

Proposition de sujet de thèse 2024

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr

*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé *: Impact des changements de régimes thermiques sur la phénologie des éponges

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail *: ERESKOVSKY Alexander, e-mail : aereskovsky@imbe.fr; PEREZ

Thierry, e-mail : thierry.perez@imbe.fr

Laboratoire *: IMBE, équipe NEMO

Tableau récapitulatif du sujet

| | |
|--|---|
| Candidat(e)(1) | |
| Nom - Prénom : | |
| Date de naissance : | |
| Licence (origine, années, mention) : | |
| Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y) | |
| MASTER (nom, université) | |
| Sujet de doctorat proposé* | Impact des changements de régimes thermiques sur la phénologie des éponges |
| Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)* | 1. ERESKOVSKY Alexander, directeur de recherche au CNRS, UMR 7263 IMBE HDR 2. PEREZ Thierry, directeur de recherche au CNRS, UMR 7263 IMBE HDR |
| Laboratoire* | IMBE |
| Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1) | AMiDEX international MARRIO Obtenu |

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : Impact des changements de régimes thermiques sur la phénologie des éponges

Descriptif* : L'augmentation de la température de l'eau résultant des changements climatiques actuels a conduit à plusieurs épisodes de mortalité massive affectant les habitats coralligènes du nord-ouest de la Méditerranée en 1997, 1999, 2003, 2006 et 2022 (Cerrano et al. 2000 ; Pérez et al. 2000 ; Romano et al. 2000 ; Coma et al. 2009 ; Gómez-Gras et al. 2021 ; Garrabou et al. 2022 ; Grenier et al. 2023). Ces événements ont eu de graves conséquences sur l'ensemble des écosystèmes benthiques. Les populations de nombreuses espèces différentes ont été considérablement réduites, parmi elles l'éponge de toilette *Spongia officinalis* en particulier a été particulièrement touchée.

Chez les invertébrés marins, de nombreux traits d'histoire de vie, y compris les étapes des cycles de reproduction sexuée, sont liés aux changements environnementaux saisonniers (Fromont 1999 ; Bates 2005 ; Ereskovsky 2000 ; Lawrence et Soame 2004 ; Ereskovsky et al. 2013, 2017). La chronologie des événements du cycle biologique est un bon bioindicateur en raison de sa sensibilité et de sa dépendance à plusieurs variables climatiques (Peñelas et al. 2004 ; Ereskovsky et al. 2013). Enfin et surtout, la résilience d'une population après des événements de mortalité massive dépend de ses capacités de reproduction et de dispersion. Néanmoins, les effets potentiels de températures plus élevées sur la reproduction des éponges dans le nord-ouest de la Méditerranée ont rarement été évalués. Compte tenu de la grande abondance et du rôle crucial des éponges dans les écosystèmes des fonds durs d'ici, il est important de connaître les détails et la dynamique saisonnière de leur cycle de vie.

La phénologie décrit une séquence d'événements morphologiques, physiologiques et reproductifs au cours du cycle

de vie, l'accent étant mis principalement sur leurs changements périodiques influencés par les variations climatiques saisonnières (Hughes 2000). Les événements phénologiques sont donc corrélés aux variables climatiques et comptent parmi les réponses des organismes aux changements environnementaux les plus documentées (Charmantier et al. 2008 ; Chmura et al. 2018 ; Liberman et al. 2022). La phénologie des invertébrés marins est fortement contrôlée par une série de facteurs environnementaux (Lawrence et Soame 2004 ; Mercier et Hamel 2010). La phénologie est ainsi un indicateur des effets du changement climatique, mais aussi un élément clé de l'adaptation des organismes aux changements climatiques.

L'étude de la phénologie des organismes marins a des liens directs avec les intérêts sociétaux et économiques, car elle ouvre la perspective d'une gestion plus efficace de la survie et de la productivité des écosystèmes. La phénologie des organismes revêt une importance croissante dans de nombreux domaines de la recherche fondamentale et appliquée.

Ce projet vise à étudier l'impact des fluctuations environnementales sur la phénologie des métazoaires dans les eaux marines côtières de la région marseillaise de la Méditerranée. Plusieurs espèces d'éponges seront étudiées. Ils sont bien complémentaires. Parmi ces espèces est une éponge emblématique : *Spongia officinalis* (Demospongiae) (l'éponge de toilette). Cette espèce est en effet des éléments majeurs des écosystèmes coralligènes associés à une forte biodiversité en Méditerranée (Grenier 2023). Il a également une valeur socio-économique importante, car elle est à la base d'une pêcherie de petit métier. Enfin, elle c'est l'espèce est la plus sensible et pour les effets des vagues de chaleur depuis plusieurs décennies (Pérez et al. 2000 ; Grenier et al. 2023).

Aplysina cavernicola (Demospongiae), espèces abondantes, peuplant les communautés rocheuses ; cette espèce présente un bon potentiel en pharmacologie car elle produit des composés bioactifs intéressants. *A. cavernicola* est très sensible au stress thermique. Cette espèce est ovipare qui investit peu d'énergie dans la reproduction et donc est moins affectée par les stress environnementaux, en tout cas au niveau de sa reproduction (Reverter et al. 2016).

Oscarella tuberculata (Homoscleromorpha) est une espèce abondante au sein des communautés rocheuses. Cette espèce est plus tolérante au stress thermique que *S. officinalis* et *A. cavernicola*. C'est une espèce vivipare. Nous avons une bonne connaissance de sa gamétogenèse, de son embryogenèse, de sa métamorphose et de son cycle reproductif (Ereskovsky et al. 2013).

L'éponge invasive *Paraleucilla magna* (Calcarea) est une espèce d'eau peu profonde. Nos observations préliminaires d'un cycle de vie de *P. magna* de la région marseillaise indiquent qu'il diffère significativement aussi de tous ceux décrits d'autres régions de Méditerranée (Adriatique, Costa Brava) et de Brazil. Nos observations montrés qu'un stress thermique n'a pas l'effet négatif sur la population de cette espèce de la région de Marseille. Cela est probablement dû au cycle de vie unique. Ceci sera étudié dans le cadre de ce projet.

Pour les espèces proposées, nous disposons de séries d'échantillons couvrant parfois plus de deux décennies. Dans ce contexte, les objectifs de cette étude sont :

- Mesurer l'impact de la température sur la phénologie de ces espèces, y compris la reproduction ;
- Étudier l'impact des fluctuations environnementales sur le niveau de stress et identifier les phases de le reproduction critiques pour la survie des éponges au niveau physiologique avec un focus particulier sur leur capacité à produire des défenses chimiques contre des pathogènes thermodépendants ;
- Mettre en lumière les changements phénologiques majeurs liés aux changements de régime thermique que la Méditerranée a connu au cours des dernières décennies ;
- Estimer l'impact des fluctuations environnementales sur la phénologie et la dynamique des espèces étudiées.

Pour se faire, on réunira des données sur les périodes de gamétogénèse et de développement embryonnaire, de fécondité et d'efforts reproductive et idéalement de succès de reproduction. La connaissance des périodes de plus grande sensibilité des organismes en réponse à la pression biotique (prédateurs, pathogènes, concurrents pour l'espace) est en effet nécessaire en écologie et épidémiologie marine. Ce projet impliquera une analyse statistique approfondie des données temporelles.

RÉSULTATS ATTENDUS

- Caractériser les cycles de vie de l'éponge de toilette *Spongia officinalis* sur une période de plus de 20 ans, et comparer avec deux autres espèces précédemment étudiées par les proposant : *Oscarella tuberculata*, *Aplysina cavernicola* et *Paraleucilla magna*. Mesurer les variations de l'effort de reproduction et de la fécondité dans différentes périodes de suivi dans les mêmes sites des zones côtières de la Méditerranée française ;
- Tester la relation entre les différentes étapes du cycle de reproduction de ces espèces (et entre les différentes périodes d'observation) et les fluctuations de température liées à différentes conditions écologiques ;
- Comparer les efforts de reproduction et la fécondité entre populations (différents régimes thermiques) et entre différentes années ;
- Tester l'impact des fluctuations environnementales sur la phénologie des métazoaires marins des eaux côtières de la région marseillaise comme les éponges avec une sensibilité différents au stress thermique.

MOYEN DE REALISATION

Ce travail sera effectué au moyen de techniques de microscopie optique et électronique (MET, MEB). Le doctorant

bénéficiera d'une bonne connaissance de la morphologie de différents stades de gamétogenèse, d'embryogenèse et des larves. La caractérisation du cycle de reproduction sera réalisée grâce à une série temporelle d'échantillons prélevés mensuellement aux trois périodes d'observation : d'octobre 2001 à fin 2003, de juin 2007 à octobre 2008 et de janvier 2017 à septembre 2018 sur les côtes provençales pour *S. officinalis*.

Approche métabolomique. Pour étudier l'impact des fluctuations environnementales sur un niveau physiologique et une capacité d'éponge à produire des défenses chimiques contre des pathogènes thermodépendants l'analyse métabolomique comparative d'éponges modèles à différents stades du cycle de reproduction et à différents états de stress thermique sera réalisée. Le profil des métabolites sera réalisé par spectrométrie de masse haute résolution (HR-MS) et résonance magnétique nucléaire (RMN). Les métabolites sélectionnés seront purifiés pour confirmer leur structure (MS et RMN), mais aussi pour développer progressivement une base de données interne d'étalons de référence pour les mesures quantitatives et les tests de médiation chimique.

Expériences en laboratoire : Des expériences *in vitro* seront menées afin d'observer et quantifier dans un premier temps la libération des larves des éponges et éventuellement leur recrutement. Ensuite, des expériences seront menées dans des systèmes semi-fermés d'aquariums pour évaluer le seuil de thermotolérance des larves de mêmes espèces collectées dans diverses conditions environnementales. La température dans le milieu expérimental sera surveillée à l'aide d'un thermographe enregistreur de données. Parmi les réponses biologiques étudiées après une augmentation de température, nous nous intéresserons particulièrement au changement de comportement, au temps de métamorphose et au succès du recrutement.

Analyse statistique : étant donné que les mesures qui seront effectuées sur le même site expérimental ont tendance à être corrélées les unes aux autres, un effort reproducteur et une fécondité seront analysés à l'aide de l'analyse de variance unidirectionnelle par mesures répétées (RM-ANOVA). Le test C de Cochran sera utilisé pour vérifier l'hypothèse d'homogénéité des variances et le test post hoc de Student-Newman-Keuls (SNK) sera utilisé pour des comparaisons multiples dans le temps et entre les espèces.

Références

- Bates WR. 2005. Environmental factors affecting reproduction and development in ascidians and other protochordates. *Can J Zool* 83:51–61
- Cerrano C, Bavestrello G, Bianchi CN, Cattaneovietti R, Bava S, et al. 2000. A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecol Lett* 3:284-293
- Charmantier A, McCleery RH, Cole LR, Perrins C, Kruuk LER, Sheldon BC. 2008. Adaptive Phenotypic Plasticity in Response to Climate Change in a Wild Bird Population. *Science* 320:800-803
- Chmura HE, Kharouba HM, Ashander J, Ehlman SM, Rivest EB, Yang LH. 2018. The Mechanisms of Phenology: The Patterns and Processes of Phenological Shifts. *Ecol Monogr* 89:e01337.
- Coma R, Ribes M, Serrano E, Jiménez E, Salat J, Pascual J. 2009. Global warming- enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *PNAS* 106(15):6176-6181
- Ereskovsky AV. 2000. Reproduction cycles and strategies of the cold-water sponges *Halisarca dujardini* (Demospongiae, Halisarcida), *Myxilla incrustans* and *Iophon piceus* (Demospongiae, Poecilosclerida) from the White Sea. *Biol Bull* 198:77-87.
- Ereskovsky AV, Dubios M, Ivanisevic J, Gazave E, Lapebie P, Tokina D, Pérez T. 2013. Pluri-annual study of the reproduction of two Mediterranean *Oscarella* species (Porifera, Homoscleromorpha): cycle, sex-ratio, reproductive effort and phenology. *Mar Biol* 160:423-438
- Ereskovsky AV, Geronimo A, Pérez T. 2017. Asexual and puzzling sexual reproduction of the Mediterranean sponge *Haliclona fulva* (Demospongiae): life cycle and cytological structures. *Invert. Biol.* 136(4): 403–421
- Fromont J. 1999. Reproduction of some demosponges in a temperate Australian shallow water habitat. *Mem Queens Mus*, 44:185-192.
- Garrabou J, Gómez-Gras D, Medrano A, Cerrano C, Ponti M, Schlegel R, Bensoussan N. et al. 2022. Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Glob Change Biol* 28:5708-5725
- Grenier M. 2023. Systématique intégrative des éponges de bain (Demospongiae, Dictyoceratida, Spongiidae) et évaluation de leurs propriétés neuropharmacologiques. Integrative systematic of bath sponges (Demospongiae, Dictyoceratida, Spongiidae) and evaluation of their neuropharmacological properties. PhD these. Aix Marseille université.
- Grenier M, Idan T, Chevaldonné P, Pérez T. 2023. Mediterranean marine keystone species on the brink of extinction. *Glob Change Biol* 29(7):1681-1683.
- Gómez-Gras D., Cristina L., Maria D., Joshua S.M et al. 2021. Climate change transforms the functional identity of Mediterranean coralligenous assemblages. *Ecology Letters* (2021) 24: 1038–1051.
- Hughes L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol Evol* 15:56-61.
- Lawrence AJ, Soame JM. 2004. The effects of climate change on the reproduction of coastal invertebrates. *Ibis* 146:29-39.
- Lieberman R, Shlesinger T, Loya Y, Benayahu Y. 2022. Soft coral reproductive phenology along a depth gradient: Can “going deeper” provide a viable refuge? *Ecology* 103:e3760.
- Mercier A, Hamel JF. 2010. Synchronized Breeding Events in Sympatric Marine Invertebrates: Role of Behavior and Fine Temporal Windows in Maintaining Reproductive Isolation. *Beh Ecol Sociobiol* 64:1749-1765.
- Peñuelas J, Filella I, Zhang X, Llorens L, et al. 2004. Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes. *New Phytol* 161:837-846.
- Pérez T, Garrabou J, Sartoretto S, Harmelin JG, Francour P, Vacelet J. 2000. Mortalité massive d'invertébrés marins: un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. *C R Acad Sci Ser III Life Sci* 323:853-865.
- Reverter M., T. Pérez, A. V. Ereskovsky, B. Banaigs 2016. Secondary Metabolome Variability and Inducible Chemical Defenses in the Mediterranean Sponge *Aplysina cavernicola*. *J ChemEcol*. DOI 10.1007/s10886-015-0664-9
- Romano JC, Bensoussan N, Younes WAN, Arlhac D. 2000. Anomalie thermique dans les eaux du golfe de Marseille durant l'été 1999. Une explication partielle de la mortalité d'invertébrés fixés? *C R Acad Sci Paris* 32 :415-427

Détail du Programme finançant la recherche* : AMiDEX international MARRIO

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : ERESKOVSKY Alexander

Corps : directeur de recherche au CNRS

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale (IMBE) UMR n°7263 CNRS, Aix Marseille Université, IRD, Avignon Université, équipe Nature, Écologie, Marine et Océan (NEMO)

Adresse mail : ereskovsky@imbe.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

Aurelle, D., Thomas, S., Bally, M., Bondeau, A., Boudouresque, C.F., Cahill, A., Carlotti, F., Chenuil, A., Cramer, W., Davi, H., De jode, A., **Ereskovsky, A.**, et al. 2022. Biodiversity, climate change and adaptation in the Mediterranean. *Ecosphere*. 13:e3915. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3915> (IF: 3.171)

Rinkevich, B., Ballarin, L., Martinez, P., Somorjai, I., Ben-Hamo, O., Borisenko, I., Berezikov, E., **Ereskovsky, A.**, Gazave, E., Khnykin, D., et al. 2022. A pan-metazoan concept for adult stem cells: The wobbling Penrose landscape. *Biological Reviews*. 97: 299–325. doi: 10.1111/brv.12801 (IF: 12.82)

Ereskovsky AV, Geronimo A, Pérez T. 2017. Asexual and puzzling sexual reproduction of the Mediterranean sponge *Haliclona fulva* (Demospongiae): life cycle and cytological structures. *Invert. Biol.* 136(4): 403–421. DOI: [10.1111/ivb.12195](https://doi.org/10.1111/ivb.12195) (IF: 1.115)

Ostrovsky A.N., Lidgard S., Gordon D.P., Schwaha T., Genikhovich G., **Ereskovsky A.V.** 2016. Matrotrophy and placentation in invertebrates: a new paradigm. *Biol. Rev.* 91, (3): 673–711. doi: 10.1111/brv.12189 (IF: 12.82)

Ereskovsky, A.V., Dubois, M., Ivanisevic, J., Gazave, E., Lapebie, P., Tokina, D., Pérez, T. 2013. Pluri-annual study of the reproduction of two Mediterranean *Oscarella* species (Porifera, Homoscleromorpha): cycle, sex-ratio, reproductive effort and phenology *Mar. Biol.* 160: 423-438 (IF : 2.4).

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : VILSEN Curt

Type d'allocation : AMU

Date de début de l'allocation de doctorat : 01.10.2019

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 16.12.2022

Programme finançant la recherche : Plan National d'Action en faveur de l'apron

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Post doc

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement direction 100%

Nom : KUZNETSOV Petr

Type d'allocation : Campus France

Date de début de l'allocation de doctorat : 01.09.2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : bourse du Gouvernement français « Vernadski » gérée par Campus France

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction 50%

Autre directeur proposé (éventuellement)*

Nom - Prénom : PEREZ Thierry

Corps : DR CNRS

Adresse mail : thierry.perez@imbe.fr

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale (IMBE) UMR n°7263 CNRS, Aix Marseille Université, IRD, Avignon Université, équipe Nature, Écologie, Marine et Océan (NEMO)

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

Lavrov, D. V., Diaz, M. C., Maldonado, M., Morrow, C. C., **Perez, T.** et al. 2023. Phylomitogenomics bolsters the high-level classification of Demospongiae (phylum Porifera). *PLoS One*. 18 :12. e0287281 (IF : 3.7).

Grenier, M., Idan, T., Chevaldonne, P., **Perez, T.** 2023. Mediterranean marine keystone species on the brink of extinction. *Glob Chang Biol*. DOI : 10.1111/gcb.16597 (IF : 11.6).

Fourt M., Faget D., Dailianis T., Koutsoubas D., **Pérez T.** 2020. Past and present of a Mediterranean small-scale fishery : Greek sponge fishery, its resilience and sustainability. *Regional Environmental Change* 20 (1) <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01581-1> (IF: 4.2).

Reverter M., Tribalat M.A., **Perez T.**, Thomas O.P. 2018. Metabolome variability for two Mediterranean sponge species of the genus *Haliclona* : specificity, time, and space. *Metabolomics* doi.org/10.1007/s11306-018-1401-5. (IF : 4.6).

Cardenas P., Vacelet, J., Chevaldonne, E. P., **Perez T.**, Xavier, J. R. 2018. From marine caves to the deep sea, a new look at *Caminella* (Demospongiae, Geodiidae) in the Atlanto-Mediterranean region. *Zootaxa*. 4466 : 174-196. (IF : 0.9).

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : Grenier Marie

Intitulé : Taxonomie intégrative des Spongiidae et potentiels neuropharmacologiques

Type d'allocation : CIFRE

Date de début de l'allocation de doctorat : Mars 2020 ; Septembre 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : CIFRE

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Post doc

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction 50 %

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : Mauduit Morgane

Intitulé : Capture et concentration des exo-métabolites d'éponges : caractérisation chimique et valorisation éco-responsable de leurs propriétés biologiques

Type d'allocation : CNRS MITI

Date de début de l'allocation de doctorat : Septembre 2020 ; Décembre 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 15 décembre 2023

Programme finançant la recherche : ANR Sesam

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Post doc

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction 50 %

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : Derrien Marie

Intitulé : Médiation chimique en milieu marin, Une source inestimable de Services Ecosystémiques

Type d'allocation : ANR SESAM, contrat CNRS

Date de début de l'allocation de doctorat : Mai 2021 ; Septembre 2024

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : prévue décembre 2024

Programme finançant la recherche : ANR SESAM

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction 50 %

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : Flore Corallo

Intitulé : Métabolomes d'holobiontes marins : caractérisation et contribution des cellules spécialisées et du microbiome d'éponges

Type d'allocation : Bourse handicap MESR

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : Etudiante en arrêt maladie depuis 1.5 an

Programme finançant la recherche : ANR SESAM

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction 50 %