le WOS	30
IF moyen des publications	7,65
Expertises/Avis	0
Rapports	16
Thèses	1
Participation à jurys de thèse ou HDR	
Ouvrages / Chapitres d'ouvrages	2
Posters	3
Publications dans des colloques	0
Communications sans acte	7
Brevets	0
Jeux de données publiés dans SEANOE	9

Article dans des revues avec comité de lecture (de rang A) indexées dans le WOS

1. Aimon Cassandre, Lebigre Christophe, Le Bayon Nicolas, Le Floch Stephane, Claireaux Guy (2021). **Effects of dispersant treated oil upon exploratory behaviour in juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*).** *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 208, 111592 (11p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111592>, Open Access version: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00658/77020/>
2. Bouillot Floriane, Fabioux Caroline, Hégaret Helene, Boudry Pierre, Soudant Philippe, Benoit Evelyne (2021). **Electrophysiological Evaluation of Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) Sensitivity to Saxitoxin and Tetrodotoxin.** *Marine Drugs*, 19(7), 380 (17p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3390/md19070380>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00704/81561/>
3. Castrec Justine, Fabioux Caroline, Le Goïc Nelly, Boulais Myrina, Soudant Philippe, Hégaret Helene (2021). **The toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* affects oyster gamete health and fertilization potential.** *Marine Environmental Research*, 169, 105401 (7p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105401>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00701/81322/>
4. Castro-Ruiz Diana, Andree Karl B., Solovyev Mikhail M., Fernández-Méndez Christian, García-Dávila Carmen, Cahu Chantal, Gisbert Enric, Darias Maria J. (2021). **The Digestive Function of *Pseudoplatystoma punctifer* Early Juveniles Is Differentially Modulated by Dietary Protein, Lipid and Carbohydrate Content and Their Ratios.** *Animals*, 11(2), 369 (27p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3390/ani11020369>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00678/79019/>
5. Champagnat Juliette, Lecomte Jean Baptiste, Rivot E, Douchet L, Martin N, Grasso Florent, Mounier F, Labadie P, Loizeau Veronique, Bacq N, Le Pape Olivier (2021). **Multidisciplinary assessment of nearshore nursery habitat restoration for an exploited population of marine fish.** *Marine Ecology Progress Series*, 680, 97-109. <https://doi.org/10.3354/meps13881>
6. Colsohl Bérenger, Boudry Pierre, Pérez-parallé María Luz, Bratoš Cetinić Ana, Hugh-jones Tristan, Arzul Isabelle, Mérour Nicolas, Wegner Karl Mathias, Peter Corina, Merk Verena, Pogoda Bernadette (2021). **Sustainable large-scale production of European flat oyster (*Ostrea edulis*) seed for ecological restoration and aquaculture: a review.** *Reviews In Aquaculture*, 13(3), 1423-1468. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1111/raq.12529>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00678/79001/>
7. Curd Amelia, Boyé Aurelien, Cordier Celine, Pernet Fabrice, Firth Louise B., Bush Laura E., Davies Andrew J., Lima Fernando P., Meneghesso Claudia, Quéré Claudie, Seabra Rui, Vasquez Mickael, Dubois Stanislas (2021). **Environmental optima for an ecosystem engineer: a multidisciplinary trait-based approach.** *Scientific Reports*, 11(1), 22986 (12p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02351-7>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00736/84819/>
8. Destoumieux-Garzón Delphine, Bonnet P., Teplitsky C., Criscuolo F., Henry P.-Y., Mazurais David, Prunet P., Salvat Gilles, Usseglio-Polatera P., Verrier E., Friggens N.C. (2021). **Animal board invited review: OneARK: Strengthening the links between animal production science and animal ecology.** *Animal*, 15(1), 100053 (11p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100053>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00663/77509/>
9. Drouet Kevin, Jauzein Cecile, Hervio Heath Dominique, Hariri Saeed, Laza-martinez A., Lecadet Cyrielle, Plus Martin, Seoane S., Sourisseau Marc, Lemée R., Siano Raffaele (2021). **Current distribution and potential expansion of the harmful benthic dinoflagellate *Ostreopsis cf. siamensis* towards the warming waters of the Bay of Biscay, North-East Atlantic.** *Environmental Microbiology*, 23(9), 4956-4979. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15406>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00676/78819/>
10. Gardon Tony, El Rakwe Maria, Paul-Pont Ika, Le Luyer Jeremy, Thomas Lena, Prado Enora, Boukerma Kada, Cassone Anne-Laure, Quillien Virgile, Soyez Claude, Costes Louis, Crusot Margaux, Dreanno Catherine, Le Moullac Gilles, Huvet Arnaud (2021). **Microplastics contamination in pearl-farming lagoons of French Polynesia.** *Journal Of Hazardous Materials*, 419, 126396 (13p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126396>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00703/81508/>

11. Hou Chen, Metcalfe Neil B., Salin Karine (2021). **Is mitochondrial reactive oxygen species production proportional to oxygen consumption? A theoretical consideration.** *Bioessays*, 43(4), 2000165 (7p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/bies.202000165> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00680/79188/>
12. Hussain Fatima Aysha, Dubert Javier, Elsherbini Joseph, Murphy Mikayla, Vaninsberghe David, Arevalo Philip, Kauffman Kathryn, Rodino-Janeiro Bruno Kotska, Gavin Hannah, Gomez Annika, Lopatina Anna, Le Roux Frederique, Polz Martin F. (2021). **Rapid evolutionary turnover of mobile genetic elements drives bacterial resistance to phages.** *Science*, 374(6566), 488-492. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1126/science.abb1083> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00732/84375/>
13. Joly Lea, Loots Christophe, Meunier Cédric L., Boersma Maarten, Collet Sophie, Lefebvre Valerie, Zambonino-Infante Jose-Luis, Giraldo Carolina (2021). **Maturation of the digestive system of Downs herring larvae (*Clupea harengus*, Linnaeus, 1758): identification of critical periods through ontogeny.** *Marine Biology*, 168(6), 82 (15p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1007/s00227-021-03894-z> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00693/80503/>
14. Koch Rebecca E., Buchanan Katherine L., Casagrande Stefania, Crino Ondi, Dowling Damian K., Hill Geoffrey E., Hood Wendy R., McKenzie Matthew, Mariette Mylene M., Noble Daniel W.A., Pavlova Alexandra, Seebacher Frank, Sunnucks Paul, Udino Eve, White Craig R., Salin Karine, Stier Antoine (2021). **Integrating Mitochondrial Aerobic Metabolism into Ecology and Evolution.** *Trends In Ecology & Evolution*, 36(4), 321-332. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.12.006> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00669/78061/>
15. Le Franc Lorane, Bernay Benoit, Petton Bruno, Since Marc, Favrel Pascal, Rivière Guillaume (2021). A functional m6A-RNA methylation pathway in the oyster *Crassostrea gigas* assumes epitranscriptomic regulation of lophotrochozoan development. *Febs Journal*, 288(5), 1696-1711. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1111/febs.15500> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00648/76026/>
16. Mazurais David, Neven Carolin J., Servili Arianna, Vitre Thomas, Madec Lauriane, Collet Sophie, Zambonino Infante Jose-Luis, Mark Felix C. (2021). **Effect of long-term intergenerational exposure to ocean acidification on ompa and ompb transcripts expression in European seabass (*Dicentrarchus labrax*).** *Marine Environmental Research*, 170, 105438 (10p.). <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105438>
17. Médiéu Anais, Sardenne Fany, Lorrain Anne, Bodin Nathalie, Pazart Chloé, Le Delliou Herve, Point David (2021). **Lipid-free tuna muscle samples are suitable for total mercury analysis.** *Marine Environmental Research*, 169, 105385 (6p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105385> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00697/80930/>
18. Pernet Fabrice, Luge Klervi, Petton Bruno (2021). **Competition for food reduces disease susceptibility in a marine invertebrate.** *Ecosphere*, 12(4), e03435 (15p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/ecs2.3435> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00692/80375/>
19. Pernet Fabrice, Browman Howard I (2021). **The future is now: marine aquaculture in the anthropocene.** *Ices Journal Of Marine Science*, 78(1), 315-322. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa248> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00682/79406/>
20. Petton Bruno, Destoumieux Garzon Delphine, Pernet Fabrice, Toulza Eve, de Lorgeril Julien, Degremont Lionel, Mitta Guillaume (2021). **The Pacific Oyster Mortality Syndrome, a Polymicrobial and Multifactorial Disease: State of Knowledge and Future Directions.** *Frontiers In Immunology*, 12, 630343 (10p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.630343> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00679/79158/>
21. Poppeschi Coline, Charria Guillaume, Goberville Eric, Rimmel-Maury Peggy, Barrier Nicolas, Petton Sebastien, Unterberger Maximilian, Grossteffan Emilie, Repecaud Michel, Quemener Loic, Theetten Sebastien, Le Roux Jean-Francois, Treguer Paul (2021). **Unraveling Salinity Extreme Events in Coastal Environments: A Winter Focus on the Bay of Brest.** *Frontiers In Marine Science*, 8, 705403 (14p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.705403> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00706/81774/>
22. Potet Marine, Fabien Aurélie, Chaudemanche Samuel, Sebaidi Nassim, Guillet Theo, Gachelin Sonia, Cochet Hélène, Boutouil Mohamed, Pouvreau Stephane (2021). **Which concrete substrate suits you? *Ostrea edulis* larval preferences and implications for shellfish restoration in Europe.** *Ecological Engineering*, 162, 106159



- (13p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106159> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00679/79093/>
23. Printzi Alik, Kourkouta Chara, Fragkoulis Stefanos, Dimitriadi Anastasia, Geladakis George, Orfanakis Michail, Mazurais David, Zambonino Infante Jose-Luis, Koumoundouros George (2021). **Balancing between Artemia and microdiet usage for normal skeletal development in zebrafish ( Danio rerio )**. *Journal Of Fish Diseases*, 44(11), 1689-1696. <https://doi.org/10.1111/jfd.13487>
  24. Réveillon Damien, Savar Veronique, Schaefer Estelle, Chev  Julien, Halm-Lemeille Marie-Pierre, Hervio-Heath Dominique, Travers Marie-Agnes, Abadie Eric, Rolland Jean-Luc, Hess Philipp (2021). **Tetrodotoxins in French Bivalve Mollusks—Analytical Methodology, Environmental Dynamics and Screening of Bacterial Strain Collections**. *Toxins*, 13(11), 740 (18p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3390/toxins13110740> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00730/84205/>
  25. Salin Karine, Mathieu-Resuge Margaux, Graziano Nicolas, Dubillot Emmanuel, Le Grand Fabienne, Soudant Philippe, Vagner Marie (2021). **The relationship between membrane fatty acid content and mitochondrial efficiency differs within- and between- omega-3 dietary treatments**. *Marine Environmental Research*, 163, 105205 (8p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105205> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00658/77013/>
  26. Sardi Adriana E., B gout Marie-Laure, Cousin Xavier, Labadie Pierre, Loizeau Veronique, Budzinski Hélène (2021). A review of the effects of contamination and temperature in Solea solea larvae. Modeling perspectives in the context of climate change. *Journal Of Sea Research*, 176, 102101 (15p.). <https://doi.org/10.1016/j.seares.2021.102101>
  27. Siano Raffaele, Lassudrie Duchesne Malwenn, Cuzin Pierre, Briant Nicolas, Loizeau Veronique, Schmidt Sabine, Ehrhold Axel, Mertens Kenneth, Lambert Clément, Quintric Laure, No l Cyril, Latimier Marie, Quéré Julien, Durand Patrick, Penaud Aurélie (2021). **Sediment archives reveal irreversible shifts in plankton communities after World War II and agricultural pollution**. *Current Biology*, 31(12), 2682-2689.e7. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.03.079>
  28. Tallec Kevin, Paul-Pont Ika, Petton Bruno, Alunno Bruscia Marianne, Bourdon C, Bernardini Ilaria, Boulais Myrina, Lambert Christophe, Quere Claudie, Bideau Antoine, Le Goic Nelly, Cassone Anne-Laure, Le Grand Fabienne, Fabioux Caroline, Soudant Philippe, Huvet Arnaud (2021). **Amino-nanopolystyrene exposures of oyster (Crassostrea gigas) embryos induced no apparent intergenerational effects**. *Nanotoxicology*, 15(4), 477-493. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1080/17435390.2021.1879963> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00678/79052/>
  29. Thorat Elisa, Roussel Damien, Chinopoulos Christos, Teulier Lo c, Salin Karine (2021). **Low oxygen levels can help to prevent the detrimental effect of acute warming on mitochondrial efficiency in fish**. *Biology Letters*, 17(2), 20200759 (5p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0759> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00679/79098/>
  30. Trotter Andrew J., Vignier Julien, Wilson Teresa K., Douglas Marianne, Adams Serean L., King Nick, Cunningham Matthew P., Carter Chris G., Boudry Pierre, Petton Bruno, D gremont Lionel, Smith Greg G., Pernet Fabrice (2021). **Case study of vertical transmission of ostreid herpesvirus-1 in Pacific oysters and biosecurity management based on epidemiological data from French, New Zealand and Australian hatchery-propagated seed**. *Aquaculture Research*, 52(8), 4012-4017. <https://doi.org/10.1111/are.15219>

## Expertises/Avis

## Rapports

Boudry Pierre, Fleury Elodie, Le Roux Frederique, Zambonino Infante Jose-Luis (2021). **Rapport d'activité 2018-2019 UNITE RBE/PFOM. Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins**. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00689/80155/>

Boudry Pierre, Le Roux Frederique, Mazurais David, Pernet Fabrice, Zambonino Infante Jose-Luis (2021). **Rapport d'activité 2020 UNITE RBE/PFOM. Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins**. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00705/81740/>

Bruyere Oriane, Le Gendre Romain, Bourassin Emmanuel, Petton Sebastien, Soulard Benoit (2021). **Rapport de mesures dans le lagon de Koumac, Province Nord de la Nouvelle-Calédonie**. Projet PRESENCE - mission CADHYAK CAractérisation Du fonctionnement HYdrodynamique du lAgon de Koumac. 47p. <https://doi.org/10.13155/80615>

Fleury Elodie, Petton Sebastien, Benabdelmouna Abdellah, Corporeau Charlotte, Pouvreau Stephane (2021). **Observatoire national du cycle de vie de l'huître creuse en France. Rapport annuel ECOSCOPA 2020**. R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2021-1. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00771/88331/>

Garry Pascal, Le Guyader Soizick (2021). Rapport d'activités 2020. Laboratoire Santé Environnement et Microbiologie, Laboratoire National de Référence de Microbiologie des coquillages. RBE/SGMM/LSEM 21-03. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00691/80332/>

Hernandez Farinas Tania, Antajan Elvire, Chouquet Bastien, Maheux Frank, M'Zari Lotfi, Rocroy Mélanie, Rolet Céline, Rollet Claire, Ropert Michel, Schlaich Ivan, Simon Benjamin (2021). **Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Paluel. Année 2020**. RST/ODE/UL/LERN-21.20. . Conv. EDF C3499C0490. 237 p.

Ifremer. Département Ressources Biologiques & Environnement (RBE), Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins (PFOM), Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (LPI) (2021). **Dossier de demande d'agrément zoosanitaire – Plateforme d'Argenton**.

M'Zari Lotfi, Ropert Michel, Antajan Elvire, Foveau Aurelie, Hernandez Farinas Tania, Hervio Heath Dominique, Loots Christophe, Maheux Frank, Rocroy Mélanie, Rolet Céline, Rollet Claire, Schlaich Ivan, Simon Benjamin (2021). **Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville. Année 2020**. RST ODE/UL/LER/N/21-19. Conv. EDF C3499C0490. 222 p.

Miner Philippe, Koechlin Hugo, Pernet Fabrice (2021). Rapport Final. **Comparaison des performances des élevages larvaires d'huîtres creuses Crassostrea gigas entre les sites d'Argenton et de Plouzané de l'Ifremer**.

Perriere-Rumebe Myriam, Sottolichio Aldo, Blanchet Hugues, Gouriou Laure, Hervio Heath Dominique, Sautour Benoit, Savoye Nicolas (2021). **Surveillance écologique du centre nucléaire de production d'électricité du Blayais. Année 2020**. RST/ODE/LITTORAL/LERAR/21.007. Conv. EDF n° : C3499C0490, 236 p.

Pichereau Vianney, Laurent Jennifer, Borcier Elodie, Laroche Jean (2021). **Marqueurs de vulnérabilité de populations de flet identifiés par la protéogénomique : de nouveaux outils pour estimer l'état écologique des systèmes estuariens. Rapport final sur le Projet : POPEST (1er Juillet 2021)**. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00737/84857/>

Pouvreau Stephane, Cochet Hélène, Fabien Aurélie, Arzul Isabelle, Lapegue Sylvie, Gachelin Sonia, Salaun Benoit (2021). **Inventaire, diagnostic écologique et restauration des principaux bancs d'huîtres plates en Bretagne : le projet FOREVER**. Rapport final. Contrat FEAMP 17/2215675. <https://doi.org/10.13155/79506>

Pouvreau Stephane (réduct.), Juillet Emmanuelle, Gilante Hippolyte (2021). **Projet FOREVER (Flat Oyster Recovery) : Restauration écologique de l'huître plate en Bretagne**. Retours d'expériences. Génie écologique, Centre de ressources. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00742/85402/>

Ropert Michel (2021). **Surveillance écologique et halieutique des CNPE de bord de mer et d'estuaire. Suivi des activités sous-traitées**. RST/ODE/UL/LERN-21.08. 21p.

Schlaich Ivan, Antajan Elvire, Francoise Sylvaine, Hernandez Farinas Tania, Loots Christophe, M'Zari Lotfi, Maheux Frank, Ropert Michel, Simon Benjamin (2021). **Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2020**. RST RBE/HMMN/LRHPEB/21-2. Conv. EDF C3499C0490. 179 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00699/81083/>

Wacquet Guillaume, Ropert Michel, Antajan Elvire, Devreker David, Hervio Heath Dominique, Loots Christophe, Rocroy Mélanie, Rolet Céline (2021). **Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Gravelines. Année 2020**. RST ODE/LITTORAL/LERBL/21.04. Conv. EDF C3499C0490. 225 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00699/81085/>

## Ouvrages / Chapitres d'ouvrages

Gager Leslie, Lalegerie Fanny, Connan Solène, Stiger-Pouvreau Valerie (2021). **Marine Algal Derived Phenolic Compounds and their Biological Activities for Medicinal and Cosmetic Applications**. In Recent Advances in Micro and Macroalgal. Processing: Food and Health Perspectives. 2021. Gaurav Rajauria, Yvonne V. Yuan (Eds). nline ISBN:9781119542650 |DOI:10.1002/9781119542650. Section II : Biological Properties of Algal Derived Compounds. Chap.11, pp.278-334 (Wiley).

Zu Ermgassen Philine S.E., Bos Oscar, Debney Alison, Gamble Celine, Glover Azra, Pogoda Bernadette, Pouvreau Stephane, Sanderson William, Smyth David, Preston Joanne (eds) (2021). **European Native Oyster Habitat Restoration Monitoring Handbook**. The Zoological Society of London, UK., London, UK.. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00745/85667/>

## Posters

Copin Stéphanie, Ragueneau Virginie, Veron Antoine, Wacrenier Candice, Gay Mélanie, Midelet Graziella, Hervio Heath Dominique, Garry Pascal (2021). **Evaluation de la contamination des mollusques bivalves vivants et des produits de la pêche prélevés au stade de la distribution en France par des vibrio potentiellement entéropathogènes**. SFM 2021 - 16e congrès national de la Société Française de Microbiologie « MICROBES ». 22 au 24 septembre 2021, Nantes. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00727/83891/>

Poppeschi Coline, Charria Guillaume, Unterberger Maximilian, Goberville Eric, Rimmelin-Maury Peggy, Barrier Nicolas, Petton Sebastien, Grossteffan Emilie, Repecaud Michel, Quemener Loic, Theetten Sebastien, Le Roux Jean-Francois, Treguer Paul (2021). **Hydrological extreme event occurrences and impacts linked with climate variations in coastal waters of western Europe**. 52nd Liège Colloquium on Ocean Dynamics : Towards an understanding and assessment of human impact on coastal marine environments. May 17th to 21st 2021, Online. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00723/83548/>

Soree Marion, Delavat François, Lambert Christophe, Papin Mathias, Petton Bruno, Degremont Lionel, Le Razavet Virginie, Passerini Delphine, Stavrakakis Christophe, Hervio Heath Dominique (2021). **Suivi de l'accumulation et de la dépurabilité de Vibrio parahaemolyticus chez l'huître creuse Crassostrea gigas par cytométrie en flux**. SFM 2021 - 16e congrès national de la Société Française de Microbiologie « MICROBES ». 22 au 24 septembre 2021, Nantes. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00730/84223/>

## Communications sans actes :

Garcia Corona Jose Luis, Hegaret Helene, Lassudrie Duchesne Malwenn, Marzari Adeline, Fleury Elodie, Fabioux Caroline (2021). **Immunohistochemistry as a tool to decipher the subcellular mechanisms involved in the accumulation and long retention of the phycotoxin domoic acid in the king scallop Pecten maximus**. ICHA 2021 - 19th International Conference on Harmful Algae. October 10-15, Mexico.

Gourmelon Michele, Siano Raffaele, Jeanthon Christian, Garnier Matthieu, Malo Florent, Noel Cyril, Serghine Joelle, Philippe Aurelie, Hafdane Katouar, Vitre Thomas, Briand Enora (2021). **History of a couple: Alexandrium minutum and its associated bacterium in both natural and cultivated populations**. ICHA 2021 - 19th International Conference on Harmful Algae. October 10-15, Mexico.

Hubert Françoise, Morga Benjamin, Hervio Heath Dominique, Le Guyader Soizick (2021). **Passive samplers for the detection of virus and bacteria DNA in water**. 2021 Annual Meeting of NRLs for Mollusc diseases. March 17, 2021.

Mayen Jeremy, Polsenaere Pierre, Geairon Philippe, Chabirand Jean-Michel, Deborde Jonathan, Grizon James, Lemesle Jean Christophe, Poitevin Benoit, Dupuy Christine, Vagner Marie (2021). **Spatial and temporal variations in water pCO<sub>2</sub> and atmospheric CO<sub>2</sub> exchanges over a temperate salt marsh system**. ASLO 2021 - Aquatic Sciences Meeting "Aquatic Sciences for a Sustainable Future: Nurturing Cooperation". 22–27 June 2021, Virtual Meeting.

Ragueneau, S., Roux, P., Queau, I., Malestroit, P., Siano, R., Schapira, M., Fleury, E. (2021). **Ecophysiology of the cupped oyster *Crassostrea gigas* exposed to the green algae *Lepidodinium chlorophorum***. CEPA 2021 - Congress of Animal Ecophysiology. 2021 November 2-4th, Montpellier, France.

Roux, P., Schapira, M., Fleury, E., Siano, R. (2021). **The harmful effect of the green dinoflagellate *Lepidodinium chlorophorum*: from water discolorations to impact on cultivated bivalves**. ICHA 2021 - 19th International Conference on Harmful Algae. 2021 October 10-15, La Paz, Mexico.

Talleg Kevin, Huvet Arnaud, Le Goïc Nelly, Paul-Pont Ika. **Chemical effects of rubber-based products on oyster early life stages**. Conférence annuelle du GDR Polymères & Océans, Pau, 08-11 Février 2021 (distanciel).

Publications dans des colloques

Jeux de données publiés dans SEANOE

Bruyere Oriane, Le Gendre Romain, Bourassin Emmanuel, Petton Sebastien, Soulard Benoit (2021). **CADHYAK surveys : Field observations of hydrodynamics functioning of Koumac Lagoon (New Caledonia - North Province)**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/79616>

Dugeny Elyne, Dubreuil Christine, Huber Matthias, Le Roy Valerian, Quere Claudie, de Lorgeril Julien, Petton Bruno, Toulza Eve, Gueguen Yannick, Pernet Fabrice (2021). **Microbiological and physiological data associated to Pacific oysters exposed to seaweeds and challenged with OsHV-1 under laboratory conditions**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/85142>

Fleury Elodie, Normand Julien, Lamoureux Alice, Bouget Jean-Francois, Lupo Coralie, Cochennec-Laureau Nathalie, Petton Sebastien, Petton Bruno, Pouvreau Stephane (2021). **RESCO REMORA Database : National monitoring network of mortality and growth rates of the sentinel oyster *Crassostrea gigas***. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/53007>

Lutier Mathieu, Di Poi Broussard Carole, Gazeau Frédéric, Appolis Alexis, Quere Claudie, Le Roy Valerian, Queau Isabelle, Huber Matthias, Lugué Klervi, Le Luyer Jeremy, Pernet Fabrice (2021). **Transcriptomic, lipidomic, biometric and physiological rate data for the determination of the reaction norm of the Pacific oyster to ocean acidification**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/83294>

Muir Anna P., Dubois Stanislas, Moreau Yannis, Miner Philippe, Le Souchu Pierrick, von Hardenberg Achaz, Nunes Flavia (2021). **Microscopy of larval stages of the honeycomb worm *Sabellaria alveolata* from five European populations, under different temperature treatments**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/81657>

Petton Sebastien, Le Roy Valerian, Pouvreau Stephane (2021). **SMART Daoulas data from coriolis Data Centre in the Bay of Brest**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/86020>

Pouvreau Stephane, Cochet Hélène, Bargat Florian, Petton Sebastien, Le Roy Valerian, Guillet Theo, Potet Marine (2021). **Current distribution of the residual flat oysters beds (*Ostrea edulis*) along the west coast of France**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/79821>

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

Sardenne Fany, Puccinelli Eleonora, Vagner Marie, Pecquerie Laure, Bideau Antoine, Le Grand Fabienne, Soudant Philippe (2021). **Fatty acids data for dorsal muscle of the Atlantic mackerel *Scomber scombrus* in the first hours following death and after cooking**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/80453>

## Annexe 2 : Nouveaux projets soumis en 2021 (selon IMAGO)

Liste des projets de recherche soumis en 2020 sur la base des fiches projets dans Imago :

Financier	N° Fiche Projet	Acronyme	Statut	Coordination
Région Bretagne, CD29, BM	3024	DIP	réalisé	A. Huvet
ANSES	3317	PATHOPLASTIC	En attente AO	A. Huvet
CNRS	3337	CLIM CLAM	réalisé	C. Corporeau
Australian Research Council	3348	Impact of endocrine disruption on growth efficiency	En attente AO	K. Salin
OFB	3358	REEFOREST	réalisé	S. Pouvreau
ISBLUE-IFQM	3379	NANOEST	réalisé	A. Huvet
OceanoLAB	3397	Oyster Reefs of Tomorrow	réalisé	C. Di POI
ERC CONSOLIDATOR	3431	IndiMITO	rejeté	K. Salin
SAD	3478	MicroCO2sme	réalisé	C. Di POI
Fondation Roaltain	3508	MicroCO2sme-2	réalisé	C. Di POI
Fondation Roaltain	3543	C-BAR	réalisé	V. Loizeau
Fondation Roaltain	3544	TREAT	rejeté	A. Servili
EC2CO	3592	MICROLF	rejeté	D. Hervio-Heath
ANR	3611	TARATATA	rejeté	F. Pernet
ANR	3635	ALPAGOS	rejeté	A. Dupoué
ISBLUE	3641	ICONIC-2	rejeté	C. Di POI
ANR	3636	MITOFAT	rejeté	K. Salin
ANR	3675	LUCIOLE	En attente AO	E. Fleury
PPR Océan et Climat	3680	PLASTOC	rejeté	A. Huvet
ANR	3682	HABIS	accepté	A. Huvet
ISBLUE-Flagship	3683	MARESISTOME	Réalisé	D. Hervio-Heath
ANR	3693	NAIA-2021	rejeté	D. Hervio-Heath
ANR	3287	POEM	Réalisé	A.Huvet

Brest Métropole, CD29, Région Bretagne	3766	PO2022	Réalisé	A. Huvet
--	------	--------	---------	----------

## Annexe 3

### Implication dans la formation

Nom	Nombre d'heures	Titre du cours	Formation, lieu et date
Le Roux Frédérique	2	« Génomique des Vibrios »	Master 1 microbiologie SU /Mars
	2+2	« Phages dans l'environnement »	Master 2 microbiologie SU-Pasteur / Septembre et décembre
	2	« Phages dans l'environnement »	Master 2 ENS Paris / Octobre
	2	« Phages dans l'environnement »	Master 2 génomique environnementale SU-MNHN / Novembre
Loizeau Véronique	3	Devenir et transfert des contaminants dans le biote marin	Master 1, UBO, mars
Pernet Fabrice	12	L'aquaculture à l'ère de l'anthropocène	Intechmer, novembre
Pernet Fabrice	3	L'aquaculture à l'ère de l'anthropocène	AgroParisTech, novembre
Vagner Marie	3	Lipides marins	Master 1, UBO, mars
Kevin Tallec	3	Les micro et nanoplastiques dans l'environnement marin: quels impacts pour les organismes?	Master 2 Sciences de la Mer et du Littoral (années universitaires 2016-2019). Université de Bretagne Occidentale.
Fleury Elodie	6	Écophysiologie des Mollusques Marins : écophysiologie de la nutrition, du développement, de la croissance et de la reproduction dans le contexte du changement global	Master 2 « Sciences cellulaires et Moléculaires du Vivant », Agrocampus, Rennes
Fleury Elodie	4	Thermal tolerance and physiological adaptation of bivalves in the context of climate change	Master 1-UBO

## Accueil et encadrement de stagiaires

Nom	Période	Diplôme préparé	Sujet de stage	Responsable
CAPUT Edgar	21/6 au 25/7/2021	Licence, Océanographie, Marseille	Réponse physiologique et immunitaire des huîtres au changement climatique en fonction du régime des marées.	Fabrice Pernet et Coline Caillon
CHAUVEL Lucie	12/04 au 17/6/2021	DUT, génie de l'environnement, Brest	Réponse physiologique et immunitaire des huîtres au changement climatique en fonction du régime des marées.	Fabrice Pernet et Coline Caillon
LABBE Clémentine	04/01 au 15/07/2021	Master2 SDUEE Spécialité Sciences de la Mer, Sorbonne Université.	Effet de microfibres d'origine naturelle et synthétique sur la physiologie de l'huître creuse.	Arnaud Huvet et Camille Détrée (postdoctorante)
POUDER Eva	18/01 au 30/06/2021	Master2 Sciences Technologies Santé, Université Rennes 1	Etude de la colonisation des microplastiques marins par les microorganismes pathogènes ( <i>Vibrio crassostreae</i> et <i>OsHV-1</i> $\mu$ VAR) de l'huître creuse.	Arnaud Huvet et Ika Paul-Pont (CNRS)
RAGUENEAU Stacy	01/02/ au 30/07	Master II	Écophysiologie de l'huître creuse exposée à la microalgue <i>Lepidodinium chlorophorum</i>	Elodie Fleury



## Accueil et encadrement de post-doctorants

Nom	Période	Sujet	Financement
Cohen Mishal	03/02/2020 au 30/07/2021	Impact de l'acidification des océans sur les systèmes sensoriels de la larve de bar	Ifremer et Région Bretagne
Detrée Camille	01/09/2020 au 31/08/2021	Investigating the effect of synthetic and natural microfibers on marine biota using the model organism <i>Crassostrea gigas</i>	Ifremer
Audrey Mat	03/05 au 31/12	Réaliser et valoriser des analyses statistiques approfondies des séries temporelles acquises depuis l'utilisation du naissain standardisé au sein du réseau sur 3 années consécutives (de 2014 à aujourd'hui), en lien avec les paramètres environnementaux	Ifremer (en lien avec convention DPMA)
MELLO Danielle (Brésil)	01/11/2021 au 01/06/2023	Projet Marinecell : Développement de modèle 2D et 3D de culture cellulaire d'huitre creuse pour des applications en sciences de la santé et en écotoxicologie.	UBO -Région Bretagne
Tallec Kevin	15/09/2020 au 15/12/2021	Ecotoxicité de différentes sources de microplastique sur les organismes marins	Interreg FMA

## Accueil et encadrement de doctorants

Début de thèse (JJ/MM/AA)	Date de soutenance (JJ/MM/AA)	Sujets	Etudiants accueillis Nom Prénom (Nationalité)	Ecoles Doctorales d'inscription -Libellé de l'ED -Université de rattachement	Encadrements scientifiques (*) Dir. Thèse : Prénom, Nom (organisme) Co-encadrant : Prénom, Nom (organisme)	Structures d'accueil Libellé(s) + Localisation(s)	Convention CIFRE (oui/non)	Sources de financement	Email du doctorant
10/01/2017	07/09/2021	Comment la biodiversité influence t'elle le risque de maladie dans l'écosystème marin ?	Dugeny Elyne (Française)	Ecole Doctorale des Sciences de la mer et du Littoral. Université de rattachement : UBO	Dir. Thèse : Fabrice Pernet (LEMAR/Ifremer)	RBE-PFOM-PI (UMR LEMAR), Plouzané	Non	50% Ared LABEX 50% Ifremer	<a href="mailto:elyne.dugeny@ifremer.fr">elyne.dugeny@ifremer.fr</a>
01/10/2018	Thèse en cours	Adaptation et plasticité physiologique et comportementale des bivalves à l'acidification des océans.	Luthier Mathieu (Française)	ED 156, EDSML, UBL	Co-Dirs : F. Pernet (LEMAR, Ifremer), G. Le Moullac (EIO, Ifremer), Co-encadrement : C. Di Poi (LEMAR, Ifremer).	RBE-PFOM-PI (UMR LEMAR), EIO, Taravao - Tahiti	Non	Ifremer - Région Bretagne	<a href="mailto:mathieu.lutier@ifremer.fr">mathieu.lutier@ifremer.fr</a>

01/07/2019	Thèse en cours	Diversity, mechanisms and evolution of antimicrobial resistance in vibrios	Barcia Cruz Ruben (espagnole)	Université Saint Jacques de Compostelle, Espagne ; accord Sorbonne Université Paris	Dir, Jesus Romalde, Co-Dir Frédérique Le Roux	Equipe GV, Roscoff	Non	Université Saint Jacques de Compostelle, Espagne	ruben.barcia.cruz@usc.es
01/10/2019	Thèse en cours	Est-ce que les variations individuelles face aux changements environnementaux peuvent s'expliquer par la variation des performances mitochondriales ?	Quéméneur Jean-Baptiste (Française)	Ecole Doctorale des Sciences de la mer et du Littoral  - Université(s) de rattachement : UBO	Dir. Thèse : José ZAMBONINO (LEMAR)	RBE-PFOM-ARN (UMR LEMAR), Plouzané	Non	50% Ared 50% IFREMER	<a href="mailto:Jean.Baptiste.Quemeneur@ifremer.fr">Jean.Baptiste.Quemeneur@ifremer.fr</a>
01/10/19	Thèse en cours	Propriétés écologiques des efflorescences de <i>Lepidodinium chlorophorum</i> : de l'écophysiologie cellulaire à l'impact sur l'écosystème	Pauline Roux	ECOLE DOCTORALE N° 598  <i>Sciences de la Mer et du littoral</i> Spécialité : <i>Ecologie Marine</i>	Dir Thèse Raffale Siano (Ifremer), Co-encadrement : Elodie Fleury (Ifremer) et Mathilde Schapira (Ifremer)	LER MPL Nantes	Non	Ifremer / Pays de Loire	pauline.roux@etu.univ-nantes.fr

01/10/19	Thèse en cours	Physiological and molecular mechanisms involved in domoic acid contamination/decontamination in the king scallop <i>Pecten maximus</i>	Jose Luis Corona	EDSML	Dir Thèse Caroline Fabioux (LEMAR) Helene Hegaret (CNRS) Elodie Fleury (Ifremer) Malween Lassudrie (Ifremer)	LEMAR	Non	Bourse Gouvernement Mexicain	jose.corona@univ-brest.fr
01/10/2020	Thèse en cours	Impact des Changements climatiques et d'un perturbateur Endocrinien sur le cycle de vie d'un poisson sentinelle marin.	Devergne Jimmy (Française)	Ecole Doctorale des Sciences de la mer et du Littoral - Université(s) de rattachement : UBO	Dir. Guy Claireaux, Co encadrement Arianna Servili et Veronique Loizeau	LEMAR/PFOM, Plouzané	NON	ARED ISBlue 50% - UBO EDSML 50%	jimmy.devergne@ifremer.fr
01/10/2020	Thèse en cours	Rôle de l'habitat actuel et du stade ontogénique sur la capacité du bar européen à faire face au scénario futur de réchauffement et de baisse de disponibilité en oméga-3 polyinsaturés à longue chaîne dans le réseau trophique.	Peron Mickaël (Française)	Dir. Thèse: Philippe Soudant, Co-encadrement Marie Vagner (CNRS), Fabienne Legrand (CNRS), David Mazurais (IFREMER)	Dir. Thèse: Philippe Soudant, Co-encadrement Marie Vagner (CNRS), Fabienne Legrand (CNRS), David Mazurais (IFREMER)	LEMAR/PFOM, Plouzané	Non	ARED / EC2CO / EDSML	<a href="mailto:mickael.peron@univ-brest.fr">mickael.peron@univ-brest.fr</a>

01/10/2020	Thèse en cours	Effect of dietary peptides on fish bone development	Printzi Alik (Grecque)	Ecole Doctorale des Sciences de la mer et du Littoral - Université(s) de rattachement: UBO et University of Crete	Dir, Giorgos Koumoundouros (University of Crete), Co-Dir David Mazurais (Ifremer), Encadrement José Zambonino (Ifremer)	LEMAR / PFOM university of Crete	Non	Ifremer	<a href="mailto:Aliki.Printzi@ifremer.fr">Aliki.Printzi@ifremer.fr</a>
05/10/2020	Thèse en cours	Réponses intégratives de l'huître face au changement global dans la zone intertidale : approche multi stress.	Caillon Coline (Française)	ED 156, EDSML, UBL	Dir : F. Pernet (LEMAR, Ifremer), Co-encadrement : Elodie Fleury (LEMAR, Ifremer) et Charlotte Corporeau (LEMAR, Ifremer)	LEMAR / Plouzané & Argenton	Non	ARED Région Bretagne 61% - Ifremer 39%	<a href="mailto:coline.caillon@ifremer.fr">coline.caillon@ifremer.fr</a>

04/10/2021	Thèse en cours	Comportement et toxicité des nanoplastiques le long du continuum Terre-Mer : Apport de la caractérisation multidimensionnelle	Toussaint Lucie (Française)	Ecole Doctorale des Sciences de la mer et du Littoral. Universités de rattachement : UBO et Université de Laval, Canada	Co-Dirs : A. Huvet (LEMAR, Ifremer), P Archambault (TAKUVIK, UL, Canada), Co-encadrement : I Paul-Pont (LEMAR, CNRS), J Gigault (TAKUVIK, CNRS), Matthieu Waeles (LEMAR, UBO)	RBE-PFOM-PI (UMR LEMAR), Plouzané 50%  Unité TAKUVIK, Université de Laval, Québec, Canada, 50%	non	50% Ared 31% IFQM 19% Ifremer	<a href="mailto:Lucie.Toussaint@ifremer.fr">Lucie.Toussaint@ifremer.fr</a>
------------	----------------	---	-----------------------------	---	---	--	-----	-------------------------------------	--

#### Participation à jurys de thèse ou HDR

Date	Nom-Prénom	Intitulé du Jury (Doctorat /HDR)	Rôle dans le jury	Nom de l'impétrant	Titre du mémoire	Université
30/03/2021	LOIZEAU Véronique	Doctorat	examinatrice	GALLIEN Marine	Etude comparative de l'écodynamique de micropolluants halogénés d'intérêt émergent dans l'estuaire de la Seine	Bordeaux
14/12/2021	MAZURAS David	Doctorat	examinateur	ANGELICA Maria	Physiological indicators of growth and metabolism in fish with commercial interest: A transcriptomic approach. Model species: Brook charr ( <i>Salvelinus fontinalis</i> ), Deepwater redfish ( <i>Sebastes mentella</i> )	Rimouski
14/12/2021	VAGNER Marie	Doctorat	examinatrice	ANGELICA Maria	Physiological indicators of growth and metabolism in fish with commercial interest : A transcriptomic approach.	Rimouski

					Model species: Brook charr ( <i>Salvelinus fontinalis</i> ), Deepwater redfish ( <i>Sebastes mentella</i> )	
17/12/2021	HERVIO-HEATH Dominique	Doctorat	examineur	LAGUERRE Hélène	Microbiote des Echinodermes : Spécificité et plasticité des microbiotes chez <i>Holothuria forskali</i> (Echinodermata, Holothuroidea)	UBO

**Actions de vulgarisation et communication vers la société civile** (collèges, lycées, UTL, Portes Ouvertes, Salon AZIMUT, médias...).

- Elodie Fleury «1 chercheur/1 expérience » : L’huître face au changement climatique. Océanopolis 17 octobre 2021. <https://www.oceanopolis.com/?p=19052>
- Huvet Arnaud, Sanchez Wilfried, Pouvreau Stéphane, Fabioux Caroline (2021) L’huître, cette sentinelle témoin d’un littoral à préserver. Encyclopédie de l’environnement. <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/huitre-temoin-littoral-a-preserver/>
- Article grand public présentant nos interventions et l’atelier scolaire autour de la pollution microplastique, <https://fr.preventingplasticpollution.com/un-atelier-scolaire-qui-montre-limpact-des-microplastiques-sur-les-organismes-marins/>
- Article grand public sur les mesures écophysiologiques et leur intérêt pour comprendre la réponse de l’huître face aux microplastiques, <https://fr.preventingplasticpollution.com/nouvelles/>
- Table ronde Université populaire de la biodiversité, 28/11/2021, « Regards croisés | Des fleuves à l’Océan : comment limiter le plastique dans nos assiettes ? avec Romain Troublé, directeur général de la Fondation Tara Océan, Martin Gutton, directeur général de l’Agence de l’eau Loire-Bretagne, et Arnaud Huvet, Ifremer.
- Conférence et débat grand public sur la problématique des déchets plastiques en mer et des solutions mises en œuvre dans PPP au cinéma de Carantec (après la diffusion du film ‘Océans de plastique’ ) dans le cadre des journées du Patrimoine, 19/09/2021.
- Table ronde sur l’impact des microplastiques au 1er conseil des EcoConseillers de l’Océan, Brest Océanopolis, le 25 janvier 2021.
- Conférence au Festival Art’Pulseur (organisé par Océanopolis) sur l’origine, les sources et les conséquences de la pollution plastiques dans les environnements terrestres et marins, 22/10/2021.
- Conférence à l’évènement Plastic Hackaton (organisé par Océanopolis) sur l’origine, les sources et les conséquences de la pollution plastiques dans les environnements terrestres et marins, 25/11/2021.
- Stands sur le projet Preventing Plastics Pollution à l’Escale Plastics Odyssées (Brest, 25-26 septembre 2021), dans la Fan park du départ du Tour de France (Brest, du 24 au 26 juin 202), à la Nuit des chercheurs (24 septembre 2021) et à la Fête de la Science (du 7 au 10 octobre 2021).
- Participation à la conception et réalisation de l’exposition photo « Plastik Panic dans l’Océan » en extérieur sur la promenade du moulin Blanc du Port de plaisance de Brest (leader : Océanopolis).
- Six évènements éducatifs ont été réalisés (3 écoles, 2 collèges, 1 Lycée) ciblant 4 classes primaires dans l’école Anita Conti de Plouzané (CE2/CM1, CM1, CM1/CM2, CM2), 2 classes dans l’école de Plourin (mixte GS/CP, CM1/CM2) et 1 classe dans l’école de Plomodiern (mixte CE2/CM1/CM2), des collégien(ne)s du collègue Saint-François Notre-Dame (Lesneven) et 3 classes de 3ième dans le collège Saint Michel (Plouzané) et des étudiant(e)s en BTS ‘Gestion et Protection de la Nature’ au Lycée agricole de Morlaix, consistant en 9 interventions d’une demi-journée chacune, complétées par l’atelier huître-microplastique d’une demi-journée supplémentaire pour chacune des écoles primaires.

#### Annexe 4 : informations communiquées en CODIR du Centre Bretagne

CODIR Centre du 26 janvier 2021

- José Zambonino , nouveau responsable de l'Unité PFOM depuis le 1er janvier 2021



- Camille Détrée, postdoctorante Ifremer, est arrivée au sein du projet PPP pour travailler sur l'étude de la toxicité de fibres synthétiques en comparaison à des fibres naturelles (travail conjoint avec LDCM).
- Dans le cadre du projet Preventing Plastics Pollution (PPP), Kevin Tallec CDD chercheur en écotoxicité a réalisé deux expérimentations sur l'effet de microparticules de caoutchoucs et leurs lixiviats sur les jeunes stades embryolarvaires de huitre et sur l'adulte grâce au banc ecophysiologique d'Argenton.
- Une activité intense au sein de PPP sur les actions de sensibilisation sur la problématique de la pollution plastique et de ses solutions : la fête de la Science, la nuit des chercheurs, une conférence grand public à Océanopolis, une formation d'enseignants du secondaire aussi à Océanopolis, le School Plastic Hackathon, et intervention dans 6 classes de l'école Guérin à Brest.
- La conférence internationale MICRO co-organisée par le Lemar en Novembre 2020, même en distanciel un vrai succès avec 500 communications.
- Publication de l'étude parlementaire sur la pollution plastique pour lequel Ifremer dont Lemar a été interviewé et a donné un avis sur les chapitres III, IV, VII [http://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/redaction\\_multimedia/2020/2020-Documents\\_pdf/20201512\\_Conf\\_presse\\_OPECST/Rapport\\_final.pdf](http://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/redaction_multimedia/2020/2020-Documents_pdf/20201512_Conf_presse_OPECST/Rapport_final.pdf)

CODIR Centre du 18 mai 2021

- David Mazurais est le nouveau responsable du laboratoire ARN depuis le 15 avril.
- Comparatif Plouzané/Argenton :  
Les larves véligères d'huîtres âgées de deux jours ont été produites à l'écloserie d'Argenton et distribuées sur les deux sites à quatre reprises en 2020, et deux reprises en 2021. Les larves ainsi réparties sur les deux sites correspondent à une seule et même origine. Les six élevages larvaires ont été menés de manière identique suivant le protocole de production de « Naissains Standardisés Ifremer »  
Le 6ème élevage vient de se terminer et un rapport sera transmis à RBE début juin.
- Communication presse sur le projet FOREVER :  
Le projet FOREVER (Flat Oyster REcoVERy) avait pour objectif de dresser un état des lieux des derniers bancs d'huîtres plates en France et d'envisager les conditions d'une restauration possible pour cette espèce menacée. D'une durée de 3 ans (2018-2020), il a été financé par le FEAMP (Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche). Porté par le Comité Régional de la Conchyliculture de Bretagne Sud, ce projet a été permis par la collaboration active et les moyens de l'Ifremer pour la partie scientifique (coordination Stéphane Pouvreau) et les suivis in situ, de l'ESITC (École supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction) de Caen pour la création des récifs pour la fixation des huîtres, ainsi que la participation de bureaux d'étude bretons et du Comité Régional de la Conchyliculture de Bretagne Nord.

Le projet a mis en évidence que la restauration de l'espèce passe bien entendu par des mesures de gestion concertées, mais aussi l'introduction de supports destinés à jouer un rôle de noyau d'agrégation ou « éco-nucleus » comme point d'ancrage pour le redémarrage d'une colonie à croissance verticale comme le réclame la biologie de l'huître. Les essais pilotes orientent vers une structure tridimensionnelle neutre écologiquement (style coquilles d'huître ou béton calcaire) destinée à favoriser l'implantation des premiers individus. Cette réflexion vers un

support encore plus « intelligent » va être approfondie dans le cadre d'un nouveau projet de recherches en cours de discussion et qui pourrait être baptisé « REEFORREST »,

## Annexe 5 : Partenariats

Principaux partenaires au niveau national (hors Ifremer) :

INRAE (St Pée/Nivelle, Rennes, Gif/Yvette), Station biologique de Roscoff (FR2424 CNRS/UPMC), IUEM, CEDRE, Genoscope, Institut Pasteur, Univ. Caen-Basse Normandie (UMR BOREA), ISEM (Univ. Montpellier 2), Univ. de Bretagne Occidentale, Nantes, Poitiers, Le Mans et de Lille I, GIS Biogenouest, UMR LOV, UMR BOREA, GIS Analyse de génome des Animaux d'élevage (AGENAE), GIS Cryobanque Nationale, Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français (SYSAAF), Comité Interprofessionnel des Produits de l'Aquaculture (CIPA), Comités National et régionaux de la Conchyliculture (CNC et CRCs).

Principaux partenaires au niveau international :

Norvège (NOFIMA, Norwegian Institute of Food, Fisheries and Aquaculture Research, Norwegian University of Science and Technology, Univ. Bergen, Institute of Marine Research), Danemark (DTU,) Espagne (IRTA, Univ. Barcelone, Univ. Santiago de Compostela) Grèce (Univ Héraklion), Royaume-Uni (Univ. Sterling, Univ. Bangor), Belgique (Univ Gent, Univ Namur), Tunisie (Institut Spécialisé de Technologie des Pêches Maritimes), Canada (Univ Rimouski, Pêches et Océans Canada), Chine (Univ. Qingdao) , Portugal (Instituto Nacional de Recursos Biológicos : Instituto Superior Técnico, Instituto Português do Mar e da Atmosfera), Italie (Univ. Padova), Mexique (Centro des Investigaciones Biológicas del Noroeste : CIBNOR), Pays-Bas (IMARES Wageningen, Royal Netherlands Institute for Sea Research : NIOZ, Vrije Universiteit Amsterdam), USA (Massachusetts Institute of Technology), Allemagne (Alfred Wegener Institute).