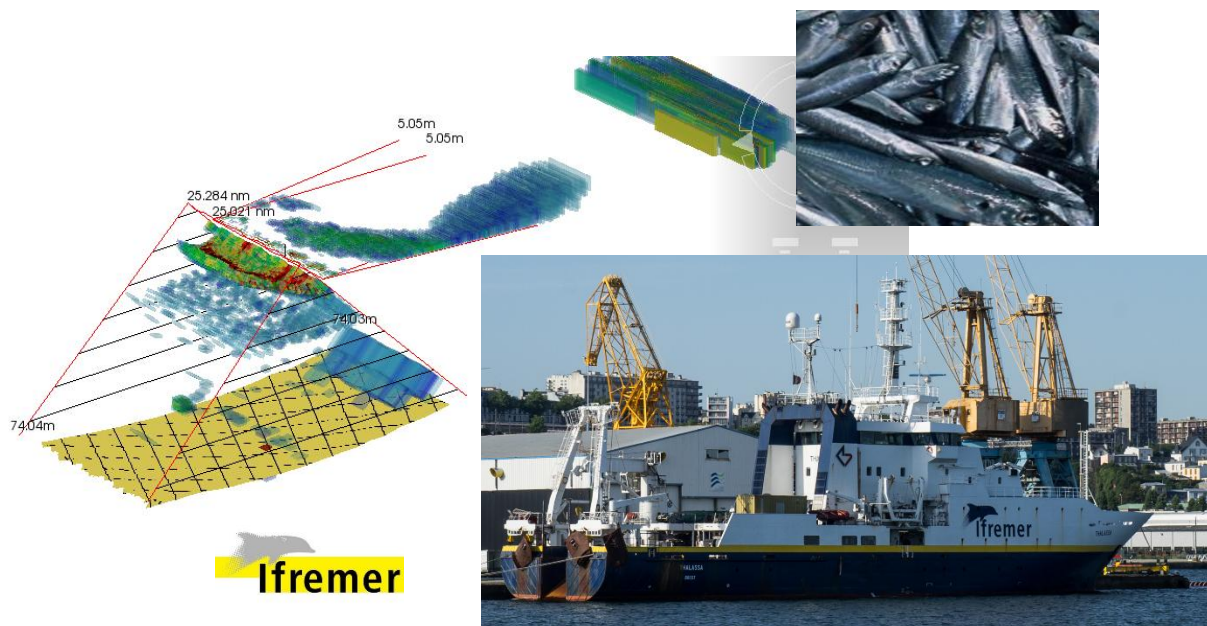


**Rapport de Stage de Master 1
Année 2016-2017**

Mention Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie
Spécialité Océanographie et Environnements Marins

**Caractérisation acoustique des bancs de
surface dans le Golfe de Gascogne et
implication pour l'évaluation de biomasse**

Auteur : Pauline ROUX



Réalisé sous la responsabilité de Mathieu DORAY
IFREMER Unité Ecologie et Modèles pour l'Halieutique
Route de l'île d'Yeu, 4400 Nantes, France

Sous la supervision académique de Céline RIDAME

Introduction

Les campagnes PELagique GAScogne (PELGAS) sont menées chaque année, depuis 2000, dans le golfe de Gascogne afin d'estimer la biomasse d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) et de sardines (*Sardina pilchardus*), présentes au printemps (Doray et al., 2014). La campagne PELGAS étudie également l'écologie des poissons pélagiques (Petitgas et al., 2014; Zwolinski & Demer., 2012; Bertrand et al., 2010) : on parle d'approche écosystémique des pêches. Pour ce faire, quatre équipes sont présentes à bord : l'équipe acoustique, l'équipe pêche, l'équipe hydro-biologique et l'équipe des prédateurs supérieurs.

Pour ce rapport, nous nous intéressons à la partie acoustique. En effet, le principal moyen de visualiser et d'estimer la biomasse des bancs des petits poissons pélagiques (Figure 1) est l'acoustique halieutique (Diner & Marchant, 1995). Les bancs de poissons sont identifiables par un sondeur vertical mono-faisceaux qui échantillonne la colonne d'eau sous le bateau selon un angle d'ouverture de 7°. Cependant, ce mécanisme laisse une zone aveugle d'environ 10m sous la surface. C'est pourquoi la Thalassa possède un sondeur latéral présentant un plus grand angle d'ouverture et une portée d'environ 300m (Figure 2).

L'objectif de ce stage est de caractériser les bancs de surface en terme de dimensions et de distributions. Dans ce but, nous comparons les deux types de sondeurs, en présentons les biais relatifs afin d'en déterminer les conséquences pour l'évaluation de la biomasse. Nous proposons ci-contre un tableau récapitulatif des avantages et inconvénients liés à chacun de ces sondeurs (Table 1). Concernant notre sondeur latéral, il faut retenir qu'il est le seul à pouvoir échantillonner la couche de 0 à 10m de profondeur. Cependant, l'insonification est latérale ce qui ne permet pas d'utiliser les formules mathématiques connues pour les calculs de densité acoustique du sondeur vertical. Le développement d'une nouvelle méthode est donc nécessaire.

Matériels et Méthodes

1) Plan d'échantillonnage de la campagne PELGAS

Le plan d'échantillonnage est défini selon des radiales précises séparées de 12 milles nautiques (Figure 3). Les données acoustiques sont récoltées en continu le long des radiales tandis que les stations hydrologiques sont des points précis. Des quarts de surveillance des écrans acoustiques sont réalisés ainsi que la correction des échogrammes obtenus.

2) L'acoustique halieutique

L'acoustique va permettre de répertorier les ressources halieutiques en fonction de l'espace et du temps. Les données sont représentées sous la forme d'échogrammes (Figure 2).

	<i>Sondeur vertical</i>	<i>Sondeur horizontal</i>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Insonification dorsale</u> • Equations TS disponibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Echantillonnage de 0 à 10m • Large volume échantillonné
Biais	<ul style="list-style-type: none"> • Faible volume échantillonné • Zone aveugle de 0 à 10m • Bancs sous-échantillonnés • Dimensions imprécise des bancs 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Insonification latérale</u> • Dimensions imprécise des bancs • Absence de calibration • Inutilisable en mer agitée

Table 1 : Avantages et inconvénients des sondeurs latéral et vertical



Figure 1 : Petits poissons pélagiques - Anchois, Sprat, Chinchard - Ifremer

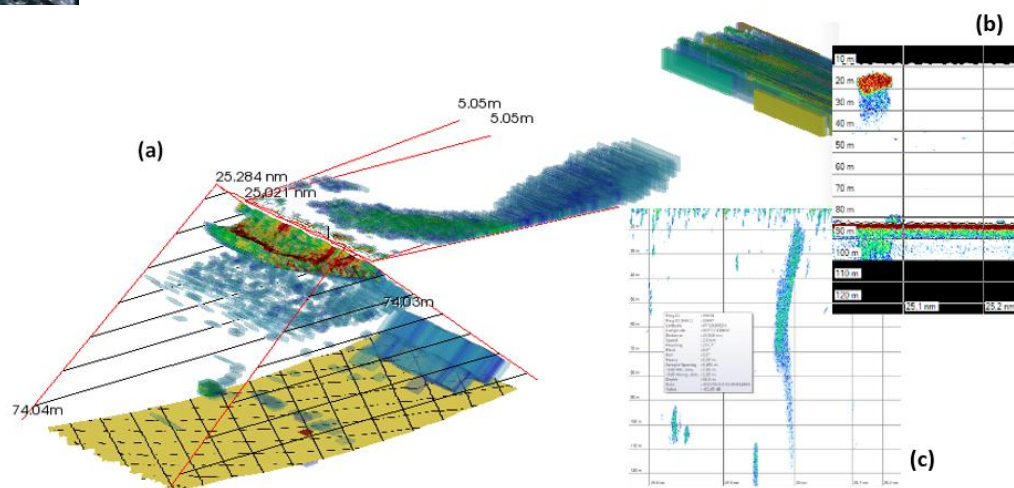


Figure 2 : (a) Représentation 3D des faisceaux / (b) Echogramme du sondeur vertical / (c) Echogramme du sondeur latéral – MOVIES 3D.

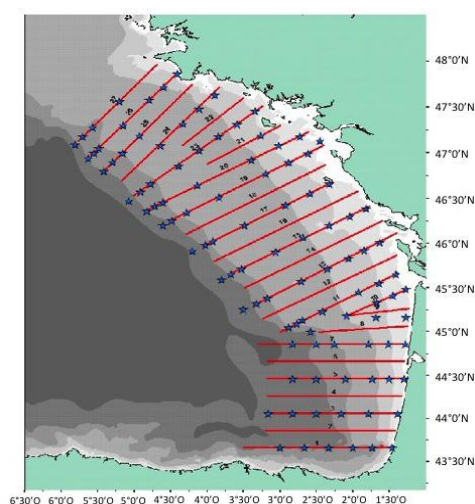


Figure 3 : Plan d'échantillonnage de la campagne PELGAS. Les radiales (rouge) de prospection acoustique sont échantillonnées en continu de jour. Les stations hydrologiques (étoiles) sont échantillonnées pendant la nuit (Remond, 2015).

Plus la réponse de la cible est forte, plus la couleur va vers le rouge. L'énergie acoustique réfléchiée par une cible est d'autant plus importante que la densité de celle-ci est différente du milieu. C'est pourquoi la détection est facilitée par la vessie gazeuse réfléchissant 85% de l'énergie sonore chez les poissons osseux (Diner and Marchand, 1995). Cependant, une distorsion importante des échelles existe, faisant apparaître des bancs globalement plus hauts que larges. Pour ce stage, les notions d'acoustique importantes sont (MacLennan et al., 2002) :

- **Sa** ou **NASC** (*Nautical Area Scattering Coefficient*) : Energie acoustique reçue par le sondeur pour un mille nautique (indice de réverbération par mille nautique²).
- Fréquence d'échantillonnage du sondeur : 38kHz et 120kHz pour l'estimation de stock.
- **Sv** (*mean volume backscattering strength*) en dB : Energie acoustique renvoyée pour un volume donné et donc une estimation de la quantité de poissons dans ce volume.
- Seuils d'énergie en Sv : Seuil d'affichage de l'échogramme
- **TS** (*Target Strength*) en dB : Index de réflexion acoustique

3) Développement d'une méthode pour caractériser les bancs de surface

Nous sommes partis de l'hypothèse que la densité acoustique des bancs sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau, à 38 kHz, devait être semblable à celle des bancs latéraux que l'on ne peut pas calculer directement. Une extraction des bancs d'intérêt a été réalisée sur 107 ESDUs (1 ESDU = 1 mille nautique) de PELGAS 2016, ESDUs supposés représentatifs de l'ensemble de la zone d'étude. C'est une autre hypothèse importante car ces ESDUs représentent uniquement 5% de la zone d'étude. Cette extraction de bancs a été effectuée sous le logiciel **MOVIES+** (Weill et al., 1993) permettant de visualiser les échogrammes et de travailler sur les caractéristiques des bancs (profondeur, hauteur, largeur, aire, Sv, Sa...) (Figure 4). Pour s'affranchir du problème de l'angle de détection par le sondeur latéral et pouvoir prendre en compte la biomasse de petits poissons sur la couche 0-10m dans l'évaluation des stocks, nous avons testé la combinaison des données verticales et horizontales suivante :

$$Sa_{\text{poissons horizontaux}} = \text{Nombre}_{\text{bancs horiz}} * \text{Aire}_{\text{bancs horiz}} * Sv_{\text{bancs vertic}}$$

Le calcul du Sa ou NASC, après combinaison des données, a été réalisé selon l'équation issue du manuel d'utilisation du logiciel MOVIES+ (Berger et al., 2005) :

$$\sigma_{ag} = A_{tot} * Sv$$

- σ_{ag} calculé à partir d'une écho-intégration par couche
- A_{tot} l'aire totale des bancs latéraux en m²
- Sv la densité acoustique moyenne verticale (10-30m) en dB

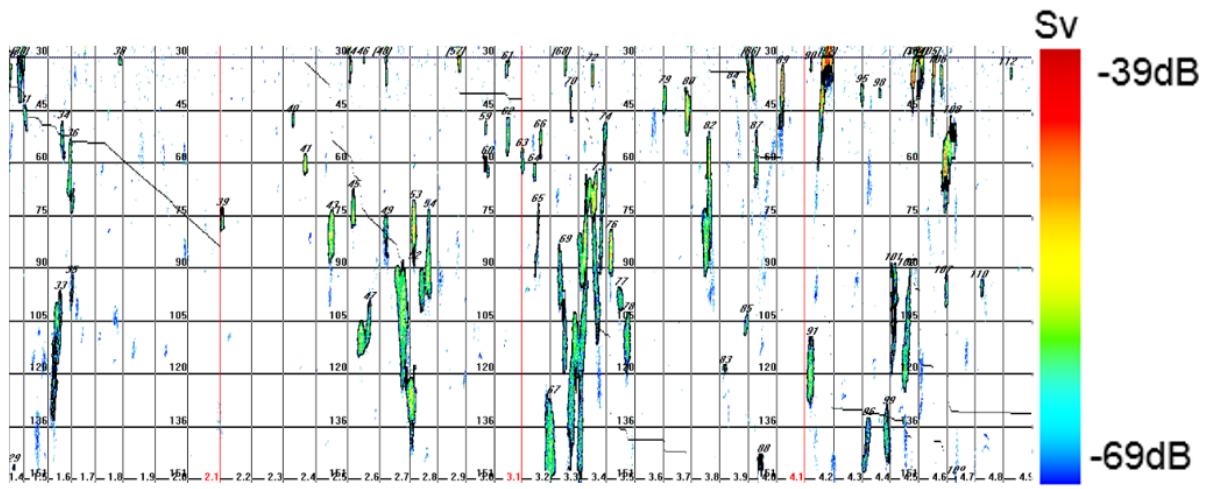


Figure 4 : Extraction des bancs d'un échogramme de sondeur latéral sous MOVIES+

$$Sa = 23270 * \frac{\sigma_{ag}}{D_E}$$

- Sa l'énergie acoustique reçue par le sondeur sur 1 mille nautique (MN)
- D_E la distance parcourue (dans notre cas, on travaille par ESDU)

Pour ce qui concerne le calcul des densités de bancs et de poissons, nous nous sommes appuyés sur la méthode de Pedersen qui tient compte de la taille moyenne des poissons (déterminée selon le chalut de référence) et de leur TS (Pedersen et al., 2009) :

$$\rho_a = \frac{Sa}{4\pi * \sigma_{bs}} \text{ avec } TS = 10 \log \sigma_{bs}$$

$$TS = 20 \log L + b_{20}$$

- σ_{bs} la surface réfléchissante d'une seule cible en m^2
- L la longueur moyenne du poisson en cm
- b_{20} la constante prenant en compte la profondeur et l'angle d'insonification

Dans un premier temps, nous avons analysé l'occurrence des bancs puis, afin de comparer les distributions, un test statistique de Wilcoxon a été appliqué aux différents ratios. Nous avons choisi ce test car c'est un test non-paramétrique (pas d'hypothèse de Normalité) qui compare la forme globale de la distribution. Nous nous sommes ensuite intéressés à trois caractéristiques des bancs : longueur (L), largeur (l) et hauteur (H) dont les ratios horizontale/verticale ont été soumis au test de Wilcoxon puis, nous avons réalisé des rapports de médianes. La médiane est un meilleur indicateur que la moyenne dans notre cas car les distributions sont dissymétriques. L'ensemble a été effectués sous le logiciel **RStudio**.

Pour s'assurer de la véracité de nos valeurs, nous avons calibré le sondeur latéral lors de PHOENIX 2017. Une bille métallique, dont la réponse acoustique est connue, a été placée au niveau du faisceau (Diner & Marchand, 1995). Le décalage de Sv est estimé à + 1.3dB.

Résultats :

1) Occurrence des bancs

60 ESDUs sur 107 ne présentent que des bancs verticaux. Donc, 40% des ESDUs présentent des bancs horizontaux et verticaux tandis que 56% des ESDUs ne présentent que des bancs horizontaux. Ceci met en relief l'importance de s'intéresser à ces bancs de surface.

2) Dimensions des bancs

Les moyennes des longueur, largeur et hauteur ont été reportés dans le tableau ci-contre (Table 2).

	Bancs verticaux	Bancs horizontaux
Longueur	9	31
Hauteur	2.5	
Largeur		12

Table 2 : Moyennes des longueur, largeur et hauteur en fonction du type de bancs (en m)

Les bancs horizontaux sont globalement 3 fois plus longs que les bancs verticaux. Ceci est dû à l'insonification latérale (le faisceau ne « touche » pas les bancs dorsalement) et aux lobes secondaires du faisceau (Figure 5).

Les bancs horizontaux sont 5 fois plus hauts que les bancs verticaux. Avec l'insonification latérale, on ne voit pas la hauteur mais la largeur du banc, ce n'est donc pas la même dimension et cela explique ces fortes valeurs car la largeur sera toujours supérieure à la hauteur du banc.

Nous retrouvons ce problème au niveau du calcul de l'aire, 12 fois plus importante pour les bancs horizontaux, puisque ce ne sont pas les mêmes dimensions qui sont prises en compte. Ces résultats nous ont permis de caractériser la structure des bancs en terme de dimensions mais aussi de mettre en évidence et de quantifier les biais liés à notre méthode.

3) Comparaison des distributions

Ci-contre, nous proposons un tableau récapitulatif des résultats du test de Wilcoxon pour la comparaison de distributions (Table 3).

3.1 La biomasse du sondeur latéral (0-10m) est-elle significative ?

Lorsque l'on applique le test au ratio du NASC latéral par rapport au NASC 10 à 30m, la pvalue est supérieure à 0.05. Il n'y a pas de différence de distribution significative. La quantité de poissons semble donc être la même entre la couche de surface et les 30 premiers mètres de profondeur.

Lorsque l'on applique le test au ratio du NASC latéral par rapport au NASC sur la colonne d'eau, la pvalue est inférieure à 0.05. Il existe donc une différence de distribution significative. Le ratio est inférieur à 0 donc il y a plus de poissons dans la colonne d'eau.

Avec le rapport des médianes, nous pouvons dire que la surface ne représente que 12% de la biomasse de poissons par rapport à la totalité de la colonne d'eau.

La distribution des poissons est donc la même entre 0 et 30m tandis que le maximum de poissons se trouve vers le fond.

3.2 La couche de poissons est-elle homogène entre 0 et 30m de profondeur ?

Nous nous sommes ensuite intéressés au ratio des densités (ρ) de bancs horizontales et verticales. Le test de Wilcoxon montre une différence significative de distribution. En effet, les densités des bancs verticaux, quand il y a en a, sont supérieures de 20% aux densités des bancs horizontaux. Il existe peut-être un effet de densité dépendance ? Ou bien un phénomène d'évitement des bancs de surface qui plongeraient en sub-surface à l'arrivée du bateau ?

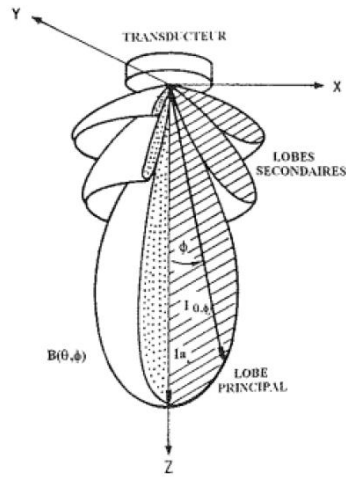


Figure 5 : Directivité d'un faisceau acoustique. Le lobe principal contient la majeure partie d'intensité acoustique du faisceau. L'énergie restante forme les lobes secondaires (Diner and Marchand, 1995).

	$NASC_{horiz}$	$\rho_{bancs\ horiz}$	$\rho_{poissons\ horiz}$	$NASC_{colonne\ d'eau}$
$NASC_{10-30m}$	0.45			10^{-10}
$NASC_{colonne\ d'eau}$	0.0008			
$\rho_{bancs\ vertic}$		10^{-13}		
$\rho_{poissons\ vertic}$			0.0003	

Table 3 : pvalue du test de Wilcoxon pour la comparaison de distributions.

Lorsque l'on applique le test sur le ratio des densités (ρ) de poissons horizontales et verticales, les résultats vont dans le même sens. En effet, les densités de poissons verticaux, quand il y en a, sont supérieures de 13% aux densités de poissons horizontales.

Pour confirmer nos résultats, nous avons de nouveau réalisé un test statistique sur le ratio du NASC sur la colonne d'eau et u NASC sur la couche 10 à 30m. Le NASC sur la totalité de la colonne d'eau est 10 fois plus important que celui de la couche 10 à 30m. Globalement, nous pouvons dire que les couches ne sont pas homogènes entre la surface et le fond. En effet, la grande majorité des poissons se situe plutôt près du fond. Il n'est donc pas possible de sommer la biomasse entre ces couches.

Discussion :

La combinaison des données de NASC des bancs verticaux à 10-30m et de d'aire des bancs visualisés par le sondeur latéral au niveau de la zone aveugle 0-10m nous a permis d'étudier les caractéristiques des bancs de surface. En effet, ces bancs présentent une longueur moyenne de 31m et une largeur moyenne de 12m. D'autre part, nous avons mis en évidence une distribution non-homogène entre les différentes couches. En effet, seule 12% de la biomasse se situe dans la couche de surface. Il est aussi à noter que la colonne d'eau totale présente 10 fois plus de poissons que la couche 10-30m échantillonnées par le sondeur vertical. Les densités de bancs et de poissons vont dans le même sens d'un enrichissement en poissons avec la profondeur. Cependant, il est important de noter les biais liés à cette combinaison des données. En effet, cette méthode suppose que l'on est, sur le même ESDU, des bancs verticaux et des bancs horizontaux. Or, nous avons pu prouver que ce n'était pas souvent le cas : 56% des ESDUs comportent uniquement des bancs horizontaux. Pour améliorer ce point, il faudrait essayer de faire une moyenne des densités des bancs verticaux sur l'ensemble de la zone d'étude. D'autre part, le plus gros biais se situe au niveau du calcul de l'aire des bancs horizontaux. En effet, l'insonification latérale ne donne pas accès à la hauteur du banc, l'aire est donc calculée à partir de la longueur et de la largeur du banc. De plus, le problème des lobes secondaires du faisceau est important car ils entraînent une surestimation de la longueur du banc. Aussi, bien que nous ayons résolue la question de la calibration du sondeur latéral, il reste le problème des bulles d'air. En effet, le sondeur latéral n'est pas fonctionnel par mauvais temps. Afin d'améliorer la méthode, il faudrait étudier la possibilité d'utiliser les données du sondeur multifaisceaux (plusieurs fréquences) pour préciser la dimension des bancs.

Références :

- Berger, L., Durand, C., and Marchalot, C., 2005. Movies+ User Manual version 4.3. Ifremer.
- Bertrand, A., Ballon, M., and Chaigneau, A., 2010. Acoustic Observation of Living Organisms Reveals the Upper Limit of the Oxygen Minimum Zone. *PLoS ONE*, 5 (4).
- Diner, N. and Marchand, P., 1995. Acoustique et pêche maritime. Plouzané, France : Ifremer.
- Doray, M., Badts, V., Massé, J., Duhamel, E., Huret, M., Doremus, G., and Petitgas, P., 2014. Manual of fisheries survey protocols. PELGAS surveys (PELagiques GAScogne). Manuel des protocoles de campagnes halieutique Ifremer.
- MacLennan, D. N., Fernandes, P. G., and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. – *ICES Journal of Marine Science*, 59:365–369.
- Pedersen, G., Handegard, N. O., and Ona, E., 2009. Lateral-aspect, target-strength measurements of in situ herring (*Clupea harengus*). – *ICES Journal of Marine Science*, 66 : 1191-1196.
- Petitgas, P., Doray, M., Huret, M., Massé, J., and Woillez, M., 2014. Modelling the variability in fish spatial distributions over time with empirical orthogonal functions : anchovy in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science : Journal du Conseil*, 71 (9), 2379-2389.
- Remond, B., 2015. Les couches diffusantes du golfe de Gascogne : caractérisation acoustique, composition spécifique et distribution spatiale. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie.
- Weill, A., Scalabrin, C., and Diner, N., 1993. MOVIES-B : an acoustic detection description software.application to shoal species' classification. *Aquatic Living Resources* 6., pages 255-267.
- Zwolinski, J. P. and Demer, D. A., 2012. A cold oceanographic regime with high exploitation rates in the Northeast Pacific forecasts a collapse of the sardine stock. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (11), 4175-4180.