

# Sujet de thèse MOSTA

## EDSML 2019

### 1 Titre du sujet de thèse :

Modélisation spatio-temporelle des zones fonctionnelles halieutiques par combinaison des données de captures à échelle fine des navires de pêche et des navires de recherche halieutique.

Acronym : MOSTA

### 2 Unité de recherche et équipe d'accueil :

- **IFREMER Centre de Nantes EMH Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (équipe d'accueil)**
- IFREMER Centre de Bretagne STH Sciences et Techniques Halieutique
- Agrocampus-Ouest, Institut de recherche mathématique de Rennes, UMR CNRS 6625
- Agrocampus Ouest, Ecologie et Santé des Ecosystèmes, équipe Ecologie Halieutique, UMR 0985 ESE INRA

### 3 Encadrement et contacts pour les candidats qui souhaitent des informations :

#### Encadrants :

Dr. Youen Vermard

Dr. Mathieu Woillez

Dr. Marie-Pierre Etienne

Dr. Etienne Rivot (HDR)

#### Tél. :

02 40 37 41 69

02 29 00 85 65

02 23 48 58 74

02 23 48 59 34

### 4 Coordonnées dont email(s) de contact :

IFREMER Centre de Nantes, EMH, 44311 Cedex 03, Rue de l'Île d'Yeu, 44980 Nantes

#### Emails de contact :

[Youen.Vermard@ifremer.fr](mailto:Youen.Vermard@ifremer.fr)

### 5 Contexte, objectifs et intérêts scientifiques :

#### 5.1 Contexte

Dans le cadre des nouvelles politiques européennes, la conservation des zones fonctionnelles halieutiques d'importance est une préoccupation naissante des gestionnaires. Ces espaces jouent un rôle clé dans le cycle de vie des espèces halieutiques, parce qu'ils réunissent les conditions d'accomplissement de différentes fonctions biologiques : reproduction, alimentation, croissance, migration. Pour assurer la pérennité des espèces halieutiques et la bonne santé des écosystèmes marins, il est nécessaire de protéger

au bon moment ces espaces clés<sup>1,2</sup>. Cette préservation des habitats halieutiques essentiels dans la gestion durable des ressources marines exploitées s'est concrétisée par un ensemble d'engagements de l'état français et la création d'une nouvelle catégorie d'Aire Marine Protégée, dans le cadre de la loi Biodiversité (2016), appelée « zone de conservation halieutique (ZCH, décret du 19 avril 2017) ». La vocation de ces ZCH sera de préserver ou restaurer des zones fonctionnelles importantes pour le cycle de vie de ces ressources.

Classiquement, les zones fonctionnelles sont décrites à partir des données issues de campagnes scientifiques. Par exemple, des cartes ont été produites pour les frayères de sole<sup>3</sup> et d'anchois en Atlantique<sup>4</sup>, ou pour les distributions d'espèces<sup>5</sup>. Cependant les connaissances dont on dispose restent limitées pour la plupart des espèces d'intérêt halieutiques et leur résolution spatiale et temporelle ne permet pas de définir précisément les fenêtres spatio-temporelle clé pour l'accomplissement des grandes fonctions biologiques (reproduction, recrutement). En effet, les campagnes scientifiques sont réalisées le plus souvent à une fréquence annuelle pour estimer et cartographier l'abondance et la distribution spatiale des espèces halieutiques. La plupart des campagnes scientifiques sont des campagnes de chalutage de fond, ce qui limite les zones couvertes à certains types de fond (fonds sablo-vaseux). L'échantillonnage dans l'espace est peu dense du fait de l'étendue du domaine à échantillonner. Enfin, les campagnes ont une couverture temporelle très partielle, car elles n'ont lieu en général qu'une fois par an. Ces campagnes, ayant l'avantage d'être non biaisées car ne ciblant pas une espèce particulière et répondant à un échantillonnage prédéfini, ne permettent cependant pas de décrire la saisonnalité des distributions spatiales des espèces.

Le récent développement des systèmes de surveillance des navires par satellites (VMS) offre une nouvelle source de données complémentaire aux données de campagnes scientifiques et permettant de combler ce manque. Les données VMS consistent en des données de position, de temps (date et heure), de route et de vitesse enregistrées à intervalles réguliers<sup>6</sup> pour les navires professionnels de plus de 12 mètres de longueur (avec des projets d'équiper les bateaux plus petits très prochainement). Des méthodes de segmentation<sup>7</sup> permettent de déterminer les séquences de pêche le long des trajectoires. Il est alors possible d'affecter les captures à ces séquences de pêche<sup>8</sup>. On dispose ainsi de données de captures commerciales à haute résolution spatiale et temporelle.

Ifremer s'est investi depuis de nombreuses années sur des programmes d'observation à la mer et d'échantillonnage sous criée permettant de distribuer les captures sur un ensemble de classe de tailles commerciales. Ces programmes règlementaires maintenant routiniers, permettent de fournir, pour les principales flottilles et métiers les structures en tailles des captures par grande zone géographique et trimestre afin de réaliser les évaluations de stocks. Ces informations, couplées aux prélèvements biologiques, permettent de renseigner sur la taille et le stade de maturité des captures à différents moments de l'année. L'utilisation de ces données, couplées aux données de captures à haute résolution

---

<sup>1</sup> Frank, K.T., Brickman, D., 2001. Contemporary management issues confronting fisheries science. *J. Sea Res.* 45, 173–187.

<sup>2</sup> Smedbol, R.K., Stephenson, R., 2001. The importance of managing withinspecies diversity in cod and herring fisheries of the north-western Atlantic. *J. Fish Biol.* 59 (Suppl. A), 109–128.

<sup>3</sup> Petitgas, P. 1997. Sole egg distributions in space and time characterised by a geostatistical model and its estimation variance. – *ICES Journal of Marine Science*, 54: 213–225.

<sup>4</sup> Bellier E., Planque B., Petitgas P., 2007. Historical fluctuations in spawning location of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in the Bay of Biscay during 1967-73 and 2000-2004. – *Fisheries Oceanography*, 16(1), 1-15.

<sup>5</sup> Trenkel V. M., O. Berthelé, P. Lorance, J. A. Bertrand, A. Brind'Amour, M. L. Cochard, F. Coppin, J. P. Leauté, J. C. Mahé, J. Morin, M. J. Rochet, M. Salaun, A. Souplet & Y. Vérin, 2009. Grands invertébrés et poissons observés par les campagnes scientifiques. Atlas de distribution. Bilan 2008. Ifremer, Nantes. EMH : 09-003.

<sup>6</sup> Toutes les heures pour la France

<sup>7</sup> Vermard Y., Rivot E., Mahevas S., Marchal P., Gascuel D., 2010, Identifying fishing trip behaviour and estimating fishing effort from VMS data using bayesian hidden markov models. *Ecol.Modelling* 221, 1757–1769.

<sup>8</sup> Hintzen, Niels T., Francois Bastardie, Doug Beare, Gerjan J. Piet, Clara Ulrich, Nicolas Deporte, Josefine Egekvist, et Henrik Degel. « VMStools: Open-source software for the processing, analysis and visualisation of fisheries logbook and VMS data ». *Fisheries Research* 115-116 (1 mars 2012): 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.11.007>.

spatiale et temporelle permettrait d'inférer un champ latent pour la distribution spatio-temporelle de l'abondance par classe de taille de ces espèces.

Cependant, contrairement aux données de campagnes scientifiques dont le respect d'un plan d'échantillonnage réduit les biais d'échantillonnage, ces données issues des pêches commerciales sont biaisées. En effet, les pêches ont *a priori* lieu dans les zones les plus riches ou les plus rentables. Ce biais doit être corrigé dans l'optique d'utiliser ces données pour cartographier les zones fonctionnelles halieutiques. Une des solutions permettant de corriger ce biais étant de construire un modèle intégré combinant les données de captures commerciales, les données de campagnes scientifiques et la répartition préférentielle des coups de pêche.

## 5.2 Positionnement du sujet dans la stratégie d'Ifremer

Cette recherche apportera une meilleure compréhension des zones fonctionnelles et de la productivité des pêcheries dans le contexte d'une approche écosystémique des pêches. Il se positionne sur les problématiques de la conservation de la biodiversité et des services écosystémiques face au changement climatique et à l'exploitation. Ce doctorat s'inscrit donc dans une des priorités identifiées du département RBE et dans un des axes de recherche principaux des laboratoires EMH et STH, sur les scénarios de gestion écosystémique. En particulier, l'application des méthodes qui visent à étudier la dynamique et la cartographie spatio-temporelle offre une approche innovante qui permettra de prédire et valider les réponses écosystémiques obtenues à partir des scénarii futurs.

De manière plus globale, l'étude et la compréhension des zones fonctionnelles concourent à atteindre les objectifs généraux du domaine halieutique à l'IFREMER qui sont en grande partie orientés par le cadre institutionnel de la Politique Commune des Pêches de l'UE et les engagements internationaux des Etats tels que les résolutions du Sommet de Johannesburg en 2002.

## 5.3 Objectifs et approches méthodologiques

Une connaissance détaillée des zones fonctionnelles est cruciale pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes, dont dépendent notamment le maintien de la biodiversité ainsi que les réponses et la résilience des biocénoses ou des communautés face à la variabilité et aux perturbations environnementales et anthropiques. L'objectif principal du projet réside dans le développement de modèles et d'outils pour la définition des zones fonctionnelles. Au travers de développement méthodologiques génériques et de l'application à un cas d'étude concret, ces travaux de recherche permettront de répondre, aux questions suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques des zones fonctionnelles identifiées, leur variabilité temporelle et les conséquences écologiques de ces variations spatio-temporelles ?
- Quels sont les mouvements d'une population au cours du temps (intra et inter annuel) ?

Quelle est la dynamique spatio-temporelle des différents métiers interagissant avec cette ressource ?

L'approche méthodologique est largement basée sur le développement de modèles intégrés permettant de combiner l'analyse de plusieurs sources d'information de caractéristiques différentes<sup>91011121314</sup>. L'objectif

---

<sup>9</sup> Besbeas, P., Lebreton, J.-D., & Morgan, B. J. T. (2003). The efficient integration of abundance and demographic data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 52(1), 95-102. <https://doi.org/10.1111/1467-9876.00391>

<sup>10</sup> Schaub, Michael, & Abadi, F. (2011). Integrated population models: a novel analysis framework for deeper insights into population dynamics. *Journal of Ornithology*, 152(1), 227-237. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0632-7>

<sup>11</sup> Schaub, MICHAEL, Gimenez, O., Siero, A., & Arlettaz, R. (2007). Use of integrated modeling to enhance estimates of population dynamics obtained from limited data. *Conservation Biology*, 21(4), 945-955. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00743.x>

est de développer des modèles permettant de combiner les données provenant de pêches commerciales avec celles issues de campagnes scientifiques, ainsi qu'un ensemble de covariables environnementales (température, salinité, sédiment...) afin de produire une estimation intégrée de l'abondance et de la répartition spatio-temporelle d'une espèce.

Une voie privilégiée (mais d'autres outils pourront être développés) consistera à s'appuyer sur le cadre de modélisation hiérarchique utilisant l'approche SPDE (Stochastic Partial differential Equations) du package 'R-INLA' (<http://www.r-inla.org>) (Rue et al. 2009, Lindgren et al. 2011, Lindgren and Rue 2015) du logiciel R. En effet, cette approche offre l'avantage de fournir une inférence directe sur les dépendances spatiales et temporelles dans les données.

Les processus par lesquels les pêcheurs choisissent les zones et les saisons de pêche seront explicitement modélisés afin de prendre en compte le biais lié au ciblage de certaines espèces. Lorsque les espèces sont ciblées, il est attendu que, dans la limite du rayon d'action des flottilles, les zones de plus fortes densités soient sur-échantillonnées alors que pour les espèces accessoires (capturées de manière « collatérale »), ce processus d'échantillonnage soit plus aléatoire.

Le travail méthodologique de combinaison des données commerciales et des données de campagnes scientifiques sera appliqué dans un premier temps à des stocks pour lesquels les données biologiques de distribution des différents stades biologiques dans le temps et dans l'espace sont le mieux connus (e.g. la sole du Golfe de Gascogne) afin de valider la méthode et de pouvoir ensuite cartographier la répartition des reproducteurs d'un nombre non limité de stocks par le biais d'une modélisation spatio-temporelle générique. Il conviendra de tenir compte au mieux des spécificités de ces deux sources d'information dans la modélisation (échantillonnage standardisé des campagnes mais faible couverture temporelle et échantillonnage non aléatoire des données commerciales mais forte couverture spatio-temporelle). Pour chaque stock, les zones de frai seront identifiées en filtrant les distributions produites selon la période de reproduction et les classes de taille correspondant aux individus reproducteurs. La variabilité interannuelle de ces zones sera évaluée afin de qualifier les différents sites de frai (p.ex. récurrents, occasionnels).

## 5.4 Moyens mis à disposition pour développer la thèse

- Un poste de travail équipé PC
- Données d'observations à la mer (campagnes scientifiques, données d'échantillonnage, données de débarquement et données VMS)
- Logiciels d'analyses numériques (R...), de systèmes d'information géographique (QGis), de base de données (postgresql)

## 5.5 Résultats attendus et valorisation

Les principaux résultats attendus sont

1. Développement d'un modèle intégré spatio-temporel générique permettant de combiner les données des campagnes scientifiques et les données VMS ;
2. Description des zones fonctionnelles pour un certain nombre de populations utiles pour la compréhension des rôles écologiques des habitats ;

---

<sup>12</sup> Davis, A. J., Hooten, M. B., Phillips, M. L., & Doherty, P. F. (2014). An integrated modeling approach to estimating Gunnison sage-grouse population dynamics: combining index and demographic data. *Ecology and Evolution*, 4(22), 4247-4257. <https://doi.org/10.1002/ece3.1290>

<sup>13</sup> Besbeas, P., Freeman, S. N., & Morgan, B. J. T. (2005). THE POTENTIAL OF INTEGRATED POPULATION MODELLING†. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 47(1), 35-48. <https://doi.org/10.1111/j.1467-842X.2005.00370.x>

<sup>14</sup> Schaub, M., Gimenez, O., Siero, A., & Arlettaz, R. (2007). Use of integrated modeling to enhance estimates of population dynamics obtained from limited data. *Conservation Biology*, 21(4), 945-955. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00743.x>

3. Quantification du lien existant entre la dynamique spatiale du comportement des pêcheurs et la ressource ciblée.

Chacun des objectifs/résultats du projet fera l'objet d'une publication internationale de rang A et d'une communication à une conférence internationale.

## 5.6 Intérêts scientifiques

L'originalité principale du projet réside dans le développement de modèles intégrés spatio-temporel qui serviront d'outils à la définition des zones fonctionnelles. Les modèles intégrés couplant des données de nature différentes (captures commerciales et de campagnes scientifiques) afin de comprendre la distribution spatio-temporelle des espèces sont en pointe à l'heure actuelle dans la mesure où chaque source de données comporte ses avantages et inconvénients et qu'elles sont complémentaires. Ce sujet de thèse se proposera d'aller plus loin en y ajoutant une composition démographique en s'intéressant à la fraction reproductrice des stocks étudiés afin d'en ressortir les zones fonctionnelles halieutiques.

Une autre originalité du travail proposé est la modélisation explicite de la dynamique des pêcheries qui permet de prendre en compte et de corriger le biais des données commerciales en modélisant de manière explicite la répartition préférentielle des coups de pêche en fonction des zones de forte densité des espèces cibles.

En plus de leur portée scientifique, les connaissances tirées de cette étude, pourront contribuer à la proposition de mesures de gestion pour les écosystèmes étudiés et permettront de répondre aux demandes sociétales avancées à travers l'approche écosystémique des pêches et les demandes institutionnelles de la nouvelle PCP (Politique Commune des Pêches) et de la DCSMM (Directive Cadre Stratégie sur le Milieu Marin). Cet aspect est d'une importance capitale car les systèmes aquatiques représentent pour les populations humaines une source indispensable de nourriture et de revenus. Un tel projet s'inscrit plus largement dans l'objectif de mettre à disposition des décideurs publics, voire de la société, des outils permettant de prendre des décisions, non seulement sur la base des bénéfices écologiques, économiques et sociaux immédiatement anticipés, mais aussi sur la base des coûts que les activités anthropiques engendrent, tant pour les écosystèmes que pour les sociétés.

## 6 Résumé du projet :

Une cartographie saisonnière à haute résolution permet de mettre en place une planification spatiale des usages marins et une conservation des zones essentielles (zones de reproduction, zone de recrutement...) pour le cycle de vie des poissons (Zones Fonctionnelles Halieutiques).

Les campagnes scientifiques réalisées annuellement apportent des informations précises (identification des espèces, maturité...) et le plan d'échantillonnage suivi est maîtrisé, indépendant de la ressource mais malheureusement peu dense. D'un autre côté, les systèmes de surveillance des navires de pêche (VMS) permettent aujourd'hui de quantifier l'effort à haute résolution spatiale et temporelle. Ces informations, couplées aux données d'observation à la mer et sous criées peuvent apporter une vision fine des captures par espèce et par classe de taille de débarquement. Cependant, l'activité de pêche se concentrant principalement sur les zones de forte abondance, l'échantillonnage qui en résulte est biaisé. La thèse aura pour objectif de développer un modèle spatio-temporel intégré couplant données commerciales et données scientifiques L'évolution de la structure spatiale des populations sera ainsi mieux connue et permettra de répondre aux questions suivantes : Quelles sont les caractéristiques des zones fonctionnelles, leur variabilité temporelle et les conséquences écologiques de ces variations? Quelle est la dynamique spatio-temporelle des différents métiers interagissant avec ces ressources ?

### Mots-clés :

Modélisation spatio-temporelle, données VMS, campagnes scientifiques, planification spatiale et conservation.

## **7 Partenariats national et international :**

Cette étude est proposée dans le cadre du projet FFP « HABESSE » qui sera déposé en 2019 et donc sous réserve de financement. Ce projet fera l'objet de collaborations entre les unités STH et EMH d'Ifremer ainsi que l'Agrocampus-Ouest. De plus, il est attendu que la/le doctorant(e) utilise les sorties du projet européen EASME ProByFish (2018-2021) sur l'identification des espèces cibles/accessoires par métier/flottille afin de pouvoir prendre en compte les biais potentiels liés aux données commerciales. Les sorties attendues de ce travail de recherche (distributions spatio-temporelles des espèces) sont des paramètres très souvent manquants ou incertains dans les modèles de simulation développés à Ifremer (ISIS-Fish, OSMOSE, Atlantis). Il est donc attendu des collaborations avec les équipes Ifremer développant ces modèles et les paramétrant sur différents cas d'étude. Des collaborations avec des collègues étrangers est aussi à envisager dans le cadre du groupe de travail WGSFD (Working Group on Spatial Fisheries Data).

Un comité de thèse reflétant ses différents aspects se rassemblera tous les 6 mois pour s'assurer du bon développement de l'étude de thèse.

Le doctorant bénéficiera dans ce cadre de l'appui méthodologique offert par les réseaux de recherche en mathématiques appliquées auxquels participe l'Ifremer (Mexico, Ecologie Statistique, RESeau Statistiques pour données Spatio-TEmporelles).