

Rapport d'activité 2020

UNITE RBE/PFOM

Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins



Fiche documentaire

Titre du rapport : Rapport d'activité 2020 UNITE RBE/PFOM	
<p>Référence interne :</p> <p>Diffusion :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> libre (internet)</p> <p><input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : AAA/MM/JJ</p> <p><input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ</p>	<p>Date de publication : 30/08/2021</p> <p>Version : 1.0.0</p> <p>Référence de l'illustration de couverture</p> <p>Nicolas Le Bayon (Olivier Mouchel)</p> <p>Juveniles de bar (Olivier Mouchel)</p> <p>Huître creuse jaune (Bruno Petton)</p> <p>Expérimentation écophysiological à Argenton (Pascale Malestroit)</p> <p>Langue(s) : Français</p>
Résumé/ Abstract:	
Mots-clés/ Key words:	
Comment citer ce document:	
Disponibilité des données de la recherche :	
DOI:	

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
Pierre Boudry	Ifremer / Département Ressources Biologiques et Environnement / Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins
Frédérique Le Roux	
David Mazurais	
Fabrice Pernet	
José Zambonino	
Compilation et mise en page : Rachel Ignacio-Cifre - Cindy Marhic - Pierrick Le Souchu	
Destinataire:	
Validé par : José Zambonino	
Adresse électronique : jose.luis.zambonino@ifremer.fr	

A la mémoire de notre collègue Nicolas

Sommaire

Introduction : objectifs généraux de l'unité	7
Moyens et effectifs	8
Organisation de l'unité.....	8
Effectifs 2020.....	8
Moyens expérimentaux.....	13
Moyens analytiques	14
Implication dans la démarche qualité de l'institut.....	15
Résultats obtenus en 2020	16
Laboratoire Adaptation, Reproduction, Nutrition (ARN)	16
Réponses associées au changement climatique et facteurs anthropiques (Equipe 1, AR1&2)	16
Problématiques aquacoles (Equipe 1, AR6)	34
Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (LPI).....	36
Production de naissain standardisé	36
Cryoconservation et biologie des gamètes	37
Réseau national d'observations conchylicoles.....	39
Effets des polluants et des algues toxiques (Equipe 1, AR3.2 et 3.3).....	40
Interactions Environnement-Hôtes-Pathogènes- (Equipe 1, AR4.1 et 4.3).....	41
Structure et adaptation des populations (Équipe 1, AR1.2)	44
Equipe Génomique des Vibrios (GV)	53
ANNEXES	54
Annexe 1 : Production scientifique et technologique 2020 (uniquement celle impliquant du personnel de PFOM).....	55
Article dans des revues avec comité de lecture (de rang A) indexées dans le WOS.....	56
Expertises/Avis	60
Rapports	61

Ouvrages / Chapitres d'ouvrages	62
Posters	62
Poster et communications sans actes :	62
Publications dans des colloques	62
Jeux de données publiés dans SEANOE	62
Annexe 2 : Nouveaux projets soumis en 2020 (selon IMAGO)	63
Annexe 3	64
Implication dans la formation	64
Accueil et encadrement de stagiaires	65
Accueil et encadrement d'apprentis en alternance	67
Accueil et encadrement de post-doctorants	67
Accueil et encadrement de doctorants	69
Participation à jurys de thèse ou HDR	73
Annexe 4 : informations communiquées en CODIR du Centre Bretagne.....	74
Annexe 5 : Partenariats	77

Introduction : objectifs généraux de l'unité

La physiologie des organismes marins est une composante essentielle à la compréhension de leur dynamique, dans le contexte d'une exploitation durable et dans un environnement changeant. L'unité s'attache à étudier les interactions complexes entre organismes marins (bactéries, mollusques, poissons) et leur environnement en conditions naturelles ou dans un contexte d'élevage. 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.

La compréhension des effets des facteurs environnementaux biotiques (phytoplancton fourrage ou toxique ; flore microbienne commensale, prébiotique, probiotique ou pathogène ; proies et prédateurs) et abiotiques (température, contaminants, salinité, pH) sur les principales fonctions physiologiques des organismes marins vivants dans un environnement fluctuant est abordée par des approches expérimentales, en conditions contrôlées de laboratoire et in situ. Il s'agit en particulier de déterminer :

- Quels sont les effets des facteurs environnementaux sur les phases précoces du développement (phase larvaire), les impacts à moyen et long terme sur la physiologie des stades ultérieurs (juvénile et adulte) ?
- Quelles sont les résultantes de ces interactions 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* ?

Différents modèles d'animaux (bivalves et poissons marins) et bactériens sont étudiés à plusieurs échelles, de l'expression de gènes codants pour des protéines ou enzymes liées aux fonctions étudiées en passant par l'individu, la population jusqu'à l'écosystème. Les outils de biologie moléculaire, de génomique, d'écophysiologie et de modélisation - à l'échelle de l'organisme (bioénergétique) ou de l'écosystème - sont utilisés de manière complémentaire.

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 : José Zambonino, 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 : Luis Tito de Morais) depuis le 1^{er} janvier 2012.

L'équipe GV fait partie de l'UMR 8227 LBI2M (Laboratoire de Biologie Intégrative des Modèles Marins, CNRS/UPMC Direction : Catherine Boyen) depuis le 1^{er} janvier 2014.

Effectifs 2020

1. Tableau de synthèse des personnels de l'unité au 31/12/2020

Personnel permanent (dont 100 % en UMR)	34.8
Scientifique et technologique	
- animation scientifique et technique	3 (dont 2 HDR)
- chercheurs (dont ayant une HDR)	16 (dont 8 HDR)
- ingénieurs recherche et développement	4
Soutien à la recherche	
- ingénieur	
- technicien	12.8
- appui opérationnel	
Fonctions support	
- gestionnaire	1.5
- direction	
Personnel non permanent* (dont % en UMR)	
- CDD	13
- Doctorants (dont étrangers)	6
- Post-doctorants (dont étrangers)	4
- Chercheurs étrangers invités	

2. Tableau de l'évolution du personnel permanent

Nom	Date effective de départ 2020	Date d'arrivée 2020	Raison du mouvement (retraite, MI, CSS, recrutement...)	Catégorie	Compétence(s)
Alunno Bruscia Marianne	01/12		MI	Chercheur en écophysiologie	Ecophysiologie
Koechlin Hugo		05/10	Recrutement	Ingénieur Expérimentation Animale	Zootechne
SIMON Victor		01/12	Recrutement	Technicien en écophysiologie et expérimentation	Zootechne
Le Bayon Nicolas	17/03		Décès	Technicien zootechne	Zootechne
Marhic Cindy		01/09	Recrutement	Assistante de direction	Administration
Quillien Virgile		01/01	Retour Outremer	Technicien en biologie moléculaire et histologie	Biologie moléculaire
Hervio Heath Dominique		15/03	Mutation Thématique	Chercheuse en microbiologie	Microbiologie
Loizeau Véronique		01/01	Mutation Thématique	Chercheuse en Bioaccumulation des contaminants organiques	Chimie environnement marin/Modélisation/Physiologie poissons/Biologie des organismes
Lozac'h Solen		15/03	Mutation Thématique	Technicienne bactériologie, biologie moléculaire et culture cellulaire	Biologie moléculaire

3. Personnel permanent Ifremer (au 31/12/2020)

Nom	Prénom	Emploi	UMR et équipe de rattachement*
Boudry	Pierre	Responsable d'unité, chercheur en génétique	LEMAR, équipe 1
Collet	Sophie	Technicienne en zootechnie	LEMAR, équipe 1
Corporeau	Charlotte	Chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1
Di Poi	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
Fleury	Elodie	Responsable du laboratoire, chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1
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, équipe 1 & 2
Koechlin	Hugo	Ingénieur Expérimentation Animale	LEMAR, équipe 1
Labreuche	Yannick	Chercheur en microbiologie	LBI2M, équipe GV
Le Delliou	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, équipe 1
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
Mazurais	David	Chercheur en physiologie	LEMAR, équipe 1
Miner	Philippe	Ingénieur en biologie	LEMAR, équipe 1

Mouchel	Olivier	Ingénieur en culture cellulaire	LEMAR, équipe 1
Pernet	Fabrice	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 de laboratoire, 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
Caillon	Coline	Aide financière à la formation recherche (thèse)
Daszkowski	Pauline	Contrat d'apprentissage
Dugeny	Elyne	Aide financière à la formation recherche (thèse)
Gromberg	Theo	CDD Surcroît avec recettes
Huet	Erwan	CDD Surcroît avec recettes
Labenere	Jonhatan	CDD classique
Langlois	Fanny	Contrat d'apprentissage
Lozac'h	Léann	Contrat d'apprentissage
Lutier	Mathieu	Aide financière à la formation recherche (thèse)
Marhic	Cindy	Remplacement

Marquis	Florent	CDD surcroit sans recettes
Michel	Camille	Contrat de professionnalisation
Perree	Darryl	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)
Talleg	Kevin	CDD Surcroît avec recettes
Toletti	Clément	CDD classique
Vilaca	Romain	CDD Surcroit sans recettes
Vitre	Thomas	Contrat d'apprentissage puis CDD Surcroit sans recettes

5. Personnel temporaire Ifremer en post-doc

Nom	Prénom	Post-doctorante
Chan	Bin San	Post-doctorante
Cohen	Mishal	Post-doctorante
Detrée	Camille	Post-doctorante
Potet	Marine	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 – CNRS	Depuis 09/2018

7. Accueils de courte durée (inférieure à 1 mois) et visiteurs occasionnels

Nom	Prénom	Organisme d'origine	Période d'accueil
Brambilla	Fabio	NATURALLEVA – VRM	03/09
Lamy	Pascal	Conseiller européen	03/02
Pons	Geneviève	Conseillère européenne	03/02

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 m², 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 m³/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 O₂ de l'eau. Les débits d'eau utilisés peuvent aller jusqu'à 40 m³/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 m² (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 m³ ;
- Une capacité de pompage importante (12 m³/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 m², 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 m²) permettant des expérimentations impliquant des infections expérimentales avec pathogènes, algues toxiques ou polluants et une salle de production d'algues (53 m²) 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 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> (Login et mot de passe sur demande à pboudry@ifremer.fr).

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 2020

Note : pour ce qui concerne le LEMAR, les résultats sont présentés en référence aux Axes de Recherches (AR) du document de prospective présenté à l'HCERES pour la période 2017-2021.

Laboratoire Adaptation, Reproduction, Nutrition (ARN)

Les scientifiques du laboratoire PFOM/ARN conduisent des travaux de recherches en physiologie des poissons avec une approche intégrative tant en termes d'expertises (fonctions de reproduction, nutrition, métabolisme énergétique, système cardiovasculaire, système nerveux, système digestif, microbiote, bioaccumulation des contaminants) que méthodologiques (du gène à la population). Dans le cadre 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.

Le questionnement scientifique vise à mieux comprendre et prédire les réponses physiologiques et comportementales des poissons marins face à des paramètres environnementaux et nutritionnels. Les thématiques de recherche s'inscrivent principalement dans un contexte du changement global, avec la prise en compte de facteurs biotiques et abiotiques associés à différents scénarios de changement des océans (acidification, augmentation des températures, désoxygénation et pollution) prédits pour les 100 prochaines années mais également dans un contexte aquacole.

Réponses associées au changement climatique et facteurs anthropiques (Equipe 1, AR1&2)
Acidification des océans

Réponse neuroendocrinienne en lien avec la fonction de reproduction

Les résultats obtenus par notre laboratoire au cours des travaux précédents ont montré qu'une acidification des océans telle que celle prévue par le RCP8.5 du GIEC pour 2100 impacte la reproduction du bar européen. En particulier, nos données ont mis en évidence une anticipation des cycles de la concentration plasmatique de stéroïdes sexuels chez les deux sexes et de la période de ponte des femelles dans le scénario 2100, associée à une diminution de la qualité des ovocytes et de la mobilité spermatique.

En accord avec ces observations courant 2020, nous avons observé que la proportion d'ovocytes ayant une maturation avancée est plus importante dans la condition acidifiée pendant la période de reproduction. La maturation ovocytaire adopterait donc un caractère plus précoce en condition d'acidification. Les mécanismes sous-jacents des effets de l'acidification sur la fonction de reproduction restent à ces jours inexplorés.

Dans ce contexte et dans le cadre du projet IVA (Projet Politique de site, DS Ifremer) nous avons exploré l'hypothèse que l'augmentation de pH/pCO₂ impacte le contrôle neuroendocrinien de la reproduction et que la signalisation de type GABAergique puisse être impliquée dans cette régulation. Cette voie de signalisation est en effet considérée parmi les potentiels facteurs clés de la médiation des effets de l'acidification chez le poisson et elle joue également un rôle dans la modulation de la reproduction (Nilsson et al., 2012; Song et al., 2017).

Nos propres résultats sur le dosage des neurotransmetteurs dans l'hypothalamus de bars juvéniles acclimatés aux 2 conditions de pH/pCO₂ 120 minutes post stress de confinement (cf. paragraphe « Test

de confinement », ci-dessous) suggèrent que la réponse à l'acidification est associée à une diminution des niveaux hypothalamiques de GABA et à une augmentation de ceux en sérotonine, ce qui pourrait indiquer une stimulation des neurones à GnRH et par conséquent une activation précoce de l'axe gonadotrope en condition d'acidification. Ces résultats sont donc en accord avec un effet de l'acidification sur le contrôle neuroendocrinien de la reproduction.

Afin d'étudier les effets de l'acidification sur l'axe gonadotrope au niveau cellulaire, des approches in vitro ont été développées. Dans un premier temps, nous avons utilisé une lignée cellulaire issue du cerveau de dorade royale (Sab-1), espèce modèle phylogénétiquement proche du bar, lignée développée par l'université de Murcia en Espagne (collaboration avec Alberto Cuesta et Carmen Gonzales). Cette lignée permet l'étude in vitro des effets de l'acidification sur l'expression de gènes impliqués dans la reproduction et la signalisation GABAergique. Afin de vérifier la potentielle implication de la voie de signalisation GABA dans la médiation de ces effets, nous avons exposé les cellules à un antagoniste (gabazine) et un agoniste (muscimol) du récepteur à GABA de type A. Nos résultats suggèrent que les cellules sont sensibles à la condition d'acidification en montrant une tendance à surexprimer la GnRH1 (figure 1A). L'exposition à la gabazine est associée à une diminution de l'expression de GnRH1 dans les deux conditions climatiques. Le traitement au muscimol ne modifie pas l'expression de GnRH1 par rapport au contrôle en condition actuelle mais il est associé à une sous-expression de ce gène en condition d'acidification. Ces résultats préliminaires sont encore en accord avec une altération du contrôle neuroendocrinien de la reproduction en condition d'acidification avec un rôle particulier pour la signalisation GABAergique.

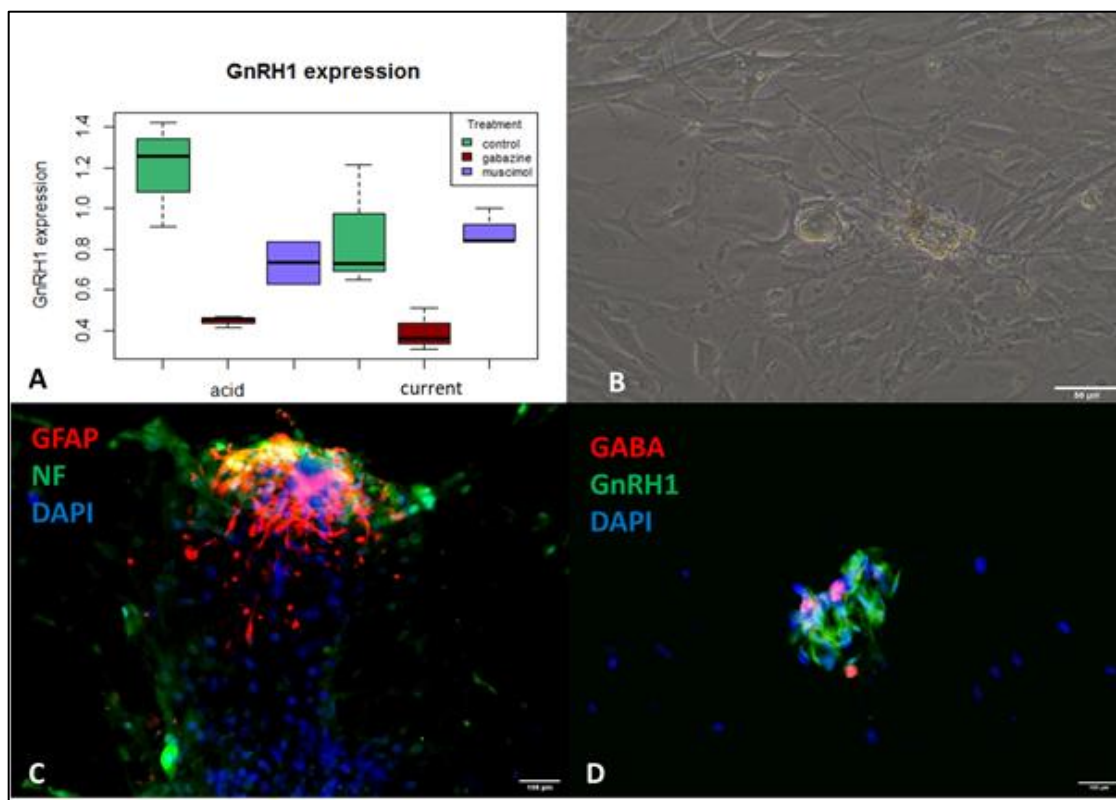


Figure 1 : A : Niveaux d'expression relative de GnRH1 obtenus en présence ou absence (control) de gabazine et muscimol sur les cellules de la lignée Sab-1 en condition actuelle (current) et RCP8.5 (acid). B-D : Microphotographies de cellules primaires obtenues à partir de cerveaux de bar. B : En dix jours de culture les axones des neurones forment des connexions synaptiques. C-D : Caractérisation

immunohistologique. Les cellules en culture expriment les marqueurs de cellules gliales (GFAP en rouge, C) et neuronale (NF en vert, C) ainsi que le neurotransmetteur GABA (en rouge, D) et l'hormone GnRH1 (D, en vert). Le marquage DAPI en bleu représente les noyaux des cellules (C-D).

Dans un deuxième temps, nous avons développé des cultures primaires de cellules issues de cerveaux de bars juvéniles acclimatés aux conditions actuelles ou acidifiées telles que celles envisagées par le GIEC pour 2100 (RCP8.5). Ces cultures de longue durée prolifèrent et sont composées de cellules de nature mixte incluant des cellules gliales, des neurones et des cellules souches. Afin d'obtenir des cultures enrichies en neurones, nous avons récemment développé un nouveau protocole d'isolation et de sélection de types cellulaires ainsi que de mise en culture. La caractérisation immunohistologique a montré une augmentation de la proportion de cellules neuronales capables de former des interconnexions synaptiques en une dizaine de jours (figure 1B-C). Une proportion variable de ces cellules est immunopositive aux neuromodulateurs tels que le GABA, le glutamate et l'hormone GnRH (figure 1D). Pour ces raisons, les cultures primaires ainsi obtenues sont considérées viables et adaptées pour l'étude des implications du système GABAergique dans la modulation des effets de l'acidification sur la fonction de reproduction au niveau cellulaire. Des expériences sont actuellement en cours afin d'étudier la potentielle régulation de l'expression de gènes impliqués dans la reproduction dans les deux conditions climatiques suite à une exposition à la gabazine.

Réponses physiologiques en lien avec le système sensoriel et les défenses antivirales

Nous disposons de bars exposés depuis 7 ans (génération F0) à deux scénarios de pH (condition actuelle: pH8; scénario 2100, RCP 8.5; pH7.6) et de leurs progénitures (génération F1) exposées aux mêmes conditions de pH que leurs parents. L'impact de l'acidification sur le bar a été évalué à travers l'étude de l'expression de gènes dans des tissus impliqués dans l'intégration de signaux sensoriels. Au niveau du système nerveux central, les expressions de cinq gènes impliqués dans la neurogenèse (dcx) ou exprimés dans les neurones GABAergiques (gabra3), glutamatergiques (gria1) ou dopaminergiques (th et ddc) ont été étudiées dans les bulbes olfactifs de poissons adultes exposés depuis 4 ans aux deux conditions de pH décrites précédemment. L'objectif de cette étude était de déterminer si les processus dans lesquels ces acteurs sont impliqués étaient régulés comme cela a pu être mis en évidence dans des travaux antérieurs rapportant des impacts de l'acidification des océans à très court terme (e.g 7 jours) sur la plasticité neuronale dans les bulbes olfactifs de bar (Porteus et al). Les résultats que nous avons obtenus par approche qPCR ne permettent pas de mettre en évidence un effet significatif de l'acidification sur l'expression des gènes (dcx, gabra3, gria1, th et ddc) chez les adultes. Nos résultats suggèrent donc que la régulation de l'expression de ces gènes par l'environnement acidifié est transitoire. Ces résultats ont fait l'objet de la rédaction d'un article publié (Mazurais et al, 2020).

Un intérêt particulier a également été porté à la rosette olfactive car cet organe présente le double intérêt d'être impliqué dans la voie sensorielle olfactive et d'être au contact direct avec l'eau. Les approches d'expression génique utilisées ont été ciblées sur certains gènes d'intérêt (par qPCR) ou sans a priori (par RNAseq). Une approche ciblée sur le gène Cbln11 a permis de mettre en évidence sa surexpression sur deux générations successives de bar (F0 et F1) exposées à la condition acidifiée, que ce soit au stade larvaire, juvénile ou adulte (Mazurais et al., 2020b). Le profil d'expression tissulaire de ce gène, appréhendé par hybridation in situ, indique qu'il est exprimé dans des cellules épithéliales non nerveuses. Combiné à des données de la bibliographie, nous émettons l'hypothèse que ce gène pourrait être impliqué dans les processus de défense immunitaire. Une approche sans a priori de RNAseq a été conduite sur des ARN de rosette olfactive de juvéniles de la génération F1. Sur les 26 719 ARN séquencés, 9 112 présentent une expression différentielle entre les deux conditions de pH. 50 % de ces ARN

différentiellement exprimés sont sur- ou sous-exprimés. Parmi les 20 gènes les plus surexprimés (facteur d'induction > 30), 7 sont impliqués dans la réponse immunitaire (figure 2), ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle l'acidification des océans a un impact sur les acteurs du système immunitaire dans la rosette olfactive du bar. Une analyse basée sur l'annotation fonctionnelle des gènes montre notamment que 115 gènes impliqués dans la réponse immunitaire, dont notamment des protéines antivirales, sont sur-exprimés en condition acidifiée

Gene name	Gene ID	Log fold 2 change	p-adjust	Function
interferon-induced very large gtpase 1-like	DLAgn_00162830	7,628956933	0,001199498	Immune
gtpase imap family member 8-partial	DLAgn_00260450	6,701515951	3,96E-09	Immune
uncharacterized protein loc101156474	DLAgn_00251410	6,697345595	3,19E-16	DNA replication
uncharacterized protein loc101471575	DLAgn_00252380	6,57487498	8,06E-07	nd
dna topoisomerase 1	DLAgn_00243310	6,401750186	8,91E-10	DNA replication
reverse transcriptase-like protein	DLAgn_00165910	6,39176143	3,67E-10	nd
uncharacterized protein loc101169027	DLAgn_00233270	6,24673693	1,05E-05	nd
l_3	DLAgn_00210490	6,137457497	1,05E-20	
uncharacterized protein loc101484061	DLAgn_00252370	6,050027554	9,38E-05	nd
gtpase imap family member 4-partial	DLAgn_00216180	5,896137951	2,73E-07	Immune
protein nlrc3-like	DLAgn_00244700	5,816442408	0,000554754	Immune
lrr and pyd domains-containing protein 3-like	DLAgn_00265820	5,772526211	1,66E-08	Immune/Defense
reverse transcriptase	DLAgn_00266790	5,471563227	4,84E-07	DNA replication
myosin-11-like isoformx1	DLAgn_00237920	5,336869049	2,71E-05	Actin filament organisation
chloride intracellular channel protein 5-like	DLAgn_00138930	5,321882248	0,000140595	Cl- transport/ response to stimulus
n-lysine methyltransferase setd8-like	DLAgn_00246100	5,280896425	0,000300196	Chromatin modification
mucin-5ac-like isoform x1	DLAgn_00162060	5,219341976	2,34E-06	O-glycan processing/ Defence
tpa_exp: polyprotein	DLAgn_00219710	5,189817787	0,000454701	DNA replication
tpa_exp: replicase helicase endonuclease	DLAgn_00264290	5,115763895	8,58E-07	Nucleotide binding
protein nlrc3-like	DLAgn_00234590	5,086250847	0,000404874	Immune

Figure 2 : Tableau listant les 20 gènes les plus sur-exprimés dans la rosette olfactive de bar Européen (F1) en situation d'acidification à pH7.6

De façon très intéressante, cette surexpression de gènes impliqués dans la réponse antivirale s'accompagne d'une plus grande résistance à un challenge viral chez ces mêmes poissons conditionnés en situation acidifiée (figure 3).

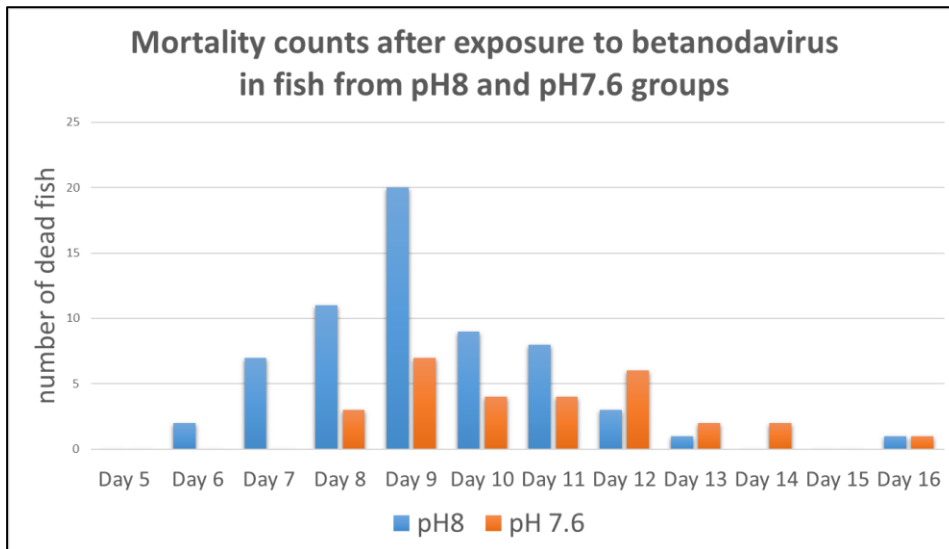


Figure 3 : Résultat d'un challenge viral chez des juvéniles de bar de la génération F1 exposés à des pH8 (condition contrôle) ou pH7.6 (condition acidifiée)

Par ailleurs, les analyses d'enrichissement en *Gene Ontology* révèlent que les gènes impliqués dans les processus biologiques en lien avec la plasticité synaptique, la différenciation ou l'activité neuronale sont sur-représentés parmi les gènes sur-exprimés en situation d'acidification. Ce résultat suggère une régulation dans les processus en lien avec la transmission neuronale sensorielle dans la rosette olfactive dans la génération F1. Parmi les gènes sous-exprimés en condition acidifiée sont sur-représentés des acteurs impliqués dans la synthèse des macromolécules (dont l'ATP) suggérant de l'hypométabolisme dans les neurones et/ou cellules de supports dans la rosette olfactive chez les poissons placés en situation d'acidification. Ces résultats en cours de publication sont tout à fait originaux, qui plus est, chez une espèce de poisson d'intérêt économique et à cycle de vie long (4 ans minimum pour atteindre la maturité sexuelle).

Réponse neuroendocrinienne en lien avec l'axe corticotrope

Des travaux récents réalisés au sein du laboratoire ont mis en évidence que la condition d'acidification RCP8.5 impacte la réponse physiologique de bars juvéniles après un test aigu de confinement. Nous avons notamment observé que ces poissons en condition d'acidification montrent une cinétique de récupération (retour aux niveaux basaux du cortisol et du glutamate plasmatiques) post-stress différente des poissons exposés à la condition actuelle. Une différence entre ces deux groupes a également été relevée au niveau de l'expression génique de certains facteurs impliqués dans la réponse endocrinienne au stress (axe corticotrope) dans l'hypothalamus et le rein intérieur. Afin de mieux comprendre l'implication du contrôle neuroendocrinien de la réponse au stress dans la médiation des effets de l'acidification, nous avons dosé les neurotransmetteurs dans l'hypothalamus et le bulbe olfactif à 120 minutes post stress de confinement de bars acclimatés aux conditions de pH/pCO₂ actuelles ou prévues par le RCP8.5 pour 2100.

L'analyse statistique (Analyse en Composantes Principales suivi de modèles linéaires) de nos résultats indique une modulation différentielle des neuromodulateurs entre les deux régions cérébrales étudiées (bulbe olfactif vs hypothalamus, $p[\text{pH}] = 0.2002$; $p[\text{tissue}] = 1.189\text{e-}12$; $p[\text{pH}*\text{tissue}] = 0.42489$). Quand les concentrations en neuromodulateurs dans l'hypothalamus sont analysées séparément, un effet pH/pCO₂ est montré pour la première dimension (figure 4A-B ; $p[\text{pH}] = 0.006101$). Cette première

dimension oppose notamment les individus à forte teneur en GABA et faible concentration en sérotonine. La réponse à l'acidification semble être associée à une diminution des niveaux hypothalamiques du GABA et à une augmentation de ceux de sérotonine 120 minutes après un test de confinement. A 120 minutes post stress, les poissons en condition d'acidification montrent également une concentration plasmatique de cortisol plus importante. Cette observation est en accord avec un rôle du neurotransmetteur GABA dans la régulation de l'axe corticotrope comme décrit dans la littérature. En effet l'augmentation de GABA peut activer l'axe du stress et de ce fait stimuler la libération de cortisol dans le plasma. En conclusion, l'impact de l'acidification sur la réponse physiologique au stress est médié par le système neuroendocrinien et notamment par l'implication des voies de signalisation GABAergique et sérotoninergique, les neurotransmetteurs GABA et sérotonine ayant un rôle connu dans la modulation des axes corticotrope et gonadotrope ainsi que dans celle du comportement.

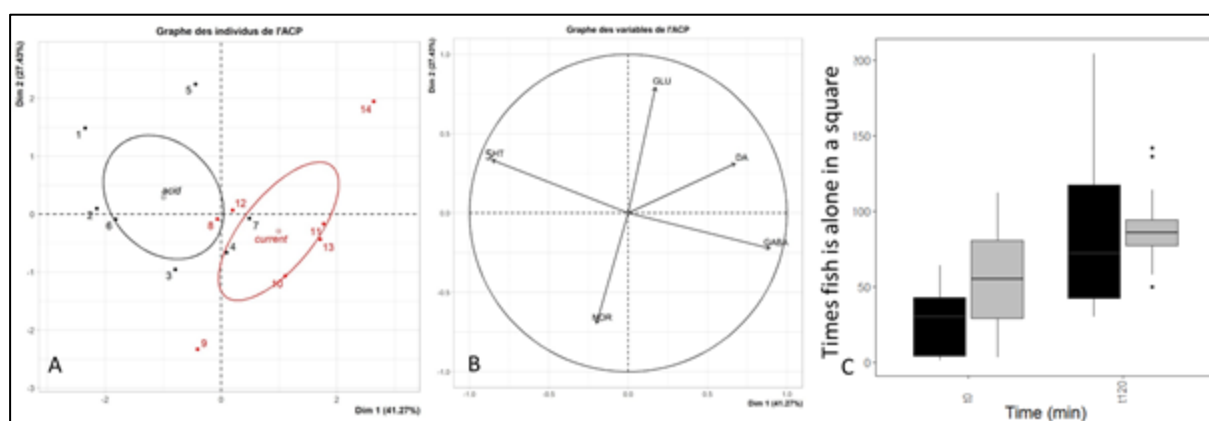


Figure 4 : A-B : graphes des individus (A) et des variables (B) de l'ACP des niveaux de neuromodulateurs dans l'hypothalamus de poissons acclimatés à la condition actuelle (current) versus la condition RCP8.5 (acid). C : Graphe représentant le nombre de fois que chaque poisson a été identifié seul dans un carré au temps t0 (non stressé) et t120 (à 120 minutes post stress) en condition d'acidification (en noir) et contrôle (en gris).

Nous avons ensuite porté notre attention sur le comportement de poissons observés en conditions non stressantes (t0) et à 120 minutes (t120) post stress de confinement (collaboration avec Sabine Roussel, LEMAR, UBO). Le profil de comportement observé à t0 est considéré comme caractéristique du poisson en condition non stressante ou contrôle (plus de temps passé sans bouger et moins de temps passé en se déplaçant lentement ou tout seul dans un carré). Il est intéressant de remarquer qu'en condition d'acidification, les poissons montrent en général un profil de comportement différent de celui de la condition contrôle, comportement que nous pourrions définir comme moins stressé, qui se traduit par une augmentation du temps passé sans bouger et du temps de déplacement lent ou en étant seul (figure 4C).

En conclusion, nos observations indiquent que l'acidification altère la réponse physiologique à un stress aigu et impacte la régulation neuroendocrinienne de l'axe corticotrope. Les bars en condition d'acidification montreraient un profil comportemental moins stressé avant ou après un stress aigu, bien que la récupération du niveau basal des marqueurs plasmatiques de stress se fasse plus graduellement.

Réponses comportementales

Depuis le début des années 2000, les effets de l'acidification des océans sur les organismes marins ont fait l'objet de nombreuses publications scientifiques. L'intérêt s'est tout d'abord porté sur les organismes calcifiants tels que les coraux ou les mollusques, l'acidification des eaux marines entraînant une baisse de la disponibilité en ions carbonate (CO_3^{2-}), un composé essentiel au processus de calcification. Du fait d'une homéostasie acide-base très performante, les poissons téléostéens ont, dans un premier temps, été considérés comme relativement protégés contre l'acidification des océans. Des études récentes ont cependant rapporté des effets négatifs de l'acidification des océans, notamment sur leur comportement mais ils restent controversés et sont, pour certains, régulièrement remis en cause.

Des expérimentations menées au laboratoire ont montré que des juvéniles de bars européens (*Dicentrarchus labrax*) élevés en condition hypercapnique présentaient une diminution de la cohésion de groupe et une baisse du niveau d'attention porté à leur environnement. Afin de confirmer ces résultats un test comportemental a été mis en place consistant à :

- Élever deux lots de bars européens ($n = 15$ par lot) à deux niveaux de pH : l'un reproduisant le pH actuel de l'eau de mer ($\text{pH} = 8.1$, $\text{Pco}_2 = 650 \mu\text{atm}$) et l'autre reproduisant l'estimation la plus pessimiste du GIEC pour 2100 ($\text{pH} = 7.6$, $\text{Pco}_2 = 1700 \mu\text{atm}$).
- Placer successivement les animaux dans une arène expérimentale pour évaluer leur réponse à deux stimuli potentiellement attractifs : un miroir et un abri.
- Évaluer les différences comportementales face à ces deux stimuli, ainsi que les différences de niveau d'activité et de vitesse de nage des deux lots de poissons.

Nos résultats montrent que la condition hypercapnique testée est de nature à modifier le comportement du bar européen, se traduisant par une baisse du niveau d'activité et de la vitesse de nage spontanée (figure 5) des animaux, ainsi que par une diminution de leur comportement exploratoire. La portée écologique de ces résultats reste cependant à évaluer et de prochaines études devront, par exemple, en établir leurs implications pour les relations proie-prédateur ou en réponse à l'hétérogénéité spatiale du milieu, tant en termes de ressources que de contraintes.

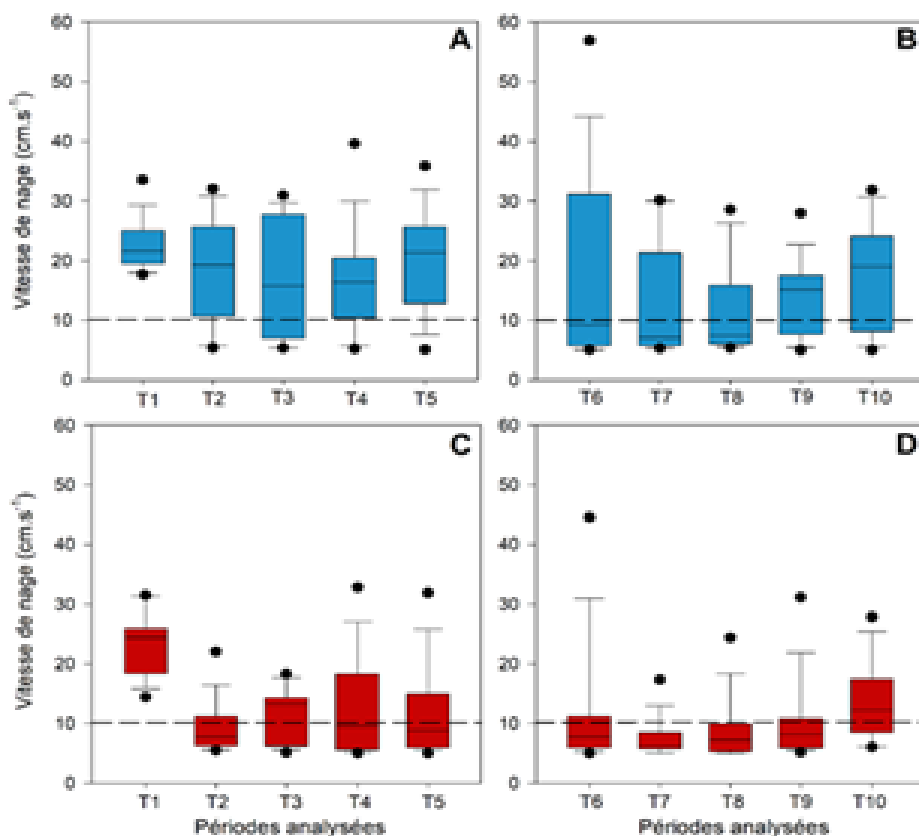


Figure 5 : Évolution de la vitesse de nage spontanée suite à l'introduction des animaux dans l'arène expérimentale. Bleu : groupe contrôle ; rouge : groupe acidification. Panneaux A et C en présence d'un miroir dans l'arène expérimentale, panneaux B et D après ajout d'un abri dans l'arène. Périodes de mesure post introduction d'un animal dans l'arène : T1 = 0-5 min ; T2 = 10-15 min ; T3 = 20-25 min ; T4 = 30-35 min ; T5 = 40-45 min ; T6 = 40-45 min ; T7 = 15-20 min ; T8 = 20-35 min ; T9 = 45-50 min ; T10 = 55-60 min. La ligne pointillée indique la vitesse minimale mesurable.

Scénario multistress

L'année 2020 a permis la structuration et la mise en place d'un nouvel axe de recherche sur l'étude de scénario multi-stress. Cet axe combine les effets de plusieurs facteurs environnementaux qu'ils soient biotiques, abiotiques, liés au changement global ou aux activités anthropiques.

Interaction du réchauffement et de l'acidification des océans avec un stress chimique de type perturbateur endocrinien à des concentrations écologiquement réalistes

Cette thématique se focalise sur le modèle poisson, et intègre une approche pluri-échelle (spatiale : comparaison milieu eau douce-milieu marin ; temporelle : cycle de vie complet d'une espèce). Il vise à améliorer les connaissances sur l'écotoxicité des contaminants d'origine anthropique (perturbateur endocrinien de type oestrogénique) et les risques associés (sur différents stades du cycle biologique), dans un contexte de changement global. L'étude de ces conditions multi-stress est soutenue par deux projets :

ICEfish (impact du changement climatique et d'un stress chimique sur le cycle de vie d'un poisson sentinelle marin) débuté le 02/11/2020 avec la thèse de Jimmy Devergne et financé par ARED ISBlue et UBO EDSML. Ce projet vise à évaluer les effets d'un perturbateur endocrinien dans un contexte de

changement climatique (multi-stress : réchauffement et acidification) sur le cycle de vie complet d'une espèce marine. Les conditions de température et pH/PCO₂ sont celles prévues par le GIEC (RCP8.5) pour 2100. Le poisson retenu pour cette étude est l'épinoche à trois épines marine qui est une espèce sentinelle utilisable pour la surveillance des milieux aquatiques. Le projet repose sur une approche expérimentale et se décline en 3 questions majeures : **1/** Les conditions d'acidification et de réchauffement des océans prévues pour 2100 impactent-elles les fonctions physiologiques de l'épinoche et à quel(s) stade(s) de son cycle de vie ? **2/** Les capacités adaptatives de l'épinoche face au changement global sont-elles affectées par un stress supplémentaire (perturbateur endocrinien de type xenoestrogène) ? Focus sur une contamination par l'éthinylestradiol (EE2). **3/** Le changement climatique associé à la contamination chimique oestrogénique impacte-t-il le comportement de l'épinoche ?

ECHANGE (effet de l'éthinylestradiol sur le cycle de vie et la physiologie d'un poisson sentinelle euryhalin en condition de CHANGement climatique) en partenariat avec les équipes MARBEC (UMR 9190 MARBEC, Université de Montpellier) et INERIS (Unité d'écotoxicologie in vitro et in vivo (ECOT) de l'INERIS UMR-I 02 SEBIO) ; financé par l'AO EC2CO-DYCOVI (2021-2022). Ce projet complètera les objectifs de ICEFish en ajoutant une dimension supplémentaire à travers le continuum « terre-mer » et deux questions spécifiques : 1- Les conditions de salinité impactent-elles l'acclimatation de l'épinoche à l'acidification et au réchauffement des eaux ? 2- La réponse physiologique de l'épinoche face au changement global en eau de mer et eau douce est-elle affectée par un stress supplémentaire (œstrogénique) ?

Ces deux projets incluent la mise en œuvre d'un nouveau modèle d'étude au sein de la structure expérimentale du laboratoire ARN, l'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*).

Cette expérimentation, débutée en octobre 2020 (figure 6), se fait en étroite collaboration avec l'INERIS qui possède une longue expérience sur cette espèce.



Figure 6 : bassin expérimental exposant des épinoches à un scénario de température et de pH prévu par le GIEC à l’horizon 2100 (RCP8.5). Les bassins disposent d’enrichissements afin d’assurer le bien-être des poissons.

Les aspects zootechniques liés à l’élevage (acclimatation à l’eau de mer, densité, enrichissement, alimentation, ...) ont nécessité quelques ajustements de nos structures (stage technique CNAM-Intechmer (5 mois) ; Matthieu Martinez). L’outil expérimental est maintenant opérationnel, et la mise en condition « GIEC-2100 » de la moitié de l’effectif des épinoches est effective depuis la mi-décembre 2020.

Impact de scénario environnementaux sur le développement de la larve de hareng

Une étude sur l’impact des changements globaux prévus par le GIEC à l’horizon 2100 sur les larves de harengs (figure 7) a eu lieu entre novembre 2019 et mars 2020 au sein de l’unité PFOM. Des œufs de harengs issus d’une fécondation artificielle d’adultes sauvages ont donné naissance à 21000 larves de harengs.



Figure 7 : Larve de hareng au stade 2 de développement

Ces larves ont été réparties en quatre scénarios afin de mesurer les effets que pourraient avoir un océan plus chaud, plus acide et avec une qualité alimentaire diminuée. Le taux de survie, la croissance, le développement et la condition larvaire du scénario témoin (Amb_H : 11°C, pH8.0, aliments riche en acide gras) sont comparés à ceux d'un scénario où la qualité nutritive des proies est diminuée (Amb_L : 11°C, pH8.0, aliments moins riche en acide gras), un scénario où l'environnement correspond au scénario de changement climatique du GIEC (OWA_H : 14°C, pH7.6, aliments riche en acide gras) et enfin un scénario combinant les deux modifications, environnementales et alimentaires (OWA_L : 14°C, pH7.6, aliments moins riche en acide gras). Le suivi s'est effectué sur la majorité du stade larvaire (47 jours à 14°C, 60 jours à 11°C). Différents prélèvements (lipides et acide gras, histologie, biologie moléculaire) ont été réalisés au cours du temps pour suivre des paramètres physiologiques et déterminer la condition et le potentiel de survie des larves. Les résultats préliminaires montrent que les larves en condition plus chaude et acidifiée présentent des tailles inférieures à celles du contrôle pour un même stade de développement (figure 8), sans impact de la qualité alimentaire, et que l'effet des changements globaux sur les larves de hareng n'est pas létal. Les potentiels effets sous-létaux sont en cours d'investigation.

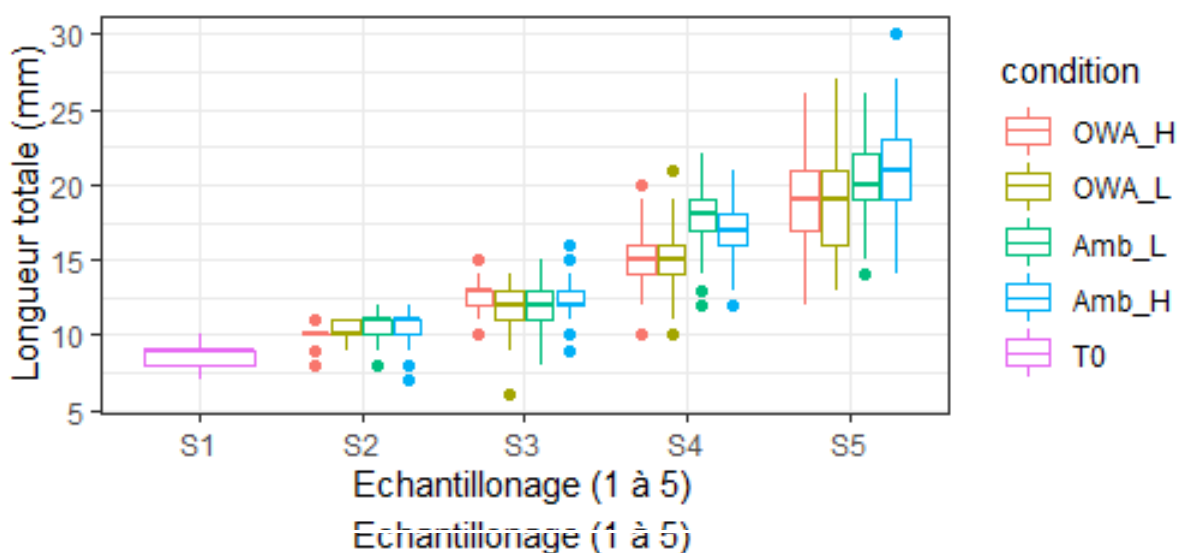


Figure 8 : Longueur totale (mm) des larves de harengs en fonction du temps (numéro d'échantillonnage, T0 représentant la taille à l'éclosion). Les échantillonnages sont basés sur le développement en degrés jours pour comparer des larves à stade de développement égal même dans différentes conditions de température.

Effets de l'acidification et de l'augmentation de température des océans sur des paramètres comportementaux du bar

Dans le cadre de ces projets sont étudiés les effets des facteurs acidification et réchauffement sur certains paramètres comportementaux en lien avec le système sensoriel chez des bars (âges : environ 300 jours post éclosion). Les juvéniles provenant de la station Ifremer de Palavas-les flots ont été transférés à leur arrivée à Brest, dans 12 bacs où ils ont été soumis pendant 58 à quatre conditions de température et pH en accord avec les valeurs naturelles saisonnières et/ou avec les valeurs prédites par le GIEC pour la fin du siècle (+4°C et -0.4 unité de pH) à savoir: contrôle (CT) : température et pH ambiant (pH8.0); (AT) : température ambiante et acidifié pH7.6 ; réchauffé (WT) : température ambiante +4°C et pH8.0; réchauffé et acidifié (WAT) : température ambiante +4°C et pH7.6. Deux voies sensorielles impliquées dans la détection d'un prédateur ont été sollicitées à travers deux expériences distinctes. La voie visuelle a été évaluée en exposant les poissons à une ombre pendant 30 secondes (dark cue) afin de mimer le survol

d'un prédateur. La voie mécano-acoustique a été évaluée grâce à la chute d'un objet pointu en surface de l'eau pour mimer l'attaque d'un oiseau. Les expériences ont été enregistrées en vidéo et analysées avec le logiciel EthoVision XT (Noldus, Pays-Bas).

A ce jour, seules les vidéos des expériences concernant le stimulus visuel ont été analysées. La distance totale parcourue a été évaluée à 3 moments précis : 2 minutes avant et 2 minutes après le stimulus visuel (*dark cue*) ainsi que pendant les 30 secondes du survol de l'objet. Des premiers résultats montrent que chez les juvéniles contrôles (CT), la distance totale parcourue avant et après présentation du stimulus visuel est similaire et indique un retour à un comportement de nage normal après le stimulus (figure 9). Les poissons du traitement WAT montrent ce même patron de comportement, avec cependant une moindre distance totale parcourue, leur comportement indiquant un niveau de stress plus élevé tout au long de l'expérience. Par opposition, le niveau d'activité de nage des poissons des traitements AT et WT n'est pas revenu à son état initial, les premiers se montrant plus actifs et les deuxièmes moins actifs après le stimulus. Pendant la période d'ombre, les poissons des traitements WT et WAT ont parcouru moins de distance que les CT (figure droite) ce qui pourrait témoigner d'un comportement de fuite moins présent les rendant possiblement plus vulnérables face à l'attaque d'un oiseau. Ces résultats préliminaires évoquent des effets mixtes du réchauffement et de l'acidification qui demandent à être confirmés statistiquement.

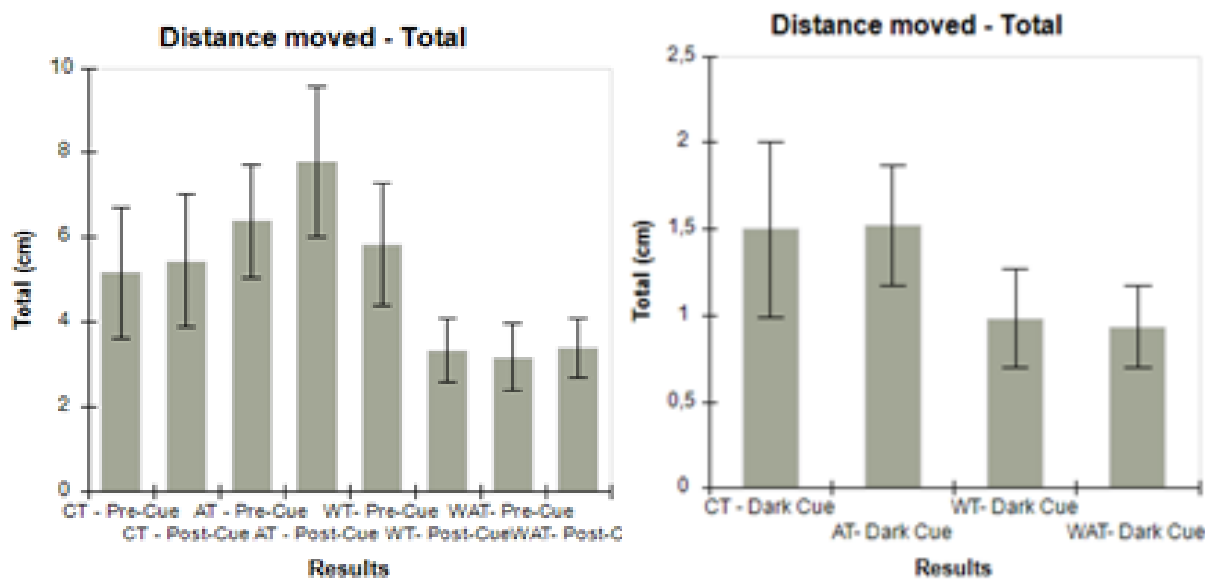


Figure 9 : Effet du conditionnement à une diminution de pH et/ou à une augmentation de température sur l'activité de nage des juvéniles de bar avant/après (histogramme de gauche) ainsi que pendant (histogramme de droite) le passage d'un objet simulant le survol d'un prédateur.

Interaction entre la température et le stress dans le déterminisme du sexe chez le bar

En 2020 nous avons participé au projet FEAMP 3S STRESS (porté par Benjamin Geffroy, Ifremer-MARBEC) qui vise principalement à identifier le rôle du stress dans le déterminisme du sexe chez le bar européen. Nous avons sélectionné deux facteurs cérébraux comme candidats potentiels du déterminisme sexuel du bar. Les gènes candidats choisis pour cette étude sont le cytochrome P450 aromatasé neurale (*cyp19b*) qui est le complexe enzymatique responsable de la synthèse des œstrogènes par l'aromatation des androgènes et le corticotropin releasing hormone (*crf*), dont la fonction principale est la régulation des niveaux de glucocorticoïdes circulants en réponse au stress. Afin de déterminer si la localisation

neuroanatomique des cellules exprimant ces gènes est dépendante du sexe du poisson et/ou de la température d'élevage nous avons réalisé une étude d'*hybridation in situ* fluorescente de cerveaux de bars juvéniles (180 jours post éclosion) acclimatés à deux températures différentes (16 et 21°C). Le sexe de ces poissons a été déterminé par la concentration d'aromatase gonadique.

Les cellules exprimant l'aromatase sont principalement localisées en région périventriculaire dans le bulbe olfactif, le télencéphale et l'aire préoptique. Ces populations *cyp19* positives sont constituées de cellules de petites tailles disposées autour de la bordure périventriculaire (figure 10A). De nombreuses cellules exprimant l'aromatase ont été identifiées également dans le tubercule postérieur, l'hypothalamus ventral (figure 10A), le recès latéral et postérieur et les toits optiques. Ce pattern de distribution est similaire à ceux déjà décrits pour les cellules exprimant l'aromatase chez le poisson zèbre.

De façon similaire, la localisation de cellules exprimant le *crf* est comparable à ceux du poisson zèbre. Ces cellules sont identifiées principalement dans le télencéphale ventral et dorsal, l'aire préoptique, l'hypothalamus ventral, le pretectum, l'organe paraventriculaire, le toit optique et les noyaux glomérulaires (figure 10B). Les cellules *crf* positives montrent une taille plus importante par rapport à celles exprimant l'aromatase et une localisation non périventriculaire.

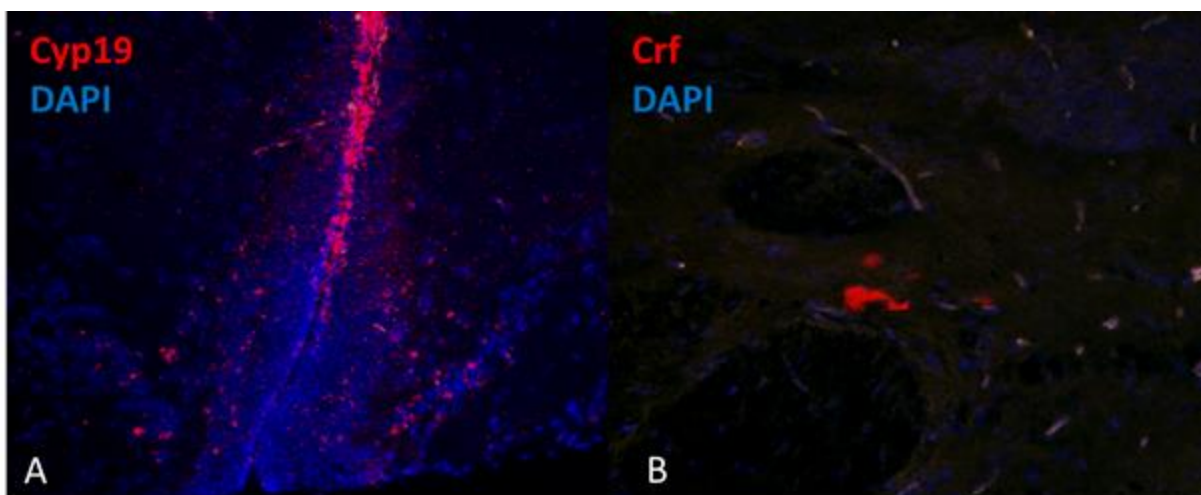


Figure 10 : Pattern d'expression de cellules exprimant l'aromatase dans l'hypothalamus ventrale, en position périventriculaire (A) et de cellules *crf*-positives dans le noyau glomérulaire antérieur (B).

Nous n'avons pas identifié une localisation neuroanatomique différentielle des cellules exprimant le *crf* ou le *cyp19b* en fonction du sexe des individus et de la température d'élevage suggérant que ces deux gènes ne sont pas impliqués dans l'effet de la température d'élevage sur le déterminisme du sexe chez le bar européen.

De faibles niveaux d'oxygène peuvent aider à prévenir l'effet néfaste d'un réchauffement aigu sur l'efficacité mitochondriale des poissons.

Le métabolisme aérobie des ectothermes aquatiques est très sensible aux fluctuations du climat. De nombreux traits mitochondriaux présentent une plasticité phénotypique en réponse à des variations aiguës de température et de disponibilité de l'oxygène. Ces réponses sont essentielles pour comprendre les effets des variations environnementales sur les performances des ectothermes aquatiques. En utilisant le bar européen, *Dicentrarchus labrax*, nous avons déterminé les effets d'un réchauffement et d'une

désoxygénation aigus *in vitro* sur les capacités respiratoires mitochondriales et l'efficacité mitochondriale à produire de l'ATP (rapport ATP/O). Nous montrons que le réchauffement aigu réduit le rapport ATP/O mais que la désoxygénation augmente marginalement le rapport ATP/O, conduisant à un effet compensatoire de la faible disponibilité de l'oxygène sur le rapport ATP/O mitochondrial à haute température (figure 11). L'effet aigu du réchauffement et de la désoxygénation sur l'efficacité mitochondriale pourrait être lié à la fuite de protons à travers la membrane interne mitochondriale, car la respiration mitochondriale nécessaire pour contrer la fuite de protons augmente avec le réchauffement et diminue avec la désoxygénation. Notre étude souligne l'importance d'intégrer les effets combinés de la température et de la disponibilité de l'oxygène sur le métabolisme mitochondrial. Les prédictions sur le déclin des performances des ectothermes aquatiques en raison du changement climatique pourraient ne pas être exactes, car ces prédictions portent généralement sur la capacité respiratoire et ignorent l'efficacité de la production d'ATP.

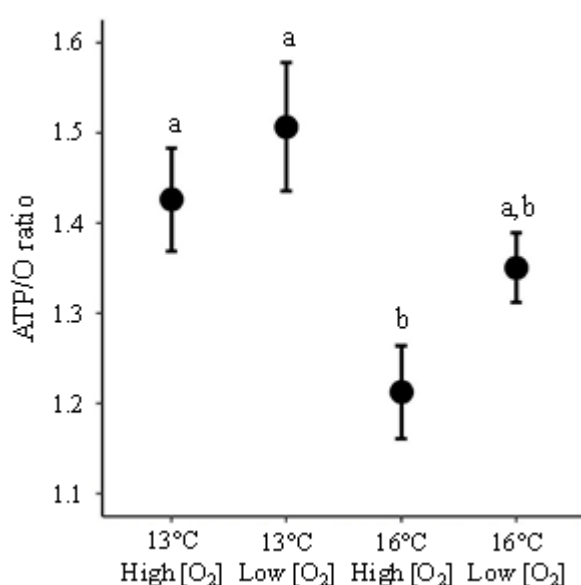


Figure 11: Efficacité mitochondriale (rapport ATP/O) du muscle rouge du bar européen (*Dicentrarchus labrax*) en fonction de la température et de la disponibilité en oxygène. Les moyennes \pm s.e.m. sont indiquées. N = 8 poissons par condition. Les lettres représentent une différence significative entre les conditions expérimentales ($P < 0,05$).

Réponse à des changements dans le réseau trophique

Plasticité des voies de synthèse des acides gras oméga 3 à longue chaîne

Les objectifs du projet Emergence (financement IsBlue et Conseil scientifique IUEM) sont 1) de 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 habitat; (2) d'évaluer expérimentalement la plasticité de ces voies de synthèse naturelles en mesurant leur modulation face à un scénario futur couplant une baisse trophique en oméga-3 LC et une hausse de température, et 3) d'évaluer expérimentalement le coût métabolique au niveau individuel de la mise en œuvre de ces voies de synthèse.

Grâce aux campagnes menées dans le cadre du projet Nourdem (<https://wwz.ifremer.fr/nourdem/>), 164 individus ont été prélevés entre juillet et septembre 2019 le long de trois estuaires français (d'amont en aval) selon un gradient Nord-Sud (Seine, Loire, Gironde). À l'issue de chaque journée de pêche, les

individus prélevés ont été anesthésiés, pesés et mesurés afin de déterminer leur stade de développement : Stade G0 (L < 12 cm), G1 (L de 12 à 20 cm), G2 (L de 20 à 27 cm) et G3 (L de 27 à 33 cm). Les individus ont ensuite été individuellement sacrifiés à bord par prolongement de l'anesthésie, puis immédiatement disséqués sur glace. Le muscle, le cerveau et le foie de chaque individu ont été prélevés, et conservés dans l'azote liquide plusieurs jours jusqu'à leur stockage à -80°C au laboratoire. La caractérisation de la capacité de ces individus à synthétiser les oméga-3 LC a ensuite été initiée par la mesure dans le foie de (i) l'expression de gènes d'intérêt codant pour les voies de synthèse des oméga-3 LC et (ii) de la teneur en oméga-3 LC par l'analyse par chromatographie en phase gazeuse de la composition en acides gras des lipides membranaires et des lipides de réserve. Les voies de synthèse des oméga-3 LC sont susceptibles d'être influencées par la qualité des masses d'eau fréquentées par le poisson au cours de sa vie (salinité, température, oxygénation, pollution). Pour cette raison, des éléments traces clés ont été quantifiés dans les otolithes en ICPMS pour caractériser les masses d'eau fréquentées par les individus au cours de leur vie : des éléments tels que le strontium, le magnésium et le barium permettent de caractériser les passages eau douce/eau de mer, le manganèse donne une indication de l'état d'oxygénation des eaux. La quantification de métaux traces tels que l'argent, le cuivre, le zinc, le plomb, ou le cadmium donnent une indication de l'état de pollution des masses d'eau fréquentées par les individus. Les résultats préliminaires obtenus (pour l'instant quelques individus sur les sites de la Loire et de la Seine) montrent que les profils d'acides gras semblent significativement différents en fonction du lieu de prélèvement des individus (figure 12). En revanche, les traits d'histoire de vie de ces individus semblent similaires. Les analyses d'expression de gènes sont en cours. En raison du confinement, les analyses moléculaires et lipidiques initiées au cours du stage de Sarah Hue en 2020 n'ont pas pu être terminées cette année. Elles vont se poursuivre avec l'arrivée en thèse de Mickael Péron depuis le 1er octobre, thèse financée par l'école doctorale des sciences de la mer et la région Bretagne. Mickael va poursuivre les analyses initiées sur les échantillons prélevés in situ (objectif 1), et compléter ces résultats par l'approche expérimentale (objectif 2) prévue dans le projet. Un projet EC2CO (ADJUST, 2021-2022 ; PI : M. Vagner) nouvellement financé va permettre la poursuite de ce projet.

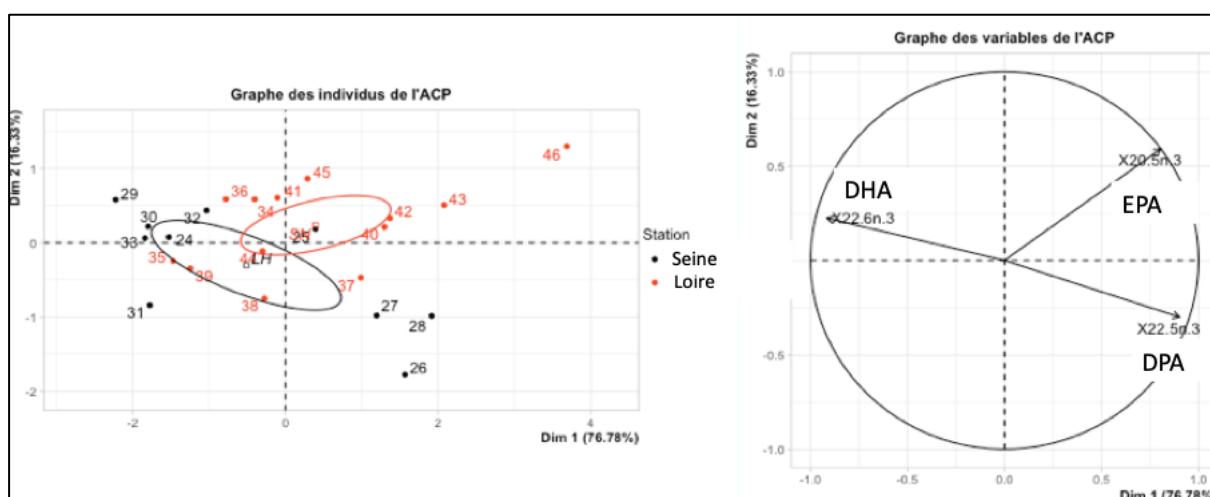


Figure 12 : Analyse en composante principale préliminaire montrant la discrimination de composition en acides gras oméga 3 LC entre les groupes issus de l'estuaire de la Seine (en noir), et ceux issus de l'estuaire de la Loire (en rouge) et représentés à gauche. Sur le graphique de gauche sont représentés les individus (chaque numéro correspond à un individu). Les ellipses de confiance sont centrées sur le centre de gravité des points représentant les individus. Sur le graphique de droite sont représentées les variables, c'est à dire les oméga 3 LC. Trois acides gras oméga 3 LC sont représentés : X22:6n-3= acide docosahénaoïque ou DHA, X20:5n-3 = acide ecosapentaenoïque ou EPA et X22:5n-3= acide docosapentaenoïque ou DPA.

Plus on va vers l'extrémité des flèches, plus la teneur de l'individu en l'acide gras donné est élevée. Les deux graphiques (droite et gauche) doivent être lus en parallèle : les individus issus de l'estuaire de la Loire (en rouge) ont l'air d'avoir une teneur dans le foie plus importante en EPA (X20 :5n-3) que les individus prélevés dans la Seine (en noir), puisque le groupe des individus en rouge a tendance à s'étaler vers le coin en haut à droite de la figure, comme l'est la flèche de l'EPA (20 :5n-3) représentée à gauche.

La relation entre la teneur membranaire en acides gras et l'efficacité mitochondriale diffère au sein et entre les teneurs alimentaires en oméga 3 à longue chaîne.

Une conséquence importante du changement climatique est la réduction, à la base de la chaîne alimentaire marine, par les microalgues notamment, de la production de nutriments essentiels : les acides gras polyinsaturés à longue chaîne de la série oméga-3 (n-3 HUFA). Cela est susceptible d'avoir des conséquences dramatiques sur les consommateurs, comme les poissons, car ils ont une capacité limitée à synthétiser *de novo* les n-3 HUFA. Ces acides gras tels que l'acide docosahexaénoïque (DHA, 22:6n-3) et l'acide eicosapentaénoïque (EPA, 20:5n-3) sont essentiels pour la structure et le fonctionnement des membranes biologiques. Il est de plus en plus évident que les poissons seront gravement affectés par la réduction de la disponibilité alimentaire en n-3 HUFA, mais les mécanismes sous-jacents restent méconnus. Les hypothèses sur les changements du fonctionnement des mitochondries en réponse à la disponibilité alimentaire en n-3 HUFA ont généralement négligé la production d'ATP, malgré son importance pour la capacité énergétique totale d'une cellule et, par conséquent, pour les performances de l'animal entier. Nous avons ici (i) quantifié la variation entre individus de l'efficacité mitochondriale (rapport ATP/O) du muscle et (ii) examiné sa relation avec la teneur en EPA et DHA de la membrane musculaire d'un poisson consommateur primaire, le mulot doré *Chelon auratus*, recevant un régime alimentaire riche ou pauvre en n-3 HUFA. Les mitochondries de poissons nourris avec un régime pauvre en n-3 HUFA présentaient un rapport ATP/O plus élevé que celles de poissons nourris avec un régime riche en n-3 HUFA. Cependant, l'efficacité mitochondriale variait environ deux fois entre les individus provenant du même traitement alimentaire, certains poissons consommant la moitié en oxygène et nutriment pour produire la même quantité d'ATP que leurs congénères issus d'un même régime alimentaire. Cette variation de l'efficacité mitochondriale entre les individus recevant la même alimentation était liée aux différences individuelles dans la composition en acides gras des membranes : un rapport ATP/O élevé était associé à une teneur élevée en EPA et DHA dans les membranes biologiques (figure 13). Nos résultats mettent en évidence l'existence de différences interindividuelles dans l'efficacité mitochondriale et son importance potentielle pour expliquer la variation intra-spécifique en réponse aux changements dans la chaîne alimentaire.

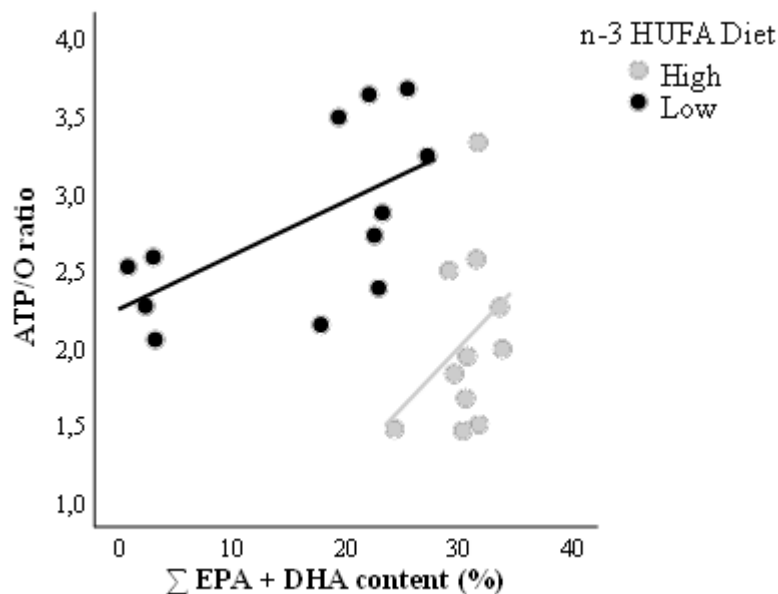


Figure 13 : L'efficacité à produire de l'ATP (ATP/O ratio) des mitochondries de mullet doré nourri avec un régime riche (High) ou pauvre (Low) en n-3 HUFA est corrélée à la teneur en n-3 [acide docosahexaénoïque (DHA, 22:6n-3) et acide eicosapentaénoïque (EPA, 20:5n-3)] de ses phospholipides membranaires. Les individus dont les mitochondries sont plus efficaces à produire de l'ATP ont une teneur plus élevée en n-3 membranaire, et ce quelque soit leur régime alimentaire.

Exposition à des nanoplastiques

Transfert des nanoplastiques à travers l'épithélium des poissons (translocation) : Approche expérimentale

Il a été démontré à plusieurs reprises que les nanoplastiques (NP) peuvent être ingérés et accumulés dans le tractus gastro-intestinal des organismes marins et entraîner des réponses biologiques délétères. La pénétration de ces particules dans les organismes suscite des inquiétudes quant à sa toxicité potentielle en raison de sa propre nature (mélange dynamique de polymères et d'additifs), mais également en raison de la matière organique et des contaminants qui pourraient y adhérer avec les micro-organismes. Cependant la question des mécanismes impliqués dans ces réponses, et en particulier d'un franchissement potentiel de la barrière intestinale (translocation) par ces particules est toujours sujet à controverse. Nous avons mis en œuvre une approche in vitro, basée sur les chambres d'Ussing, où différents segments de l'intestin (proximal, médian, distal) ont été exposés à deux concentrations de NP fluorescents (200 ou 20 g/m³) combinés ou non à la présence d'une protéine (dextran 4 kDa-FITC, FD4). Nous avons combiné ces mesures de fluorescence avec des mesures par microscopie électronique et une pyrolyse analytique en chromatographie en phase gazeuse / spectrométrie de masse du côté séreux de l'intestin pour identifier les particules qui ont potentiellement traversé la barrière intestinale. L'augmentation moyenne significative du côté séreux de l'intestin de la concentration en NP à partir de T0 pour tous les segments, quelle que soit la concentration de NP appliquée initialement, suggère que les NP traversent la barrière intestinale à tous les niveaux de l'intestin (figure 14).

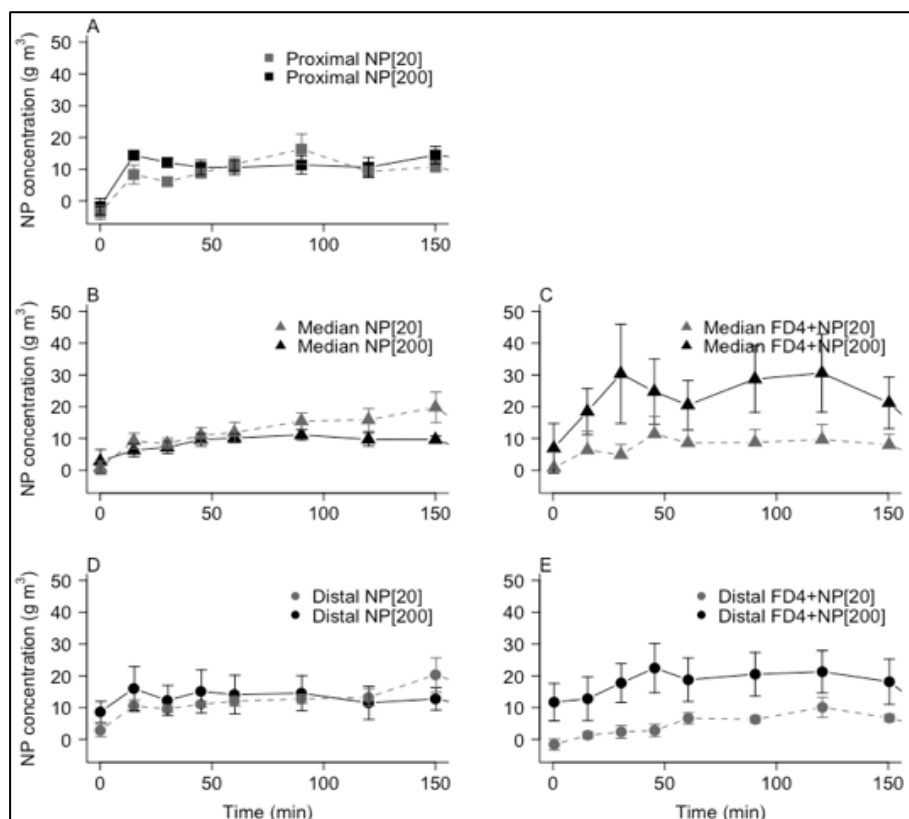


Figure 14. Cinétique de la concentration en nanoplastique (NP) ($\text{g m}^{-3} \pm \text{sem}$) mesurée du côté séreux des segments proximal (A), médian (B, C) et distal (D, E) du bar adulte (*Dicentrarchus labrax*) après injection de NP (soit 20 g m^{-3} ou 200 g m^{-3} , $n=6$ par segment, A, B, D), ou de NP (soit 20 g m^{-3} ou 200 g m^{-3} , i. e. [20] et [200]) ajoutées à la protéine FD4 (C, E ; FD4+NP20 : $n=6$ par segment d'intestin et FD4+NP200 : $n=7$ par segment d'intestin) du côté luminal. Les données ont été analysées en comparant, pour chaque cinétique, les temps de prélèvement par rapport au T0.

Mais la concentration de NP qui traverse, ainsi que le temps nécessaire pour franchir la barrière diffèrent selon (i) le segment d'intestin considéré, (ii) la concentration initiale de NP injectée, (iii) la présence ou non de protéines dans le côté luminal. En effet, la présence de NP du côté luminal ralentit l'absorption de FD4 par l'intestin distal, et l'empêche par l'intestin médian (non montré ici). La présence de FD4 empêcherait le passage des NP du côté séreux dans l'intestin médian, mais ce n'est pas le cas dans le segment distal (figure 12). Ainsi, dans l'intestin médian, FD4 et NP s'empêchent mutuellement de traverser, et finalement aucun des deux ne traverse. Le passage des NP à travers la membrane intestinale a été confirmée par microscopie électronique à balayage (figure 15) et par pyrolyse après concentration et précipitation de la solution collectée du côté séreux (non montré ici). Cette étude serait la première à valider la translocation du NP à travers la membrane intestinale.

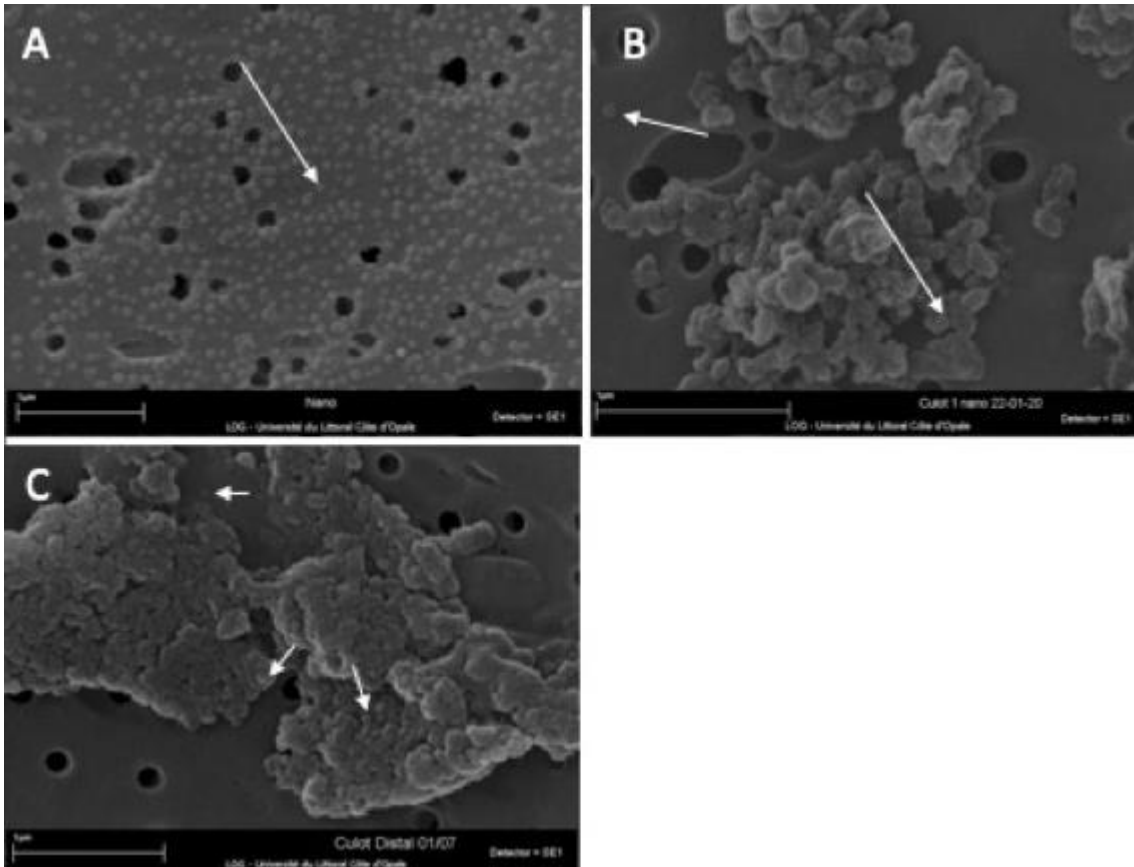


Figure 15. Microscopie électronique à balayage de (A) la suspension aqueuse de NP à la concentration de 5000 g m³ (Latex Beads amine-modified polystyrene 0.05 µm de diamètre moyen, Sigma-Aldrich, France) ; (B) la même solution aqueuse de NP après un protocole de lavage/précipitation à l'acide trichloroacétique (TCA); (C) la solution recueillie du côté séreux de la partie distale de l'intestin et lavée au TCA, à la fin de l'expérience cinétique au cours de laquelle la solution de NP diluée à 200 g m³ a été injectée du côté luminal. Les flèches blanches indiquent les billes de NP observées.

Problématiques aquacoles (Equipe 1, AR6)

Effet des peptides alimentaires sur le développement osseux des poissons

Pour l'aquaculture, les anomalies squelettiques restent un problème non résolu qui a un impact économique majeur car elles engendrent des mortalités ou conduisent à une croissance réduite ou à la non-commercialisation du produit final. Les causes de ces malformations sont nombreuses. Plusieurs travaux ont pointé du doigt des conditions abiotiques défavorables, une nutrition inappropriée et le fond génétique pour expliquer les malformations générées par une perturbation des processus ontogéniques au cours du développement larvaire. Cependant les poissons peuvent également être sujets aux malformations à des stades de vie plus avancés. Les facteurs tels qu'un exercice de nage inapproprié, une température non-optimale ou une mauvaise nutrition peuvent déclencher des malformations du squelette au stade juvénile. Le plus souvent, ces changements sont attribués à une augmentation des charges mécaniques.

Alors que des études suggèrent que l'utilisation de peptides dans l'alimentation contribuent à limiter les taux de malformations au stade larvaire (Zambonino et al. 1997), les effets bénéfiques d'une alimentation à base de peptide pour remédier aux malformations squelettiques générées au stade juvénile n'ont pas fait l'objet, à notre connaissance, d'études approfondies jusqu'à présent.

L'objectif de la thèse est donc 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.

Une première expérience, réalisée en Crète sur le poisson zèbre, indique qu'une alimentation enrichie en petits peptides permet une meilleure résilience des poissons vis-à-vis de malformations squelettiques générées par un exercice de nage intense (figure 16). Des analyses par RNAseq vont être réalisées afin de déterminer les acteurs moléculaires impliqués dans la genèse des malformations et dans leur résilience.

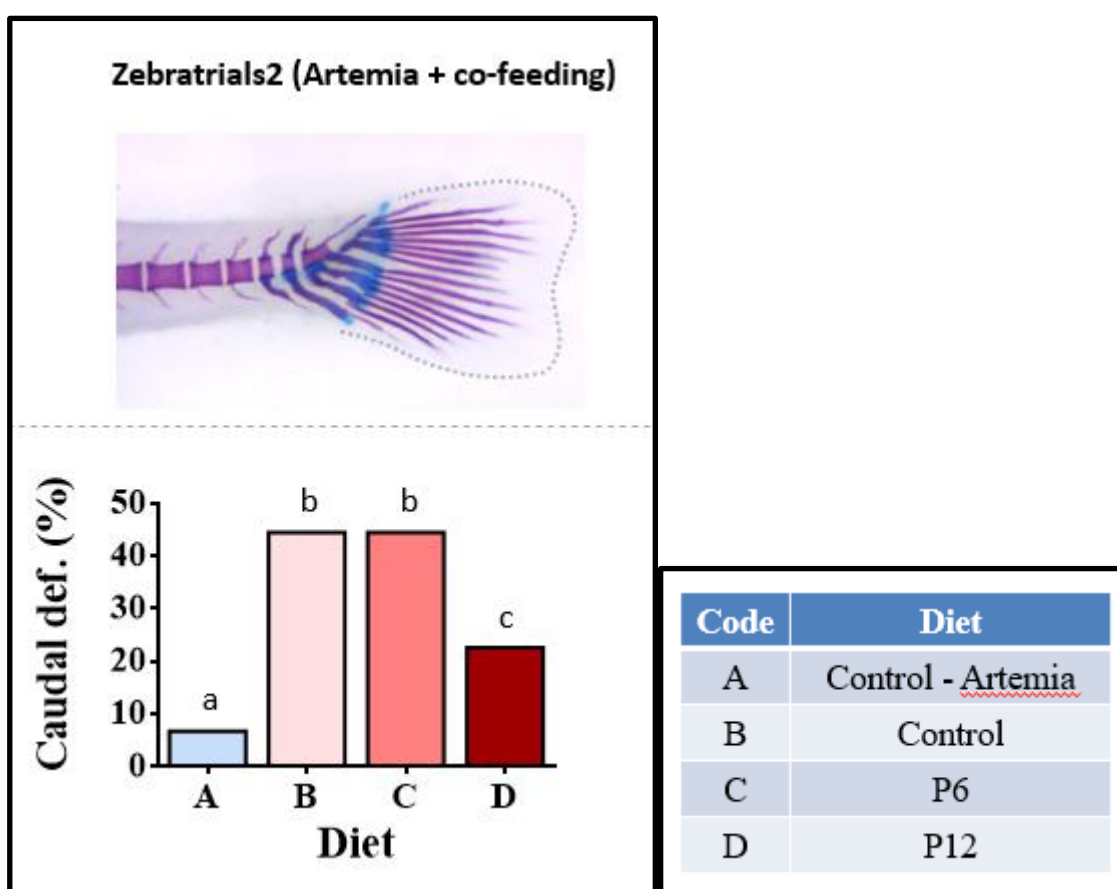


Figure 16. Effets bénéfiques d'un régime enrichi en peptides (P12) sur les taux de malformations caudales générées par un exercice de nage chez le poisson zèbre.

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 milieu 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, LabexMER, 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 : B. Petton). 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 SG2M/Station 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, au choix, soit par une large diversité génétique par l'utilisation d'un pool d'environ 100 reproducteurs d'origine sauvage (captage Ile d'Aix) pour les deux cohortes produites annuellement, soit par une base génétique restreinte (phénotype particulier) pour les productions plus spécifiques de certains projets. 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* associé à une traçabilité des livraisons (fiches de transfert).

En 2019 (crise Haplosporidium), puis dans une moindre mesure en 2020 (crise Covid-19), nous relevons une baisse marquée des livraisons du matériel biologique de référence liée à l'obligation de détruire les animaux FINA en élevage pour limiter la propagation d'H. costale (2019) et aux contraintes opérationnelles pendant les deux périodes de confinements (2020, Fig. 17). Malgré ce contexte défavorable, en 2020 l'action FINA a fourni 308 045 huitres pour répondre aux besoins de 25 projets de recherche (302 232 NSI et 5813 ASI) avec une utilisation pour environ 2/3 en laboratoire et 1/3 en milieu naturel. L'intégralité des résultats des analyses sanitaires concernant les animaux des productions 2020 menées par les laboratoires LABOCEA étaient négatifs.

Pour conclure, ce sont plus de 3 millions de NSI/ASI qui ont été livrés depuis 2010 à la communauté scientifique pour un nombre de projets demandeurs en constante augmentation (Fig. 17).

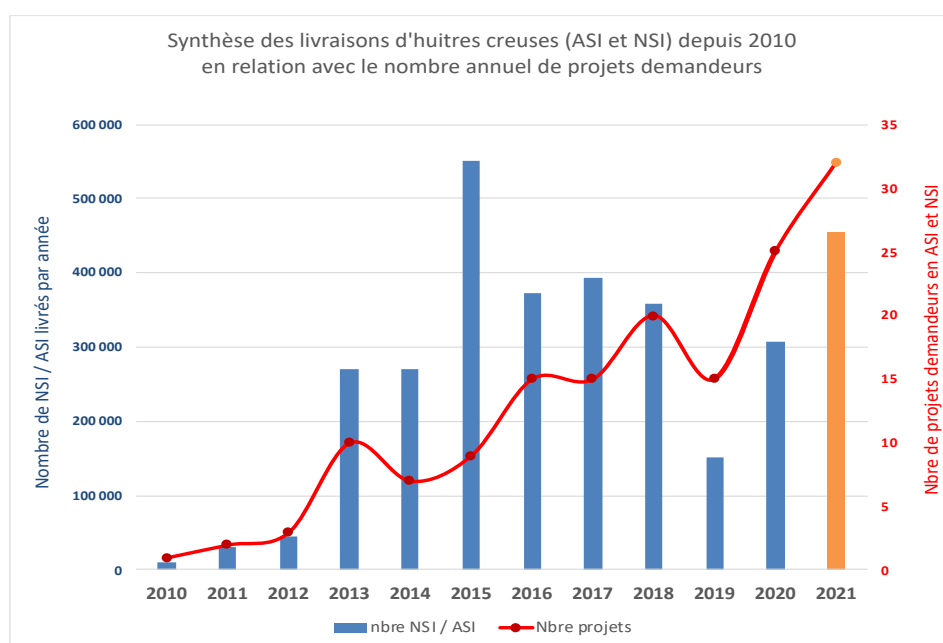


Figure 17 : Synthèse des livraisons annuelles d’huitres creuses FINA (barres bleues) et nombre de projets associés aux demandes de NSI et ASI (courbe rouge). A noter le fléchissement marqué des livraisons en 2019 (crise Haplosporidium avec destruction du cheptel en élevage) et plus légèrement en 2020 (crise Covid-19 avec les difficultés opérationnelles liées aux deux périodes de confinement). Barre et point de couleur orange pour respectivement le nombre d’animaux réservés et le nombre de projets demandeurs en 2021.

Cryoconservation et biologie des gamètes

Dans le cadre de l’ANR DECICOMP “Déchiffrer toute la complexité du syndrome de mortalité des huitres du Pacifique pour modéliser le risque épidémiologique”, l’une des tâches est d’étudier l’effet de l’âge dans l’acquisition de la résistance à la maladie. Vingt familles biparentales (H2-1 à -10 et H44-1 à -10), sensibles au stade juvénile et résistantes au stade adulte, seront utilisées pour produire une progéniture de 3 classes d’âges (3, 15 et 27 mois) qui sera ensuite exposée au pathogène. Afin de répondre à cet objectif, la technique de cryoconservation a été choisie pour conserver des embryons (+24 hpf) des couples de géniteurs pour chacune des familles et pour produire une progéniture de 3 classes d’âges (3, 15 et 27 mois) qui sera ensuite exposée au même moment, au même environnement infectieux.

La méthodologie a été développée sur des embryons (11, 20, 24 et 30 heures post-fécondation (hpf)) d'huître creuse *Crassostrea gigas* par Marc Suquet (PFOM-LPI) et Catherine Labbé (INRA). Après le départ en retraite de M. Suquet, la méthodologie n'avait pas été reprise par les collègues. Des essais ont donc été réalisés sur des embryons d'huître NSI (projet FINA) en se basant sur la méthodologie de cryocongélation (voir la courbe de congélation, Figure 18) décrite dans les articles publiés par l'équipe (Suquet et al. 2014; Labbé et al. 2018). Les larves ont été cryoconservées à 25 hpf, qui est le stade avec le meilleur taux de survie à la décongélation selon Suquet et al. (2014). Deux durées de stockage dans l'azote liquide ont été testées (1.5 et 23 heures), puis les larves ont été décongelées selon le protocole décrit dans Suquet et al. (2014).

Courbe de congélation

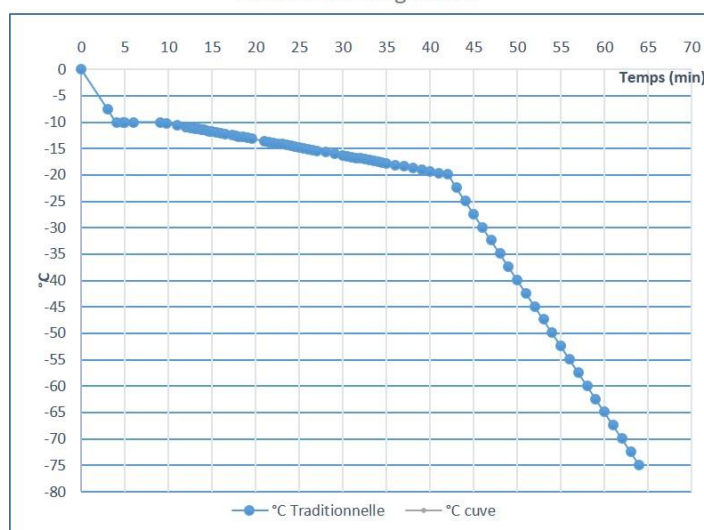


Figure 18 : Courbe de cryocongélation des larves à 25 hpf.

Une fois décongelées, les larves ont été mises en flûte de 5 L, en flux ouvert, selon la procédure habituelle d'élevage des larves d'huîtres sur le site d'Argenton. Les larves ont été observées 1 h, 17 h, 41 h et 96 h après décongélation, et les taux de récupération $[(\text{nombre de larves décongelées avec une morphologie normale et un taux de remplissage} > 70\% / \text{nombre total de larves}) \times 100]$ et de motilité $[(\text{nombre de larves mobiles} / \text{nombre total de larves}) \times 100]$ ont été calculés, puis comparés par rapport un lot témoin de larves "fraîches" (n'ayant pas subies de cryoconservation) (Figure 19).

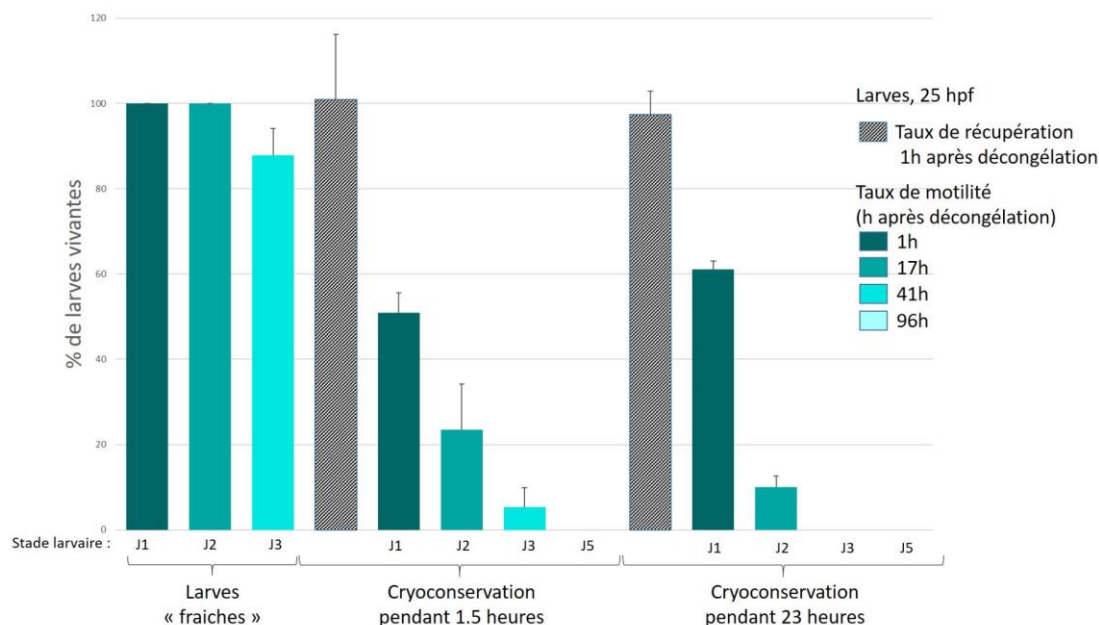


Figure 19: Taux de récupération et de motilité (%) de larves fraîches (n'ayant subi aucune congélation) et de larves cryoconservées pendant 1.5 h ou 23 h puis décongelées selon les protocoles de Suquet et al. (2014) et Labbé et al. (2018). Les larves ont été observées à 1 h, 17 h, 41 h et 96 h post-décongélation.

Les résultats montrent des taux de récupération larvaire supérieurs à 95%, quelle que soit la durée de stockage des larves en azote liquide, avec des taux de motilité supérieurs à 50%. Ces taux de motilité sont toutefois très inférieurs au taux de motilité (i.e. 100%) de larves fraîches au même stade (J1). Les taux de motilité larvaire décroissent ensuite au cours du développement larvaire, passant de 20-15% à J2 à moins de 5% à J3; alors que des 85% des larves n'ayant pas subi de congélation restent mobiles (i.e. mouvement de nage active ou mouvement ciliaire et du manteau). A J5, il n'y avait plus de larves survivantes dans l'élevage.

A ce stade, nous n'avons pas réussi à reproduire avec succès les protocoles de congélation/décongélation publiés dans les articles de l'équipe. Des essais complémentaires sont prévus en 2021 en collaboration avec le LGPMM (projet CONSOM - DPAM DGAL) afin de trouver des pistes d'optimisation de la méthode, comme notamment augmenter le taux de récupération très faible (< 1%) chez *C. gigas* (Suquet al. 2014), afin de conserver le matériel génétique de souches expérimentales d'intérêt de mollusques marins (huîtres creuses et plates, palourdes, coques, moules). Nous nous baserons sur les travaux de Liu et al. (2020) qui valident un protocole différent sur des larves de *Mytilus galloprovincialis* avec près de 10% de récupération mais avec des zones d'ombres concernant certaines parties de la méthode.

Réseau national d'observations conchylicoles

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. Pourtant, 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 μ Var) en conjonction avec des facteurs environnementaux (i.e. élévation de la température). Ces phénomènes de 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 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 du projet ECOSCOPA est donc de mutualiser et pérenniser les dispositifs d'observation actuels, créés antérieurement par les projets RESCO et VELYGER, 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.

Pour l'année 2020, en raison de la crise COVID et de la période de confinement printanière, une partie des suivis n'a pu être menée à bien, et la campagne 2020 ne présente donc que des résultats partiels. Ces résultats concernent i) les suivis des paramètres environnementaux sur les huit sites atelier, ii) une analyse spécifique de la survie en fonction de la bathymétrie et de la température corporelle des huîtres (données acquises en 2018 et 2019), iii) une analyse rétrospective des données acquises par le réseau en 2013, ayant donné lieu à une publication.

Effets des polluants et des algues toxiques (Equipe 1, AR3.2 et 3.3)

Nous sommes coordinateurs pour le LEMAR du projet INTERREG Preventing plastic pollution qui débute en janvier 2020 (<https://www-iuem.univ-brest.fr/lemar/projets-scientifiques/ppp-preventing-plastic-pollution/>). En partenariat avec 18 organisations de France et d'Angleterre, ce projet cherche à comprendre et à réduire les impacts de la pollution plastique dans l'environnement marin. En examinant le bassin versant de la source à la mer, le projet identifiera et ciblera les sources et accumulations de plastique, ancrera le changement de comportement dans les communautés locales et les entreprises, et mettra en œuvre des solutions et des alternatives efficaces.

La thématique des microplastiques a une forte dimension sociétale. En effet, le grand public s'empare aisément de cette thématique qui a été très médiatisée avec de nombreuses actions de médiation scientifique à destination de la société et du grand public. Cela découle soit directement de nos projets (exemple du projet « Preventing Plastics Pollution ») dans lesquels sont alors mises en œuvre des actions « Sciences-Société », soit d'une demande d'acteurs, tels que des décideurs et gestionnaires (exemple Brest Métropole, Syndicats de bassin versant), des acteurs de médiation scientifique (exemple Océanopolis) ou encore des associations ou ONG (exemple RespectOcean, Expé Med, Astrolabe...).

Nous contribuons donc fortement à l'axe Sciences et Société via des événements de ce type par exemple en 2020 : une conférence grand public à Océanopolis intitulée « Réduire localement la pollution plastique : la force de mêler acteurs, décideurs et scientifiques » (15 octobre 2020), une vidéo « UneMinuteDeSciencesAvec » (<https://fr-fr.facebook.com/ifremer.fr/videos/1663393713798537/>), la fête de la Science 2020 avec un atelier sur les impacts des microplastiques, le School Plastic Hackathon à Océanopolis (19-20 novembre 2020), la Nuit des chercheurs 2020 (organisée par Océanopolis en distanciel), et une formation sur le thème de la pollution plastique à destination des Enseignants (organisée par Océanopolis en distanciel). Cela passe aussi par de nombreuses interventions scolaires, malheureusement très réduites en 2020 du fait de la pandémie. C Corporeau a maintenu un événement éducatif à l'école Guérin de Brest avec 6 classes touchées (Ulis, CP, CE1, CE2 ; CM1 ; CM2), soit 112 élèves et 6 enseignants/éducateur.

Interactions Environnement-Hôtes-Pathogènes- (Equipe 1, AR4.1 et 4.3)

L'année 2020 correspond à la fin de l'ANR REVENGE (2017-20, coord. F. Le Roux Ifremer équipe GV RBR Roscoff), et ii) au début de l'ANR DECICOMP (2020-24, coord. G. Mitta de l'université de Perpignan).

L'implication du LPI dans le **projet ANR REVENGE** a consisté à établir l'incidence de la température, la nutrition, le taux de croissance, les réserves énergétiques, et le bagage génétique sur les mortalités de naissains d'huîtres exposés à OsHV-1. Pour ce faire, nous avons développé un matériel biologique, suivant un plan d'expérience ambitieux, permettant d'obtenir en 4 années après autant de filtres de sélection par la maladie, 5 générations d'huîtres issues du même pool de reproducteurs sauvages. Ces 5 générations présentent des phénotypes contrastés en termes de mortalité (95 à 10% de mortalités entre G0 et G4). Ce matériel biologique a été utilisé en **2018**, lors d'une expérience en laboratoire en « jardin commun » suivant un plan d'expérience à plusieurs facteurs : alimentation (nourris vs à jeun) x températures eau de mer (16,5 vs 22°C) x taille (grandes, moyennes, petites) x 3 phénotypes (G0, G1, G2). Au terme de cette première phase d'une durée de deux semaines, les huîtres des différentes conditions ont été mises en cohabitation avec OsHV1. En **2019**, les travaux avaient pour objectif de décrire les réponses écophysiologiques des huîtres des 5 générations (en populationnelle et en individuelle) avant, pendant et après a maladie en y associant le suivi du rythme cardiaque. Enfin, en **2020**, une infection expérimentale a permis de quantifier pendant la maladie les valeurs de l'excrétion individuelle de *C. gigas*, en virus OsHV1 et en vibrions, en relation avec le poids individuel et le phénotype sensible ou résistant (Figure 20).

En termes de résultats, les travaux de l'année 2018 ont permis de montrer que parmi les facteurs testés le risque de mortalité des huîtres est d'abord expliqué par leur niveau d'alimentation, et que le phénotype sensible va avoir une incidence majeure en terme épidémiologique dans la nature. Les travaux de 2019 et 2020 sont en cours d'exploitation et feront l'objet de communications futures.

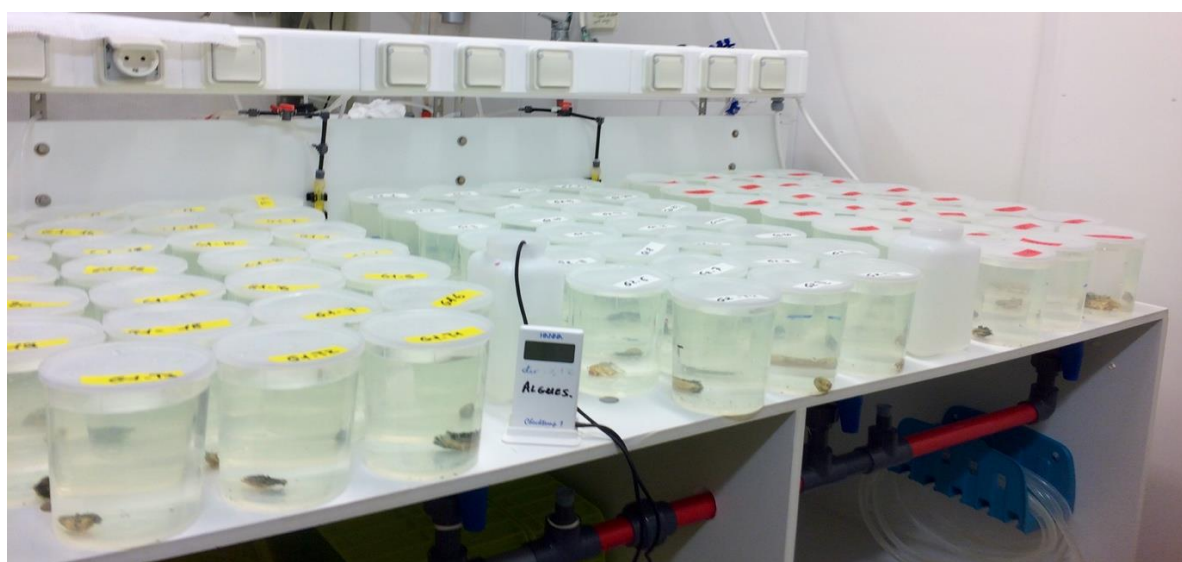


Figure 20: dispositif mis en œuvre en 2020 dans le cadre de ANR REVENGE à Argenton pour le suivi de l'excrétion individuelle du virus (OsHV1) et des vibrions pendant le déroulement de la maladie chez des huîtres de phénotypes et de poids contrastés.

L'ANR DECICOMP s'inscrit dans la continuité de l'ANR DECIPHER. Dans ce précédent projet, le LPI a contribué à une avancée majeure dans la compréhension des mécanismes du POMS, en expliquant les différentes étapes du processus conduisant à la mort de l'huître (de Lorgeril *et al*, 2018). Cette maladie polymicrobienne d'étiologie complexe, reste cependant difficile à déchiffrer dans la nature car elle est influencée par un grand nombre de facteurs imbriqués (température de l'eau de mer, âge de l'huître, environnement trophique...). L'objectif du projet DECICOMP est d'expliquer par des expérimentations en laboratoire (2020) comment ces facteurs vont influencer le déroulement de la maladie, pour ensuite le vérifier en conditions naturelles (2021).

L'objectif des travaux 2020 (tâche 1 du projet) a été atteint, même si le calendrier n'a pas été respecté (COVID-19). Ce bouleversement lié à la crise sanitaire, nous a obligé notamment à décaler le début de la production du matériel biologique, ce qui a nécessité de modifier la méthode d'induction de la maladie. Plus en détails, la production du matériel biologique a débuté le 11 mai (jour 0 des 14 familles à phénotypes contrastés en biparentales). Les 14 lots d'huîtres ont quitté le site d'Argenton le 22 juin (jour 42) pour poursuivre leurs développements à Ifremer Bouin jusqu'au jour 86 (05/08). A cette date, 4 familles ont été sélectionnées après un test de sensibilité à la maladie en infection expérimentale ; et ramenées à Argenton. Le conditionnement des 4 familles de naissains (âge : 3 mois) aux conditions de température (13, 23, 30°C) et de nourriture (alimentée *versus* à jeun) s'est déroulé dans de bonnes conditions d'élevage entre le 10 et le 26 août 2020 dans 3 salles (18 bacs de 500L ; Figure 21). La dernière étape d'infection expérimentale, du 25 août au 29 septembre, a été menée avec l'aide des partenaires DECICOMP des unités Ifremer de Montpellier et de La Tremblade pour le volet des prélèvements (Photos 2 et 3). Les résultats des dynamiques de mortalités relevées lors de l'infection expérimentale sont conformes aux attentes par rapport aux hypothèses testées validant l'intérêt des prélèvements effectués lors de l'infection expérimentale.

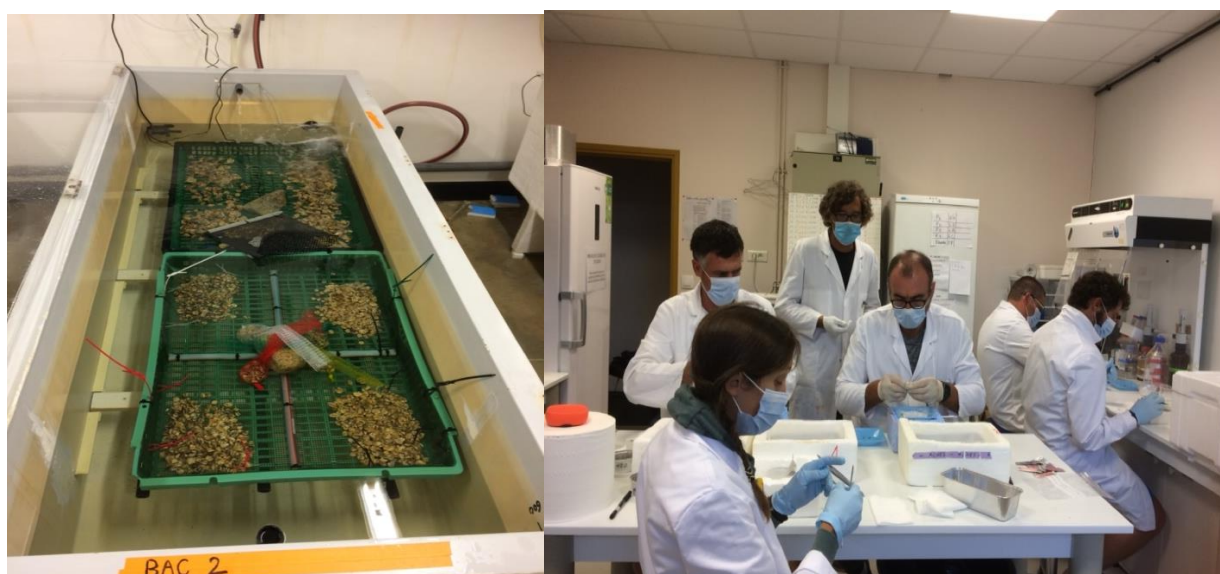


Figure 21 (gauche) : bac de 500L utilisé (total 18 bacs) pendant le conditionnement puis l'infection expérimentale dans l'outil Ifremer d'Argenton avec les animaux « Receveurs » des 4 familles au premier plan (1 famille par alvéole). Le second panier (haut du bac) est dédié à recevoir les animaux « Donneurs » de la maladie qui ont été préalablement injectés de virus (OshV1). A noter, la pompe de brassage en haut à gauche et le diffuseur d'air (en haut à droite) qui permettent de garantir une bonne homogénéité du

virus dans la colonne d'eau de mai et de maintenir une valeur d'oxygène dissous supérieure à 90% de la saturation pour la température de 23°C. Figure 21 (droite) : opération de prélèvements des huîtres pendant le déroulement de l'infection expérimentale puis conservation dans l'azote des tissus prélevés.

Bien que plusieurs facteurs de risque de transmission du virus OsHV-1 aient été identifiés, le rôle des autres espèces animales ou végétales sur le risque infectieux en milieu aquatique est peu connu car la plupart des expériences et des modèles considèrent l'hôte et le pathogène, seuls, dans une sorte de « vide écologique ». Toutefois, nous avons déjà observé que le risque de mortalité causée par OsHV-1 est plus faible chez les huîtres maintenues au voisinage de moules que chez les huîtres placées avec leurs congénères, suggérant ainsi que les moules qui ne sont pas sensibles à OsHV-1 peuvent diluer l'abondance des particules virales dans la colonne d'eau de par leur activité de filtration. Ce constat est en accord avec l'idée selon laquelle une diversité élevée d'hôtes est plus susceptible de diminuer que d'augmenter le risque de maladie.

Dans le cadre du **projet européen Vivaldi (H2020)** et du projet local **Fediver (DLAL-FEAMP)**, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle la faune et la flore environnante influence le risque infectieux en étudiant le couple OsHV-1/*C. gigas* (thèse en cours E. Dugeny). Pour cela, nous avons conçu un système en flux ouvert dans lequel de l'eau de mer enrichie en phytoplancton s'écoulait vers des bassins contenant chacun une espèce de filtreur (ou témoins vides) avant d'être distribuée aux huîtres receveuses (Figure 2).

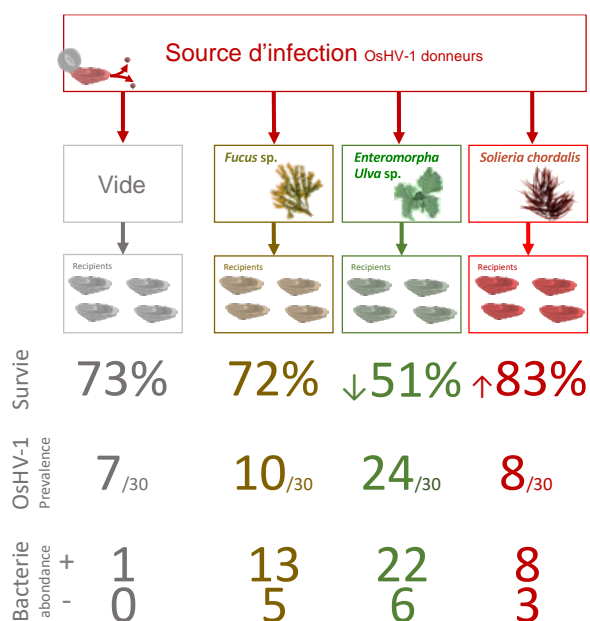


Figure 22. Dispositif expérimental simplifié pour tester l'effet de plusieurs espèces d'algue sur l'interaction *C. gigas*/OsHV-1. Les résultats de survie, prévalence d'OsHV-1 et d'abondance relative de bactérie sont indiqués en bas.

En 2020, nous nous sommes intéressés à l'effet des macroalgues, car elles coexistent naturellement avec les huîtres sur les côtes rocheuses des eaux tempérées et elles abritent une grande diversité de microorganismes associés (Figure 22). Après une phase d'acclimatation, nous avons ajouté de l'eau de mer contaminée avec OsHV-1 en amont du réseau de distribution d'eau de mer. Nous avons suivi la survie des huîtres ainsi que la charge et la prévalence des agents pathogènes. En même temps, les algues et les huîtres ont été

échantillonnées pour des analyses individuelles du microbiote par métabarcoding de l'ADN 16S. Nous avons utilisé des macroalgues qui coexistent naturellement avec *C. gigas*: un assemblage d'algues vertes (*Ulva* spp. et *Enteromorpha* spp.), l'algue brune *Fucus* spp. et l'algue rouge *Solieria chordalis*.

Nous avons constaté que les algues modifient l'assemblage du microbiote hôte et la réponse aux agents pathogènes. Par exemple, la survie des huîtres exposées à OsHV-1 n'est que de 51% en présence d'algues vertes, contre 72% en présence d'algues brunes en condition témoin, et 83% en présence d'algues rouges. Ces différences se sont reflétées dans les analyses de détection d'OsHV-1. Les huîtres en présence d'algues vertes ont montré des niveaux et des prévalences plus élevés d'OsHV-1. Les algues vertes sont celles qui ont le plus modifié le microbiote de l'huître lors de l'acclimatation.

Notre étude illustre que, bien qu'un agent primaire soit identifié, son effet est souvent modéré par d'autres espèces. Par conséquent, le paradigme de « un pathogène-une maladie » évolue vers le concept de « pathobiome », intégrant l'interaction de plusieurs espèces. D'autre part, la prolifération des algues vertes reflète généralement l'eutrophisation. Par conséquent, notre étude ouvre une perspective pour l'atténuation des maladies en maintenant un bon état écologique des eaux côtières.

Structure et adaptation des populations (Équipe 1, AR1.2)

Déterminisme du recrutement (Équipe 2, AR1.3)

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.

Deux projets structurent cette thématique : le projet FOREVER sur l'écologie de la restauration des populations sauvages d'huîtres plates (Projet FEAMP 2018-2020) 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). Ces deux projets ont fait l'objet en 2020 de 10 publications scientifiques et nombreuses communications, dont certaines au colloque européen NORA (Native Oyster Restoration Alliance). 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://doi.org/10.13155/79902>

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 et de la ZABRI (<https://www-iuem.univ-brest.fr/zabri/fr>).

Pour 2020, pour illustrer cette thématique, l'un des résultats marquants, obtenus dans le cadre d'un partenariat NORA, concerne le recrutement de l'huître plate. On a ainsi déterminé en milieu contrôlé et milieu naturel les très fortes préférences de la larve pédivéligère en terme de colonisation du substrat au moment de la fixation (Colsoul et al., 2020, <https://doi.org/10.1002/aqc.3454>), comme en témoigne les deux figures ci-joint.

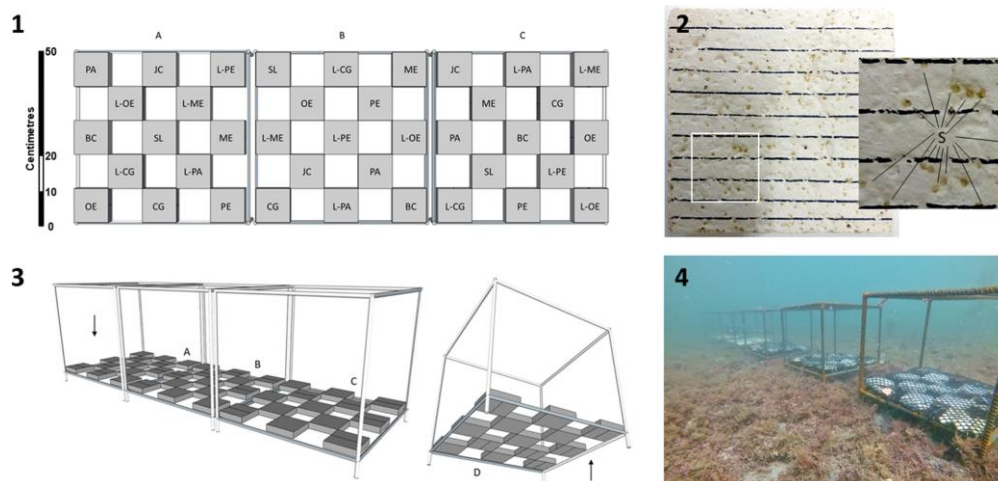


FIGURE 3 Experimental design and set up of settlement experiments for *O. edulis* larvae in the field. (1) Schematic view of the layout of the substrates tested in supports. (2) Picture illustrating an example of one substrate (here baked clay) tested with an enlargement highlighting several larvae (in yellow) settled on a white background (baked clay) between black lines added after the test for counting. (3) Two schematic profile views of the supports used, including the substrates, highlighting the two orientations (i.e. surface and bottom) of each substrate. (4) Underwater photography of experimental structures. Abbreviations: A-C = surface-oriented areas of the three replicates; BC = baked clay; CG = *C. gigas* shells; D = bottom-oriented areas of one of the replicates; JC = *Juniperus communis*; L-CG = coated *C. gigas* shells with slaked lime; L-ME = coated *M. edulis* shells with slaked lime; L-OE = coated *O. edulis* shells with slaked lime; L-PA = coated *Picea abies* with slaked lime; L-PE = coated *Phyllostachys edulis* with slaked lime; ME = *M. edulis* shells; OE = *O. edulis* shells; PA = *P. abies*; PE = *P. edulis*; S = settled larvae; SL = slaked lime. See Section 2.3.3 for more details regarding the dimensions of the setup

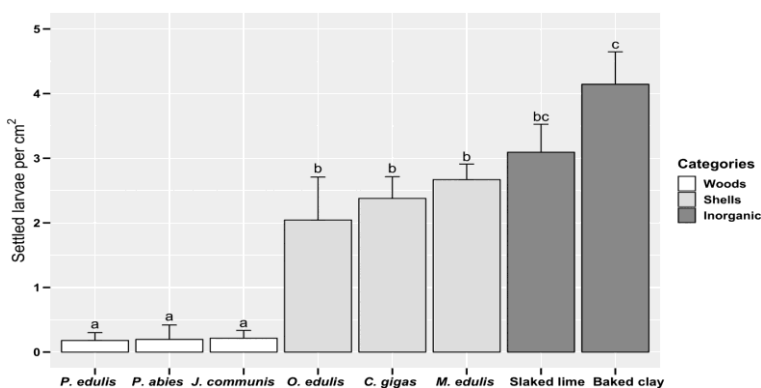


FIGURE 7 Results of field experiment on settlement preferences of *O. edulis* larvae on different substrate categories and types (orientations combined): wood materials (white), bivalve shells (light grey) and inorganic substrates (dark grey). All results presented exclude the limed substrate category; the comparison between hydrated lime and limed shells is provided in Figure S1. Homogenous groups are marked with the same letters

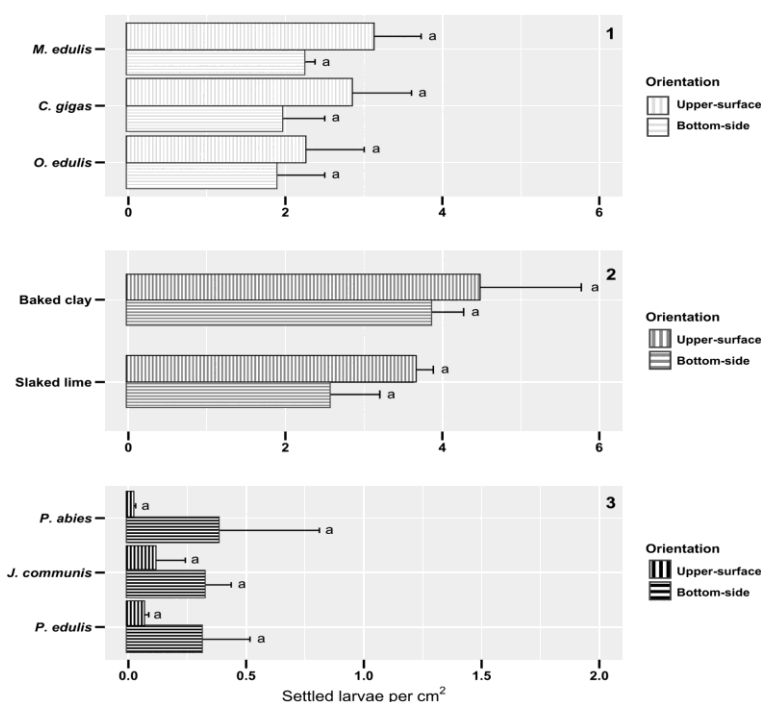


FIGURE 8 Effect of substrate orientation (upper-surface and bottom-side; irrespective of inner or outer surface of the valves) on the settlement of *O. edulis* larvae in the field: 1 = category of bivalve shells; 2 = category of inorganic materials; 3 = substrate category of wood materials. Homogenous groups are marked with the same letters

Acclimatation et trajectoire de vie dans un environnement changeant (Équipe 1, AR2.1 ; AR2,2)

L'exposition simultanée des bivalves marins à l'acidification des océans (OA) et à des contaminants émergents, de type pharmaceutique (carbamazépine, CBZ), représenterait un cocktail à haut risque pour les organismes exposés sur le long terme car les deux stressseurs agissent sur des cibles neurobiologiques proches. Couplés, l'OA et à la CBZ pourraient entraîner des perturbations physiologiques et comportementales accrues grâce à des effets synergiques ou additifs. **Le projet Selphyc** qui se termine en 2020 consistait à étudier les effets croisés de l'OA et d'un polluant psychoactif sur les larves d'huître *Crassostrea gigas*, espèce marine d'intérêt économique au niveau mondial. Nous avons développé des expériences multifactorielles et écologiquement réalistes, basées sur les concentrations connues de CBZ en eaux côtières et sur les scénarios climatiques du GIEC à l'horizon 2100. Nous avons émis l'hypothèse que l'antiépileptique CBZ, un inhibiteur des canaux sodiques voltage-dépendants des neurones hyperactifs, pourrait avoir un effet additionnel aux effets GABAergiques potentiels de l'OA. Pour valider cette hypothèse, nous avons réalisé des analyses à différentes échelles biologiques et ciblé les réponses biochimiques, métaboliques, physiologiques et comportementales. Les larves ont été exposées en conditions contrôlées (flux ouvert, nourriture ad libitum, 25°C), de la fécondation jusqu'aux stades post-

métamorphiques, à plusieurs scénarios environnementaux : eau de mer à un pH actuel (pH ~ 8.0) ou acidifié comme attendu en 2100 (pH ~ 7.7) couplée ou non à des doses environnementales de CBZ (1 ng.L⁻¹).

En conditions normales de laboratoire et à 25°C, les larves d'huître creuse atteignent le stade D 24 heures après la fécondation. Les résultats montrent qu'après 24 h d'exposition, il y a un effet significatif du pH sur les taux de larves normales à chaque stade ontogénique (effets du pH : trochophore, $p < 0.001$; effets du pH sur les larves D, $p < 0.01$); et une interaction des facteurs pH x CBZ sur le taux de larves trochophores ($p < 0.05$) (Figure 23, gauche). Les taux de larves trochophores restaient élevés dans les conditions acidifiées (25-47%), alors qu'une grande proportion de larves étaient déjà au stade D dans la condition contrôle ($> 75\%$). En présence de CBZ, un retard de développement était encore plus prononcé, avec seulement 14% des larves au stade D. Le stress combiné des deux facteurs a également entraîné un nombre un peu plus élevé d'ovocytes non fécondés pour cette condition (OA x CBZ, $p < 0.05$). Les larves acidifiées au jour 1 étaient également 6.7-11.9 % plus petites que les larves développées à pH ambiant (effets du pH, $p < 0.001$). Après 2 jours d'exposition (Figure 23, droite), les mêmes tendances se poursuivent ; les taux de larves D normales sont significativement plus faibles et plus petites, et les taux d'anomalies de développement augmentent, i.e. hypertrophie du manteau, sous l'effet d'une diminution de pH (effets du pH : $p < 0.001$).

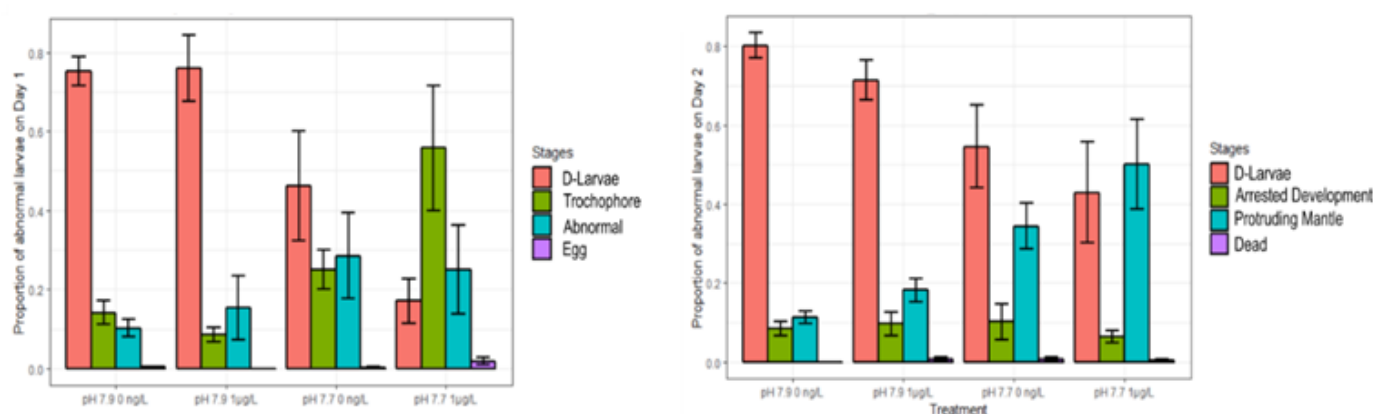


Figure 23. Proportion de larves pour chaque stade de développement et proportion d'anomalies de développement après 1 (gauche) et 2 jours (droite) d'exposition à différents scénarios (pH ambiant = 7.9 et acidifié = 7.7 ; présence ou non de carbamazépine = 1 µg/L).

En outre, la calcification de la première coquille, i.e. estimée par la surface de structures biominéralisées sur la coquille, est significativement réduite en présence des deux facteurs de stress combinés (Figure 24 ; effet du pH x CBZ, $p < 0.05$). Le processus de calcification a également été observé à l'échelle moléculaire, à travers les mesures d'expression de cinq gènes de biominéralisation au stade trochophore : anhydrase carbonique 14 (CA XIV), Ca-ATPase (Ca-ATP), chitine synthase (CS II), fibronectine (FP2L), ATPase de type V (VHATP) (Figure 24). Les résultats ne montrent pas d'effet du pH et de la CBZ sur ces patterns d'expression géniques. Cette tendance est également observée pour les gènes codant pour des récepteurs des neurotransmetteurs GABA et sérotoninergiques.

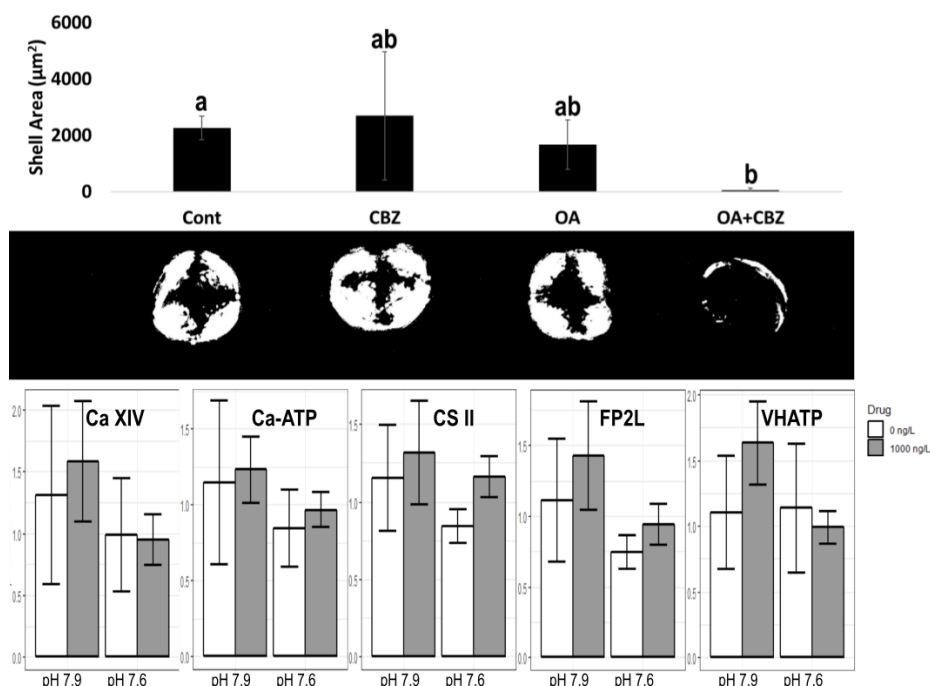


Figure 24. Surface biominéralisée moyenne de la première coquille de larves trochophores (24 h) après une exposition à différents scénarios (pH ambiant = 7.9 et acidifié = 7.7 ; présence ou non de carbamazépine = 1 µg/L). Les photographies représentent le niveau de calcification en lumière polarisée (POL) (bande du milieu), la surface biominéralisée mesurée (µm²) sur la coquille (bande du haut), et les niveaux d'expression génique (bande du bas) liées aux processus de calcification : anhydrase carbonique 14 (CA XIV), Ca-ATPase (Ca-ATP), chitine synthase (CS II), fibronectine (FP2L), ATPase de type V (VHATP). Les lettres désignent les groupes significativement différents entre eux par des tests de Tukey ($p < 0.05$).

Les effets du pH sur le développement larvaire précoce (24-48 h) semblent toutefois transitoires puisqu'après 9 et 16 jours d'exposition, les paramètres morphométriques (longueur, surface) étaient semblables entre les conditions ($p > 0.05$). D'une manière générale, il n'y a pas d'effet de la substance chimique (CBZ) seule sur le développement larvaire. En outre, si des changements dans le comportement de nage sont observés au cours de l'ontogénie, i.e. augmentation du niveau d'activité chez les larves umbonnées à 8 jpf, les patterns de nage ne sont que transitoirement impactés par la CBZ, et le pH n'induit pas de modifications comportementales, quel que soit le stade ontogénique (Figure 25). D'un point de vue physiologique, ni le statut énergétique (évalué par les contenus en ATP, protéines, triglycérides, stérols, et rapports normalisés ATP:protéines, triglycérides:stérols, triglycérides:protéines et ATP:triglycérides) ni l'activité neurochimique (i.e. concentrations des neurotransmetteurs (glutamate, GABA, 5-HT, 5-HIAA, NA et DA) des larves pédivéligères (15 jpf) ne sont modifiés en conditions acidifiées et contaminées.

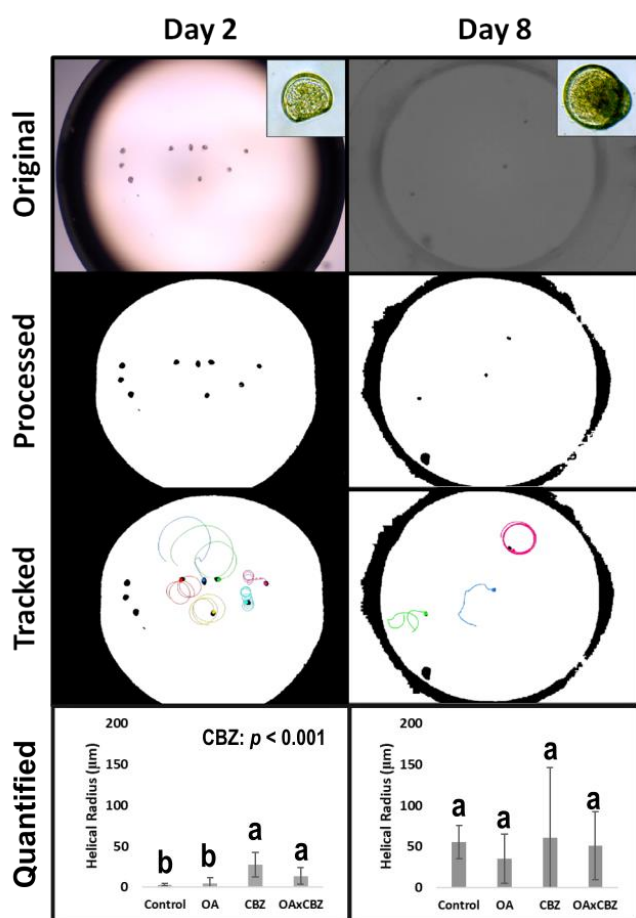


Figure 25. Illustrations montrant les méthodes de suivi du comportement de nage des larves. Les vidéos originales du mouvement des larves D (jour 2 - colonne de gauche) et des larves umbonées (jour 8 - colonne de droite) ont été traitées pour améliorer le contraste avant le suivi du comportement de nage à l'aide du logiciel EthoVisionXT® 13.0. Les valeurs calculées des hélices de nage sont représentées dans la dernière ligne. Les lettres sur chaque histogramme représentent les résultats du test de Tukey ($p < 0.05$), les groupes qui sont statistiquement différents les uns des autres ont une lettre différente.

En conclusion, le projet Selphyc montre des effets modérés et stade-dépendants de l'acidification des océans seule ou combinée à un agent chimique, la CBZ, sur des larves d'huître creuse. Les premiers stades (trochophore et larve D) semblent plus sensibles que les stades larvaires tardifs (umbo et pédivéligère). Toutefois, ces effets ne semblent pas pérennes et létaux pour les larves d'huître creuse. Les résultats de ce travail suggèrent que l'huître creuse, espèce intertidale déjà adaptée à un environnement changeant, semble résistante aux changements environnementaux futurs. Ce travail fournit en revanche une première étude de cas, écologiquement réaliste, des effets combinés de l'acidification des océans et d'un polluant émergent à l'horizon 2100 sur des stades précoces de bivalves.

Dans le cadre du **projet AIAIAI** (financement FRB/METS), nous avons comparé les effets de l'AO sur l'huître creuse *Crassostrea gigas* et l'huître plate *Ostrea edulis*. Les huîtres, âgées de six mois, ont été exposées en « jardin commun » pendant 48 jours à une large gamme de pH (de 7,7 à 6,4). Pour l'huître plate, les courbes de survie n'étaient pas significativement différentes entre les conditions allant de pH 7.7 à pH 6.6, et la survie finale oscillait entre 94 % et 73 % (test Log-Rank, Figure 26). Le modèle de régression fragmenté appliqué sur ces données montre un point de bascule à pH de 6.61 ± 0.02 (Figure 27), en deçà duquel une diminution drastique de la survie est observée. Pour l'huître creuse, la survie était de 100%

dans toutes les conditions, et chutait à 79 % à pH 6.4 (Figure 26). La courbe de survie au pH 6.4 était significativement différente de celles dans les autres conditions (test Log-Rank, $p < 0,05$), mais aucun point de bascule n'a pu être déterminé pour cette espèce.

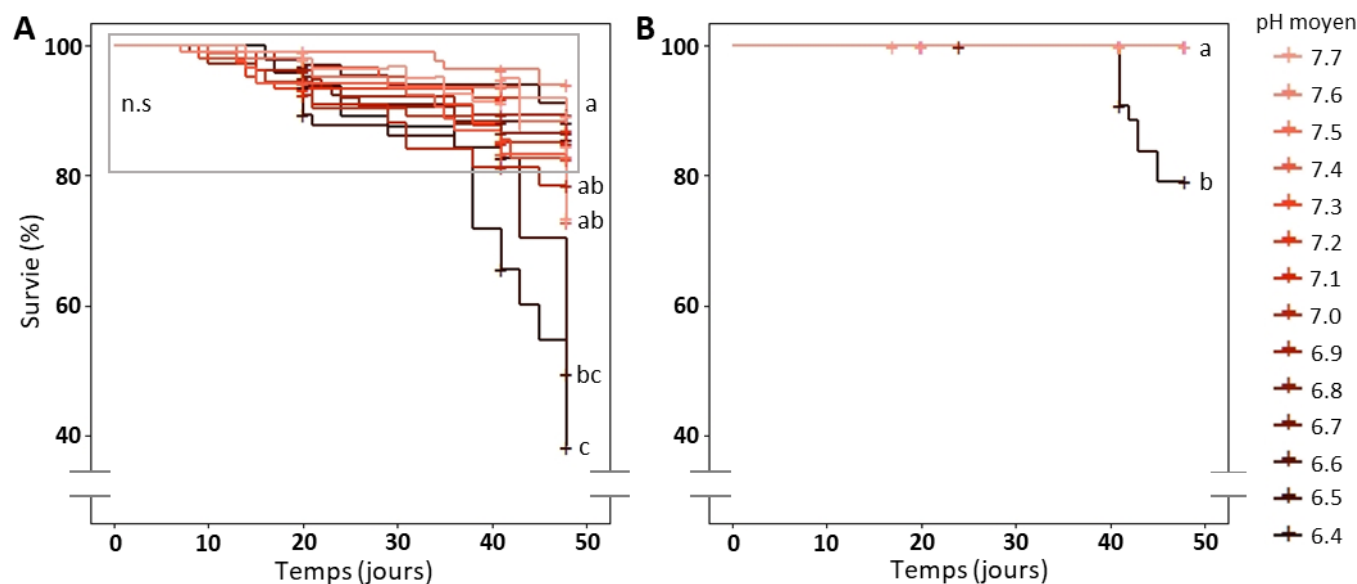


Figure 26. Survie de (A) l'huître plate *Ostrea edulis* et de (B) l'huître creuse *Crassostrea gigas* exposées à quatorze conditions de pH. Le temps de survie a été mesuré en jours à partir du début de l'exposition. L'encadré gris montre que les courbes de survie ne sont pas significativement différentes ; n.s : non significatif.

La diminution du pH (pas de -0,1 unités de pH) entraîne, de la même manière pour les deux espèces, une diminution linéaire significative de la croissance (en masse et longueur) et un blanchiment significatif de la coquille. Cependant, les deux espèces dans nos conditions expérimentales, semblent globalement résistantes à l'acidification des océans car les impacts négatifs n'apparaissent qu'à des pH extrêmement bas ($\text{pH} \leq 6.6$), bien au-delà des projections du GIEC de la fin du siècle. L'approche par points de basculement, complémentaire des approches scénaristiques largement étudiées, permettrait ainsi de mieux comprendre les seuils de tolérance et les mécanismes d'acclimatation et d'adaptation employés par les organismes calcifiants face à l'AO.

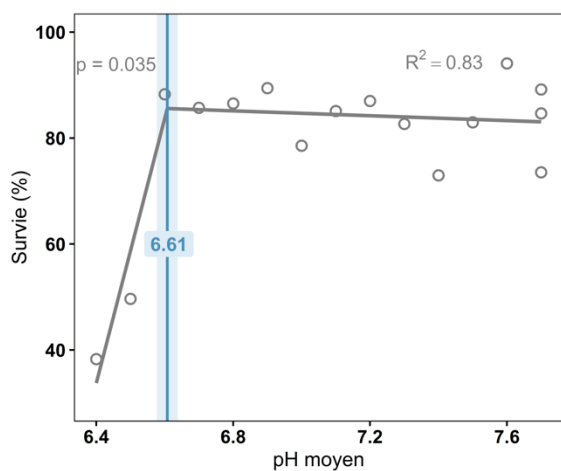


Figure 27. Relation entre le pourcentage de survie de *Ostrea edulis* et le pH moyen au 48ème et dernier jour d'exposition. Un test de Student a été réalisée sur chaque fragment du modèle pour voir si la pente diffère d'une pente nulle. La p-value indique la pente du fragment qui est significativement différente de zéro. L'encadré bleu clair représente l'intervalle de confiance du point de basculement.

En 2020, nous avons obtenu un financement du **FEAMP** pour réaliser le projet **CocoriCO2** (la conchyliculture dans un monde riche en CO₂). 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 conchylicoles 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 conchylicoles 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. Par rapport aux projets de recherche en cours ou passés sur les effets du changement climatique, CocoriCO2 propose pour la première fois un changement d'échelle indispensable pour appréhender des impacts sur la performance des entreprises et de la filière conchylicole et pour proposer des scénarios de gestion durables. Ce projet est un souhait affirmé de la filière conchylicole et de ses représentants. Par rapport aux objectifs de la mesure, ce projet encourage l'introduction de connaissances et d'innovations dans les entreprises, développe le transfert des savoirs et des résultats vers les professionnels et test et valide les innovations en vue de leur diffusion.

Nous avons pu réaliser le premier comité de pilotage du projet et la réunion de lancement du projet en 2020. A cette occasion, nous avons tenu un atelier de la mesure du pH en milieu marin regroupant la plupart des laboratoires de façade de l'Ifremer et les stations côtières du CNRS. L'acquisition des données pH débutera 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 (Figure 28).

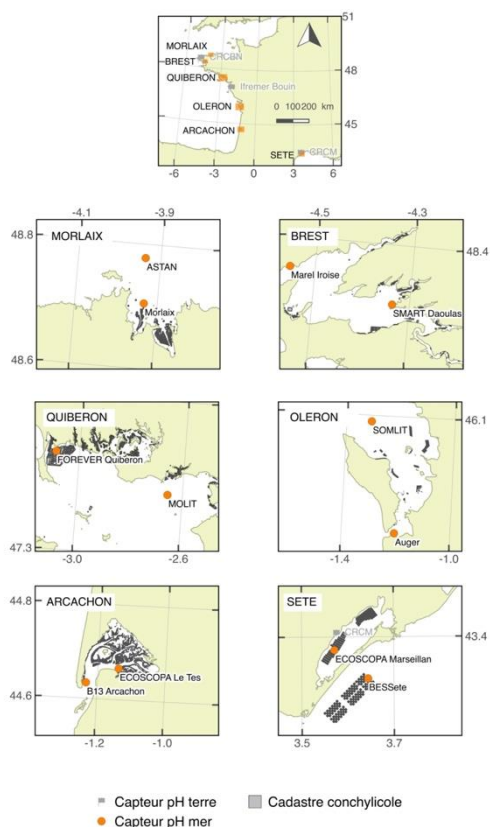


Figure 28. Carte des sites de suivi du pH à haute-fréquence du projet CocoriCO2.

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 conçues en 2020 et seront mises 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 seront 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

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.

L'année 2020 a été consacrée à la soumission et l'obtention d'une ANR (RESISTE) abordant la question de la résistance aux antibiotiques et aux phages. Ce travail sera réalisé en collaboration avec Eduardo Rocha de l'Institut Pasteur.

En collaboration avec l'équipe du Pr Polz (ex MIT maintenant Université de Vienne) des approches de génétiques ont été menées chez vibrio pour valider le rôle de certains systèmes dans la défense contre les phages (article en révision à Science).

Le second semestre a été dédié au recrutement des nouveaux membres de l'équipe dans le contexte de l'ERC DYNAMIC et à la préparation des commandes d'équipement, de fonctionnement afin de permettre à tous de commencer le projet au plus tôt.

Des expériences visant à finaliser le premiers papier « phage » de l'équipe ont été conduites par l'ensemble de l'équipe alors composé de Yannick Labreuche, Damien Piel et Frédérique Le Roux.

ANNEXES

Annexe 1 : Production scientifique et technologique 2020
(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	20
IF moyen des publications	4.390
Expertises/Avis	2
Rapports	13
Thèses	
Participation à jurys de thèse ou HDR	
Ouvrages / Chapitres d'ouvrages	
Posters	1
Publications dans des colloques	1
Communications sans acte	
Brevets	
Jeux de données publiés dans SEANOE	3

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

1. Aldred Nick, Chan Bin San, Emami Kaveh, Okano Keiju, Clare Anthony S., Mount Andrew S. (2020). **Chitin is a functional component of the larval adhesive of barnacles**. *Communications Biology*, 3(1), 31 (8p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s42003-020-0751-5> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00603/71559/>
2. Auffret Pauline, Le Luyer Jeremy, Sham Koua Manaarii, Quillien Virgile, Ky Chin-Long (2020). Tracing key genes associated with the *Pinctada margaritifera* albino phenotype from juvenile to cultured pearl harvest stages using multiple whole transcriptome sequencing. *Bmc Genomics*, 21(1), 662 (13p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1186/s12864-020-07015-w> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00652/76420/>
3. Avignon Solène, Auzoux-Bordenave Stéphanie, Martin Sophie, Dubois Philippe, Badou Aïcha, Coheleach Manon, Richard Nicolas, Di Giglio Sarah, Malet Loïc, Servili Arianna, Gaillard Fanny, Huchette Sylvain, Roussel Sabine (2020). **An integrated investigation of the effects of ocean acidification on adult abalone (*Haliotis tuberculata*)**. *Ices Journal Of Marine Science*, 77(2), 757-772. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz257>
4. Castrec Justine, Hégaret Helene, Huber Matthias, Le Grand Jacqueline, Huvet Arnaud, Tallec Kevin, Boulais Myrina, Soudant Philippe, Fabioux Caroline (2020). **The toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* impairs the performance of oyster embryos and larvae**. *Harmful Algae*, 92, 101744 (9p.). <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101744>
5. Clerissi Camille, de Lorgeril Julien, Petton Bruno, Lucasson Aude, Escoubas Jean Michel, Gueguen Yannick, Dégremont Lionel, Mitta Guillaume, Toulza Eve (2020). **Microbiota Composition and Evenness Predict Survival Rate of Oysters Confronted to Pacific Oyster Mortality Syndrome**. *Frontiers In Microbiology*, 11(311), 11p. Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00311> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00621/73332/>
6. Colsoul Bérenger, Pouvreau Stephane, Di Poi Carole, Pouil Simon, Merk Verena, Peter Corina, Boersma Maarten, Pogoda Bernadette (2020). **Addressing critical limitations of oyster (*Ostrea edulis*) restoration: Identification of nature-based substrates for hatchery production and recruitment in the field**. *Aquatic Conservation-marine And Freshwater Ecosystems*, 30(11), 2101-2115. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/aqc.3454> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00658/77058/>
7. Cominassi Louise, Moyano Marta, Claireaux Guy, Howald Sarah, Mark Felix C., Zambonino-Infante Jose-Luis (2020). **Food availability modulates the combined effects of ocean acidification and warming on fish growth**. *Scientific Reports*, 10(1), 2338 (12p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58846-2> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00609/72074/>
8. Couturier Lydie, Michel Loïc, Amaro Teresa, Budge Suzanne M, Da Costa Elisabete, de Troch Marleen, Di Dato Valeria, Fink Patrick, Giraldo Carolina, Le Grand Fabienne, Loaiza Iván, Mathieu-Resuge Margaux, Nichols Peter D, Parrish Christopher C, Sardenne Fany, Vagner Marie, Pernet Fabrice, Soudant Philippe, Browman Howard (2020). **State of art and best practices for fatty acid analysis in aquatic sciences**. *Ices Journal Of Marine Science*, 77(7-8), 2375-2395. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa121> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00651/76279/>
9. Dambrine Chloe, Huret Martin, Woillez Mathieu, Pecquerie Laure, Allal Francois, Servili Arianna, de Pontual Helene (2020). Contribution of a bioenergetics model to investigate the growth and survival of European seabass in the Bay of Biscay – English Channel area. *Ecological Modelling*, 423, 109007 (11p.). Publisher's

official version : <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109007> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00612/72397/>

10. Delisle Lizenn, Pauletto Marianna, Vidal-Dupiol Jeremie, Petton Bruno, Bargelloni Luca, Montagnani Caroline, Pernet Fabrice, Corporeau Charlotte, Fleury Elodie (2020). **High temperature induces transcriptomic changes in *Crassostrea gigas* that hinder progress of ostreid herpesvirus (OsHV-1) and promote survival.** *Journal Of Experimental Biology*, 223(20), jeb226233 (11p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1242/jeb.226233> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00656/76806/>
11. Delmotte Jean, Chaparro Cristian, Galinier Richard, de Lorigeril Julien, Petton Bruno, Stenger Pierre-Louis, Vidal-Dupiol Jeremie, Destoumieux-Garzon Delphine, Gueguen Yannick, Montagnani Caroline, Escoubas Jean Michel, Mitta Guillaume (2020). **Contribution of Viral Genomic Diversity to Oyster Susceptibility in the Pacific Oyster Mortality Syndrome.** *Frontiers In Microbiology*, 11, 1579 (17p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01579> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00643/75533/>
12. Fleury Elodie, Barbier Pierrick, Petton Bruno, Normand Julien, Thomas Yoann, Pouvreau Stephane, Daigle Gaétan, Pernet Fabrice (2020). **Latitudinal drivers of oyster mortality: deciphering host, pathogen and environmental risk factors.** *Scientific Reports*, 10(1), 7264 (12p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64086-1> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00627/73915/>
13. Forêt M, Olivier F, Miner Philippe, Winkler G, Nadalini Jb, Tremblay R (2020). **Influence of the physiological condition of bivalve recruits on their post-settlement dispersal potential.** *Marine Ecology Progress Series*, 636, 77-89. <https://doi.org/10.3354/meps13223>
14. Gaillard Sylvain, Le Goïc Nelly, Malo Florent, Boulais Myrina, Fabioux Caroline, Zaccagnini Lucas, Carpentier Liliane, Sibat Manoella, Réveillon Damien, Séchet Veronique, Hess Philipp, Hégaret Helene (2020). **Cultures of *Dinophysis sacculus*, *D. acuminata* and pectenotoxin 2 affect gametes and fertilization success of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*.** *Environmental Pollution*, 265(Part B), 114840 (10p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114840> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00630/74167/>
15. Gardon Tony, Huvet Arnaud, Paul-Pont Ika, Cassone Anne-Laure, Koua Manarii Sham, Soyez Claude, Jezequel Ronan, Receveur Justine, Le Moullac Gilles (2020). **Toxic effects of leachates from plastic pearl-farming gear on embryo-larval development in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*.** *Water Research*, 179, 115890 (11p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115890> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00627/73917/>
16. Gardon Tony, Morvan Lucie, Huvet Arnaud, Quillien Virgile, Soyez Claude, Le Moullac Gilles, Le Luyer Jeremy (2020). Microplastics induce dose-specific transcriptomic disruptions in energy metabolism and immunity of the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Environmental Pollution*, 266(Part 3), 115180 (9p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115180> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00640/75213/>
17. Gonzalez-Fernandez Carmen, Le Grand Fabienne, Bideau Antoine, Huvet Arnaud, Paul-Pont Ika, Soudant Philippe (2020). **Nanoplastics exposure modulate lipid and pigment compositions in diatoms.** *Environmental Pollution*, 262, 114274 (10p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114274> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00611/72283/>
18. Gourtay Clemence, Chabot Denis, Audet Céline, Madec Lauriane, Huelvan Christine, Ducros Loïck, Claireaux Guy, Mazurais David, Zambonino-Infante Jose-Luis (2020). **Effect of thermal and nutritional conditions on**

fatty acid metabolism and oxidative stress response in juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Marine Biology*, 167(10), 144 (14p.). <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03729-3>

19. Handal William, Szostek Claire, Hold Natalie, Andrello Marco, Thiébaud Eric, Harney Ewan, Lefebvre Gwendoline, Borcier Elodie, Jolivet Aurélie, Nicolle Amandine, Boyé Aurelien, Foucher Eric, Boudry Pierre, Charrier Gregory (2020). **New insights on the population genetic structure of the great scallop (*Pecten maximus*) in the English Channel, coupling microsatellite data and demogenetic simulations.** *Aquatic Conservation-marine And Freshwater Ecosystems*, 30(10), 1841-1853. <https://doi.org/10.1002/aqc.3316>
20. Hermabessiere Ludovic, Receveur Justine, Himer Charlotte, Mazurais David, Huvet Arnaud, Lagarde Fabienne, Lambert Christophe, Paul-Pont Ika, Dehaut Alexandre, Jezequel Ronan, Soudant Philippe, Duflos Guillaume (2020). **An Irgafos® 168 story: When the ubiquity of an additive prevents studying its leaching from plastics.** *Science Of The Total Environment*, 749, 141651 (6p.). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141651>
21. Iglésias Sp, Bergot P, Breton P, Brunelle S, Camusat M, Causse R, Charbonnel E, Chevalloné P, Cordier Y, Cosquer P, Cuillandre Jp, Curd Amelia, Dubas R, Duhau M, Derrien-Courtel S, Devique Gabriel, Dixneuf S, Duhamel Erwan, Farque Pa, Francour P, Fontana Y, Gamon A, Gicqueau C, Goascoz Nicolas, Hassani S, Jadaud Angélique, Kopp Dorothee, Lamour L, Le Bris S, Leveque L, Liger P, Lorance Pascal, Louisy P, Maran V, Mehault Sonia, Metral Luisa, Morin-Repinçay A, Mouchel Olivier, Pere A, Quéro Jc, Renoult Jp, Roche F, Schweyer L, Spitz J, Thiriet P, Thomas W (2020). **Signalements ichtyologiques français pour 2018 / French ichthyological records for 2018.** *Cybium*, 44(4), 285-307. <https://doi.org/10.26028/cybium/2020-444-001>
22. Lafont Maxime, Vergnes Agnes, Vidal-Dupiol Jeremie, de Lorgeril Julien, Gueguen Yannick, Haffner Philippe, Petton Bruno, Chaparro Cristian, Barrachina Celia, Destoumieux-Garzon Delphine, Mitta Guillaume, Gourbal Benjamin, Montagnani Caroline (2020). **A Sustained Immune Response Supports Long-Term Antiviral Immune Priming in the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*.** *Mbio*, 11(2), e02777-19 (17p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1128/mBio.02777-19> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00614/72580/>
23. Lupo Coralie, Dutta Bhagat Lal, Petton Sebastien, Ezanno P, Tourbiez Delphine, Travers Marie-Agnes, Pernet Fabrice, Bacher Cedric (2020). **Spatial epidemiological modelling of infection by *Vibrio aestuarianus* shows that connectivity and temperature control oyster mortality.** *Aquaculture Environment Interactions*, 12, 511-527. Publisher's official version : <https://doi.org/10.3354/aei00379> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00662/77459/>
24. Mat Audrey, Sarrazin Jozee, Markov Gabriel V., Apremont Vincent, Dubreuil Christine, Eché Camille, Fabioux Caroline, Klopp Christophe, Sarradin Pierre-Marie, Tanguy Arnaud, Huvet Arnaud, Matabos Marjolaine (2020). **Biological rhythms in the deep-sea hydrothermal mussel *Bathymodiolus azoricus*.** *Nature Communications*, 11(1), 3454 (12p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17284-4> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00640/75236/>
25. Mazurais David, Servili Arianna, Noel Cyril, Cormier Alexandre, Collet Sophie, Leseur Romane, Le Roy Maelenn, Vitré Thomas, Madec Lauriane, Zambonino-Infante Jose-Luis (2020). **Transgenerational regulation of *cb1n11* gene expression in the olfactory rosette of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) exposed to ocean acidification.** *Marine Environmental Research*, 159, 105022 (11p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105022> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00630/74169/>
26. Mazurais David, Servili Arianna, Le Bayon Nicolas, Gislard Sebastien, Madec Lauriane, Zambonino-Infante Jose-Luis (2020). Long-term exposure to near-future ocean acidification does not affect the expression of neurogenesis- and synaptic transmission-related genes in the olfactory bulb of European sea bass

- (*Dicentrarchus labrax*). *Journal Of Comparative Physiology B-biochemical Systems And Environmental Physiology*, 190(2), 161-167. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1007/s00360-019-01256-2> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00606/71786/>
27. Mérou Nicolas, Lecadet Cyrielle, Pouvreau Stephane, Arzul Isabelle (2020). An eDNA/eRNA-based approach to investigate the life cycle of non-cultivable shellfish micro-parasites: the case of *Bonamia ostreae* , a parasite of the European flat oyster *Ostrea edulis*. *Microbial Biotechnology*, 13(6), 1807-1818. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13617> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00636/74800/>
 28. Offret Clement, Paulino Sauvann, Gauthier Olivier, Château Kevin, Bidault Adeline, Corporeau Charlotte, Miner Philippe, Petton Bruno, Pernet Fabrice, Fabioux Caroline, Paillard Christine, Blay Gwenaelle Le (2020). **The marine intertidal zone shapes oyster and clam digestive bacterial microbiota.** *Fems Microbiology Ecology*, 96(8), fiae078 (12p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae078> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00628/73961/>
 29. Oyanedel Daniel, Labreuche Yannick, Bruto Maxime, Amraoui Hajar, Robino Etienne, Haffner Philippe, Rubio Tristan, Charrière Guillaume, Le Roux Frederique, Destoumieux-Garzón Delphine (2020). **Vibrio splendidus O-antigen structure: A trade-off between virulence to oysters and resistance to grazers.** *Environmental Microbiology*, 22(10), 4264-4278. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14996> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00619/73070/>
 30. Pete Romain, Guyondet Thomas, Bec Beatrice, Derolez Valerie, Cesmat Ludovic, Lagarde Franck, Pouvreau Stephane, Fiandrino Annie, Richard Marion (2020). **A box-model of carrying capacity of the Thau lagoon in the context of ecological status regulations and sustainable shellfish cultures.** *Ecological Modelling*, 426, 109049 (17p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109049> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00622/73395/>
 31. Petton Sebastien, Pouvreau Stephane, Dumas Franck (2020). **Intensive use of Lagrangian trajectories to quantify coastal area dispersion.** *Ocean Dynamics*, 70(4), 541-559. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1007/s10236-019-01343-6> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00609/72068/>
 32. Piel Damien, Bruto Maxime, James Adele, Labreuche Yannick, Lambert Christophe, Janicot Adrian, Chenivess Sabine, Petton Bruno, Wegner K. Mathias, Stoudmann Candice, Blokesch Melanie, Le Roux Frederique (2020). **Selection of Vibrio crassostreae relies on a plasmid expressing a type 6 secretion system cytotoxic for host immune cells.** *Environmental Microbiology*, 22(10), 4198-4211. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14776> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00510/62129/>
 33. Pogoda Bernadette, Boudry Pierre, Bromley Cass, Cameron Tom C., Colsoul Bérenger, Donnan David, Hancock Boze, Hugh-jones Tristan, Preston Joanne, Sanderson William G., Sas Hein, Brown Janet, Bonacic Kruno, Nordheim Henning, Zu Ermgassen Philine S.E. (2020). **NORA moving forward: Developing an oyster restoration network in Europe to support the Berlin Oyster Recommendation.** *Aquatic Conservation-marine And Freshwater Ecosystems*, 30(11), 2031-2037. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/aqc.3447> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00659/77135/>
 34. Remize Marine, Planchon Frederic, Loh Ai Ning, Le Grand Fabienne, Bideau Antoine, Le Goic Nelly, Fleury Elodie, Miner Philippe, Corvaisier Rudolph, Volety Aswani, Soudant Philippe (2020). **Study of Synthesis Pathways of the Essential Polyunsaturated Fatty Acid 20:5n-3 in the Diatom Chaetoceros Muelleri Using 13C-Isotope Labeling.** *Biomolecules*, 10(5), 797 (27p.). Publisher's official version :

<https://doi.org/10.3390/biom10050797> , Open Access version :
<https://archimer.ifremer.fr/doc/00630/74257/>

35. Servili Arianna, Canario Adelino V.M., Mouchel Olivier, Muñoz-Cueto José Antonio (2020). **Climate change impacts on fish reproduction are mediated at multiple levels of the brain-pituitary-gonad axis.** *General And Comparative Endocrinology*, 291, 113439 (15p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113439> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00609/72079/>
36. Tallec Kevin, Paul-Pont Ika, Boulais Myrina, Le Goïc Nelly, Gonzalez Fernandez C., Le Grand Fabienne, Bideau Antoine, Quéré Claudie, Cassone A.-L., Lambert Christophe, Soudant Philippe, Huvet Arnaud (2020). **Nanopolystyrene beads affect motility and reproductive success of oyster spermatozoa (Crassostrea gigas).** *Nanotoxicology*, 14(8), 1039-1057. <https://doi.org/10.1080/17435390.2020.1808104>
37. Taormina Bastien, Di Poi Carole, Agnalt Ann-Lisbeth, Carlier Antoine, Desroy Nicolas, Escobar-Lux Rosa Helena, D'eu Jean-François, Freytet Florian, Durif Caroline M.F. (2020). **Impact of magnetic fields generated by AC/DC submarine power cables on the behavior of juvenile European lobster (Homarus gammarus).** *Aquatic Toxicology*, 220, 105401. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105401> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00599/71152/>
38. Trenkel Verena, Boudry Pierre, Verrez-Bagnis Veronique, Lorange Pascal (2020). Methods for identifying and interpreting sex-linked SNP markers and carrying out sex assignment: application to thornback ray (Raja clavata). *Molecular Ecology Resources*, 20(6), 1610-1619. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13225>
39. Zu Ermgassen Philine S. E., Bonačić Kruno, Boudry Pierre, Bromley Cass A., Cameron Tom C., Colsoul Bérenger, Coolen Joop W. P., Frankić Anamarija, Hancock Boze, Have Tom M., Holbrook Zoë, Kamermans Pauline, Laugen Ane T., Nevejan Nancy, Pogoda Bernadette, Pouvreau Stephane, Preston Joanne, Ranger Christopher J., Sanderson William G., Sas Hein, Strand Åsa, Sutherland William J. (2020). **Forty questions of importance to the policy and practice of native oyster reef restoration in Europe.** *Aquatic Conservation-marine And Freshwater Ecosystems*, 30(11), 2038-2049. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1002/aqc.3462> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00658/77004/>
40. de Lorgeril Julien, Petton Bruno, Lucasson Aude, Perez Valérie, Stenger Pierre-Louis, Degremont Lionel, Montagnani Caroline, Escoubas Jean Michel, Haffner Philippe, Allienne Jean-François, Leroy Marc, Lagarde Franck, Vidal Dupiol Jeremie, Gueguen Yannick, Mitta Guillaume (2020). **Differential basal expression of immune genes confers Crassostrea gigas resistance to Pacific Oyster Mortality Syndrome.** *Bmc Genomics*, 21(1), 63 (14p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6471-x> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00602/71369/>

Expertises/Avis

Auby Isabelle, Ganthy Florian, Antajan Elvire, Pouvreau Stephane (2020). Réponse à la demande sur un éventuel lien de causalité directe entre les fortes pluies survenues au mois de mai 2020 et les surmortalités des huîtres creuses dans le Bassin d'Arcachon. DDTM 33 - Direction Départementale des Territoires et de de la Mer de la Gironde, Service Agriculture Forêt et Développement Rural, Unité Transmission et Vie des Exploitations, Bordeaux, Ref. Ifremer/ODE/LITTORAL/LERAR-20-060 - votre courriel du 10 août 2020, 22p.

Gouletquer Philippe, Boulben Sylviane, Boudry Pierre, Tessier Emmanuel, Stavrakakis Christophe (2020). **Avis de l'Ifremer sur le projet de serres de production de crevettes et d'algues par l'EARL CREACH ANTON**. DDTM 29 - Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Finistère, Service Eau et Biodiversité, Unité Nature et Forêt, Quimper, Ref. Ifremer-D/CB_ Avis n° 20-017 du 24/03/2020, 12p., 1p.

Rapports

(2020) Microplastics2. Pollution aux microplastiques : détection, risques et remédiation à l'interface terre-mer. Rapport final.

(2020) **Microplastics2. Pollution aux microplastiques : détection, risques et remédiation à l'interface terre-mer**. Rapport de synthèse. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00644/75659/>

Boudry Pierre (2020). Catalyst Leaders: International Leader Fellowship for Pierre Boudry, Ifremer. Contract Number: ILF-CAW-1801. Report Number: 2.

Dusfour Castan Romane, Siano Raffaele, Hervio Heath Dominique (2020). Identification de potentiels bioindicateurs spécifiques de la noyade en mer et utilisables en criminalistique.

Fleury Elodie, Montagnani Caroline, Morga Benjamin, Richard Marion (2020). **Compte-rendu des journées Mollusques Marins et Conchylicultures**.

Fleury Elodie, Petton Sebastien, Corporeau Charlotte, Benabdelmouna Abdellah, Pouvreau Stephane (2020). **Observatoire national du cycle de vie de l'huître creuse en France. Rapport annuel ECOSCOPA 2019**. Convention DPMA 2019. RBE/PFOM/PI 2020-1. <https://doi.org/10.13155/79902>

Gardon Tony, Soyez Claude, Quillien Virgile, Cassone Anne-Laure, Reisser Celine, Le Luyer Jeremy, Beliaeff Benoit, Huvet Arnaud, Paul-Pont Ika, El Rakwe Maria, Boukerma Kada, Le Moullac Gilles (2020). **Rapport intermédiaire 2019 de la Convention Microplastiques dans les Lagons**. RBE/RMPf/2020.

Garry Pascal, Veron Antoine, Wacrenier Candice, Hervio Heath Dominique (2020). **Plan exploratoire sur la contamination des Vibrios entéropathogènes dans les mollusques bivalves**. Instruction technique DGAL/SDSSA/2018-957du 27/12/2018 - RBE/SG2M/LSEM 2020-01.

Ifremer. ODE/VIGIES (2020). **Journées REPHY 2020. Nantes, 5 et 6 février 2020. Compilation des interventions et résumés**. ODE/VIGIES/20-04. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00612/72457/>

Perriere-Rumebe Myriam, Sottolichio Aldo, Blanchet Hugues, Gouriou Laure, Hervio Heath Dominique, Sautour Benoit, Savoye Nicolas (2020). **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.

Perriere-Rumebe Myriam, Sottolichio Aldo (2020). **Surveillance écologique du Centre Nucléaire de Production d'Electricité du Blayais. Année 2019**. RST/ODE/LITTORAL/LERAR/20.005. Conv. EDF C3499C0490. 236 p.

Robert Michel, M'Zari Lotfi, Antajan Elvire, Dechamps Lucie, Foveau Aurelie, Hernandez Farinas Tania, Loots Christophe, Schlaich Ivan, Simon Benjamin (2020). **Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville. Année 2019**. RST ODE/UL/LER/N/20-04. Conv. EDF C3499C0490. 200 p.

Schlaich Ivan, Antajan Elvire, Francoise Sylvaine, Hernandez Farinas Tania, Loots Christophe, M'Zari Lotfi, Maheux Frank, Robert Michel, Simon Benjamin (2020). **Surveillance écologique et halieutique du**

site électronucléaire de Penly. Année 2019. RST RBE/HMMN/LRHPEB/20-01. Conv. EDF C3499C0490. 188 p.

Ouvrages / Chapitres d'ouvrages

Posters

Poppeschi Coline, Charria Guillaume, Unterberger Maximilian, Rimmelin-Maury Peggy, Goberville Eric, Barrier Nicolas, Petton Sebastien, Grossteffan Emilie, Repecaud Michel, Quemener Loic, Theetten Sebastien, Le Roux Jean-Francois, Treguer Paul (2020). **Extreme coastal events linked with climate variation. Understanding low salinity episodes in the Bay of Brest, north-eastern Atlantic.** EGU 2020 General Assembly. 4–8 May 2020, Online. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00631/74346/>

Poster et communications sans actes :

Publications dans des colloques

Jeux de données publiés dans SEANOE

Fleury Elodie, Normand Julien, Lamoureux Alice, Bouget Jean-Francois, Lupo Coralie, Cochenec-Laureau Nathalie, Petton Sebastien, Petton Bruno, Pouvreau Stephane (2020). **RESCO REMORA Database : National monitoring network of mortality and growth rates of the sentinel oyster Crassostrea gigas.** SEANOE. <https://doi.org/10.17882/53007>

Petton Sebastien, Corporeau Charlotte, Quemener Loic (2020). **Temperature monitoring of subtidal and intertidal microhabitats of oyster Crassostrea gigas.** SEANOE. <https://doi.org/10.17882/79095>

Roussel Sabine, Poitevin Pierre, Day Pierre, Le Grand Fabienne, Stiger-Pouvreau Valérie, Leblanc Catherine, Huchette Sylvain (2020). **Haliotis tuberculata , a generalist marine herbivore that prefers a mixed diet, but with consistent individual foraging activity.** SEANOE. <https://doi.org/10.17882/73118>

Annexe 2 : Nouveaux projets soumis en 2020 (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
ISBLUE	2956	ACIDOMIC	Réalisé	David Mazurais
SAD	3083	RECITAL	Contractualisation	Arianna Servili
Ifremer	3143	ICEFISH	Réalisée	Véronique Loizeau
EC2CO	3150	ADJUST	Réalisée	David Mazurais
EC2CO	3176	ECHANGE	Réalisée	Arianna Servili
Ifremer	3207	MICROBAR	Contractualisation	Dominique Hervio-Heath
ANR	3287	POEM	En attente réponse (phase 2)	Arnaud Huvet
ANR	3297	LUCIOLE	En attente réponse (phase 2)	Elodie Fleury
ANSES	3317	PATHOPLASTIC	En attente réponse	Arnaud Huvet
ARED	3379	NANOEST	Contractualisation	Arnaud 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
Boudry Pierre	2	« Approche génétique du repeuplement de populations exploitées en milieu marin »	3 ^{ème} année du CNAM à IntechMer / Cherbourg / 03 avril cours réalisé à distance

Accueil et encadrement de stagiaires

Nom	Période	Diplôme préparé	Sujet de stage	Responsable
AUDOIRE Nathan	01/06 au 28/06	DUT Génie Biologique	Analyses biologiques et biochimiques pour étudier la réponse thermique de l'huître creuse	Elodie Fleury
CAILLON Coline	06/01 au 19/06	Master 2 Sciences de la Mer	Caractérisation de la norme de réaction physiologique chez deux espèces d'huîtres : huître creuse et huître plate	Carole DI POI BROUSSARD
CORDOIN Antoine	24/02 au 28/02	Licence Frontière du vivant	Stage d'observation	Christine DUBREUIL
DEVERGNE Jimmy	06/01 au 29/06	Master 2 Biologie - Santé parcours biologie de la reproduction	Etude des effets de l'acidification des océans sur le contrôle neuroendocrinien de la reproduction du bar européen à niveau cellulaire	Ariana SERVILI
DU TEIL Nathalia	06/01 au 03/07	Master 2 Biologie des Organismes Marins	Rythme cardiaque de l'huître creuse (<i>Crassostrea gigas</i>) sous l'influence de la température et de la nourriture	Marianne ALUNNO-BRUSCIA
LE GRILL Maxime	09/03 au 31/08	Master 2 Gestion de l'environnement - Expertise et gestion	Le recrutement du pétoncle noir en rade de Brest : variabilité spatiale et préférences écologiques en termes d'habitats benthiques	Stéphane POUVREAU

			environnementale littoral		
LEVEILLE Pierre	24/02 27/03	au	Licence de la Vie - 2ème année	Étude des effets de l'acidification sur la biominéralisation de la coquille de l'Huitre	Véra BINSHAN CHAN
MICHEL Camille	13/04 10/07	au	Master 1 Biochimie - Sciences, technologies, santé mention biotechnologies	Mise au point de méthodes d'extraction, de caractérisation et de quantification de composés d'intérêts issus de Thraustochytrides : squalène et phytostérols	Claudie QUERE
MARTINEZ Matthieu	20/04 10/07	au	3ème année cadre technique production et valorisation des ressources marines	Appréhender les effets du changement climatique (multi-stress pH-température) sur le cycle de vie complet de l'épinoche et réaliser une première approche de stress chimique supplémentaire (oestrogénique)	Véronique LOIZEAU Arianna SERVILI
NEVEN Carolin	06/01 31/07	au	accueil dans le cadre de la collaboration avec Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) de Bremerhaven : projet AMI Partnership Programme : Molecular underpinnings of physiological and behavioural reactions of Seabass to the 'Deadly Trio'.	Acquisition de techniques de biologie moléculaire	David MAZURAS

TURBAN Emma	18/05 03/07	au	BTS Biotechnologie	Développement de la mesure de la vitéllogénine chez l'huître creuse et son utilisation comme marqueur de la perturbation endocrinienne	Carole DI POI BROUSSARD
KERYELL Even	23/06 25/09	au	Master 1 ; école Ingénieur	Traitement de données environnementales et de données de paramètres endogènes de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> : vers un indicateur de santé animale ?	Charlotte CORPOREAU

Accueil et encadrement d'apprentis en alternance

Nom	Période	Diplôme préparé	Responsable
Langlois Fanny	09/09/2019 à 04/08/2020	DUT Génie Biologique	Corporeau Charlotte

Accueil et encadrement de post-doctorants

Nom	Période	Sujet	Financement	
Chan Bin San	01/11/2018 26/04/2020	au	Stress environnementaux multiples : Quelles conséquences sur la physiologie et le comportement des larves d'huître creuse ?	Région Bretagne

Potet Marine	18/03/2019 17/09/2020	au	Etude des processus écologiques impliqués dans le recrutement des derniers bancs d'huîtres plates présents en Rade de Brest	Ifremer et FEAMP-Forever
Cohen Mishal	03/02/2020 30/07/2021	au	Impact de l'acidification des océans sur les systèmes sensoriels de la larve de bar	Ifremer et Région Bretagne
Detrée Camille	01/09/2020 31/08/2021	au	Investigating the effect of synthetic and natural microfibers on marine biota using the model organism <i>Crassostrea gigas</i>	Ifremer

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	Thèse en cours	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	elyne.dugeny@ifremer.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	Ecole Doctorale des Sciences de la mer et du Littoral - Université(s) de rattachement : UBO	Dir. Guy Claireaux, Co Dir. Arianna Servili et Veronique Loizeau	LEMAR/PFOM, Plouzané	NON	ARED ISBlue 50% - UBO EDSML 50%	jimmy.devergne@ifremer.fr
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 Poï (LEMAR, Ifremer).	RBE-PFOM-PI (UMR LEMAR), EIO, Taravao - Tahiti	Non	Ifremer - Région Bretagne	mathieu.lutier@ifremer.fr
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	en	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	Jean.Baptiste.Quéméneur@ifremer.fr
01/10/2020	Thèse en cours	en	Effect of dietary peptides on fish bone development	Printzi Aliko (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	alikipr95@gmail.com

05/10/2020	Thèse en cours	en	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%	coline.caillon@ifremer.fr
01/10/2020	Thèse en cours	en	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. 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)	Ecole Doctorale des Sciences de la mer et du Littoral - Université(s) de rattachement: UBO	Dir. Thèse: Philippe Soudant, Co-encadrement Marie Vagner (CNRS), Fabienne Legrand (CNRS), David Mazurais (IFREMER)	LEMAR/PFOM, Plouzané	Non	ARED / EC2CO / EDSML	mickael.peron@univ-brest.fr
------------	----------------	---	---------------------------	--	---	----------------------	-----	----------------------	-----------------------------

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

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

Annexe 4 : informations communiquées en CODIR du Centre Bretagne

30 janvier 2020

Mobilités

- Virgile Quillien Technicien en biologie moléculaire et histologie de l'unité RMPF vers PFOM-LPI au 1^{er} janvier 2020.
- Véronique Loizeau du laboratoire LEBCO (unité BE) vers PFOM-LARN au 1^{er} janvier 2020.
- En cours d'instruction : D Hervio-Heath et S Lozach du laboratoire SGMM-LSEM vers PFOM-LARN.
- MI ouverte pour un poste de responsable du Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (clôture 28/02/2020).
- MI/PV à venir en 2020 pour un ingénieur en expérimentation bivalves à PFOM-LPI en prévision des départs en retraite à venir de Philippe Miner et Bruno Petton.

Projets en cours :

- COCKTAIL : l'expérience sur les larves de hareng (comprendre les effets sur le recrutement du changement climatique : scénario 2100 couplant température (+3°C), acidification (pH=7.6) et ressources trophiques (-30% HUFA)) qui est une réussite expérimentale. Nous sommes vers la fin de la phase larvaire (60 jours) et les premiers résultats semblent indiquer principalement un effet sur le développement mais pas sur la survie (tout cela reste à tester statistiquement).

Projets acceptés pour financement :

- PPP : Interreg France-Manche-Angleterre : Preventing Plastics Pollution marqué par le kick-off meeting à Poole (UK) des 8 au 10 janvier 2020. Ce projet sur 3 années (2020-2023) est porté par l'université Queen Mary of London avec 17 partenaires dont 10 français. Ce projet se veut à la fois scientifique pour l'analyse et le suivi d'indicateurs mais aussi très opérationnel porté vers des actions/solutions de réduction de déchets plastiques. Il a la force de mêler scientifiques, décideurs, élus, médiateurs de science, acteurs comme Brest Métropole, les gestionnaires de bassins versants, Océanopolis, le parc marin l'AFB... 7 sites pilotes seront suivis dont 3 en France (Baie des Veys en Normandie dont Ifremer est en charge, Baie de Douarnenez et rade de Brest dont le CNRS LEMAR est en charge).

- COCORICO2 : FEAMP Durabilité de la conchyliculture française dans un monde riche en CO2. Projet interdisciplinaire dont les objectifs consistent à observer, analyser, anticiper et remédier les effets du changement climatique (acidification et réchauffement de l'eau) sur la conchyliculture en tenant compte de la physiologie et de la santé des espèces, de la qualité de l'environnement et des répercussions sur l'économie.

Participation pour projets soumis à financement :

- SEAWISE H2020 "BG-10 Fisheries in the full ecosystem context proposal" coordonné par le DTU (et proposition Ifremer portée par Marie Savina). Projet phase 1 déposé le 22 janvier.

Devenir du site d'Argenton :

- Un programme d'expérimentation et de suivi concernant la comparaison de la qualité de l'eau sur les sites de Plouzané et d'Argenton est prévu au cours de l'année 2020. Il vise à étudier la faisabilité d'un éventuel transfert des infrastructures expérimentales d'Argenton vers Plouzané.

Thèses soutenues :

- Kevin Tallec (18 décembre 2019) : Effets des nanoplastiques et microplastiques sur les premiers stades de vie (gamètes, embryon, larves) de l'huître creuse *Crassostrea gigas*.
- William Handal (22 novembre 2019) : Rôle de la connectivité et de l'adaptation locale dans la structure des populations de coquilles Saint-Jacques en Manche, Rade de Brest et Mer d'Iroise.

19 octobre 2020

Mobilités :

- Hugo KOEHLIN vient d'être recruté sur un poste d'ingénieur expérimentation animale au LPI sur le site d'Argenton. Il a pris ses fonctions le 5 octobre 2020.
- Victor SIMON prendra ses fonctions comme technicien en écophysiologie et expérimentation sur les poissons au 1er décembre 2020.
- Deux recrutements en CDI (technicien en microbiologie et ingénieur bioinformatique) dans le cadre de l'ERC « DYNAMIC » sont en cours dans l'équipe Génomique des Vibrios (GV) à Roscoff.
- Marianne ALUNNO-BRUCIA : mobilité au 1er décembre comme déléguée à la déontologie et à l'intégrité scientifique.
- Pierre BOUDRY : mobilité au 1er janvier 2021 comme directeur du GIS Biogenouest (mise à disposition à 50%). Une MI pour la responsabilité de l'unité PFOM est en cours de diffusion.

LPI :

- Réunion à Nantes (29/09 au 1/10) de lancement du projet FEAMP CocoriCO2 (voir FP N° 2631 : « Durabilité de la conchyliculture française dans un monde riche en CO2) et atelier CNRS/Ifremer sur la mesure du pH : 30 participants en présentiel + 20 en visio incluant CNC+CRCs.
- Bilan positif des productions du matériel expérimental (environ 50 lots d’huitres) et des expérimentations réalisées sur le site d’Argenton depuis la mi-mars dans le respect des procédures en vigueur depuis mi-mars.
- Arrivée de Camille DETREE, Post-doctorante DS sur l’impact des microplastiques sur la physiologie des huîtres.

LARN :

- Démarrage d'une étude pilotée par Véronique LOIZEAU et Arianna SERVILI sur la réponse physiologique d'un poisson euryhalin exposé à une contamination chimique de type oestrogénique (éthinyloestradiol, EE2) dans une situation de changement climatique (augmentation de la température et de l'acidification de l'eau) selon les prédictions du GIEC pour 2100. Afin de décrypter les mécanismes de réponses physiologiques et de plasticité phénotypique des poissons téléostéens tout au long du continuum eau douce – eau marine, l'étude portera sur l'épinoche à trois-épines, *Gasterosteus aculeatus*, poisson à cycle de vie court et présent le long de nos côtes et cours d'eau. Cette étude fait l'objet d'une thèse à démarrer en novembre (Jimmy DEVERGNE; financement ISBLUE-UBO; Dir thèse Guy CLAIREAUX) et d'une demande EC2CO qui vient d'être déposée (projet ECHANGE); ce projet est basé sur une collaboration avec l'INERIS et MARBEC (Emilie).
- Dépôt en septembre d'une demande de renouvellement pour 6 années de l'agrément du Centre Bretagne pour l'expérimentation animale (infrastructures expérimentales poissons). Le nouveau Délégué APAFIS sera David MAZURAS à compter du 1er novembre.

LEMAR :

- Le dossier d'évaluation et projet (nouvelle direction : Géraldine SARTHOU) du LEMAR pour la prochaine vague (2022-2026) est en cours de finalisation.

Annexe 5 : Partenariats

Principaux partenaires au niveau national (hors Ifremer) :

INRA (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).