

Contexte

Le Programme Prioritaire de Recherche (PPR) Océan & Climat, porté par le CNRS et l'Ifremer, a été mis en place par l'Etat pour une durée de 7 ans, de 2021 à 2028.

Présente dans la plupart des mers du globe et détentrice de la 2^e plus grande zone économique exclusive, la France a un positionnement privilégié en ce qui concerne l'océan. Ce dernier est donc porteur d'enjeux forts pour la France en termes de préservation des écosystèmes marins, de gestion durable des ressources marines (biologiques, minérales, énergétiques) et de durabilité des activités maritimes, mais aussi en termes de géostratégie, de souveraineté et de diplomatie.

Dans ce contexte, la recherche française en sciences marines a un rôle important à jouer pour anticiper les modifications de l'océan liées aux changements globaux en cours, pour analyser les relations que les humains tissent avec les environnements océaniques, pour évaluer les enjeux écologiques, économiques et sociaux du développement de l'économie bleue, et pour identifier et évaluer des solutions d'atténuation et d'adaptation aux changements globaux.

Le PPR a ainsi été élaboré autour de 7 défis (<https://www.ocean-climat.fr/Le-PPR/Les-defis-du-PPR>) pour aborder les enjeux de recherche tant sur des questions de progrès des connaissances climatiques et écologiques que sur des questions d'économie bleue, de droit, de géostratégie, de gestion globale des socio-écosystèmes et du bien-être des sociétés. Depuis 2022, deux appels à projets structurants et deux appels à thèses de doctorat ont permis la sélection de projets de recherche ambitieux répondant à une partie de ces défis (<https://www.ocean-climat.fr/Les-actions-et-projets>).

Pour aborder ces grands enjeux en soutenant la formation par la recherche et pour contribuer à une « génération PPR Océan & Climat », le PPR lance un troisième appel à projets de thèse de doctorat.

8 contrats doctoraux, financés à 100% (maximum 135 000 euros pour 3 ans, charges comprises) et environnés (10 000 euros par thèse), débutant à la **rentrée universitaire 2024**, sont ainsi proposés. Aucuns frais de gestion ne seront financés.

Objectifs

L'appel à candidatures doctorales a comme fil conducteur scientifique **l'identification et l'évaluation de solutions** pour la protection de l'océan, l'atténuation et l'adaptation au changement global, la préservation de l'environnement marin et les usages durables et équitables de l'océan.

Les sujets proposés doivent soutenir des **recherches interdisciplinaires**.

La participation des parties prenantes (ex. ONG, gestionnaires des milieux naturels, acteurs du monde économique) est encouragée, bien que non obligatoire.

Les sujets doivent se concentrer prioritairement sur les quatre zones définies dans le PPR sur lesquelles sont identifiés des enjeux forts de bouleversement climatique, de pressions anthropiques multiples et d'ampleur inédite, de préservation de la biodiversité et des services écosystémiques, d'économie

durable, de souveraineté ou de diplomatie, de littérature océanique : **les océans polaires, les outre-mer, l'océan profond et les zones marines et côtières métropolitaines vulnérables**. Néanmoins, des projets portant sur d'autres territoires peuvent être éligibles s'il y a une interdépendance avec le territoire français, notamment pour faciliter la mise en œuvre ou l'évaluation de solutions (développement technologique, pratiques d'interventions (ex. sauvegarde d'espèces, modalités d'encadrement de nouvelles activités en mer, impacts de l'exploitation hors ZEE française des ressources destinées à la consommation française, tests de concepts...).

Critères d'éligibilité

- Les équipes porteuses doivent appartenir à des organismes de recherche français,
- L'étudiant.e devra être inscrit.e dans une école doctorale française,
- Les scientifiques, porteur.euses ou participant.es, déjà financé.es par le 1er appel à projets structurants ANR du PPR « Un océan de solutions » peuvent déposer un projet de thèse sous la condition de justifier de son caractère essentiel à la bonne poursuite des objectifs du projet structurant ANR,
- Les porteur.euses de projets (directeur.rices, co-directeur.rices, encadrant.es) déjà financé.es par les 2 premiers appels à thèses (2022 et 2023) ne peuvent déposer de projet de thèse au présent appel,
- Un seul projet de thèse peut être déposé par directeur.rice ou co-directeur.rice,
- Co-direction de thèse par des chercheur.ses de deux disciplines différentes, au sein d'un même laboratoire ou de deux laboratoires différents (attesté par leur CV).

Critères d'évaluation

- La pertinence des questions et méthodes scientifiques,
- La pertinence du projet par rapport au PPR Océan & Climat : identification de solution(s), interdisciplinarité,
- Les caractéristiques innovantes ou transformantes du sujet,
- La qualité de l'encadrement scientifique - à ce titre, il est demandé aux directeur.rices et co-directeur.rices de préciser dans leur CV les thèses encadrées (ou co-encadrées) en cours,
- L'insertion de la recherche doctorale dans le paysage international, et l'intégration de l'étudiant.e dans des réseaux interdisciplinaires (ex. CIEM, Europe Marine Board...),
- La cohérence des moyens avec le projet (critère de faisabilité de la thèse).

A l'issue de l'évaluation des projets, le classement des projets sélectionnés donnera la priorité à des thèses qui porteront sur des aspects non encore couverts par des projets acceptés dans les deux appels à projets structurants "Un Océan de solutions" et dans les deux appels à projets de thèse 2022 et 2023.

Procédure d'évaluation

Les sujets seront à transmettre à Céline Dégremont (celine.degremont@ifremer.fr) avant le 02/05/24. Ils seront soumis à l'évaluation du Conseil Scientifique du PPR qui se réserve le droit de faire appel à des rapporteurs externes en fonction des sujets et de l'expertise nécessaire à leur évaluation.

Calendrier

- 12 avril 2024: publication de l'appel à thèses
- 2 mai 2024 (minuit heure métropolitaine) : limite de soumission
- 31 mai 2024: publication des résultats des projets sélectionnés

Format du dossier (*cf. formulaire ci-dessous*)

- MAXIMUM 8 pages (y compris les références bibliographiques, hors CV).
- en calibre 11, ou arial 10, interligne 1,5.

Les propositions qui ne respectent pas ce format ne seront pas éligibles.

FORMULAIRE DE CANDIDATURE

| | |
|---|--|
| Titre du sujet de thèse | Comportements individuels et collectifs de l'araignée de mer et du tourteau canadien : utilisation combinée d'accélérométrie, de télémétrie acoustique pour estimer et modéliser l'impact de l'anthropophonie du trafic maritime sur les déplacements de deux grands crustacés |
| École doctorale | ED 227 Sciences de la Nature et de l'Homme : évolution et écologie |
| Université de rattachement | Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) |
| Laboratoire d'accueil de l'étudiant (si 2 laboratoires, précisez la durée dans chacun) | UMR 8067 BOREA (Paris) et Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (INRIA) (Centre de l'Université de Rennes) |
| Organisme porteur de la thèse et contact administratif | Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) |

| | Co-directeur/directrice 1 | Co-directeur/directrice 2 |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Prénom Nom | Frédéric OLIVIER | Julien PETTRE |
| email | Frederic.olivier@mnhn.fr | julien.pettre@inria.fr |
| Organisme | MNHN | INRIA |
| Laboratoire | UMR 8067 BOREA | UMR 6074 IRISA |
| Discipline scientifique | Écologie | Sciences numériques |

Résumé du sujet de thèse (2000 caractères max):

Le projet ENTENDRE (*comportements individuel collectif de l'araignée et Du tourteau canadien*) porte de façon pionnière sur le couplage de méthodes de télémétrie acoustique (*"tracking"*) de modélisation des mouvements collectifs ainsi que d'acoustiques passive et active pour estimer les impacts des bruits

anthropiques sous-marins sur les comportements et migrations de grands crustacés marins vagiles des zones tempérées à subarctiques (araignées de mer, crabe commun...). Il est rédigé dans le contexte d'un développement croissant du transport maritime dont le bruit associé est identifié comme une pollution émergente. Il associe de façon originale les outils des sciences de l'ingénieur utilisés en océanographie côtière et dans les sciences du comportement animal mais également ceux, numériques, développés pour la caractérisation et modélisation des trajectoires de piétons. Il utilisera des capteurs d'interaction inter-individuelles jamais utilisés en écologie marine. En outre, il s'inscrit dans un cadre de collaborations de recherches internationales France-Québec.

Mots-clés :

Impact de l'anthropophonie, Télémétrie acoustique, Accélérométrie, Grands crustacés

Site(s) géographique(s) concerné(s) par le sujet : 1) Les écosystèmes littoraux et côtiers sensibles métropolitains (Archipel de Chausey, Rade de Brest) 2) Territoires d'outre-mer (Archipel de Saint-Pierre et Miquelon-Subarctique) 3) Golfe du Saint-Laurent.

Description du projet de thèse

- **Contexte** (scientifique, sociétal, genèse du projet et du co-portage interdisciplinaire)

Le projet **ENTENDRE** (*comportements individuel collectif de l'araignée et Du bateau canadien*) porte de façon pionnière sur le couplage de méthodes de télémétrie acoustique, de modélisation des mouvements individuels et collectifs ainsi que d'acoustiques passive et active pour estimer les impacts des bruits anthropiques sous-marins sur les comportements et migrations de grands crustacés marins vagiles des zones tempérées à subarctiques (araignées de mer en Bretagne, crabe commun du Golfe du St Laurent incluant l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon...). Il est rédigé dans le contexte d'un développement croissant du transport maritime dont le bruit associé constitue une pollution émergente. Il associe les outils des sciences de l'ingénieur des sciences de la mer ou du comportement animal et ceux numériques développés pour la caractérisation et modélisation des trajectoires de piétons. Les sons qui se propagent au sein du milieu marin sont ici considérés et compris par notre groupe d'écologie acoustique marine comme des variables environnementales majeures influençant l'écologie des animaux marins et des écosystèmes côtiers. Le rôle des sons dans l'Océan est reconnu sur le plan international pour sa valeur écologique, mais notre compréhension des paysages sonores océanographiques, incluant géophonie, biophonie et anthropophonie¹ et notamment leurs liens avec le fonctionnement des écosystèmes, reste toutefois parcellaire. Par ailleurs, le bruit associé à la navigation a doublé depuis la dernière décennie dans certaines zones de l'océan mondial, essentiellement en raison du nombre croissant de navires commerciaux². En 2017, la Conférence des Parties à la Convention sur la conservation des espèces migratrices (Nations Unies) a reconnu le bruit anthropogénique marin à la fois comme source de pollution émergente et comme la moins bien connue, menaçant la conservation et le bien-être des espèces marines. Les bateaux génèrent des bruits de basse fréquence (de 5 Hz à 10 kHz) pouvant atteindre 190 dB re 1µPa à 1 m (équivalent d'une explosion dans l'air), qui se propagent sur de longues distances et affectent les organismes exposés en masquant les signaux biologiques pertinents et/ou en les endommageant^{3,4}. De multiples études ont démontré les effets négatifs du bruit sur les mammifères marins et poissons, mais les effets sur les invertébrés marins benthiques restent largement inconnus, bien qu'ils soient perçoivent les sons par l'intermédiaire de statocystes (récepteurs sensoriels de l'équilibre), d'organes sensoriels abdominaux (mollusques) et de cils sensoriels^{5,6}. Les grands crustacés sonifères utilisent la biophonie dans des séquences comportementales (alimentation⁷, combats, communication⁸) et les passages de bateaux ont un effet de masquage sur les sons émis lors des interactions

agonistiques⁹. En Bretagne, ils représentent 24-37% de la diversité benthique¹⁰ et sont connus, en particulier pour les décapodes marcheurs, comme espèces clés pour le développement, le fonctionnement et la durabilité de l'environnement côtier. Les décapodes sont des espèces très mobiles et actives présentant plusieurs schémas comportementaux complexes. Les mouvements sont observés aussi bien à petite (<100m) qu'à grande échelle (>10km)¹¹. Les déplacements quotidiens se font principalement à l'intérieur du domaine vital de l'espèce ('*Home range*') pour rechercher des proies, échapper aux prédateurs et interagir entre individus¹². Plusieurs espèces adoptent un comportement de '*homing*', avec une cachette principale sûre d'où des excursions temporaires de quelques dizaines de mètres par heure¹³ se réalisent pour l'alimentation selon un rythme saisonnier¹⁴. Pour étudier ces patrons de migrations et comportements associés, les progrès récents de la biotéléométrie^{14,15} et des capteurs de mouvements (accéléromètres^{15,17}, valvomètres¹⁶) autorisent cette caractérisation dans les aires de répartition en couplage avec l'environnement¹⁸, les trajectoires locomotrices¹⁹ et les schémas comportementaux. C'est dans ce cadre '*instrumenté*', que l'analyse de trajectoires complexes et celle des signaux issus de capteurs aptes à fournir des bases de données extrêmement volumineuses, nécessitent des traitements numériques actuellement non maîtrisés par la communauté des écologistes marins. Ces outils informatiques et mathématiques du traitement numérique sont par contre utilisés en routine afin de décrire les mouvements et comportements humains en interaction avec leur environnement. Dans ce contexte scientifique, nous proposons ce projet France-Québec testant l'hypothèse que les déplacements de crabes des zones tempérées (*Maja brachydactyla* = l'araignée de mer) ou subarctiques (*Cancer irroratus* = un tourteau) sont impactés par les bruits sous-marins associés au trafic maritime incluant les navires professionnels et de plaisance car les détections sonores des grands crustacés rentrent dans les mêmes fréquences que celles générées par l'anthropophonie (< 500 Hz)⁶⁻⁸. ENTENDRE offre une approche transdisciplinaire multi-échelles puisqu'il se propose d'appliquer les méthodes numériques d'analyses de trajectoires locomotrices et de traitement de signaux (accéléro-/valvométrie) à des données biologiques originales, celles-ci étant récoltées en bassin expérimental (Écloserie du Tinduff, station aquicole de l'ISMER-UQAR) et *in situ* (archipel de Chausey et Rimouski) par une équipe d'écologistes marins lorsque la variable environnementale considérée est le bruit du trafic maritime décrit par géographes et acousticiens.

- **Objectifs**

L'originalité de cette thèse d'écologie marine est de mêler étroitement les disciplines qui classiquement n'interagissent pas entre elles. Le but avoué est de répondre à l'une des questions récurrentes d'un enjeu

sociétal actuel associé à une pollution marine émergente, l'anthropophonie maritime : quels sont les impacts des bruits de bateau sur les invertébrés marins d'intérêt commercial ? Ce travail de thèse commencera par l'enregistrement et la caractérisation des sons sous-marins provenant des navires professionnels et de plaisance dans les eaux des archipels de Chausey et du Saint-Laurent. Ce travail descriptif associera des méthodes d'acoustique passive à celles d'analyse géographique. Puis, des approches expérimentales *in aquaria* et *in situ*, incluant l'utilisation de capteurs à haute fréquence de mouvements et de trajectoires, produiront des données dont le traitement numérique sera supervisé par des spécialistes du traitement du signal et ceux de la mesure, l'analyse et la modélisation du comportement du piéton et des foules en condition de laboratoire et *in situ*. Enfin cette thèse propose une approche de modélisation des mouvements dans une perspective migratoire-bruit pour : 1) Déterminer en conditions expérimentales les principales séquences comportementales, les modalités d'occupation de l'espace et les interactions intraspécifiques des araignées de mer et crabes communs en l'absence de son selon un rythme saisonnier (différences thermiques et pré- et post-ponte), jour-nuit ; 2) Estimer les bruits de navigation (chalutier, traversier et navire de plaisance) et leurs impacts sur les patrons comportementaux et déplacements des crustacés ; 3) Vérifier *in situ* et à plus large d'échelle d'espace les migrations des crabes en relation avec les proies potentielles (zones mytilicoles) sur la base du calibrage en expérimental.

- **Méthodes, originalité et innovation(s)**

ENTENDRE s'appuie sur l'expertise développée dans le cadre du projet Auditif (ANR/FRQ, ANR-19-FQSM-0005, fin été 2024), dans lequel nous avons étudié les impacts des sons de cargo sur les dynamiques d'ouverture/fermeture valvaire, sans accéléromètres, de pétoncles géants (*Placopecten magellanicus*) et de la moule bleue (*Mytilus edulis*) dans le Saint-Laurent utilisant des détecteurs numériques développés par le Gipsa-Lab la coquille St Jacques *Pecten maximus*¹⁶⁻¹⁷. Ici, nous proposons de repousser les frontières de l'état de l'art en équipant des crabes de capteurs de valvométrie/accélérométrie afin d'enregistrer les mouvements à fine échelle (2 Hz) et sur l'année pour déterminer précisément les réactions comportementales des crabes exposés à des bruits de bateau⁹. Le verrou ici est d'adapter ces outils mathématiques aux modèles *M. brachydactyla* et *C. irroratus* et aux données d'accélérométrie. Dans des bassins de 100 m² (Écloserie du Tinduff et Station aquicole), nous estimerons les effets de bruits de trafic maritime par l'utilisation de l'émission sonore sous-marine active que nous maîtrisons²¹. Les réponses des organismes ciblés à ces stimulations seront étudiées selon une démarche écoéthophysologique

(changement des séquences comportementales et trajectoires fonction de l'état physiologique pré et post-ponte). Selon le succès d'une demande de financement soumise ce printemps à l'Agence de l'Eau Seine Normandie nous déploierons à l'est de l'archipel de Chausey un réseau de balises VEMCO sur la base de ceux que nous avons déployés à plusieurs reprises dans le St Laurent avec nos collègues Québécois^{22,23}. Une trentaine d'araignées de mer seront équipées lors de leur arrivée sur le site (printemps 2026). Un système similaire sera déployé dans le Saint-Laurent avec des crabes communs dans le cadre d'un financement CRSNG AUDITIF 2 (cf. conditions de thèse). Avec ENTENDRE, nous souhaitons étendre l'analyse d'impact de l'environnement sonore sur le comportement des animaux suivis dans une direction originale. Nous impliquons l'expertise interdisciplinaires des sciences du numérique dans la modélisation et la simulation des mouvements collectifs²⁴. Notre objectif est de transposer l'expertise sur la modélisation du comportement collectif humain vers celui des grands crustacés, dont la connaissance des interactions inter-individuelles reste parcellaire. Notre approche, à l'instar de nos travaux récents sur le déplacement piéton²⁵, consistera à identifier les motifs qui émergent des interactions locales entre individus suivi. Le caractère innovant est d'adopter des métriques de détection de motifs qui impliquent, par exemple, les distributions de distances interpersonnelles, les corrélations entre les trajectoires observées, ou encore la caractérisation des groupes (=clusters) formés par les animaux²⁶⁻²⁸.

- **Calendrier de la thèse**

1^{ère} année : État de l'art et enregistrement anthropophonie de Chausey, expérimentations en bassin sonifié sur *M. brachydactyla* (MB), traitement du signal et caractérisation des trajectoires et rédaction 1^{er} papier ;
2^{nde} année : expérimentations *in situ* a) printemps Chausey sur MB et b) Québec l'été sur *Cancer irroratus* (collaboration projet Auditif 2 CRSNG R. Tremblay), traitement numérique des données accélérométriques vidéo et Vemco ;
3^{ème} année : Utilisation données fréquentation, transport maritime, Traitement numérique, analyses statistiques, modèle de déplacement individu centré ; rédaction papiers 2 et 3, et mémoire de thèse

- **Références bibliographiques**

¹Bonnel J, Chauvaud S, Chauvaud L, Mars J, Mathias D et F Olivier (2022). Effets des sons anthropiques sur la faune marine. Cas des projets éoliens offshore. *Éditions Quae*. Expertise collective CNRS

²Jalkanen J, Johansson L, Andersson MH, Majamaki E et JA et Sigray P (2022). Underwater noise emissions from ships during 2014-2020. *Environ. Pollut.* 311, 1197766.

³Duarte CM et al. (2021). The soundscape of the Anthropocene Ocean. *Science* 371, eaba4658.

⁴Hawkins AD et Popper AN (2017). A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES J. Mar. Sci.* 74, 635–651.

⁵Solé M et al. (2023). Marine Invertebrates and Noise. *Front. Mar. Sci.* 10:1129057.

- ⁶Jézéquel Y, Jones IT, Bonnel J, Chauvaud L, Atema J et TA Mooney, (2021). Sound detection by the American lobster (*Homarus americanus*). *J. Exp. Biol.*, 224: jeb240747.
- ⁷Coquereau L, Grall J, Chauvaud L et al. (2016). Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. *Mar. Biol.*, 163: 127.
- ⁸Jézéquel, Y, Coston-Guarini, J, Chauvaud L et Bonnel J (2020). Acoustic behaviour of male European lobsters (*Homarus gammarus*) during agonistic encounters. *J. Exp. Biol.*, 223(4), p.jeb211276.
- ⁹Jézéquel Y, Bonnel J et Chauvaud L (2021). Potential for acoustic masking due to shipping noise in the European lobster (*Homarus gammarus*). *Mar. Pollut. Bull.*, 173, p.112934.
- ¹⁰Toumi C, Gauthier O et al. (2023). Taxonomic surrogates for long-term macrobenthic community monitoring: an application with community trajectory analysis. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 714: 105-111.
- ¹¹Florko KR, Davidson ER, Lees KJ,... et McKindsey CW (2021). Tracking movements of decapod crustaceans: a review of a half-century of telemetry-based studies. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 679: 219-239.
- ¹²McMahan MD, et al. (2013). Using acoustic telemetry to observe the effects of a groundfish predator (Atlantic cod, *G. morhua*) ... American lobster (*H. americanus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 70: 1625-1634.
- ¹³Giacalone VM, Barausse A, Gristina M, et al. (2015). Diel activity and short-distance movement pattern of the European spiny lobster, *Palinurus elephas*, acoustically tracked. *Mar. Ecol.* 36: 389-399.
- ¹⁴Cote D et al. (2019). Characterizing snow crab (*Chionoecetes opilio*) movements... (Nova Scotia, Canada): a collaborative approach using multiscale acoustic telemetry. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 76: 334-346.
- ¹⁵Jolivet A, Chauvaud L, Thébault J, Robson AA, et al. (2015). Circadian behaviour of *Tectus (Trochus) niloticus* in the southwest Pacific inferred from accelerometry. *Mov. Ecol.*, 3: 1-12.
- ¹⁶Retailleau E, et al. (2023). The nocturnal life of the great scallops (*Pecten maximus*, L.): First description of their natural daily valve opening cycle. *PLoS ONE*, 18 (1), pp.e0279690.
- ¹⁷Reynaud S. (2021). TRaitements des Signaux Accélérométriques et Valvométriques (TRASAV): de l'instrumentation à la description (compréhension) d'un état biologique (écologique) via des méthodes de traitement du signal innovantes. Rapport ENSEEE Grenoble-inp.
- ¹⁸Killen SS, Marras S, Metcalfe NB, McKenzie DJ et Domenici P (2013). Environmental stressors alter relationships between physiology and behaviour. *Trends Ecol. Evol.*, 28: 651-658.
- ¹⁹Schlaff A, Menéndez P, Hall M, Heupel M, et al. (2020). Acoustic tracking of a large predatory marine gastropod, *Charonia tritonis*, on the Great Barrier Reef. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 642: 147-161.
- ²⁰Jézéquel Y, Cones S et Mooney TA (2023). Sound detection in the giant scallop (*Placopecten magellanicus*) is life stage, intensity and frequency dependent. *J. Acoust. Soc. Am.*, 153(2), pp.1130-1137
- ²¹Byrro-Gautier N, Uboldi T, Olivier F, Tremblay R, et al. in prep. Should I stay, or should I go: anthropogenic noises induce changes in seasonal patterns of early recruitment of subarctic invertebrates. *Ecol. Monogr.*
- ²²Lees KJ et al. (2023) Movement of American lobsters *Homarus americanus* and rock crabs *Cancer irroratus* around mussel farms in Malpeque Bay, Prince Edward Island, Canada. *Aqua. Env. Inter.*, 15: 179-193.
- ²³Uboldi T, ... Pettré J, Chauvaud L, Olivier F et Tremblay R, soumis. Daily and seasonal spatial behaviour of *Buccinum undatum* along the sub-arctic coastal system of the St. Lawrence Gulf. *Can. J. Zool.*
- ²⁴van Toll W, Pettré J (2021). Algorithms for Microscopic Crowd Simulation: Advancements in the 2010s. *Comput. Graph. Forum* 40:731-754.
- ²⁵Mullick P, ... Olivier AH, et al. (2022) Analysis of emergent patterns in crossing flows of pedestrians reveals an invariant of 'stripe' formation in human data. *PLoS Comput. Biol.* 18(6): e1010210.
- ²⁶Amirian J, Hayet JB et Pettré J (2019). Social ways: Learning multi-modal distributions of pedestrian trajectories with gans. In *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*
- ²⁷Jelić A, Appert-Rolland C, Lemerrier S et Pettré J (2022) Properties of pedestrians walking in line: Fundamental diagrams. *Phys. Rev. E* 85, 036111.
- ²⁸Olivier A-H, Marin A, Crétual A et Pettré J (2012). Minimal predicted distance: A common metric for collision avoidance during pairwise interactions between walkers, *Gait & Posture*, 36(3): 399-404.

Lien au PPR Océan et climat

ENTENDRE se propose clairement de caractériser un volet de l'exposome océanique (défi 5), ici le bruit, à ce jour quasiment jamais considéré comme un impact sur les espèces benthiques vagiles. Nous nous intéresserons également à la combinaison de deux facteurs (bruit + température) afin de placer ENTENDRE tant dans les préoccupations propres au défi 5 que celle du défi 4. Nous choisissons en effet des espèces d'intérêt commercial avec l'objectif d'intégrer les dimensions écologique, sociale et économique autour des ressources alimentaires marines dans un contexte de changement global. Notons que ce travail se place *pro parte* dans un Outre-mer original puisqu'il présente un environnement polaire subtidale et de la faune polaire à partir de 30 de fond (défi 2).

Conditions de la thèse

Cette thèse s'intègre dans le prolongement de recherches menées depuis plus de 10 ans entre scientifiques français et québécois au sein de l'*International Research Program* (IRL) BeBEST et du réseau d'excellence *Ressources Aquatiques Québec* (RAQ) qui environneront le Doctorat. Nous bénéficions ainsi d'un consortium consolidé par le programme AUDITIF (ANR/FRQ, ANR-19-FQSM-0005) qui se termine cet été 2024 et qui a permis d'identifier de nouvelles pistes de recherches sur les interactions bruits de trafic maritime, notamment de la plaisance, sur la dynamique des populations d'invertébrés marins vagiles. Notre groupe a tout récemment obtenu un financement CRSNG Alliance pour un volet subarctique/Golfe du St Laurent (*'Impact acoustique du trafic maritime sur des espèces modèles benthiques d'intérêt commercial'* AUDITIF 2, PI R. Tremblay Iser/Uqar, réf. 551578312, 600k\$ CAD sur 3 ans) qui permettra de couvrir les voyages et dépenses de l'étudiant à Rimouski sur le crabe tourteau. Pour le volet français, nous soumettons ce printemps une demande à l'agence de l'eau Seine Normandie pour environner les volets *Maja brachydactyla* et le terrain sur l'archipel de Chausey. Le coencadrement sera facilité par des réunions officielles de suivi (CSI de l'ED227) mais aussi de réunions bimensuelles entre les partenaires. A cet égard, les deux Directeurs de thèse ont déjà coencadré à ce jour plus de 33 Doctorats (cf. CV en Annexe). L'étudiant participera aux réunions annuelles du RAQ, aux workshops SERENADE et au minimum à une conférence internationale (The effect of Noise on Aquatic life Pragues 2025 ou 2027)

Annexes:

Curriculum Vitae des co-directeur.rices de la thèse (préciser le nombre de thèses encadrées en cours)

2 pages max par CV

OLIVIER Frédéric, BOREA - UMR 8067 MNHN/CNRS/SU/UA/IRD ; 61, rue Buffon 75005 Paris (France)
77 publications de rang A, 2 ouvrages ou chapitres d'ouvrages. h-index = 31, Nb total de citations = 2657 (Researchgate)
Encadrement et codirection de 12 thèses (+3 en cours), 1 post-doc et de ~30 Master 2/MSc et 8 Master 1

Cursus universitaire : 2013 : Qualifié aux fonctions de PRU – Section 67 -2012 : HDR ; 1997-1999 : Post-doctorat à l'Université Laval à Québec (Canada) ; 1993-1997 : Doctorat de l'Université de Rennes 1. Depuis décembre 2013 : Professeur du MNHN – INEE – Section 29 du Comité National. PR1 janvier 2022. Depuis 2006, Professeur associé à l'UQAR.

Thématiques de Recherche : Mots-clés : Fonctionnement des écosystèmes marins côtiers et bathyaux – Arctique et subarctique – Impacts anthropiques – Écologie larvaire – Couplage physique-biologie – écoéthologie expérimentale des invertébrés marins benthiques – écologie trophique. Modèles biologiques : bivalves, annélides polychètes

Aujourd'hui, je i) développe de nouveaux descripteurs de perturbations des écosystèmes benthiques en associant sciences de l'ingénieur (acoustique, traitement de signal et données de trajectoire) et écologie marine et ii) en couplant l'observation, l'écologie trophique, la scléro-chimie(-isotopie), la physiologie (métabolomique, lipides polaires...), j'estime les impacts des polluants émergents sur les organismes (adultes/larves/juvéniles) de systèmes polaires, tempérés et tropicaux. Enfin je suis un faunisticien qui développe depuis 10 ans des recherches en écologie acoustique.

Missions de terrain : plus de 100 missions de terrain en milieux côtiers tempéré (Golfe Normand-Breton, archipel de Chausey...). Depuis 2014, chef de mission de 6 campagnes d'échantillonnage au Young Sound (NE du Groenland, Daneborg) impliquant 3 à 5 participants pendant 2 à 3 semaines et participation à 3 missions sur le brise-glace Amundsen (2010, 2011 et 2015). Depuis 2019, chef de mission des campagnes dans l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon (2 à 5 participants pour 2 à 3 semaines). ~30 j./an de missions au Québec pour des campagnes de terrain ou d'expérimentation.

Art et Science : Depuis 10 ans je participe à un projet Art et Science basé sur des résidences d'artistes lors de missions au Québec (<https://sonars.io/>) et en Arctique (Jean Gaumy, agence Magnum Photo) aboutissant à des productions sonores et visuelles exposées et des performance live (cf. Festival Sonars 15-16/12/23, atelier final Auditif 12/02/2024, Rimouski).

Projets : 2020-2024 AUDITIF (*Impacts acoustiques du trafic maritime sur les moules et pectinidae du Golfe du Saint-Laurent*, PI avec le Pr R. Tremblay (UQAR), financements ANR-FRQ >800k€). Les expérimentations *in situ* ont été réalisées à Saint-Pierre et Miquelon (SPM) et celles au laboratoire à la station Aquicole (UQAR/ISMER Rimouski). 2024-2027 Projet CRSNG Alliance (600 k\$ CAD, participant avec UQAR, UQAM, MPO...) 'Impact acoustique du trafic maritime sur des espèces modèles benthiques d'intérêt commercial'. 2023 Projet Lambda (*Long-term (25 years) dynamics of Arctic Marine Benthos in a high latitude fjord under climate wArming*. 15 k€). 2018-2021 projet IMPAIC (IMPacts Acoustiques sur les Invertébrés de la baie de Saint-Brieuc, 500k€ ; responsable du volet Écologie larvaire). Convention de recherche CNRS / Ailes Marines (PI L. Chauvaud)). 2023-2026 SEAMAP (BPI France 2030, part. ; PI L. Chauvaud). Web : <https://borea.mnhn.fr/fr/users/frédéric-olivier>; https://w3.researchgate.net/profile/Frederic_Olivier.

Publications en lien avec le projet (PI en gras et étudiants soulignés) :

- Beauclercq S., Veillard D., Ghafari N., Arnold A.A., Genard B., Sleno L., **Olivier F.**, Warschawski D. E., Marcotte I. et Tremblay R. soumis 29/04/2024. Shipping noise impacts the metabolome of post-larval mussels. *Nature Sustainability*
 - Uboldi T., MacGregor K., Lavoie M.-F., McKindsey C., Pettré J., Chauvaud L., **Olivier F.** et Tremblay R., soumis 04/24. Daily and seasonal spatial behaviour of *Buccinum undatum* along the sub-arctic coastal system of the St. Lawrence Gulf. *Can. J. Zool.*
 - Gigot M., **Olivier F.**, Bonnel J., Meziane T., Mathias D. et Chauvaud L., en révision 04/24. Maternal effects of pile driving sound on *Pecten maximus* (L., 1758) first stages development". *Mar. Poll. Bull.*
- Albert L., **Olivier F.**, Jolivet A., Chauvaud L. et Chauvaud S., (2023). Effects of anthropogenic magnetic fields on the behavior of a major predator of the intertidal and subtidal zones, the velvet crab *Necora puber*. *Mar. Environ. Res.* 190: 106106.

2. Gigot M., Tremblay R., Bonnel J., Chauvaud L. et **Olivier F.** (2023). Physiological condition of the warty venus (*Venus verrucosa*, L., 1758) larvae modulates response to pile driving and drilling underwater sounds. *Front. mar. sci.* 10: 1117431.
3. Aspirault A., Winkler G., Jolivet A., Audet C., Chauvaud L., **Olivier F.** et Tremblay R. (2023). Impact of vessel noise on feeding behaviour and growth of zooplanktonic species. *Front. mar. sci.* 10:3389.
4. Gigot M., **Olivier F.**, Bonnel J., Meziane T., Mathias D. et Chauvaud L. (2023). Pile driving and drilling underwater sounds impact the metamorphosis dynamics of *Pecten maximus* (L., 1758) larvae. *Mar. Poll. Bull.* 191: 114969.
5. Cervello G., **Olivier F.**, Chauvaud L., Winkler G., Mathias D., ... et Tremblay R. (2023). Impact of human made-noise (pile driving, drilling and vessels sounds) on model species involved in the development of marine biofilms". *Front. mar. sci.* 10: 1111505.
7. Solé M., Kaifu K., Mooney T. A., Nedelec S. L., **Olivier F.**, Radford A. N., ...Hawkins A., de Soto N. A., Akamatsu T., Chauvaud L., Day R. D., Fitzgibbon Q., McCauley R. D. et André M. (2023). Marine Invertebrates and Noise. *Front. mar. sci.* 10:1129057.
8. **Olivier F.**, Gigot M., Mathias D., Bonnel J., Jezequel Y., Meziane T et Chauvaud L. (2023). Assessing the impacts of anthropogenic sounds on early stages of benthic invertebrates: the Larvosonic system". *Limnol. Oceanogr. Methods.* 21: 53-68.
9. Albert L., **Olivier F.**, Jolivet A., Chauvaud L., et Chauvaud S., (2022). Insights into the behavioural responses of juvenile thornback ray *Raja clavata* to alternating and direct current magnetic fields". *J. Fish Biol.* 100 (3): 645-659.
10. Gendron G., Tremblay R., Jolivet A., **Olivier F.**, Chauvaud L., Winkler G., Audet C. (2020). Effect of anthropogenic boat noise on the feeding behaviour of winter flounder larvae (*Pseudopleuronectes americanus*)". *Environ. Biol. Fishes.* 103:1079-1090.

Thèses de doctorat soutenues et en cours (12 + 3 en cours en codirection) :

1. **DIJAN Valentin**, 10/2023 'De l'écorégionalisation pélagique du subantarctique Indien aux Aires Marines Protégées en haute mer ». Doctorat MNHN, Paris. Dir. P. Koubbi (SU, 70%), codir. Dr F. Olivier (30%).
2. **VILAIN Marion**, souten. 12/2024 'Dynamiques spatio-temporelles et habitats des communautés zooplanctoniques : caractérisation de l'état écologique des écosystèmes pélagiques français'. Doctorat MNHN, Paris. Dir. F. Olivier (50%), codir. E. Goberville (50%).
3. **VEILLARD Delphine**, soutenance prévue début 2025 'The impact of vessel noise on the early recruitment of benthic invertebrates in a high latitude coastal environment'. PhD UQAR/ISMER. Dir. R. Tremblay et F. Olivier (50%).
4. **GIGOT Mathilde** (2022) - « Caractérisation des réponses comportementales et physiologiques de l'impact acoustique sur des invertébrés marins ». PhD UBO, IUEM Brest, Dir. L. Chauvaud (CNRS), codir. J. Bonnel (33%), F. Olivier (33%).
5. **ALBERT Luana** (2022) 'Développement de méthodes de suivis des impacts des champs électromagnétiques...câbles sous-marins sur la faune marine'. PhD UBO, Brest. Dir. L. Chauvaud, codir. S. Chauvaud (25%), F. Olivier (25%), A. Jolivet (25%).
6. **BRIDIER Guillaume** (2020) 'Comparaison du fonctionnement des écosystèmes benthiques arctiques ... contexte de changement global : Groenland et St Pierre et Miquelon'. PhD UBO (IUEM Brest). Dir. L. Chauvaud, codir. F. Olivier (33%) et J. Grall (33%).
7. **FORET Martin**, (2018) 'Les migrations secondaires des recrues de bivalves : Approche éco-étho-physiologique'. Doctorat co-tutelle UQAR/ISMER et MNHN, Paris. Dir. F. Olivier (50%) et R. Tremblay (50%)
8. **SONIER Rémi**, (2017) 'Rôle nutritionnel du picophytoplancton dans les baies conchylicoles'. PhD UQAR. Dir. R. Tremblay, co-direction L. Comeau, F. Olivier (25%), T. Meziane.
9. **DE CESARE Silvia**, (2016) 'Les bivalves filtreurs *Astarte moerchi* : modèle biologique pour l'étude des écosystèmes marins arctiques'. Doctorat MNHN/ENS, Paris. Dir. F. Olivier (100%)
10. **BARBIER Pierrick**, (2016) 'Déterminisme du recrutement des bivalves sous contraintes environnementales et anthropiques'. Doctorat MNHN. Dir. Dr. F. Olivier (50%), codir. T. Meziane (50%)
11. **GAILLARD Blandine**, (2015) 'Utilisation des bivalves filtreurs pour le suivi du couplage pélagico-benthique en Arctique'. PhD UQAR. Dir. Dr. R. Tremblay (33%), codir. P. Archambault (33%), F. Olivier (33%).
12. **TOUPOINT Nicolas**, (2012) 'Compréhension des mécanismes assurant le succès de l'approvisionnement en naissain de moule de qualité dans le bassin du Havre-Aubert, Québec, Canada'. PhD UQAR. Dir. R.Tremblay (UQAR) (30%), F. Olivier (30%).
13. **TRIGUI Jihane** (2009) 'Impact des facteurs environnementaux et anthropiques... et le fonctionnement des peuplements benthiques du golfe normano-breton'. Doctorat MNHN, Dinard. Dir. C. Retière (20%), codir. E. Thiébaud (40%), F. Olivier (40%).
14. **GODET Laurent**, (2008) 'Évaluer et hiérarchiser Patrimoine naturel intertidal et activités humaines de l'archipel de Chausey : quels enjeux de conservation ?'. Doctorat MNHN, Dinard. Dir. C. Retière (30%), codir. F. Olivier (30%).
15. **DUBOIS Stanislas**, (2003) 'Écologie des formations récifales à *Sabellaria alveolata* (L.) : valeur fonctionnelle et patrimoniale'. Doctorat MNHN, Dinard. Dir. C. Retière, codir. F. Olivier.

PETTRE Julien, Directeur de Recherche Inria, Responsable de l'équipe de Recherche VirtUs (6 permanents, 20~ jeunes chercheurs et ingés) / Inria - Centre de l'Université de Rennes 263, av. du Général Leclerc, 35043 Rennes

Thématiques de Recherche : Modélisation et Simulation de mouvements collectifs, Animation Graphique, Méthodes de planification de mouvements. Je m'intéresse à la modélisation des mouvements de foules depuis plus de 15 ans. Je me suis attaché à fonder mes approches sur des observations empiriques, et à valider les résultats de simulation sur la base de données de terrain ou des données expérimentales. Depuis plus de 10 ans, une originalité de mes recherches consiste à employer la réalité virtuelle pour l'acquisition de données sur le comportement dans les foules, dont la réalisation d'expériences sur les interactions locales dans les foules comprenant capture de mouvement et oculométrie, permettant de créer des jeux de données uniques et un positionnement scientifique original à l'échelle internationale.

Dissémination : 213 publications dont 99 dans des journaux internationaux avec comité de lecture et 68 dans des conférences internationales avec comité de lecture. Dans le domaine des sciences du numériques la publication dans des conférences internationale a vocation à accélérer la dissémination de nouveaux résultats et peut valoir publications dans un journal. Bibliométrie (Google Scholar): h-index = 40, Nb total de citations = 6000

Direction ou co-encadrement de 21 thèses (+4 en cours) :

La grande majorité des doctorants dirigés sont inscrits dans l'école doctorale MathSTIC qui autorise jusque 6 directions de thèse et une implication de 400% de taux de direction (idem pour nb de doctorants encadrés et taux d'encadrement).

1. Mme. C. FINET 2023-... (directeur de thèse),
2. M. J. MARTIN 2023-... (co-dirigée par L. HOYET, Inria),
3. Mme. Y. PATOTSKAYA 2022-... (co-dir. par L. HOYET, Inria),
4. M. A. JENSEN 2022-... (co-dir. par C. PONTONNIER, ENS Rennes),
5. M. T. YIN 2020-24 (co-dir. par M.-P. CANI, École Polytechnique),
6. M. V. ABICHEQUER 2020-22 (co-dir. par C. O'SULLIVAN, Trinity Coll. Dublin),
7. M. T. CHATAGNON 2020-23 (co-dir. par C. PONTONNIER, ENS Rennes),
8. M. A. KWIATKOWSKI 2020-23 (co-dir. par M.-P. CANI, École Polytechnique),
9. M. A. JOVANE 2019-23 (directeur de thèse),
10. Mme. A. COLAS 2019-22 (co-dir. par A.-H. OLIVIER, Université Rennes 2),
11. Mme. B. CABRERO 2018-22 (dirigée par J. BLAT, Univ Pompeu Fabra, Barcelone),
12. M. B. NIAY 2018-22 (dirigée par L. HOYET, Inria),
13. M. F. GRZESKOWIAK 2018-21 (co-dir. par M. BABEL, INSA Rennes).
14. M. J. AMIRIAN 2018-21 (directeur de thèse),
15. M. F. BERTON 2017-20. (directeur de thèse),
16. M. A. LOPEZ 2016-19 (co-dir. avec F. CHAUMETTE, Inria),
17. M. J. BRUNEAU 2013-16 (directeur de thèse),
18. M. D. WOLINSKI 2012-16 (directeur de thèse),
19. M. K. JORDAO 2012-15 (co-dir. par M.-P. CANI, École Polytechnique),
20. M. S. TONNEAU 2012-15 (dirigée par F. MULTON, Université de Rennes 2),
21. M. T. DUTRA 2012-15 (dirigée par C. VIDAL, U. Ceara, Brésil),
22. M. J. PERRINET 2011-15 (dirigée par S. DONIKIAN, CNRS),
23. M. S. LEMERCIER 2009-12 (dirigée par S. DONIKIAN, CNRS),
24. M. J. ONDREJ 2007-10 (dirigée par S. DONIKIAN, CNRS),
25. M. Y. ZHANG 2007-10 (dirigée par Q. PENG, Zhejiang University, China)

Encadrement de 8 post-docs et de ~10 M2/MSc :

1. M. P. MULLICK 2021-22. Poste : Prof. assistant à U. Warclaw, Pologne.

2. M. W. VAN TOLL 2019-21. Poste : Prof. assistant à U. Breda, Pays-Bas.
3. Mme. A. BOTTINELLI 2019. Poste : Editrice chez Springer, Londres, Roy.-Uni.
4. M. L. MEERHOFF 2016-17. Chercheur à Leiden Inst. of Adv. Computer Science.
5. M. P. CHARALAMBOUS 2014-16. Chercheur à CYENS, Cyprus.
6. M. R. MARQUES 2014-15. Poste : Prof. assistant à U. Barcelone, Espagne.
7. M. Y. LI 2011-13. Poste : Chercheur à Fraunhofer-Chalmers Centre, Suède.
8. Mme A.-H. OLIVIER 2009-11. Poste : Mdc à U. Rennes 2, France.

Projets de recherches :

- *Coordination*
 - o H2020 CrowdDNA, 2020-24. Consortium: Inria, U. Leeds (UK), UCL (UK), FZ Juelich (Germany), U. Ulm (Germany), U. J. Carlos Madrid (Spain), ONHYS SAS (France), Crowd Dynamics Int. Ltd. (UK).
 - o H2020 CrowdBot, 2018-22. Consortium: Inria, UCL (UK), RWTH (Germany), ETHZ (Switzerland), EPFL (Switzerland), Locomotec GmbH (Germany), Softbank Robotics (France)
 - o ANR CONTINT CHROME, 2012-15. Consortium: Inria, Golaem SAS, Archivideo SAS
 - o ANR JCJC PERCOLATION, 2013-17. Financement individuel.
 - o FP5 MSCA IEF RAGA, 2005-06. Financement individuel.
- *Responsabilité au titre d'Inria en tant que partenaire de projets collaboratifs*
 - o H2020 MSCA ITN CLIPE, 2020-24. Consortium: U. Cyprus, UCL (U.K.), TCD (IQ), UPC (SP), MPI (DE), EPX (FR), Inria (FR), KTH (SW)
 - o H2020 ICT PRESENT, 2019-22. Consortium: U. Pompeu Fabra, Framestore (U.K.), Epic (U.K.), Inforcert (IT), Brainstorm (ES), Inria (FR), CREW (BE), U. Augsburg (DE).
 - o FP7 FET Open TANGO, 2010-13. Consortium: U. Tilburg (NL), MPI (DE), U. Sapienza (IT), Inria (FR), U. Tubingen (DE), Sc. Inst. Weizmann (IS).
 - o ANR OPMOPS, 2017-20. Consortium: U. Haute Alsace, Gendarmerie Nationale, Inria, ONHYS.

Publications en lien avec le projet (PI indiqué en gras) : J'ai sélectionné ci-dessous des exemples de travaux impliquant modélisation de comportement collectifs, travaux sur des jeux de données, liens avec la biologie, méthodologies pour l'acquisition de données, identification de motifs dans les déplacements collectifs.

1. Toll W, Grzeskowiak F, Gandia AL, Amirian J, ... Daniel BC, Jovane A, **Pettré J** (2020). Generalized Microscopic Crowd Simulation using Costs in Velocity Space. In: *Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*.
2. Amirian J, Zhang B, Castro FV, Baldelomar JJ, Hayet J-B, **Pettré J** (2020). Opentraj: Assessing prediction complexity in human trajectories datasets. In: *Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision*. 2020.
3. Olivier F, [...], **Pettré J**, [...] (2020). Shells of the bivalve *Astarte moerchi* ... of a strong pelagic-benthic coupling shift occurring since the late 1970s in the North Water polynya. In: *Philos. Trans. R. Soc. A* 378.2181, p. 20190353.
4. Sundararaman R, De Almeida Braga C, Marchand E, **Pettré J** (2021). Tracking pedestrian heads in dense crowd". In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. pp. 3865–3875.
5. Toll W, **Pettré J**, (2021). Algorithms for Microscopic Crowd Simulation: Advancements in the 2010s". In: vol. 40. 2. Wiley Online Library. 2021, pp. 731–754.
6. Toll W, Chatagnon T, Braga C, Solenthaler B, Pettré J (2021). SPH crowds: Agent-based crowd simulation up to extreme densities using fluid dynamics. In: *Computers and Graphics* 98 pp. 306–321.
7. Mullick P, ... Olivier A-H, Warren WH, **Pettré J** (2022). Analysis of emergent patterns in crossing flows of pedestrians reveals an invariant of 'stripe' formation in human data. In: *PLOS Computational Biology* 18.6 (2022), e1010210.
8. Charalambous P, **Pettré J**, Vassiliades V, Chrysanthou Y, Pelechano N (2023). GREIL-Crowds: Crowd Simulation with Deep Reinforcement Learning and Examples. In: *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 42.4 pp. 1–15.