

ANNEE UNIVERSITAIRE 2016 - 2017

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE POUR UNE
DEMANDE DE CONTRAT DOCTORANT**

1. FICHE SYNTHETIQUE

- Titre du sujet de thèse proposé :

Développement d'un modèle opérationnel d'évaluation écosystémique de la sardine Atlantique

- Co-Directeurs de thèse : Michel Bertignac (LBH, Ifremer Brest), Lionel Pawlowski (LTBH, Ifremer Lorient)

- Personne à contacter : Lionel Pawlowski

Tél. : 02 97 87 38 46 **Mel :** lionel.pawlowski@ifremer.fr

- Résumé et mots-clés en français (15 lignes) :

Bien que la sardine soit une espèce importante sur la façade atlantique française en terme de débarquement, il n'y a actuellement aucune gestion de son exploitation. Les estimations de biomasse suggèrent qu'elle est actuellement sous exploitée mais devant une pression de pêche croissante, la mise en place d'un plan de gestion s'annonce nécessaire. Néanmoins, il manque un outil d'évaluation fiable de ce stock pour constituer la base de la gestion de la pêcherie. La thèse vise à développer un modèle d'évaluation spatialisée et opérationnel du stock de sardine atlantique Nord exploitant à la fois les données halieutiques et des indicateurs environnementaux. Il s'agirait 1) de développer ou d'adapter un modèle d'évaluation prenant en compte la dimension spatiale et les dernières informations sur la biologie du stock, 2) d'intégrer la variabilité environnementale par l'intermédiaire de leur influence sur les traits biologiques principaux, 3) de valider le modèle à l'aide de l'ensemble des données disponibles, notamment celles des campagnes d'évaluation et des captures de la pêche commerciale, 4) de développer sur la base du modèle de dynamique de population, un outil destiné à quantifier les conséquences biologiques à court terme (1 à 2 ans) selon les niveaux de captures envisagés et des scénarios variables environnementaux. Le doctorant participera également aux réflexions avec les pêcheurs sur la mise en place d'une gestion de ce stock.

Mots clés: évaluation halieutique, approche écosystémique des pêches, modélisation

- Profil de candidature souhaitée (en français et en anglais pour affichage sur les sites)

- Master 2 en écologie marine, dynamique des populations, halieutique ou discipline proche.
- Compétences fortes en modélisation de population
- Compétences en analyse de séries temporelles multivariées.
- Capacité démontrée en programmation scientifique (R, Matlab)
- Goût pour l'interdisciplinarité

2. PROGRAMME DE RECHERCHE DETAILLE

Contexte

La sardine est à l'heure actuelle l'une des trois espèces les plus importantes sur la façade Atlantique Française en terme de débarquement. Les débarquements sont particulièrement importants pour plusieurs grands ports de pêche français (St Guénolé, Douarnenez, Concarneau, St Gilles Croix de Vie) et dans une moindre mesure, Lorient et La Turballe. Bien qu'il s'agisse d'un poisson à faible valeur commerciale, il concerne un grand nombre d'emplois directs (la flottille de bolincheurs bretons, qui compte 26 navires dont 95% des débarquements sont constitués de sardine, emploie environ 200 personnes) et indirects (mareyeurs et conserveries notamment, répartis le long de la côte atlantique française). Il n'y a actuellement aucune réglementation en terme de limitation des débarquements (TAC et quotas de pêche) ou d'accès à la ressource.

Problématique

Dans le golfe de Gascogne, la biomasse de sardine est évaluée chaque année grâce à la campagne Pelgas. Le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) publie un avis pour le golfe de Gascogne, la mer Celtique et la Manche (régions CIEM VII & VIIIabd) tous les deux ans. Les évaluations du CIEM suggèrent que les captures correspondent à environ 10% de la biomasse disponible, ce qui correspond à la situation d'un stock en bonne santé et sous-exploité. Néanmoins, cette situation pourrait évoluer du fait de deux tendances fortes observées depuis quelques années :

- les captures espagnoles dans les eaux françaises du sud du golfe de Gascogne ne cessent d'augmenter, passant de quelques centaines de tonnes par an avant 2010 à plus de 16 000 tonnes en 2014 soit environ la moitié des captures totales sur ce stock. Ce changement est en partie lié à la situation du stock de sardine ibérique (région CIEM VIIIc-IXa) où la biomasse est en diminution depuis 30 ans avec une accélération ces 8 dernières années, au point d'atteindre en 2015 un niveau historiquement bas. Le dernier avis scientifique recommande pour 2016 une quasi fermeture de la pêcherie. Cette situation et un intérêt grandissant des flottilles basques espagnoles pour la sardine du stock du golfe de Gascogne encouragent un report de l'activité espagnole vers cette zone où l'abondance du poisson et l'absence de quota constituent une opportunité d'exploitation certaine.

- la biomasse importante du stock de sardine du golfe de Gascogne pourrait engendrer des phénomènes de densité-dépendance. On note ainsi au cours des années récentes, une corrélation négative entre le poids individuel aux âges et l'abondance du stock (ICES, 2015). De plus, les pêcheurs français ont des difficultés pour capturer des sardines de grandes tailles qui constituent l'essentiel de la demande des conserveries. Ceci génère des débarquements en repli en 2015 (Silva *et al.*, 2015) avec un prix au kilo en baisse. Cette situation est à l'opposée de celle du stock ibérique où la biomasse est composée d'individus de grande taille mais de moins en moins nombreux (ICES, 2015).

Une des problématiques majeures de ce stock reste son évaluation. Plusieurs approches ont déjà été tentées pour évaluer analytiquement le stock avec les modèles d'évaluations traditionnels utilisés en expertise halieutique. On peut citer des modèles structurés en âge tels TASACS (ICES, 2012) ou XSA et un modèle de production (Le Baut, 2013). Ces tentatives n'ont cependant pas abouti car elles considéraient essentiellement/uniquement les aspects liés à la pêche sans les facteurs conditionnant la dynamique du stock, alors que pour ce stock, d'autres facteurs liés à l'environnement devraient également être pris en compte.

Une autre difficulté pour évaluer ce stock est liée à l'hétérogénéité des données disponibles. En effet, le stock est découpé en deux grandes zones très différentes en terme de disponibilité de données. De nombreuses sources de données sont disponibles pour le golfe de Gascogne notamment celles obtenues lors de la campagne PELGAS qui produit un indice d'abondance en tailles et en âges. Des données de suivi de débarquements, de structures en âge, sont également disponibles. A l'inverse, pour la région regroupant la Manche et la Mer celtique, les données sont pauvres : très peu de pêche ciblée, pas de campagne scientifique ciblant l'espèce, pas d'échantillonnage biologique.

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Plusieurs projets visent actuellement à améliorer les connaissances sur la dynamique du stock de sardine. On peut notamment citer les projets de recherche CAPTAIN, pour améliorer les connaissances sur la connectivité et la condition bioénergétique des populations (génétique, microchimie, calorimétrie), SEAMAN pour la modélisation écosystémique spatialisée, TOMOFISH pour améliorer la précision de calcul de l'indice d'abondance. La distribution de cette espèce et ses contraintes liées à l'écosystème pélagique en général s'inscriraient également fortement dans un projet INTERREG commençant à la fin de l'année 2015 à l'échelle de l'arc Atlantique.

Objectif de la thèse

La Commission Européenne, soutenue par les pêcheurs espagnols et français, envisage la mise en place d'une gestion de ce stock. Il serait souhaitable, dans ce contexte, de développer un modèle d'évaluation robuste permettant à terme d'évaluer les conséquences de scénarios de gestion sur ce stock.

Approche méthodologique et étapes du travail

L'approche envisagée consisterait à développer un modèle d'évaluation opérationnel intégrant une approche écosystémique au travers de la prise en compte de certains facteurs environnementaux et de leur variation spatio-temporelle. La motivation derrière ce travail est que, pour cette espèce, les données traditionnelles halieutiques seules ne permettent pas d'obtenir des simulations fiables de la dynamique du stock. Celle-ci étant fortement dominée par des facteurs environnementaux, l'inclusion en complément des données classiques, de l'effet de ces facteurs dans un modèle d'évaluation permettrait d'améliorer substantiellement les estimations de biomasses utilisées pour les avis scientifiques et la gestion. Ceci constituerait une innovation méthodologique majeure dans la mesure où les modèles opérationnels halieutiques n'intègrent actuellement pas ce type de forçage puisqu'ils se limitent généralement aux données halieutiques.

Une contrainte forte est néanmoins de conserver un modèle suffisamment simple pour être utilisable sans nécessiter un temps de calcul élevé. Les modèles d'écosystèmes ou de cycle de vie d'une espèce qui tentent de prendre en compte la complexité de nombreux processus physiques (ex. dérive larvaire; Huret *et al.*, 2010) et biologiques (ex : bioénergétiques; Pecquerie *et al.*, 2009 ; Huret *et al.*, soumis), sont généralement développés dans un cadre de recherche et nécessitent des temps de calcul non réalistes dans un cadre opérationnel. Il s'agit donc de tirer au mieux parti des informations disponibles en sortie de ces modèles, sous forme de paramètres (ex : croissance, mortalité aux différents stades) ou d'indicateurs (Hinrichsen *et al.*, 2011), afin améliorer le réalisme d'un modèle d'évaluation qui prendrait en compte la variabilité environnementale. Des exercices de modélisation ont déjà été réalisés dans ce sens (Maunder et Watters, 2003). De plus, l'importance d'inclure des forçages environnementaux dans certains modèles de gestion a été soulignée (Haltuch et Punt, 2011), notamment pour prévoir le recrutement qui, pour certains stock, est une source majeure d'incertitude.

Une première étape consistera à choisir un modèle de dynamique de population existant dans la communauté scientifique et permettant à la fois de prendre en compte un forçage environnemental et la dimension spatiale, tout en ayant des temps de simulation réalistes pour le cadre opérationnel. Un bon candidat serait à ce titre le modèle *Stock Synthesis* (Methot et Wetzel, 2013), dans lequel chaque paramètre peut être associé à une(des) covariable(s) environnementale(s). Plusieurs processus clés de la dynamique de la population comme par exemple le recrutement, la croissance, la maturité ou le mouvement peuvent ainsi être directement liés aux conditions environnementales rencontrées par la population dans une zone (si le modèle est spatialisé) et à un moment donné. D'autres modèles intégrant la dimension spatiale d'un stock et les variables environnementales peuvent également être considérés, notamment *Gadget* (Begley et Howell, 2004) et *a4a* (Millar *et al.*, 2012). Ce dernier va faire l'objet de test de modélisation spatialisée de plusieurs stocks du golfe de Gascogne et de la péninsule Ibérique au sein d'un atelier du JRC (Commission Européenne) fin 2015 auquel nous participons.

Un autre aspect majeur du travail consistera à évaluer des indicateurs environnementaux susceptibles d'influencer la dynamique du modèle. Ces indicateurs pourront alors être issus de données d'observations (campagne, données satellites), et/ou de sorties de modèles d'écosystème. A ce titre les développements récents au sein de l'unité STH d'un modèle de cycle de vie de l'espèce basé sur le modèle

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

bioénergétique DEB (Dynamic Energy Budget) semble être un outil privilégié dans la représentation de la croissance et de la reproduction sous influence de la variabilité en température et en nourriture.

La troisième phase portera sur la paramétrisation et la validation du modèle. Cette étape tirera parti de l'ensemble des données disponibles : données halieutiques classiques informant sur l'état de la population (indices d'abondance) et sur les niveaux d'exploitation (captures commerciales), mais également issues des campagnes écosystémiques, avec l'apport de l'évaluation de l'abondance par l'acoustique et par le comptage d'œufs (Petitgas et al., 2009).

Enfin, l'ultime étape consistera à proposer un outil de "projections à court terme" permettant de déterminer l'impact et les risques biologiques sur le stock de différentes options de gestion ou niveaux de captures sur la base de différentes hypothèses de variations de l'environnement. Ce développement intégrera également les réflexions entre scientifiques et professionnels (ces travaux vont démarrer en 2016 dans le cadre du Comité Consultatif Régional Sud) sur la mise en place d'une gestion appropriée de ce stock.

Il est proposé que le projet se déroule selon le calendrier suivant:

Année 1	<ul style="list-style-type: none">- Hiérarchisation de l'importance des traits biologiques et des facteurs environnementaux influençant la variabilité de l'abondance de l'espèce.- Choix et prise en main d'un modèle d'évaluation capable d'intégrer la dimension spatiale et la variabilité des traits biologiques sous influence environnementale.- Démarrage des développements méthodologiques pour intégration dans le modèle des indicateurs environnementaux et biologiques.
Année 2	<ul style="list-style-type: none">- Fin des développements méthodologiques.- Rédaction d'une publication sur ces développements et l'apport méthodologique des indicateurs sur la qualité des simulations de la dynamique de population.- Premiers scénarios d'évaluation de stratégies de gestion sous influence de facteurs environnementaux.
Année 3	<ul style="list-style-type: none">- Poursuite des scénarios.- Rédaction d'une seconde publication et du manuscrit de thèse.

Originalité des recherches - Avancées qui donneront lieu à publications

L'inclusion de forçages environnementaux dans les modèles d'évaluation reste un axe complexe à développer pour la communauté scientifique internationale et une demande récurrente de la part des décideurs. Ce sujet présente donc un potentiel de publications pour les aspects méthodologiques de modélisation mais également sur l'analyse des effets des fluctuations de l'environnement sur la population étudiée. Le lien entre l'environnement et la gestion des pêches est un sujet de recherche important en halieutique.

La sardine des côtes Atlantique française est un bon candidat car :

- 1) L'absence d'évaluation analytique validée actuellement laisse la place aux innovations méthodologiques ce qui n'est pas le cas pour la majorité des stocks.
- 2) La faible exploitation du stock permet de quantifier plus facilement l'effet de l'environnement sur le renouvellement de la population que dans le cas d'un stock également soumis à une pression forte de la pêche. Certains paramètres biologiques difficiles à déterminer habituellement (mortalité naturelle, croissance, effet densité/dépendance) sont également plus facilement quantifiables.
- 3) les projets au sein de l'IFREMER autour de la sardine et plus généralement des petits pélagiques, la campagne PELGAS et l'interdisciplinarité des personnes impliquées dans ces projets permettraient une synergie qui manque actuellement pour beaucoup de stocks gérés au niveau communautaire faute

d'échanges et d'accès aux données suffisants entre les pays. Ici, le suivi est assuré presque exclusivement par la France;

4) les modèles d'évaluations envisagés sont relativement récents et orientés vers une approche environnementale ou écosystémique. Ils sont par ailleurs développés et utilisés au sein de groupes scientifiques avec qui les participants du projet collaborent régulièrement.

Intérêt pour l'IFREMER

La gestion et l'exploitation de ce stock étant en train de se mettre en place, il est important que l'IFREMER ait un rôle moteur dans l'élaboration des outils d'évaluation (et plus tard de gestion) de ce stock. Scientifiquement, ce sujet s'inscrit dans la continuité et le développement de plusieurs projets de recherche passés et actuels sur la sardine du Golfe de Gascogne. Il permet de plus la valorisation des données issues de la campagne PELGAS. Il s'agira en interne d'un travail d'équipes collaborant déjà sur cette thématique. Ce travail concernera du personnel du LTBH (Lorient) pour les aspects dynamique de population et suivi de cohortes, de EMH (Nantes) pour les aspects d'intégration et de couplage de modèles, et de LBH (Brest) pour les aspects modèle d'évaluation et d'écosystème. Ces laboratoires sont tous trois acteurs fondamentaux de l'évaluation des petits pélagiques via la campagne PELGAS. Ce sujet pourrait également renforcer les relations de l'Ifremer avec plusieurs instituts étrangers (CEFAS, IEO, AZTI, IPMA) avec lesquels nous travaillons dans le cadre des expertises du CIEM (groupes WGHANSA, WGACEGG). Les développements en matière de modélisation pourront également être valorisés au travers des échanges méthodologiques que l'on entretient avec les collègues étrangers utilisant ou développant ces outils. On peut citer certains groupes méthodologiques du CIEM ou du CSTEP ou des projets plus ponctuels.

Bibliographie

- Begley J., Howell D., 2004. An overview of Gadget, the Globally applicable Area-Disaggregated General Ecosystem Toolbox. ICES CM 2004/FF:13. 16p.
- Haltuch M.A., Punt A.E., 2011. The promises and pitfalls of including decadal-scale climate forcing of recruitment in groundfish stock assessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68, 912–926.
- Hinrichsen, H.-H., Dickey-Collas, M., Huret, M., Peck, M.A., Vikebø, F.B., 2011. Evaluating the suitability of coupled biophysical models for fishery management. *ICES J. Mar. Sci. J. Cons.* 68, 1478–1487. doi:10.1093/icesjms/fsr056
- Huret, M., Petitgas, P., Woillez, M., 2010. Dispersal kernels and their drivers captured with a hydrodynamic model and spatial indices: A case study on anchovy (*Engraulis encrasicolus*) early life stages in the Bay of Biscay. *Prog. Oceanogr.* 87, 6–17. doi:10.1016/j.pocean.2010.09.023
- Huret M., Petitgas P., Garnier V., Grellier G. and Sourisseau M. A full life cycle bioenergetics model of anchovy in the Bay of Biscay calibrated with seasonal information on energy and spatial distribution. Submitted to *Ecological Modelling*.
- ICES, 2012. Report of the Benchmark Workshop on Pelagic Stocks (WKPELA 2012), 13–17 February 2012, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2012/ACOM:47. 572 pp.
- ICES, 2015. Working Group on Southern Horse Mackerel, Anchovy and Sardine (WGHANSA), Lisbon, Portugal, 24–29 June 2015, ICES CM 2015/ACOM:16
- Le Baut J., 2013. Mémoire de Master, Évaluation d'un stock de poissons pour lequel les données sont déficientes : Application au stock de sardine (*Sardina pilchardus*) du golfe de Gascogne, de Manche et de mer Celtique. Mémoire de Master Approche Écosystémique pour l'Halieutique. Agrocampus Ouest. Rennes. 63pp.
- Maunder M.N., Watters G.M., 2003. A general framework for integrating environmental time series into stock assessment models: model description, simulation testing, and examples. *Fish. Bull.* 101, 89–99
- Methot R.D., Wetzel C.R., 2013. Stock synthesis: A biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. *Fish. Res.* 142, 86–99.
- Millar C., Jardim E., Mosqueira I., Osio C., 2012. The a4a assessment model. Model description and testing. Joint Research Center, doi:10.2788/73856. 86p
- Pecquerie, L., Petitgas, P., Kooijman, S.A.L.M., 2009. Modeling fish growth and reproduction in the context of the Dynamic Energy Budget theory to predict environmental impact on anchovy spawning duration. *J. Sea Res.* 62, 93–105. doi:10.1016/j.seares.2009.06.002
- Petitgas, P., Goarant, A., Masse, J., Bourriau, P., 2009. Combining acoustic and CUFES data for the quality control of fish-stock survey estimates. *Ices J. Mar. Sci.* 66, 1384–1390.

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Silva A., Riveiro I., Santos B., Moreno A., Villasante S., Pawlowski L., Duhamel E.,2015. Sardine Fisheries: Resource Assessment and Social and Economic Situation..Directorate General for Internal Policies - Policy department B: Structural and Cohesion Policies IP/B/PECH/IC/2015-133). 66p.

3. Accueil

L'intégralité de la thèse se déroulera à la station Ifremer de Lorient (LTBH) mais des déplacements auront lieu régulièrement auprès de collègues de Nantes (EMH) et de Brest (LBH) pour les besoins de la thèse. Des échanges pourront également avoir lieu avec l'unité MARBEC (Sète). Des visites de courtes durées dans des laboratoires étrangers (AZTI, IPMA) sont prévues.

Expérience acquise par le laboratoire ou l'unité d'accueil :

Expertise d'évaluation de nombreux stocks, dont les petits pélagiques sardine et anchois via le groupe WGHANSA du CIEM (2 participants dont le président du groupe)

L'unité est actuellement responsable du projet FFP Captain, dont l'objectif est l'augmentation des connaissances biologiques sur deux espèces de petits pélagiques, l'anchois et la sardine, à l'aide d'un échantillonnage opéré par les pêcheurs professionnels tout au long de l'année à l'échelle des façades Manche et Gascogne. Les résultats attendus concernent la variabilité spatio-temporelle de condition des poissons via des mesures calorimétriques, une analyse populationnelle via la génétique, une analyse de connectivité via la microchimie des otolithes.

Par ailleurs, l'unité a acquis une forte expérience en utilisation et développement de modèles d'évaluation, mais également de modèles couplés physique-biologie. Ceci par exemple dans le cadre du projet ERANET Seaman dont le but est le développement et la valorisation de modèle IBM (Individu-centrés) spécifiques, basés sur la bioénergétique et couplés à des modèles physique-biogéochimique représentant l'environnement du poisson. Dans ce cadre, une thèse est en cours dans l'unité et se terminera fin 2016, sur la comparaison des stratégies d'histoire de vie des anchois et sardines, dont une des composantes est le développement d'un modèle DEB appliqué à la sardine.