

## Fiche synthétique

Titre du sujet de thèse	Distribution spatio-temporelle multi-échelles des communautés faunistiques sur le champ hydrothermal Lucky Strike
PhD Title	Multi-scale spatio-temporal distribution of faunal communities on the Lucky Strike vent field
Directeur de thèse : Structure, laboratoire (Dép/unité/lab) :	Jozée Sarrazin (jozee.sarrazin@ifremer.fr) REM/EEP/LEP
Co-directeur de thèse : Structure, laboratoire (Dép/unité/lab) :	Marjolaine Matabos (marjolaine.matabos@ifremer.fr) REM/EEP/LEP
Laboratoire/unité d'accueil, localisation	EEP/LEP Brest
Employeur envisagé	Ifremer
Ecole doctorale de rattachement	EDSM
Co-financement envisagé	H2020 iAtlantic, financement 100%

### Résumé

Alors que les récents progrès technologiques appliqués à l'imagerie et à la mesure *in situ* de composés chimiques ont permis de mieux comprendre la distribution spatiale des communautés hydrothermales à l'échelle des édifices, notre connaissance de la dynamique naturelle de ces écosystèmes est encore partielle. Ce projet est basé sur l'étude du champ hydrothermal Lucky Strike (dorsale médio-Atlantique) localisé dans une aire marine protégée et suivi grâce à l'observatoire EMSO-Açores. Depuis 2010, cette approche permet un échantillonnage des composantes biologiques et environnementales ainsi que l'acquisition d'images haute-résolution. L'objectif de cette thèse est d'intégrer au sein d'une même étude les différentes échelles d'acquisition des données au sein du champ hydrothermal Lucky Strike afin de caractériser la dynamique temporelle (1) des sorties de fluides, des mattes microbiennes et de la faune périphérique à l'échelle du champ (1km<sup>2</sup>), (2) de la distribution des assemblages de faune à l'échelle d'un édifice (450 m<sup>2</sup>) et (3) de la distribution des espèces à micro-échelles (cm<sup>2</sup>) et ce, sur une échelle temporelle de presque 10 ans (2010-2020). Les facteurs environnementaux correspondant à chaque échelle seront mis en relation avec les changements observés. Les résultats nous permettront de valider l'hypothèse d'une forte stabilité interannuelle des sites. En effet, ces écosystèmes hydrothermaux étant de plus en plus ciblés pour l'exploitation de leurs ressources minérales, il devient urgent de recueillir des connaissances fondamentales sur la dynamique des communautés et des changements temporels du milieu afin de pouvoir évaluer les impacts potentiels des activités humaines et la capacité de résilience de ces communautés.

**Mots-clés :** Séries temporelles, observatoire des grands fonds, écosystème, distribution faunistique, cartographie des habitats, facteurs environnementaux, dorsale médio-Atlantique, multi-échelles, dynamique temporelle, imagerie sous-marine

## Summary

While recent technological improvements in imagery and *in situ* chemical analyzers largely improved our knowledge on the spatial distribution of vent faunal communities, our knowledge on vent ecosystem natural dynamics remains limited. This project will focus on the well-studied Lucky Strike vent field (Mid-Atlantic Ridge) which is part of a Marine Protected Area and monitored by the EMSO-Azores autonomous observatory. This site is visited every year as part of the maintenance cruises allowing for systematic surveys and sampling. The objective of this thesis is to integrate, within a single study, the different scales of biological and environmental data gathered in Lucky Strike to characterize the temporal dynamic of (1) fluid emissions, microbial mats and peripheral fauna at the scale of the vent field (1 km<sup>2</sup>), (2) spatial distribution of faunal assemblages at the scale of edifices (450 m<sup>2</sup>) and (3) species distribution at micro-scale (cm<sup>2</sup>) and this, on a decade scale (2010-2020). Environmental factors corresponding to each scale will be linked to the observed changes. We expect to observe a strong inter-annual variability at each site within the region. Indeed, hydrothermal vents represent new targets for deep-sea mining and the limited information on community dynamics and temporal change in these communities makes it difficult to anticipate the impact these activities may have and to identify potential recovery trajectories of the faunal communities.

**Key-words:** Time series, deep-sea observatory, ecosystem, faunal distribution, habitat mapping, environmental factors, mid-Atlantic ridge, multi-scales, dynamics, underwater imagery

## Profil de candidature souhaité

- Maîtrise en environnement, biologie marine ou écologie
- Connaissances en écologie des communautés
- Compétences en écologie numérique notamment en analyses spatiales et séries temporelles
- Forte capacité d'interactions

## Expected profile

- Master in environment, marine biology or ecology
- Knowledge in community ecology
- Skills in numerical ecology including spatial and time-series analyses
- Strong interactive skills

# Programme de recherche détaillé

## Contexte scientifique ou technologique

Les écosystèmes marins profonds dont le réseau trophique repose sur la chimiosynthèse microbienne sont des milieux extrêmes qui abritent des communautés animales complexes associant microorganismes producteurs et organismes consommateurs. Les assemblages de faune qui prospèrent dans les écosystèmes hydrothermaux colonisent, sur les substrats durs, d'étroits gradients de mélange entre eau de mer et fluide hydrothermal. Les organismes se maintiennent sur cette interface physico-chimique en fonction de leur capacité à résister à l'agressivité du milieu (anoxie, acidité, métaux lourds, sulfures, radioactivité, etc.)<sup>1,2</sup>, de leurs besoins trophiques<sup>3</sup> ainsi que des interactions biotiques<sup>4</sup> sans que l'on connaisse l'influence relative de ces différents facteurs et les mécanismes de contrôle. S'ajoute à cela, une contrainte temporelle puisque le milieu varie de façon significative au cours du temps en fonction des courants, des marées et de la turbulence locale. Enfin, la durée de vie des sites actifs est limitée. Les communautés biologiques dépendantes de l'émission des fluides réduits s'organisent donc à différentes échelles de temps et d'espace<sup>5-9</sup>.

Jusqu'à récemment, peu de données sur la variabilité temporelle des processus abiotiques du milieu hydrothermal étaient disponibles<sup>10</sup>, et par conséquent, leur influence sur la dynamique des assemblages de faune associée était peu étudiée. La mise en place d'observatoires fond de mer sur ces écosystèmes a permis d'importantes avancées concernant les échelles de variabilité et le rôle des facteurs environnementaux. Ainsi, depuis 2010, l'Ifremer a participé au développement et au maintien de deux observatoires en milieu hydrothermal : l'observatoire EMSO-Açores à 1700 m de fond sur la dorsale médio-Atlantique et la composante Endeavour du réseau d'observatoires d'Ocean Networks Canada par 2200 m de fond sur la dorsale Juan de Fuca (nord-est Pacifique). Les études récentes menées par nos équipes sur ces zones ont permis de mettre en évidence la relative stabilité des communautés hydrothermales, remettant en question l'idée générale d'une forte dynamique temporelle de ces écosystèmes<sup>11</sup>, idée qui est également débattue par d'autres équipes<sup>12,13</sup>. De plus, nos travaux ont permis de faire ressortir le rôle de la marée et des tempêtes de surface sur l'activité de certaines espèces hydrothermales<sup>14,15</sup> et d'observer le comportement des espèces mobiles et leur relation à l'environnement à petite échelle<sup>16</sup>. Plusieurs questions subsistent sur les variations temporelles des communautés, et l'influence de facteurs tels que les courants, en fonction des différentes échelles d'observation et c'est ce sur quoi cette thèse veut se focaliser.

### 1- Positionnement du sujet dans la stratégie du département et de l'institut

Ce sujet de thèse produira des connaissances fondamentales sur le fonctionnement des écosystèmes profonds permettant de mieux appréhender les processus qui les régissent et de comprendre les changements qui les affectent. Ces connaissances sont essentielles dans un contexte où les écosystèmes profonds, et en particulier les écosystèmes hydrothermaux, sont menacés d'exploitation. Il s'intègre dans deux des projets phare de l'Institut et du Département REM concernant (1) les ressources minérales avec notamment la gestion par l'Institut d'un permis sulfures sur la dorsale médio-Atlantique et (2) les observatoires fond de mer, dont la recherche est soutenue par l'EMSO-ERIC, le réseau ISBLUE, mais aussi dans le cadre des projets MERCES (H2020) et Ecoref (coll. Equinor). Ce sujet répond entièrement aux objectifs de l'ANR LuckyScale (2014-2019, coord. M. Cannat IPGP) et s'intègre dans l'évaluation du statut et de la dynamique des écosystèmes de l'Atlantique proposé dans le projet européen H2020 iAtlantic, et soutenu par l'institut, pour une meilleure gestion des ressources et des écosystèmes (réponse 2019).

### 2- Objectifs scientifiques du sujet

L'objectif global de cette thèse est d'intégrer, au sein d'une même étude, les différentes échelles d'acquisition des données au sein du champ hydrothermal Lucky Strike afin de caractériser la dynamique temporelle (1) des sorties de fluides, des mattes microbiennes et de la distribution de la faune périphérique à l'échelle du champ (1km<sup>2</sup>), (2) de la distribution des assemblages de faune à l'échelle d'un édifice (450 m<sup>2</sup>) et (3) de la distribution des espèces à micro-échelles (cm<sup>2</sup>) et ce, sur une échelle de 10 ans (2010-2020). Les facteurs environnementaux correspondant à chaque échelle seront mis en relation avec les changements observés. Comme les écosystèmes hydrothermaux sont de plus en plus ciblés pour l'exploitation de leurs ressources minérales, il devient urgent de recueillir des connaissances fondamentales sur la dynamique des communautés et les changements du milieu afin de pouvoir évaluer les impacts des activités humaines et le potentiel de résilience de ces communautés.

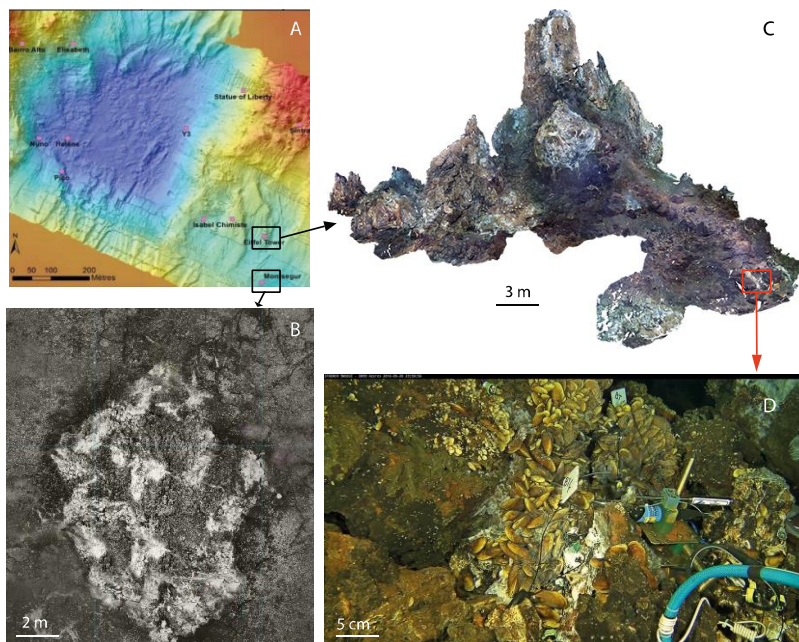
### 3- Approche(s) méthodologique(s)

Les approches méthodologiques mises en œuvre seront dépendantes de l'échelle visée.

- 1) A l'échelle du champ (1 km<sup>2</sup>, fig. 1A et 1B), l'utilisation des images haute résolution de la caméra OTUS acquises en 2017 et 2018 permettra d'effectuer une cartographie précise des sorties de fluides, des mattes microbiennes, de la

distribution des communautés hydrothermales et de la faune périphérique. La taille de ces « objets » sera définie et des liens avec la température des émissions diffuses/pôles chauds/sédiments périphérique, la chimie des fluides et les processus hydrodynamiques, seront établis.

- 2) A l'échelle de l'édifice (450 m<sup>2</sup>), les images vidéo acquises entre 2015 et 2018 sur Tour Eiffel ont permis la reconstruction 3D de l'édifice (fig. 1C) à l'échelle centimétrique permettant à la fois une estimation précise des surfaces de couverture des diverses communautés faunistiques mais aussi de caractériser la rugosité ou microtopographie locale. La cartographie des trois reconstructions et l'analyse des variations temporelles de distribution de la faune et des émissions sont en cours de traitement (post-doc F Girard, en cours). Ces premières analyses seront complétées avec des données nouvelles permettant d'étendre la durée de la série temporelle (campagnes Momarsat 2019, 2020). Trois structures additionnelles seront analysées. Des reconstructions 3D de l'édifice isolé Capelhiños ont déjà été effectuées en 2015 et 2018, et seront cartographiées et analysées. Deux autres structures du champ Lucky Strike seront également cartographiées (Y3, Cypress) grâce à des reconstitutions 3D qui seront réalisées en 2019 et 2020. Les liens entre distribution de faune et facteurs environnementaux tels que la température (sondes autonomes), la chimie (prélèvements et mesures *in situ*), les courants (courantomètres) et microtopographie, seront explorés. Ces données permettront de i) évaluer le rôle de la microtopographie et des courants sur la distribution locale de la faune, et ii) comparer les changements de distribution de la faune et des facteurs associés au cours du temps, et entre quatre édifices du champ caractérisés par des topographies et chimie contrastées.
- 3) A microéchelle (~1 m<sup>2</sup>, fig 1D), la distribution des différentes espèces sera étudiée grâce à l'analyse de 10 ans de vidéos quotidiennes (séquences journalières de 5' de 2010 à 2020) enregistrées grâce au module d'observation TEMPO connecté à l'observatoire EMSO-Açores. Les facteurs environnementaux sont également mesurés à l'échelle centimétrique, que ce soit par des chaînes bouton (chaînes de température autonomes déployées au sein de l'assemblage de modioles), des électrodes (H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, pH, T°C) ou des mesures chimiques *in situ*. L'intégration des données biologiques et environnementales permettront de i) caractériser les microenvironnements des espèces à l'échelle des individus, et ii) déterminer le rôle des interactions biotiques et des changements environnementaux sur la dynamique d'un assemblage de moules *Bathymodiolus azoricus* qui représente l'espèce ingénieure dominante de la région. Sur les 300 H de vidéos disponibles, environ 200 h ont déjà été analysées. Les données obtenues dans le cadre du projet de sciences participatives 'Espion des grands fonds' seront également disponibles.



C Figure 1. Exemple des différentes échelles spatiales. A. Bathymétrie du champ hydrothermal Lucky Strike. B. Exemple de photomosaïque sur l'exemple du site Montségur. C. Reconstruction 3D de l'édifice Tour Eiffel. D. Image acquies par la caméra vidéo du module d'observation TEMPO connecté à l'observatoire EMSO-Açores et qui enregistre des vidéos quotidiennes.

A chaque échelle, le lien entre l'environnement et la distribution de la faune sera visualisé grâce à des méthodes de cartographie, et analysé par des approches statistiques multivariées à la fois dans le temps et dans l'espace.

## Références

1. Tunnicliffe, V. *Oceanogr. Mar. Biol.* **29**, 319–407 (1991).
2. Vismann, B. *Ophelia* **34**, 1–27 (1991).
3. Levesque, C., Juniper, S. K. & Marcus, J. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **246**, 173–182 (2003).
4. Mullineaux, L. S., Peterson, C. H., Micheli, F. & Mills, S. W. *Ecol. Monogr.* **73**, 523–542 (2003).
5. Sarrazin, J., Robigou, V., Juniper, S. & Delaney, J. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **153**, 5–24 (1997).
6. Sarrazin, J. & Juniper, S. *Marine Ecology Progress Series* **185**, 1–19 (1999).
7. Shank, T. M. *et al.* *TDeep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* **45**, 465–515 (1998).
8. Desbruyères, D. *et al.* *Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* **48**, 1325–1346 (2001).
9. Sarradin, P. *et al.* *Sci. Total Environ.* **407**, 869–878 (2009).
10. Glover, A. G. *et al.* *Adv. Mar. Biol.* **58**, 1–95 (2010).
11. Cuvelier, D. *et al.* *Limnol. Oceanogr.* **56**, 1624–1640 (2011).
12. Sen, A. *et al.* *Limnol. Oceanogr.* **59**, 1510–1528 (2014).
13. Du Preez, C. & Fisher, C. R. *Front. Mar. Sci.* **5**, 1–10 (2018).
14. Cuvelier, D., Legendre, P., Laës-Huon, A., Sarradin, P. M. & Sarrazin, J. *Biogeosciences* **14**, 2955–2977 (2017).
15. Lelièvre, Y. *et al.* *A Proc. R. Soc. London B Biol. Sci.* **284**, (2017).
16. Matabos, M. *et al.* *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* **121**, 146–158 (2015).

## 4- Moyens mis à disposition pour développer le projet (humains, technologiques...)

Au niveau humain, l'étudiant bénéficiera, au sein du LEP, d'un important support technique et logistique que ce soit pour l'analyse des échantillons biologiques, l'analyse d'images, la cartographie ou la préparation du matériel pour les campagnes. Environ 80% des données de la thèse sont disponibles : l'imposante base de données pluridisciplinaire acquise sur l'observatoire EMSO-Açores depuis 2010 (<http://www.emso-fr.org/fr/EMSO-Azores>) ainsi que les images enregistrées au cours des campagnes de maintenance constitueront le fondement de ce projet de thèse. De plus, l'analyse d'un certain nombre d'images et de reconstruction est déjà disponible. Deux campagnes (Momarsat 2019, 2020) nourriront également cette thèse de nouvelles données à toutes les échelles. Les méthodologies utilisées ont déjà été validées par des publications scientifiques. Si le temps imparti ne permet pas l'analyse de la totalité des données, le nombre de sites étudiés sera réduit à l'échelle de l'édifice.

## 5- Résultats attendus et valorisation

Alors que les études à petites échelles montrent de fortes variations temporelles aux échelles tidale et journalière, les observations de ces 20 dernières années suggèrent une importante stabilité interannuelle des sites. Dans un contexte où les sources sont convoitées pour leurs ressources, un attendu important est de briser le dogme selon lequel ces écosystèmes sont fortement instables dans le temps, et récupèrent facilement suite à une perturbation. Les résultats obtenus seront publiés dans des revues de rang A et seront présentés dans des congrès internationaux (Deep Sea Biology, Chemosynthetic-based ecosystems, etc.). Ils permettront une valorisation pluridisciplinaire des données acquises au sein de l'observatoire EMSO-Açores ainsi qu'au cours des campagnes Momarsat. Ce travail permettra d'établir un état zéro de l'écosystème de Lucky Strike et les cartes d'habitats et faunistiques réalisées pourront être transférées aux responsables politiques locaux afin d'aider à la gestion de l'aire marine protégée.

## 6- Originalité et caractère innovant des recherches

Ces recherches permettront d'acquérir des connaissances fondamentales sur la variabilité temporelle des processus abiotiques dans le milieu hydrothermal et sur leur influence sur la dynamique des assemblages de faune. Les résultats obtenus permettront de nourrir l'appui aux politiques publiques en matière de gestion de l'environnement marin et de ses ressources en développant notre capacité à renseigner d'éventuelles stratégies d'états de référence et de suivi d'impacts, par le biais des observatoires fond de mer. Le potentiel de ces technologies innovantes, développées au sein de l'Institut, pour le suivi temporel d'écosystèmes impactés, sera mis en valeur. L'imagerie est une technologie en plein essor pour l'étude du milieu marin, et a été définie comme prioritaire au niveau de l'Institut, ce travail profitera ainsi de la synergie qui se crée au sein du groupe.

## 7- Collaborations attendues

- T Barreyre, géophysicien, Université de Bergen (Norvège) : Température, circulation du fluide
- M Cannat, géophysicienne (IPGP) : Sondes autonomes de températures, courantomètre, cartographie
- V Chavagnac, géochimiste (GET Toulouse) : chimie des fluides chauds
- G Rouillet, physicien océanographe (LOPS UBO - IUEM) : modélisation courants, échelle du champ et des sites
- A Arnaubec, (Service Positionnement, Robotique, Acoustique et Optique, Toulon) : reconstruction 3D
- C Cathalot, géochimiste (Géosciences marines, Ifremer) : chimie de l'habitat
- A Laes, chimiste (Recherche et Développement Technologique, Ifremer) : chimie de l'habitat
- A. Colaço, écologiste (Université des Açores) : cartographie zones périphériques

## 8- Echancier prévisionnel (2019-2022)

Activité	Période
Exploration bibliographique	Oct 2019-Jan 2020
Echelle du champ : élaboration des cartographies d'habitats/communautés	
Echelle du champ : analyses statistiques, liens avec facteurs environnementaux	Fev 2020-Mai 2020
Campagne Momarsat 2020 (pas d'embarquement mais échantillonnage), rédaction article 1	Juin 2020-Sept 2020
Echelle de l'édifice : reconstruction 3D, cartographie de la faune, émissions	Oct 2020-Fev 2021
Echelle de l'édifice : analyses statistiques, liens avec facteurs environnementaux	Mars 2021-Mai 2021
Campagne Momarsat 2020 -embarquement	
Rédaction article 2	Juin 2021-Sept 2021
Microéchelle : analyses d'images, réalisation de "heat map"	Oct 2021-Fev 2022
Microéchelle : analyses statistiques, liens avec facteurs environnementaux	Mars 2022-Juin 2022
Rédaction article 3	
Rédaction et finalisation thèse	Juil 2022-Oct 2022

