

**Rapport de Stage de master 1^{ère} année
Année 2019-2020
Master Sciences de la Mer**

**BANCS DE SURFACE DE PETITS POISSONS
PELAGIQUES DANS LE GOLFE DE GASCOGNE :
IMPLICATION POUR L'ÉVALUATION DE LA
BIOMASSE**

Noémie Coulon

Réalisé sous la responsabilité de Mathieu Doray
IFREMER Unité Ecologie et modèles pour l'halieutique
Rue de l'Ile d'Yeu 44311 Nantes Cedex 03

Sous la supervision académique de Philippe Koubbi

1. Introduction :

L'activité économique de nombreux ports de pêches de la façade Atlantique dépend des petits poissons pélagiques exploités dans le Golfe de Gascogne. Les premières séries de campagne acoustiques réalisées dans les années 70-80 avaient pour but d'évaluer l'abondance des anchois (*Engraulis encrasicolus*) afin de définir des plans de gestion des pêcheries. La dynamique des populations de petits poissons pélagiques est influencée par les paramètres biotiques et abiotiques de l'écosystème pélagique, notamment lors de la phase de recrutement. C'est pourquoi, depuis 2000, les campagnes PELGAS ont adopté un point de vue écosystémique pour évaluer l'état des ressources pélagiques. Actuellement, 4 équipes récoltent des données sur l'hydrologie, le plancton, les petits poissons pélagiques et les mammifères et oiseaux marins grâce aux outils hydrologiques et acoustiques, les pêches et les observations visuelles (Doray *et al.*, 2018).

Les bancs de petits poissons pélagiques de surface (0-30m) sont caractérisés grâce à l'analyse d'images acoustiques appelées échogrammes. Les échosondeurs verticaux permettent de caractériser par acoustique les bancs de poissons de surface entre 10 et 30 mètres de profondeur. Les fronts d'ondes produits par l'échosondeur ne sont pas en phase jusqu'à 2m de son antenne (dans le champ proche), et la relation entre l'intensité et la distance à l'antenne (ou transducteur) est complexe (Diner et Marchand, 1995). Par conséquent les bancs très proches de la surface (0-10m) sont généralement exclus des relevés acoustiques traditionnels afin d'éviter les erreurs dues au champ acoustique proche (Doray *et al.*, 2018). Ceci soulève une problématique : quelle quantité de poisson n'est pas détectée par les sondeurs verticaux près de la surface ?

Afin d'estimer plus précisément la biomasse et la distribution spatiale des œufs et des adultes des petits poissons pélagiques, des méthodes basées sur la détection des œufs indépendantes des méthodes acoustiques ont été développées. Le CUFES est un système de comptage d'œufs de poisson à partir de prélèvements effectués par pompage en subsurface (Checkley Jr *et al.*, 1997) utilisé pendant PELGAS.

L'objectif de ce rapport est d'estimer la biomasse et la distribution des bancs de surface (0-30m) Pour ce faire, nous allons : (i) évaluer la densité des bancs très proche de la surface (0-10m) grâce à l'utilisation d'un échosondeur horizontal ; (ii) comparer la quantité de poissons proches de la surface détectés par les échosondeurs verticaux et horizontaux ; (iii) comparer le nombre d'œufs quantifié par le système de comptage d'œufs de poisson CUFES et la biomasse d'anchois estimée avec les sondeurs horizontaux et verticaux, afin d'identifier des biais éventuels dans les observations réalisées par l'une ou l'autre méthode.

2. Matériels et méthodes

2.1 Plan d'échantillonnage

Fig. 1 : (à droite) Plan d'échantillonnage de la campagne PELGAS (Adapté de Doray et al., 2018). Lignes noires : transects. Points rouges : stations hydrobiologiques. Lignes grises : isobathes à 100, 200, 300, 400, 500m. Grille gris clair : grille de calcul de la moyenne des blocs. Chiffres blancs : numéros des radiales

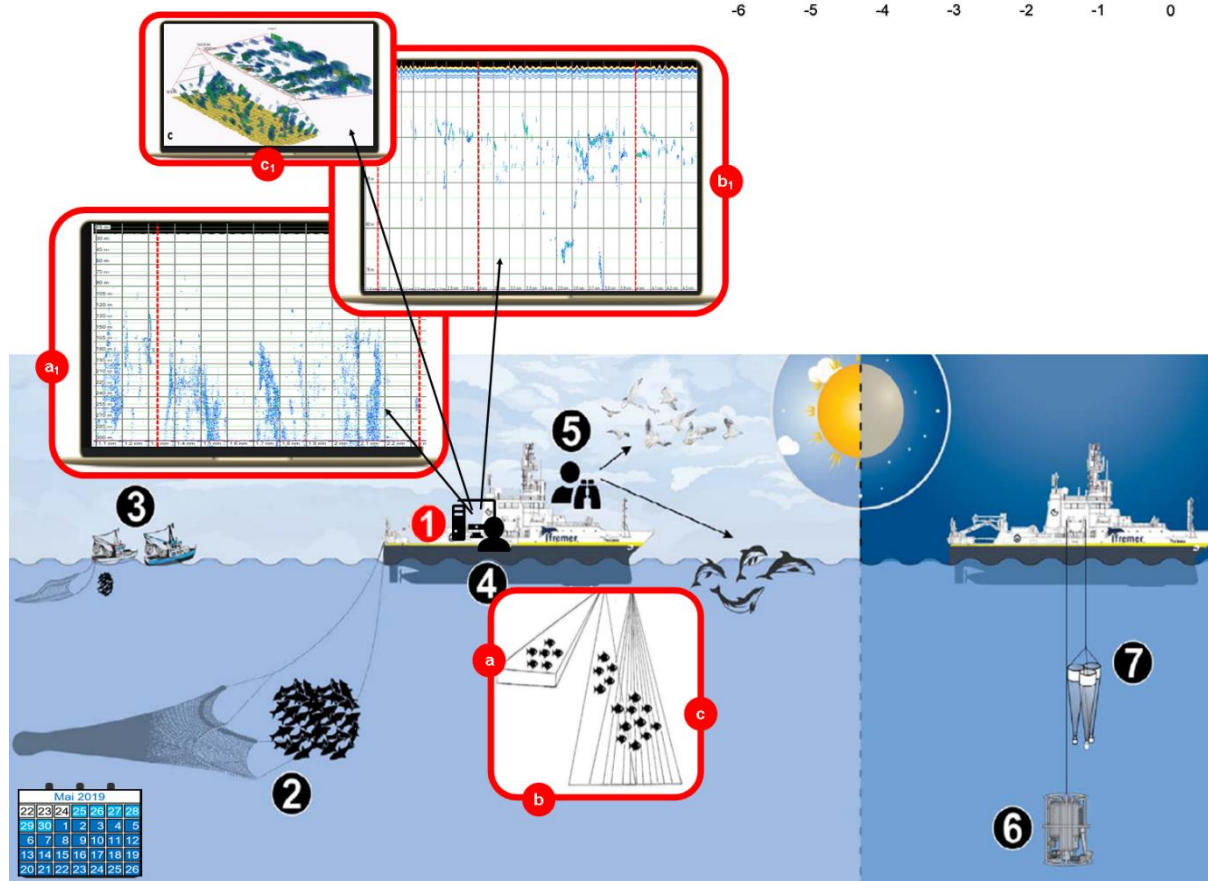
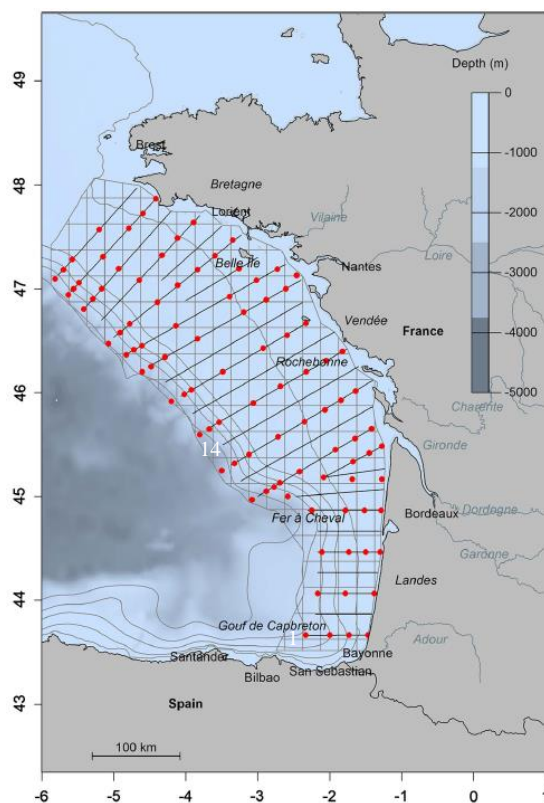


Fig. 2 : Collecte de données au cours de la campagne PELGAS. (Adapté de Doray et al., 2018) Durant la journée le long des transects : 1. Acoustique halieutique : a. Sondeur horizontal émettant à 120kHz, b. Sondeurs verticaux monofaisceaux émettant à 18, 38, 70, 120, 200 kHz, c. Sondeur multifaisceaux, a₁. Echogramme issu du sondeur horizontal ; abscisses : distance parcourue par le bateau (mn), ordonnées : distance au bateau à tribord (m), b₁. Echogramme issu du sondeur vertical ; abscisses : distance parcourue par le bateau (mn), ordonnées : profondeur (m), c₁ Visualisation en 3D du sondeur multifaisceaux (vers le bas) et du sondeur horizontal (vers la droite). 2. Chalutage par N/O Thalassa, 3. Pêches complémentaires par des chalutiers professionnels en bœufs, 4. Thermosalinomètre de coque et CUFES, 5. Observations de la mégafaune. Pendant la nuit, à des stations fixes : 6. Echantillonnage hydrobiologique, 7. Filets à méso-zooplancton

La campagne PELGAS se déroule dans le Golfe de Gascogne, du sud de la Bretagne au nord de l'Espagne à bord du navire océanographique Thalassa. Elle a lieu au printemps et dure environ 35 jours. Les données acoustiques sont enregistrées en continu de 6h à 22h le long de transects perpendiculaires à la côte (Fig. 1). Le navire est équipé d'un échosondeur horizontal monofaisceau émettant vers tribord, d'échosondeurs verticaux monofaisceaux multifréquences et d'un échosondeur vertical multifaisceaux permettant une représentation en 3 dimensions (Fig. 2).

2.2 Principe de l'estimation de biomasse par acoustique

Un échosondeur est constitué d'un émetteur / récepteur (ou transducteur) connecté à un boîtier électronique. L'émetteur envoie une courte impulsion électrique qui est transmise sous forme d'impulsion ultrasonore. Lorsque l'onde acoustique rencontre une variation d'impédance (résistance acoustique) dans la colonne d'eau, une partie de l'énergie est rétrodiffusée vers l'émetteur. Le temps écoulé entre l'émission et la réception permet d'obtenir la distance au transducteur. Le ratio entre l'intensité émise par l'échosondeur et celle réfléchiée par une ou plusieurs cibles corrigées par la distance permet de déterminer la réponse acoustique d'une cible. Dans la diffusion des ondes acoustiques par les poissons, la contribution principale est due à la vessie natatoire (Diner et Marchand, 1995). L'écho-intégration est une technique de mesure qui permet d'évaluer la biomasse présente dans une zone à partir du cumul de l'énergie acoustique rétrodiffusée par l'ensemble des cibles présentes, et de la connaissance de la réponse acoustique individuelle des cibles (ou Target Strength : TS ; Lurton, 2001).

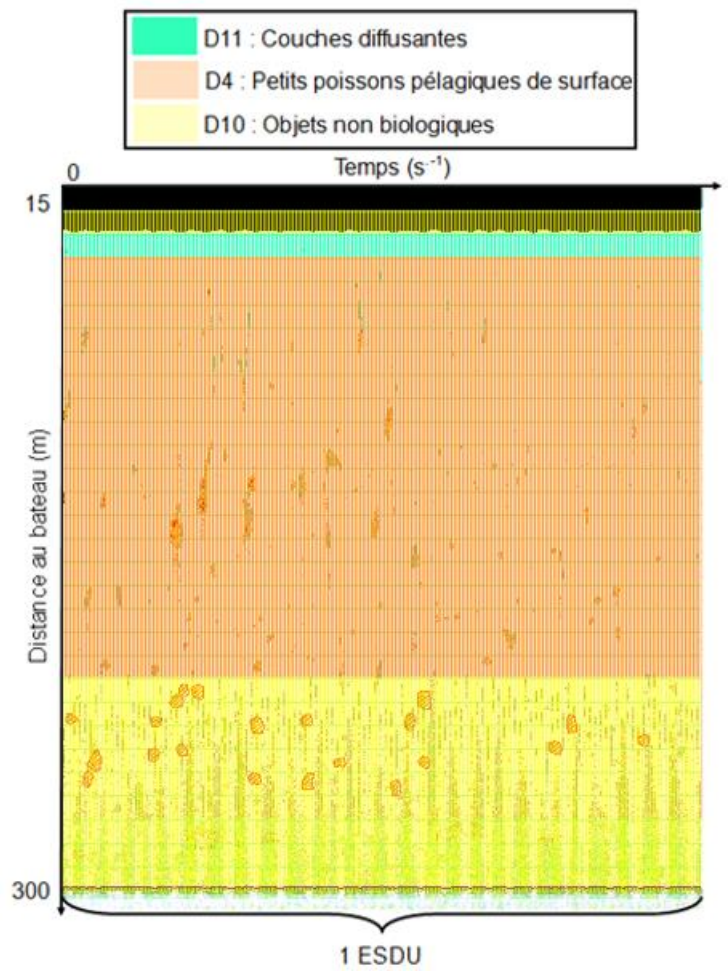
Le « backscattering cross-section » (σ_{bs} , m^2) est la réponse acoustique d'une cible unique ; il s'agit d'un ratio entre l'énergie de l'onde incidente et rétrodiffusée. TS est sa mesure logarithmique (dB.re.1.m²). Le « volume backscattering coefficient » (s_v , m^{-1}) correspond à la somme des réponses acoustiques de toutes les cibles discrètes dans le volume V. L'intensité acoustique volumique ; S_v (dB.re.1.m⁻¹) est sa mesure logarithmique. Le « Area backscattering coefficient » (s_a , $m^2.m^{-2}$) est l'intégrale de s_v sur un intervalle délimité verticalement. C'est un indice de réflexion surfacique qui permet d'estimer le « Nautical Area Scattering Coefficient » (NASC, $m^2 nmi^{-2}$) pour une distance élémentaire d'échantillonnage d'un mille nautique (ESDU) (MacLennan *et al.*, 2002).

Les densités acoustiques issues de l'écho-intégration sont ensuite assignées manuellement à différentes catégories de cibles (poisson, plancton, etc ...) lors du processus d'échotypage. L'énergie acoustique rétrodiffusée par les poissons est ensuite combinée avec les résultats des chalutages d'identification afin de calculer la biomasse de poissons présente dans chaque ESDU, en prenant en compte les TS des différentes espèces et classes de taille (Simmonds et MacLennan, 2005, section 9 ; Doray *et al.*, 2010).

2.3 Analyse des échogrammes de PELGAS 2019

Le logiciel MOVIES3D développé par l'IFREMER a été utilisé pour obtenir les descripteurs

Fig. 3 : Exemple d'échotypage réalisé sur un échogramme issu du sondeur horizontal émettant à 200 kHz lors de la campagne PELGAS2019.



acoustiques des bancs détectés par l'échosondeur vertical issus des données de la fréquence 38 kHz (Fig. 2). En ce qui concerne l'échosondeur horizontal, les radiales à analyser ont été sélectionnée à l'aide d'un SIG permettant de comparer la quantité d'œufs détectés par le CUFES et la quantité de poissons détecté par l'échosondeur vertical. Les descripteurs acoustiques des bancs détectés par l'échosondeur horizontal issus des données de la fréquence 200 kHz (Fig. 2 ; Fig. 3) sont analysés avec le package R EchoR afin de calculer la densité des poissons, leur biomasse et leur abondance.

2.3.1 Estimation de la biomasse des bancs de surface à partir des données du sondeur horizontal

La densité volumique des cibles est observée dans un cône horizontal. Elle est extrapolée pour calculer l'abondance totale des cibles dans tout le volume échantillonné. L'énergie totale qui est rétrodiffusée dans le volume insonifié est ramenée à la densité acoustique mesurée dans un parallélépipède de dimensions horizontales 1 MN x 1MN et de hauteur la hauteur de la tranche d'eau insonifiée. On a donc : $NASC_{Horiz_couche} = NASC_{Horiz} \times \frac{H_{couche}}{R_{max}}$. La hauteur moyenne de la couche (H_{couche} , m) est de 15 mètres et la portée maximale moyenne du faisceau (R_{max} , m) est de 280 mètres. La densité de poisson (ρ_a , $nmin^{-2}$) est enfin calculée telle que $\rho_a = \frac{NASC_{Horiz_couche}}{4\pi \times \sigma_{bs}}$. Ici, la section de rétrodiffusion σ_{bs} est dérivée de TS qui est spécifique à la fréquence et à l'espèce considérée. Les densités acoustiques des poissons sont attribuées avec le logiciel MOVIES3D à un échotype qui est composé de plusieurs espèces de petits poissons pélagiques ayant des écho-traces similaires (Fig. 3). On émet l'hypothèse que les espèces considérées ont une réponse acoustique proche de celle de l'anchois, sauf le maquereau. Une valeur de TS de -44 dB mesurée avec le sondeur horizontal pendant la campagne sur des anchois de 13 cm de long est utilisée pour calculer une équation TS en fonction de la longueur (L, cm) pour les poissons à vessie natatoire $TS_{SPP} = 20 \log(L) - 66.3$. L'équation TS utilisée pour le maquereau est : $TS_{SPP} = 20 \log(L) - 84$.

2.4 Réalisation des cartes

Afin de permettre la comparaison de la biomasse des poissons et de la quantité d'œufs, les séries spatio-temporelles ont été lissées spatialement sur la même grille spatiale. Le maillage de la grille sélectionnée est de 0,25° en latitude et en longitude avec l'origine x_0 à 43° N et 6° W. Il répond à un compromis entre le nombre de poissons et d'échantillons hydrologiques moyennés dans chaque cellule, et la résolution spatiale de la grille. La valeur de la cellule correspond à la moyenne des données à l'intérieur de la cellule (i, j, x_0) positionnée au centre de la cellule. La position du point x_0 est tirée au hasard 200 fois dans la cellule du coin inférieur gauche (Petitgas *et al.*, 2014). Les 200 valeurs calculées dans chaque cellule sont moyennées pour fournir l'estimation finale des paramètres dans la cellule. L'indice e_1 est défini dans chaque cellule comme la différence entre la biomasse moyenne estimée par acoustique et standardisée (i.e. divisée par la valeur maximale prise par ce

Fig. 4 : Carte moyenne de la biomasse totale d'anchois (en tonnes) estimée à partir du sondeur horizontal émettant à 200 kHz lors de la campagne PELGAS2019. Taille des cellules de la grille : $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Une cellule blanche indique une occurrence nulle sur la série.

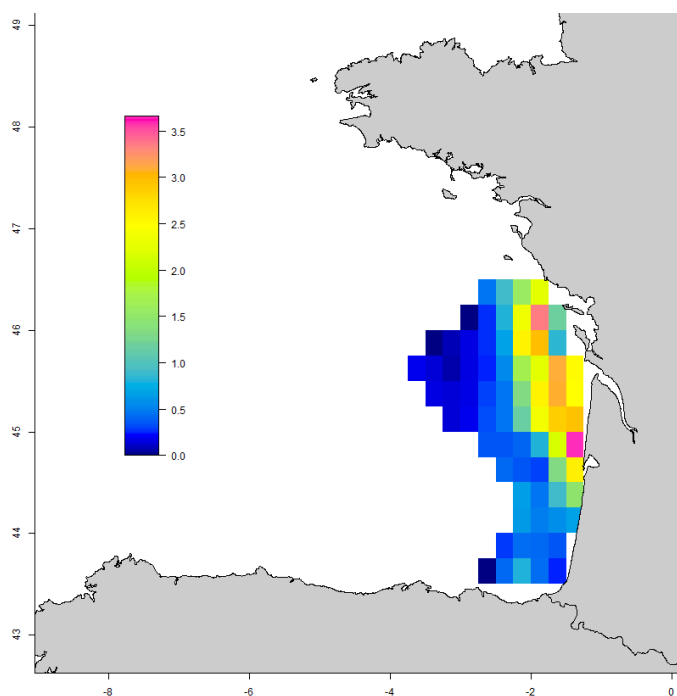
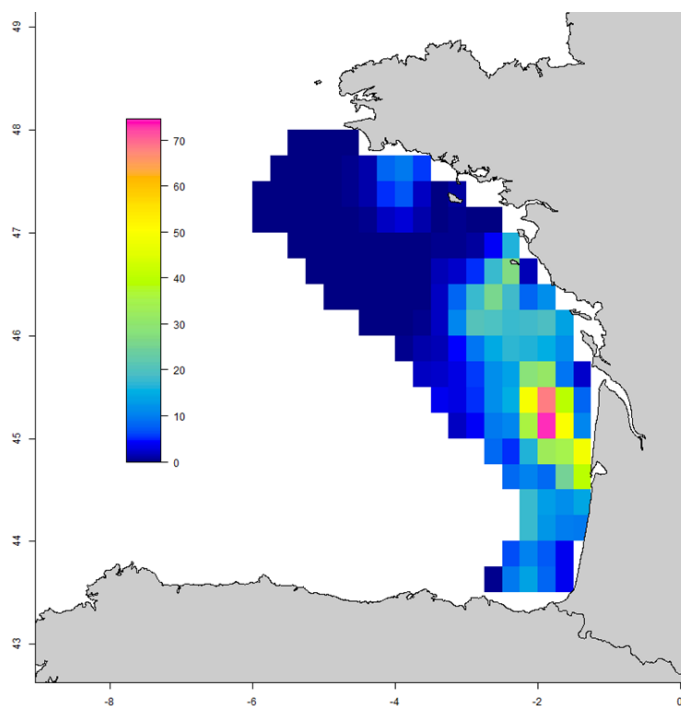


Fig. 5 : Carte moyenne de la biomasse totale d'anchois (en tonnes) estimée à partir du sondeur vertical émettant à 38 kHz lors de la campagne PELGAS2019. Taille des cellules de la grille : $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Une cellule blanche indique une occurrence nulle sur la série.



paramètre), et le nombre d'œufs d'anchois standardisé dans une cellule. L'indice e_2 est défini comme le rapport entre le nombre d'œufs d'anchois et l'abondance d'anchois en milliers estimée par acoustique dans une cellule ; c 'est un proxy de la fécondité.

3. Résultats

3.1 Analyse des cartes moyennes de biomasse totale

Les échogrammes issus du sondeur horizontal ont été analysés de la radiale 1 à la radiale 14 (Fig. 1). En raison du mauvais temps (présence de bulles parasites), les échogrammes enregistrés sur la radiale 9 entre 45.23°N, 1.58°W et 45.18°N, 2.07°W, sur la radiale 11 entre 45.17°N, 2.58°W et 45.12°N, 2.72°W et sur la radiale 13 entre 45.76°N, 2.26°W et 46.12°N, 1.40°W n'ont pas pu être analysés. Au total, 750 ESDU sur 1857 ont été échantillonnées.

La Fig. 4 présente la carte moyenne de la biomasse totale d'anchois (en tonnes) estimée à partir du sondeur horizontal émettant à 200 kHz et la Fig. 5 celle estimée à partir du sondeur vertical émettant à 38 kHz. Les échogrammes issus du sondeur latéral permettent de mettre en évidence une large zone (46.5°N à 44.25°N et 2.25°W à 1.25°W) où la biomasse est supérieure à une tonne. La zone d'échantillonnage du sondeur horizontal analysée correspond à l'étendue où la biomasse d'anchois est la plus élevée dans le Golfe de Gascogne. Le sondeur vertical permet aussi de mettre en évidence une zone (45.75°N à 44.5°N et 2.25°W à 1.25°W) où la biomasse est supérieure à 40 tonnes avec un maximum à 70 tonnes. Les maxima de biomasse estimés par le sondeur vertical ne recoupent pas entièrement les maxima estimés par le sondeur horizontal.

Le sondeur horizontal a permis d'estimer une biomasse totale d'anchois de 2 928 tonnes et le sondeur vertical une biomasse totale d'anchois de 183 165 tonnes sur l'ensemble du Golfe de Gascogne. Il n'y a pas de différence significative entre la biomasse totale d'anchois estimée avec les deux sondeurs et la biomasse totale d'anchois estimée par le sondeur vertical seul.

3.2 Comparaison des cartes moyennes de biomasse totale et de nombre d'œufs

Le système de comptage d'œufs de poisson CUFES permet de mettre en évidence une zone (46.25°N à 43.25°N et 2.25°W à 1.5°W) où le nombre d'œufs d'anchois est supérieur à 300 (Fig. 6). Le paramètre e_1 estimé à partir de la biomasse totale standardisée et du nombre d'œufs d'anchois standardisé permet de mettre en évidence 2 zones particulières : la première (46°N à 45.5°N et 2.25°W à 1.75°W) et la seconde (44.5°N à 43.5°N et 2°W à 1.5°W) présentent un indice inférieur à 1 (Fig. 7).

3.3 Comparaison des cartes moyennes d'abondance totale et de nombre d'œufs

On émet l'hypothèse que l'abondance estimée à partir du sondeur horizontal est négligeable par rapport à l'abondance estimée à partir du sondeur vertical. La carte du paramètre e_2 (rapport entre le nombre d'œufs et de l'abondance d'anchois adultes mesurée par le sondeur vertical) permet de mettre

Fig. 6 : Carte moyenne du nombre d'œufs total d'anchois estimé à partir du système de comptage d'œufs de poisson CUFES lors de la campagne PELGAS2019. Taille des cellules de la grille : $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Une cellule blanche indique une occurrence nulle sur la série.

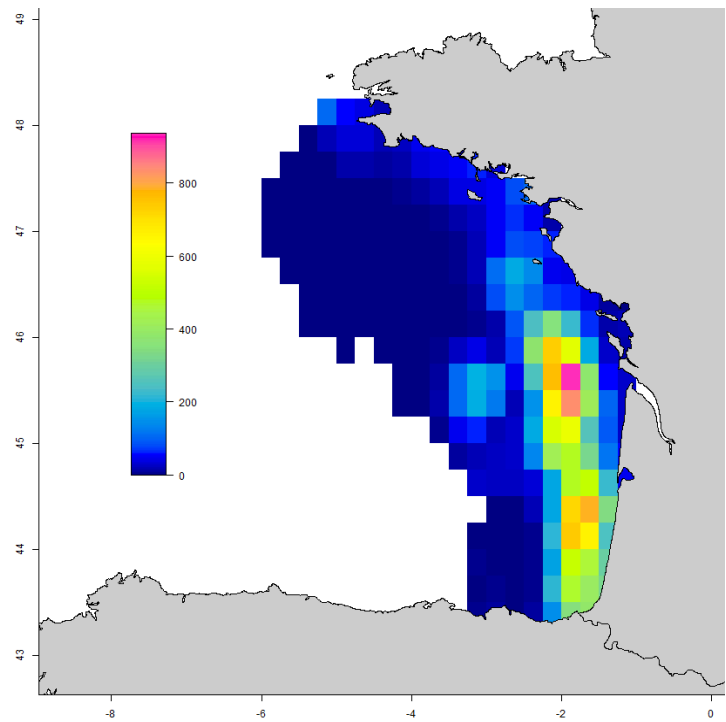


Fig. 7 : Carte moyenne de la différence entre la biomasse totale standardisée d'anchois (en tonnes) estimée à partir du sondeur vertical et du sondeur horizontal et le nombre d'œufs total standardisé estimé à partir du système de comptage d'œufs de poisson CUFES lors de la campagne PELGAS2019. Taille des cellules de la grille : $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Une cellule blanche indique une occurrence nulle sur la série.

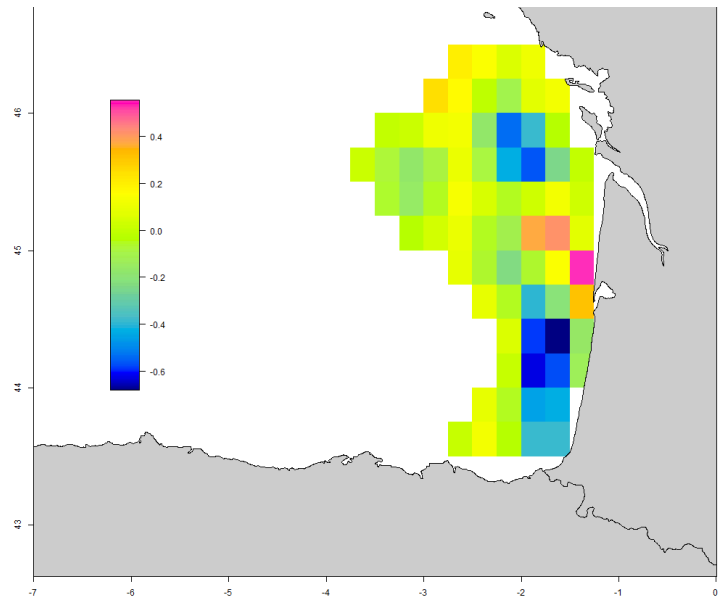
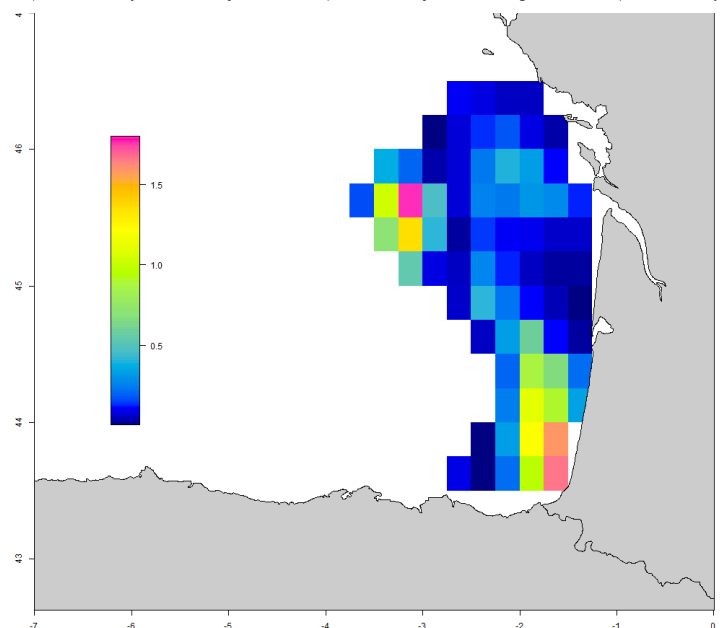


Fig. 8 : Carte moyenne du paramètre e_2 estimé à partir du rapport entre le nombre d'œufs estimé à partir du système de comptage d'œufs de poisson CUFES et l'abondance totale d'anchois (en milliers) estimée à partir du sondeur vertical émettant à 38 kHz lors de la campagne PELGAS2019. Taille des cellules de la grille : $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Une cellule blanche indique une occurrence nulle sur la série.



en évidence une zone particulière (44.5°N à 43.5°N et 2°W à 1.5°W) où la valeur de e_2 est supérieure à 1 et est bien supérieure à celle de ses plus proches cellules voisines (Fig. 8). e_2 est supérieur à 1,5 au Sud-Est de cette zone.

4. Discussion

Le sondeur horizontal est un outil qui permet d'estimer la biomasse des poissons très proche de la surface (0-10m). Celle-ci représente moins de 2 % de la biomasse totale, par conséquent la sous-estimation de la biomasse des bancs de surface par l'analyse unique des échogrammes verticaux est négligeable à l'échelle de la population. Cependant la biomasse estimée à partir du sondeur horizontal permet de mettre en évidence des différences géographiques dans la distribution des anchois dans la colonne d'eau. Ces différences de distribution spatiale peuvent refléter les fortes différences de conditions environnementales entre le fond et la surface (Simard *et al.*, 2003), qui vont constituer des habitats préférentiels différents en fonction des capacités physiologiques des poissons.

La distribution moyenne du nombre d'œufs n'est pas la même que la distribution moyenne de la biomasse des anchois adultes estimée par acoustique. En particulier, deux zones se démarquent par des quantités d'œufs supérieures à la biomasse des anchois adultes. La zone la plus au Nord coïncide avec une zone où les échogrammes issus du sondeur horizontal n'ont pas pu être échantillés en raison du mauvais temps. On peut émettre l'hypothèse d'un biais d'échantillonnage. En ce qui concerne la zone la plus au Sud cette explication est très peu probable, les échogrammes ayant tous pu être analysés correctement. Le rapport entre le nombre d'œufs d'anchois et l'abondance d'anchois estimée par acoustique est par ailleurs le plus élevé dans cette zone. On peut donc supposer que les différences observées dans le Sud entre les distributions d'œufs et d'adultes pourraient s'expliquer par le fait que les adultes observés dans cette zone aient été plus féconds. Cette fécondité plus élevée pourrait être due à la présence d'individus plus grands et donc plus féconds. La taille étant corrélée avec la plupart des traits de l'histoire de vie dans les écosystèmes marins (Reiss, 1991), il serait intéressant d'étudier les longueurs moyennes pondérée par la biomasse des individus échantillonnés par les traits de chaluts afin de valider cette hypothèse.

Les différences de distributions moyennes du nombre d'œufs et de la biomasse des anchois adultes estimée par acoustique soulèvent des interrogations concernant l'évaluation des stocks de reproducteurs par les campagnes PELGAS. Un nouveau protocole indépendant des méthodes basées sur la détection des œufs et l'acoustique pourrait être mis en place afin de déterminer la fécondité à partir de la fréquence de fraie des femelles et du nombre d'ovocytes pondus à chaque ponte. Ces deux variables pourraient être déterminées par la reconnaissance de certains critères histologiques permettant de classer les ovocytes selon différentes phases de développement.

Bibliographie

Checkley Jr, D.M., Ortner, P.B., Settle, L.R., Cummings, S.R., 1997. A continuous, underway fish egg sampler. *Fish. Oceanogr.* 6, 58–73. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2419.1997.00030.x>.

Diner, N., and Marchand, P., 1995. *Acoustique et pêche maritime*. Plouzané, France : Ifremer.

Doray, M., Massé, J., Petitgas, P., 2018. Pelagic fish stock assessment by acoustic methods at Ifremer. *Rapp. Int. Ifremer DOP/DCN/EMH 10–02*, 1–17.

Doray, M., Hervy, C., Huret, M., Petitgas, P., 2018. Spring habitats of small pelagic fish communities in the Bay of Biscay. *Prog. Oceanogr.*, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.11.003>

Doray, M., Petitgas, P., Romagnan, J-B., Huret, M., Duhamel, E., Dupuy, C., Spitz, J., Authier, M., Sanchez, F., Berger, L., Dorémus, G., Bourriau, P., Grellier, P., Massé, J., 2018. The PELGAS survey: Ship-based integrated monitoring of the Bay of Biscay pelagic ecosystem. *Prog. Oceanogr.*, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.09.015>

Lurton, X., 2001. *Acoustique sous-marine. Présentation et applications*. Ifremer. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00017/12790/>

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. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1158>

Reiss, M.J., 1991. *The Allometry of Growth and Reproduction*. Cambridge University Press.

Simard, Y., Marcotte, D., Naraghi, K., 2003. Three-dimensional acoustic mapping and simulation of krill distribution in the Saguenay St. Lawrence Marine Park whale feeding ground. *Aquat. Living Resour.* 16, 137–144. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00026-3)

Simmonds, E.J., MacLennan, D.N., 2005. *Fisheries Acoustics. Theory and Practice*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2006.00220.x>.

Annexe

Ce stage de master 1 s'est déroulé entièrement en distanciel. Je remercie premièrement Mathieu Doray qui a rendu possible ce stage et qui a été présent malgré la distance, et les équipes d'assistance technique, notamment Olivier Berthelé sans qui je n'aurais pas pu avoir accès aux données nécessaires pour la réalisation de mon stage.

En ce qui concerne l'organisation de mon travail en distanciel, j'ai organisé mes journées de la même façon que si je devais me rendre sur mon lieu de stage mais il est vrai que j'ai travaillé jusqu'à plus tard en fin de journée si je n'avais pas fini ma tâche en cours. Des points en visioconférence ont été réalisés environ 2 fois par semaine et nous communiquions plus spontanément sur Skype ou par mail.

Néanmoins, le travail en distanciel a levé différents problèmes techniques : mon ordinateur a arrêté de fonctionner au début de mon stage et a dû être remplacé, et il est difficile de résoudre un problème informatique comme l'accès à un réseau ou la résolution d'une erreur sous R à distance.

Plus encore, la campagne PELGAS 2020 a été annulée. Ce fut dans un premier temps une déception car je n'ai jamais embarqué sur une campagne de ce type et dans un second une prise de conscience plus grande encore de la nécessité de voir et de participer à l'acquisition des données sur lesquelles on travaille. En effet, les données acoustiques étaient des données que je ne connaissais pas, tant dans leur mode d'acquisition que leur analyse ou bien encore leurs limites.