

Bilan thèse à Mi-Parcours

*Modélisation de variabilité saisonnière et interannuelle de
l'écosystème pélagique sénégal-mauritanien : impact de
l'environnement biophysique sur la survie des larves de
sardinella aurita*

Présenté par **Baye Cheikh Mbaye**

20 novembre 2013

Commisco 2013

Introduction

La *sardinella aurita* est l'espèce petit pélagique dominant dans la région d'upwelling sénégalo-mauritanien et est largement exploitée et est crucial pour l'économie de ces pays riverains. Le recrutement de cette espèce comme toutes les espèces pélagiques est fortement variable et relié à la fluctuation de l'intensité de l'upwelling (Bakun, 1996 ; Lett et al. 2006) et des variations associées à la production de phytoplancton (Aristegui et al., 2006). Ainsi la survie durant les premiers stades de vie est crucial pour la ponte de la *sardinella aurita* : les œufs et larves sont passivement transportés par les courants océaniques et ce transport peut les conduire soit dans des nurseries, zone côtières riches en production planctoniques, ou vers des zones oligotrophes du large, pauvre en nutriments où ils peuvent souffrir de faim et soumis à la prédation. Dans ce travail nous partons d'un modèle physique qui reproduit l'environnement hydrologique de la zone sénégalo-mauritanienne pour tester l'hypothèse que la *sardinella aurita* adapte sa stratégie de ponte à la spécificité de l'environnement dans le but d'optimiser la survie de ses larves. Cette hypothèse est testée utilisant un modèle lagrangien à base d'individu combiné avec des observations satellites de chlorophylle (phytoplancton) utilisées comme indice de la disponibilité de la nourriture pour les larves de *sardinella aurita*.

Le modèle lagrangien est forcé par les variations saisonnière des sorties d'un modèle hydrodynamique construit à partir des simulations d'un modèle d'océan régional. Il est utilisé pour évaluer la localisation spatio-temporelle de zone favorable à la ponte et les chemins de connectivités larvaires, donnant les connaissances sur la circulation saisonnière, la productivité saisonnière et explorant une gamme raisonnable de comportement biologique (migration verticale diurne, impact de la température létale).

1. Modèle hydrodynamique

Le modèle d'océan utilisé pour forcer le modèle lagrangien est ROMS (Regional Oceanic Modeling System) (Shchepetkin and McWilliams, 2005). Ce modèle simule les champs de température et de courants. ROMS résout les équations primitives dans le cadre rotatif de la terre, basé sur les approximations de Boussinesq et de l'hydrostatique. Les grilles du modèles, forçages, conditions initiales et aux frontières sont construits utilisant les paquets ROMSTOOLS (penven et al., 2008). Les ROMSTOOLS sont des scripts matlab qui aident le modélisateur à préparer et à interpréter le modèle.

Dans ce travail nous avons eu à utiliser 2 configurations du modèle ROMS pour donner plus de robustesse à nos résultats. La première grille nommée SM1 (sénégal-mauritanie 1) s'étend de 8.5°N

à 33°N et de 13°W à 23°W à une résolution horizontale de 8km. Il contient 131x188 points et 32 niveaux sur la verticale.

Ce premier volet de modélisation a été faite sur le cycle saisonnier de la circulation régionale, laissant de côté la variabilité interannuelle. L'idée est de produire un modèle pouvant reproduire la dynamique locale relatée dans plusieurs observations et dans des études antérieures dans la région et après voir si cela évolue au cours des années. Le modèle est forcée par la climatologie mensuelle de surface COADS (Da Silva et al., 1994) pour les flux de chaleurs et d'eaux douces, et par la climatologie mensuelle dérivée des données QuikSCAT pour le stress de vent (Liu et al., 1998). Les frontières ouvertes sont forcés utilisant la climatologie dérivée du World Ocean Atlas (WOA 2005, Conkright et al., 2002).

Un autre modèle SM2 a été utilisée pour tester la robustesse de nos resultats. Les sorties de la configuration ROMS du courant des canaries développée par Mason et al. (2011), ont été extraites pour la région sénégal-mauritanienne. La simulation SM2 a une résolution horizontale de 7.5km. Le modèle SM1 a été tournée pour 10 années, la solution atteint un équilibre statistique après 4 années de spin up et les 6 années suivantes sont utilisés pour analyse. La solution SM2 a été tournée pour 50 années, atteignant un équilibre après 4 années de spin up. Nous utilisons 3 années successives de cette solution.

2. Le modèle lagrangien

Le modèle lagrangien est ICHTHYOP(http://www.previmer.org/espace_projet/outils_ird/ichthyop) développé par l'IRD est utilisé pour simuler le transport larvaire dans la zone côtière sénégal-mauritanienne. La mortalité dans le modèle est considéré quand les œufs et larves sont exposés à une température en dessous d'une valeur seuil prédéfini. Au large de du Sénégal la gamme de température observée pour les adultes de sardinella aurita se situe entre 18°C et 30°C mais on a pas d'information sur celle des larves et oeufs. Nous avons décidé de tester l'impacte de différentes températures létales et avons retenues trois valeurs de température (14°C, 16°C et 18°C). Pour optimiser leur survie dans les zones côtières riches en nutriments et éviter les prédateurs de surface, les larves de petits pélagiques comme la sardinelle effectuent des mouvements verticaux entre la surface et une certaine profondeur. Le modèle résout pour un comportement de nage vertical dans une forme de migration vertical diurne (DVM) entre la surface et une profondeur de DVM fixée. Les mesures effectuées sur les œufs de sardinelle dans la région montrent que ceux-ci sont concentrés sur le plateau continental dans la couche de mélange de surface au-dessus de la thermocline. Etant donné le manque d'information sur les profondeurs de migration diurne observé dans la région nous avons testé un ensemble de 4 profondeurs de DVM: au-dessus de la base de la

couche de mélange (20m, 30m) et en dessous de la couche de mélange (60m et 100m). Les larves commencent cette migration verticale diurne à partir d'un certain nombre de jour après l'éclosion de l'œuf. Au large du Brésil la larve de *sardinella aurita* débute sa migration à partir du 7ème jour (Ditty et al., 1994) après l'éclosion avec la formation de la vessie natatoire qui est nécessaire pour la larve de rester à des profondeurs spécifiques, une telle information n'est pas trouvée dans la zone Sénégal-mauritanienne. Ainsi nous avons testé pour cette étude comme âge de développement de la vessie natatoire un ensemble de 6, 7, 8 et 9 jours et trouvés des résultats similaires pour chaque expériences; nous avons décidé par la suite de retenir la valeur intermédiaire de 8 jours comme début de la migration vertical diurne pour la *sardinella aurita* au senegal-mauritanie. Avant l'éclosion les œufs flottent à la surface. Ainsi les larves sont considérés comme des particules passives suivants les masses d'eaux entre l'éclosion jusqu'au 8ème jour où ils débutent leur DVM, passant la moitié du jour à la surface et l'autre moitié à la profondeur de DVM.

3. Notre experience de lâcher

Nous avons conduit une séries d'expérience où 10000 œufs virtuels sont lâchés de façon homogène sur le plateau défini comme étant la région entre la côte et l'isobath 200m entre les latitudes 12°N et 21°N correspondant à la zone sénégal-mauritanienne. Initialement, les œufs sont lâchés aléatoirement entre la surface et 20m de profondeur dans la couche de mélange de surface. Le lâcher des œufs a lieu chaque mois considérant que *sardinella aurita* pond durant toute l'année dans tout le domaine. La survie des larves est évaluée après un transport de 28 jours. Cette période correspond au temps nécessaire aux larves pour développer des mouvements de nage autonomes leur permettant d'être indépendants aux courants. Le taux de rétention est estimé dans les différents cas où les larves sont soumises à un transport passif, à un transport avec des comportements de DVM et considérant ou pas la rencontre de température létale durant la période de simulation de 28 jours.

Nous avons répété ces expériences utilisant les 6 (respectivement 3) différentes années de SM1 (respectivement SM2) comme forçage hydrodynamique et calculé la moyenne à partir de des résultats. Cette méthode nous a permis d'estimer l'impact de la circulation méso-échelle intrinsèque sur les patterns de rétention.

4. La rétention larvaire

Dans cette section qui s'ouvre aux résultats, nous décrivons les patterns moyens de rétention et mettons l'accent sur les différences observées en incluant un comportement de DVM et l'impact de

la température létale.

La distribution spatiale de la rétention fait émerger clairement deux régions à forte taux de rétention au nord sur le Banc d'Arguin (Mauritanie) et au Sud en dessous du Cap-Vert (Sénégal) et une zone située entre ces 2 pays où la rétention est faible. Ces 2 régions à forts taux rétention correspondent aux 2 zones de pontes de *sardinella aurita* observées dans les zones par des campagnes océanographiques de récolte de larves (Conand, 1977; Boely et al., 1982). Ce résultat est trouvé aussi bien par la simulation SM1 que celle réalisée avec SM2. Nous avons appelés les deux zones Nord et Sud à fortes taux rétention zone nord et zone sud respectivement, la zone intermédiaire à faible rétention est appelée zone centrale. Dans les zones nord et sud le plateau continental est large, nos résultats montrent un fort courant de subsurface vers la côte entre 20 et 40m de profondeur qui compense un courant de surface vers le large, augmentant ainsi la rétention dans ces 2 zones. La zone centrale par contre à cause d'un plateau très étroit est soumise à un fort upwelling expulsant les larves vers le large d'où le faible taux de rétention.

La variation temporelle de cette rétention dans les différentes zones définies précédemment est aussi étudiée et discutée en relation avec la ponte observée et la disponibilité en nourriture fournie par la chlorophylle de surface satellite.

La profondeur de la DVM a un impact négatif sur la rétention dans la zone Nord alors que la rétention augmente avec l'application d'une DVM dans les zones centre et Sud. L'analyse des courants horizontaux de surface montre un upwelling plus fort dans la zone Nord ce qui tend à expulser plus les larves hors de la zone de lâcher quand elle arrive en surface, ce qui diminue la rétention. Notre étude montre aussi que la température létale n'est presque pas rencontrée par les larves quand un seuil réaliste (14°C) est considéré et donc n'impacte pas les patterns de rétention. Cependant nous avons trouvé un effet dans le cas d'un fort seuil de température létale mais qui n'influe en rien les maxima de rétention.

Dans la zone Nord le taux de rétention simulée par nos deux modèles est en accord avec la ponte de *sardinella aurita* observée en novembre-décembre par plusieurs auteurs dans la région (Boely et al., 1982 ; Ould Talib et al., 2005). Cette période de forte rétention correspond à la présence d'un courant arrivant du sud le long du plateau et à l'apparition d'une cellule tourbillonnaire à la côte, ce qui piège les larves sur le plateau et augmente la rétention. La chlorophylle de surface observée en novembre-décembre est aussi importante ce qui permet à la *sardinella aurita* de maximiser sa ponte.

La zone centre présente une période de rétention maximale en juin-juillet où une ponte est observée par des travaux antérieurs (Boely et al, 1982). Cette rétention simulée est l'action combinée d'un courant venant du sud et dirigée vers le nord sur le plateau et aux abords du plateau continental, et d'un courant vers la côte en surface. La concentration de chlorophylle de surface est aussi maximale

en période de forte rétention en juin. Ainsi *sardinella aurita* maximise en ponte dans la zone centrale en période de forte rétention et d'apport en nutriment suffisant pour assurer la survie de ses larves.

La zone sud montre les taux de rétention les plus forts parmi les différentes zones, on peut dire que la rétention y est toujours favorable. Le maximum de rétention est apparu en juin-juillet en période d'eaux chaudes. Les courants simulés au cours de cette période sont proches de ceux simulés précédemment dans la zone centre où la présence d'un courant vers le Nord au niveau du talus et sur le plateau est associé à un courant de surface vers la côte, ce qui contribue à contraindre les larves de rester à la côte et ainsi augmenter la rétention. La particularité de cette zone est que le maximum de chlorophylle observé ne se situe pas à la période du maximum de rétention mais au moment où ce dernier augmente en mars-avril. Cette période forte productivité correspond à celle de la ponte de *sardinella aurita* observée dans cette zone (Boely et al., 1982 ; Freon 1988). Le courant vers le Nord est probablement lié au Contre-Courant Nord Equatorial (NECC) qui en cette période de l'année est ressentie jusqu'aux environs du Cap-Blanc (21°N) à la frontière de la Mauritanie et du Maroc, et est donc ramène les eaux pauvres en chlorophylle en juin-juillet. Comme cette zone Sud est tout le temps favorable à la rétention, *sardinella aurita* maximiserait sa ponte d'après nos résultats à la période de forte productivité pour assurer la survie de ses larves dans des eaux riches en nutriments.

Nous avons aussi étudié la connectivité larvaire entre les différentes zones considérées dans cette étude. Il apparaît qu'une forte connexion existe surtout en période hivernale (février-mars) entre la zone nord et la zone centre où plus de 80% des larves dont les œufs ont été pondus dans la zone Nord se retrouvant dans la zone centre. Pendant cette même période la chlorophylle de surface observée dans toute la zone est plus forte dans la zone centre. Cette combinaison d'un fort transport larvaire de la zone nord vers la zone centre associé à une importante concentration de chlorophylle à la même période, nous conduit à considérer la zone centrale comme étant un bon candidat pour être une zone de nurserie en février-mars pour les larves de *sardinella aurita*.

Conclusion et perspectives

Le but de ce travail était d'étudier l'influence des conditions environnementales sur le transport des larves de *sardinella aurita* dans la région d'upwelling sénégal-mauritanienne et notamment de comparer les stratégies de pontes observées à la rétention simulée.

La ponte de *sardinella aurita* dans les zones nord et centre correspond à la période de maximum de rétention et à de fortes concentrations de chlorophylle de surface. La période de ponte observée dans la zone Sud ne correspond pas à la période du maximum de rétention mais à la période du

maximum de chlorophylle.

L'application de la température létale n'a aucun effet sur les patterns de rétention, ce qui laisse penser que la mortalité larvaire dans cette région est plus liée au manque de nourriture et à la prédation.

La connectivité larvaire s'est révélée très forte entre la zone Nord et la zone centre, faisant même de cette dernière une zone de nurserie pour les larves de *sardinella aurita* en hiver.

Nous pouvons noter que la disponibilité de nourriture joue un rôle crucial sur la ponte de *sardinella aurita* dans la région sénégalo-mauritanienne, il est évident que ponte et maximum de chlorophylle s'accordent dans toutes zones. Ce ceci nous amène à repenser notre critère de rétention qui ne sera plus basé seulement sur la capacité de la larve à rester dans la zone du plateau après la période de simulation mais plutôt à rester dans une zone riche en nourriture pendant la période mensuelle (28 jours) de simulation. Donc zone de rétention qui peut-être sur le plateau ou en dehors. Ce travail se fera avec l'introduction d'un modèle de bilan d'énergie dynamique (DEB) pour tester la simulation de la croissance et de la bioénergétique pour *sardinella aurita*. Ce travail de modélisation a été réalisé avec des simulations climatologiques, nous comptons développer une simulation interannuelle pour voir l'impact de la variation annuelle sur les patterns de rétention.

Dans ces écosystème d'upwelling comme la région sénégalo-mauritanienne où les structures de petites échelles joue un rôle important sur la dynamique, nous avons déjà initié à travers d'autres modèle à grille plus fine de tester l'effet de la résolution (3km, 1km) sur les patterns de rétention simulés.

Cette partie du travail de thèse a fait l'objet de la préparation d'un article en cours de finalisation dont le titre est : ***Sardinella aurita* spawning seasons match local retention patterns in the senegalese-mauritanian upwelling region.**

Références

J. Arístegui, X.A. Álvarez-Salgado, E.D. Barton, F.G. Figueiras, S. Hernández-León, C. Roy, A.M.P. Santos (2006) Oceanography and fisheries of the Canary Current Iberian region of the Eastern North Atlantic
,in: A. Robinson, K.H. Brink (Eds.), The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses, The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas, vol. 14, Harvard University Press , pp. 877–931

Bakun, A., 1996. Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. Calif. Sea Grant College Syst. Univ of Calif, La Jolla, 323 p.

Conand, F. 1977. Oeufs et larves de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*), au Sénégal: distribution, croissance mortalité, variations d'abondance de 1971 à 1976. Cah. ORGWM, s&. Océanogr., 15 (3); 201-214.

Conkright, M.E., Locarnini, R.A., Garcia, H.E., O'Brien, T.D., Boyer, T.P., Stephens, C., Antononov, J. (2002). World Ocean Atlas 2001: objectives, analyses, data statistics and figures [CD-ROM], NOAA Atlas NESDIS 42, Silver Spring, Md.

Dasilva, A., C. Young, and S. Levitus (1994), Atlas of surface marine data 1994, vol. 1, Algorithms and procedures, NOAA Atlas NESDIS, 6, 74 pp.

Ditty, J. G., E. D. Houde, and R. F. Shaw. 1994. Egg and larval development of Spanish sardine, *Sardinella aurita* (Family Clupeidae), with a synopsis of characters to identify clupeid larvae from the northern Gulf of Mexico. Bull. Mar. Sci. 54(2):367-380

Lett, C., Roy, C., Levasseur, A., van der Lingen, C. D. et Mullon, C. (2006). Simulation and quantification of enrichment and retention processes in the southern benguela upwelling ecosystem. Fisheries Oceanography, 15:363–372

Liu, W. T., W. Tang, and P. S. Polito, 1998: NASA scatterometer global ocean-surface wind fields with more structures than numerical weather prediction, Geophys. Res. Lett., 25, 761-764.

Fréon, P. (1988) Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation : Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Collection Etudes et Thèses, ORSTOM. 287 pp.

Mason, E., Colas, F., Molemaker, J., Shchepetkin, A.F., Troupin, C., McWilliams, J.C., Sangrà, P. (2011) : Seasonal variability of the Canary Current: A numerical study. Journal of Geophysical Research, VOL. 116, C06001, doi:10.1029/2010JC006665, 2011

Ould Taleb Ould Sidi, M (2005).Les ressources de petits pélagiques en Mauritanie et dans la zone nord ouest africaine: variabilité spatiale et temporelle, dynamique et diagnostic

PhD, Agrocampus Rennes - Pôle Halieutique, Rennes.

Penven, P., P. Marchesiello, L. Debreu, and J. Lefevre (2008), Software tools for pre- and post-processing of oceanic regional simulations, Environ. Model. Software, 23(5), 660–662, doi:10.1016/j.envsoft.2007. 07.004.

Shchepetkin, A. F. et McWilliams, J. C. (2005). The regional oceanic modeling system (roms) : a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. Ocean Modelling, 9(4):347–404.