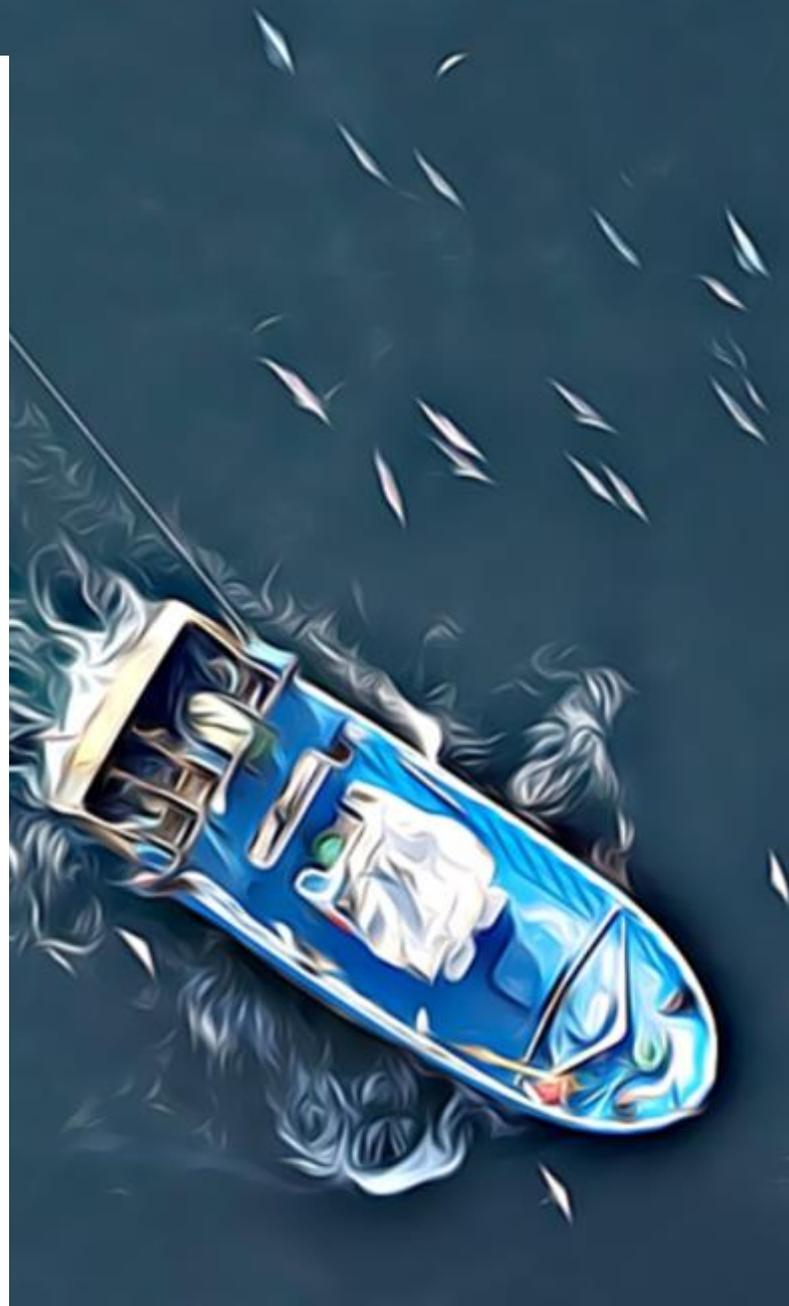




DELphinus

MOvements

GEStion



Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024





Durée du projet : 3 ans

Date de lancement : 01/03/2022

Date de fin : 30/06/2025

Coordinateurs de projet : Clara Ulrich, Pierre Petitgas, Jérôme Spitz, Marion PILLET.

Site web : <https://delmoges.recherche.univ-lr.fr>

Livrable

WP concerné : WP2

Responsables du WP : Doray Mathieu (DECOD Ifremer Nantes), Authier Matthieu (Observatoire PELAGIS)

Livrable L.222

Date de production : 27 août 2024, version 1

Titre : Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023.

Auteurs : Mathieu Doray (DECOD Ifremer Nantes), Mathis Cambreling (DECOD Ifremer Nantes), Alejandro Ariza (DECOD Ifremer Nantes), Naig Le Bouffant (Ifremer), Cyrille Poncelet (Ifremer), Emeline Veit (Ifremer), Laurent Berger (Ifremer), Marie Ponchart (Ifremer), Cécile Ducatel (Ifremer), Erwan Duhamel (DECOD Ifremer Lorient), Laetitia Marchand (DECOD Ifremer Nantes), Pierre Petitgas (Ifremer)

Résumé

Les petits poissons pélagiques (PPP) sont des proies grégaires à haute valeur énergétique constituant la majorité du régime alimentaire des dauphins communs. Ce livrable décrit les résultats d'une étude visant à étudier la distribution, le niveau d'agrégation, et la co-occurrence des dauphins et de leurs proies préférentielles en hiver, afin de déterminer si le paysage alimentaire des dauphins peut contribuer à expliquer l'augmentation des captures accidentelles.

La distribution des petits poissons pélagiques étant inconnue en hiver dans le Golfe de Gascogne (GdG), deux campagnes hydroacoustiques intégrées ont été réalisées en février 2023 et 2024, afin de caractériser pour la première fois en hiver la distribution, l'agrégation et la profondeur des bancs de petits poissons pélagiques. Ces campagnes ont été réalisées pendant le pic d'échouage hivernal de dauphins communs, en même temps que les survols aériens Capecet, visant à cartographier à large échelle la distribution de la mégafaune dans le centre du GdG. Les données collectées lors de ces campagnes ont permis d'étudier pour la première fois la co-occurrence des dauphins communs et de leurs proies lors du pic hivernal de captures, afin de tester l'influence du paysage alimentaire des dauphins sur les captures accidentelles.

Les campagnes à la mer réalisées avec le drone de surface DriX ont révélé que les dauphins et leurs proies étaient distribués majoritairement près des côtes en hiver, au-dessus de fonds inférieurs à 100 m. Les bancs de proies étaient distribués majoritairement près du fond. Des tapis denses de petits poissons pélagiques ont été observés sur plusieurs kilomètres pour la première fois très près du fond. Ces observations suggèrent que les dauphins pourraient plonger dans la zone d'action des filets pour se nourrir sur ces concentrations de proies très proches du fond. Cette interaction alimentaire hivernale pourrait ainsi augmenter le risque de captures accidentelles de dauphins.

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

Dissémination

Type de livrable : Rapport

Public : Oui

Lieux de stockage : Archiver

Consortium scientifique



La Rochelle Université
23 avenue Albert Einstein
BP 33060
17031 La Rochelle

<https://www.univ-larochelle.fr/>



Centre national de la recherche scientifique (CNRS)
3, rue Michel-Ange
75794 Paris cedex 16

<https://www.cnrs.fr/fr>



Institut Français pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer)
1625 route de Sainte-Anne - CS 10070
29280 Plouzané

wwz.ifremer.fr/



Université
de Bretagne
Occidentale

Université de Bretagne Occidentale (UBO)
3 rue des Archives
CS93837
29238 Brest cedex 3

<https://nouveau.univ-brest.fr/>

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024



Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CNP MEM)

134 avenue de Malakoff

75116 Paris

<https://www.comite-peches.fr/>

Table des matières

1	Contexte	7
1.1	Contexte environnemental et scientifique	7
1.2	Rôle du livrable	7
2	Matériel et méthodes	8
2.1	Acquisition des données	8
2.1.1	Capteurs	8
2.1.2	Plateformes	8
2.1.3	Stratégie d'échantillonnage	9
2.1.4	Identification des échos de poissons	10
2.2	Analyse des données	11
2.2.1	Détection des dauphins	11
2.2.2	Distribution dans l'espace des proies	12
2.2.3	Typologie des agrégations de petits poissons pélagiques	13
2.2.4	Co-occurrence des dauphins et des proies	14
2.2.5	Cartographie	15
3	Résultats	16
3.1	Détections de dauphins	16
3.2	Proies des dauphins	17
3.2.1	Densité	17
3.2.2	Indices spatiaux	19
3.2.3	Typologie des agrégations de petits poissons pélagiques	22
3.2.4	Composition des bancs de petits poissons pélagiques	24
3.3	Co-occurrence entre dauphins et proies	25
4	Discussion et conclusion	27
6	Bibliographie	30
7	Annexes	31

1 Contexte

1.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET SCIENTIFIQUE

Le WP2 DELMOGES “Cascades dans l'écosystème” vise à relier la distribution des dauphins communs à la dynamique de leur environnement, afin de caractériser leur probabilité d'occurrence dans leurs habitats, en lien avec les conditions physiques et trophiques. Les variations des habitats des dauphins sont caractérisées, ainsi que les conditions susceptibles d'augmenter le risque de captures accidentelles.

Les petits poissons pélagiques (PPP) sont des proies grégaires à haute valeur énergétique constituant la majorité du régime alimentaire des dauphins communs. L'objectif de cette étude est de déterminer si la distribution, le niveau d'agrégation, et la co-occurrence des dauphins et de leurs proies préférentielles en hiver, peuvent contribuer à expliquer l'augmentation des captures accidentelles.

La distribution des petits poissons pélagiques étant inconnue en hiver dans le Golfe de Gascogne (GdG), deux campagnes hydroacoustiques intégrées ont été réalisées en février 2023 et 2024, afin de caractériser pour la première fois en hiver la distribution, l'agrégation et la profondeur des bancs de petits poissons pélagiques. Ces campagnes ont été réalisées pendant le pic d'échouage hivernal de dauphins communs, en même temps que les survols aériens Capecet, visant à cartographier à large échelle la distribution de la mégafaune dans le centre du GdG. Les données collectées lors de ces campagnes combinées ont permis d'étudier pour la première fois la co-occurrence des dauphins communs et de leurs proies lors du pic hivernal de captures, afin de tester l'influence du paysage alimentaire des dauphins sur les captures accidentelles.

1.2 ROLE DU LIVRABLE

Ce livrable décrit les résultats de l'étude visant à étudier la distribution, le niveau d'agrégation, et la co-occurrence des dauphins et de leurs proies préférentielles en hiver, afin de déterminer si le paysage alimentaire des dauphins peut contribuer à expliquer l'augmentation des captures accidentelles.

2 Matériel et méthodes

2.1 ACQUISITION DES DONNEES

Les campagnes DriX conduites dans le cadre du projet DELMOGES visaient à cartographier par hydro-acoustique la distribution des dauphins communs et de leurs proies, les petits poissons pélagiques (PPP), dans le Golfe de Gascogne (GdG).

2.1.1 Capteurs

Les PPP ont été détectés, quantifiés et cartographiés avec un échosondeur scientifique Simrad WBTTUBE EK80 bifréquence (70 et 200 kHz). La présence de dauphins au voisinage de la plateforme a été détectée avec un hydrophone numérique Ocean Sonics ICListen HF (bande passante : 10 Hz - 200 kHz, fréquence d'échantillonnage retenue pour les acquisitions : 256 kHz). Un thermosalinographe Valeport et un turbidimètre ont également été utilisés. L'hydrophone ICListen et le thermosalinographe enregistraient en continu de jour et de nuit, en surface.

Le jour (7h-17h TU), l'échosondeur émettait un signal à bande étroite (mode CW) pendant la journée pour cartographier les bancs de PPP avec la cadence de tir la plus élevée, et donc la meilleure résolution horizontale possible. La nuit, l'échosondeur était opéré en modulation de fréquence (mode FM), afin d'augmenter la résolution verticale et spectrale, pour enregistrer des cibles individuelles et caractériser les couches diffusantes de zooplancton et de micronecton. Les paramètres de l'échosondeur sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Paramètres d'acquisition de l'échosondeur Simrad EK80

Transducteur	Simrad ES70-7CD		Simrad ES200-7CD	
	CW	FM	CW	FM
Bande de fréquence (kHz)	70	55-90	200	160-260
Durée d'impulsion (μ s)	1024	2048	1024	2048
Puissance (W)	225		90	

2.1.2 Plateformes

La plateforme nécessaire pour réaliser la campagne acoustique devait présenter les caractéristiques suivantes :

- être mobilisable en 2-3 jours pour profiter des créneaux météo favorables, a priori rares à cette période de l'année ;
- pouvoir collecter des données acoustiques de bonne qualité par état de mer 4-5, en route à 7 nœuds minimum avec l'échosondeur scientifique Simrad EK80 bifréquence.

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

Une vitesse minimale de 7 nœuds était nécessaire afin d'aller plus vite que les bancs de PPP et ne pas les compter plusieurs fois.

Nous avons choisi d'utiliser le drone autonome de surface Drix du groupe Exail¹ pour réaliser cette campagne, car il était la seule plateforme disponible pouvant répondre aux besoins de la mission.

Le Drix est un drone autonome de surface de 7.7 m de long doté d'une carène perce vagues et propulsé par un moteur diesel Nanni de 40CV. Sa vitesse de croisière est de 7 à 9 nœuds, en fonction de l'état de la mer. Il peut atteindre une vitesse maximale de 14 nœuds. Il emporte 240L de gasoil, ce qui lui confère une autonomie de 2 à 6 jours, en fonction du régime moteur (consommation 1.5-2L/h en moyenne). Les capteurs sont intégrés dans une gondole située à 2m profondeur, ce qui permet de limiter le masquage acoustique de l'échosondeur par le bullage en surface.

L'intégration des capteurs avait été validée lors de deux campagnes d'essais en collaboration entre les ingénieurs et techniciens d'Exail et de la Direction de la Flotte Océanographique Ifremer (DFO/NSE) en novembre 2021 et 2022 (Veit, 2022). Les capteurs ont été intégrés dans la gondole afin de limiter le bruit électrique. Des applications spécifiques (Hermes drone, Drix Ifremer dashboard, Drone Survey Monitoring, Hermes dashboard) ont été développés par Ifremer NSE/ASTI afin d'opérer à distance l'échosondeur et l'hydrophone, avec une liaison satellite haut ou bas débit.

Le Drix n'ayant pas été utilisé jusque là en configuration « au de là de l'horizon » à plus de 40km des côtes, l'un des objectifs de la première campagne était de tester sa tenue à la mer et sa fiabilité pour une mission hauturière sans navire accompagnateur.

Le Drix a été piloté via une liaison Starlink par 3 opérateurs à la Ciotat, secondés par 2 opérateurs terrain chargés également des sorties et entrées de port, ravitaillement, maintenance, et éventuellement sauvetage du drone. Une équipe scientifique de 3 personnes s'assurait du bon fonctionnement des capteurs pendant la journée à Ifremer/EMH Nantes, avec le soutien technique de 2 agents de l'équipe de Ifremer NSE/ASTI à Brest.

2.1.3 Stratégie d'échantillonnage

Le Drix était mobilisable pendant 30 jours en février en 2023, et pendant 15 jours en 2024. L'objectif était de compléter le plan d'échantillonnage ci-dessous afin de couvrir la zone où se produisent le plus fréquemment les captures accidentelles de dauphins communs pendant le pic de captures hivernal annuel (Figure 1a).

Ce plan d'échantillonnage a été défini afin de couvrir la même zone que les survols Capecet qui se déroulaient en même temps (Figure 1b).

En 2023, le Drix a réalisé un parcours en zig zag jusqu'au bord du plateau continental (parcours « large ») du Sud au Nord (02-11/02/2023), puis un parcours plus côtier en zig zag du Nord au

¹ <https://www.ixblue.com/maritime/maritime-autonomy/uncrewed-surface-vehicles/>

Sud (15-21/02/2023). En 2024, il a réalisé un seul parcours en zig zag jusqu'au bord du plateau continental du Sud au Nord (13-18/02/2024).

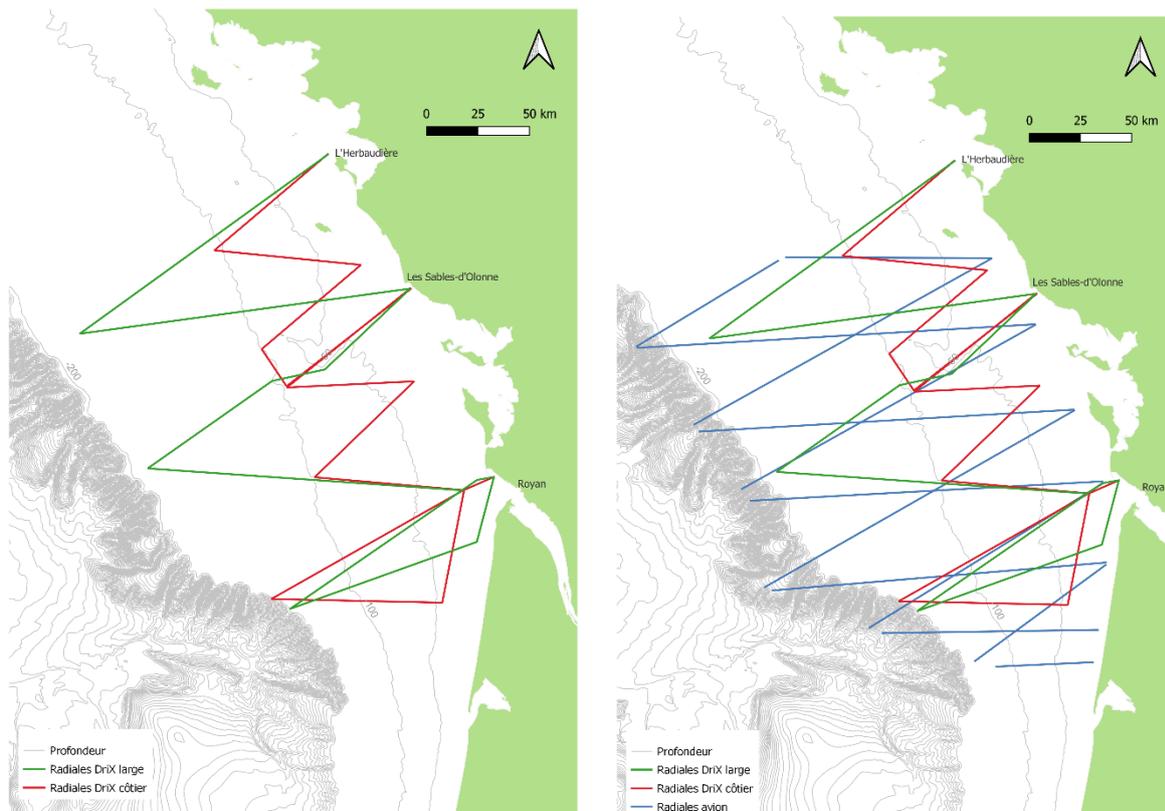


Figure 1: Gauche : plan d'échantillonnage des campagnes DriX Delmoges. Lignes vertes : radiales parcours large échelle (2023&2024); lignes rouges : radiales parcours côtier (2023). Droite : plan d'échantillonnage campagne DriX Delmoges et survols Capacet (lignes bleues).

Le DriX naviguait à une vitesse moyenne de 9 nœuds, avec l'échosondeur en mode bande étroite (CW), afin de cartographier les bancs de PPP, du lever au coucher du soleil (7h-17h TU). Cette vitesse lui permettait de parcourir un tronçon linéaire du parcours large (de la côte vers le large ou inversement), ou deux tronçons linéaires du parcours côtier, en une période diurne. La nuit, le DriX effectuait un aller-retour à vitesse réduite (4-5 nœuds) sur la radiale prospectée pendant la journée, avec l'échosondeur en modulation de fréquence (mode FM). Il repartait au lever du soleil à l'extrémité de radiale atteinte la veille.

2.1.4 Identification des échos de poissons

Une paire de chalutiers pélagiques en bœufs a été affrétée en 2023 et 2024 afin de pêcher dans les zones prospectées par le DriX, et préciser la composition en espèces et tailles des bancs détectés par l'échosondeur du DriX. Les navires Papy Chichi et les Chignolles (14m) des Sables d'Olonnes ont été affrétés du 15 au 16 février 2023. Les navires Le Natif et La Roumasse (16m) de Saint Gilles Croix de Vie ont été affrétés du 21 au 22 février 2024. Les pêches ont été réalisées et les captures analysées par 2 scientifiques embarqués en appliquant le protocole développé dans le cadre du projet PELGAS PRO (Massé et al., 2016). Des coups de chalut ont été réalisés sur tous les types de bancs de petits poissons pélagiques rencontrés, afin de

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

déterminer leur composition en espèces et en tailles, et prélever des individus pour des analyses biologiques (énergie, contenus stomacaux...).

2.2 ANALYSE DES DONNEES

2.2.1 Détection des dauphins

Les données acquises par l'hydrophone numérique IListen ont permis de détecter la présence de dauphins au voisinage du DriX durant la campagne. Les données brutes étant bruitées (motorisation du DriX, émissions du sondeur EK80), plusieurs étapes de filtrage ont été nécessaires avant d'obtenir des données exploitables :

- Un filtrage passe-haut à 3 kHz a été appliqué afin d'éliminer le bruit basse-fréquence lié à la motorisation du porteur.
- Les signaux « parasites » dus aux émissions de l'échosondeur EK80 ont ensuite été fortement atténués en effectuant une corrélation croisée entre un signal temporel type résultant d'une émission de l'EK80 et l'ensemble des enregistrements.

Les signaux ainsi filtrés (Figure 2) ont pu être exploités. La représentation temps-fréquences a permis de repérer différents types de signaux caractéristiques des émissions de dauphins : des sifflements (signaux de communication), et des signaux impulsionnels (clics et buzz) (Figure 3).

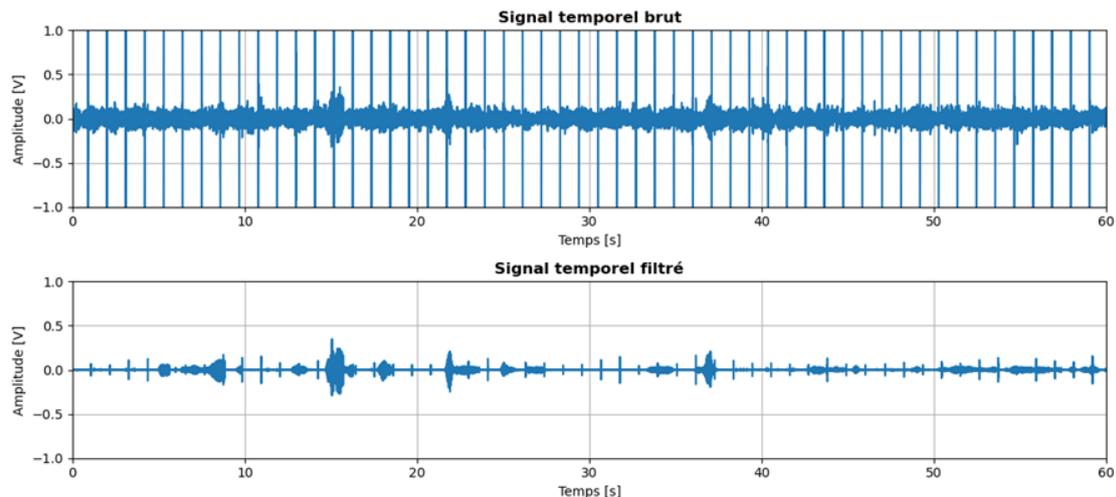


Figure 2 : Exemple de signal temporel issu des enregistrements de l'hydrophone numérique IListen. (En haut) Données brutes. (En bas) Données filtrées exploitables.

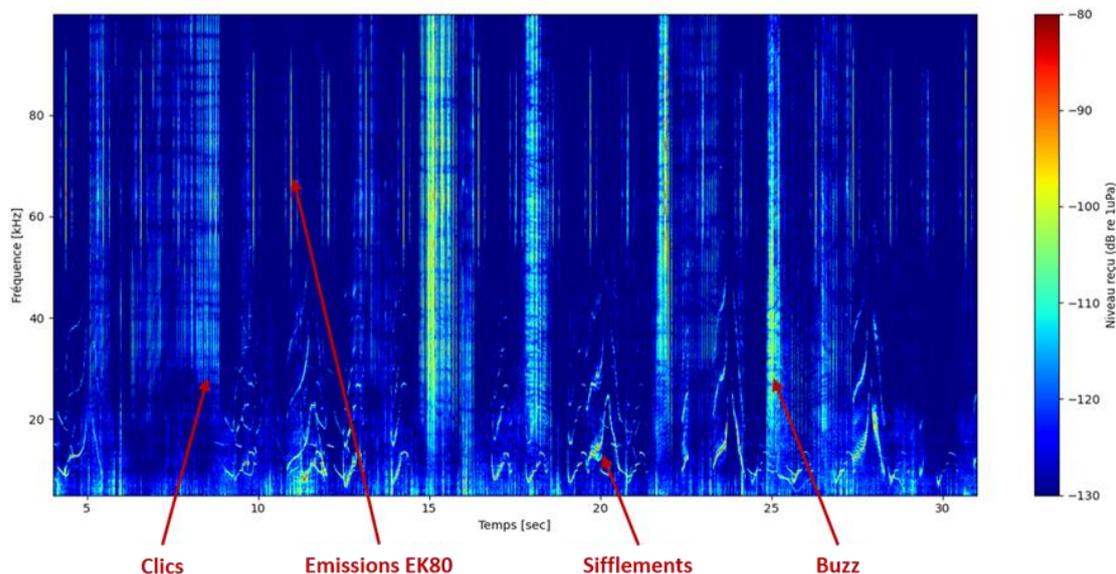


Figure 3 : Exemple de représentation temps-fréquences obtenue à partir des données filtrées, permettant d'identifier différents types de signaux émis par les dauphins.

Au regard du contenu fréquentiel des signaux, les détections correspondraient principalement à des dauphins communs (*Delphinus delphis*) ; on ne peut cependant pas exclure la présence ponctuelle de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) et de marsouins (*Phocoena phocoena*).

Grâce aux données GPS issues de la station météo, les détections de sifflements et de clics/buzz ont été datées et géolocalisées, par période de 1 min.

La distance maximale de détection des dauphins communs dépend de nombreux paramètres, notamment du bruit propre du porteur (selon sa vitesse), de l'amplitude variable des signaux émis, et de l'orientation du dauphin par rapport à l'hydrophone (émissions directives). En tenant compte des mesures de bruit propre du DriX, la distance maximale de détection des dauphins communs est estimée à 500m à 6 nœuds (acquisition de nuit), et 150m à 8 nœuds (acquisition de jour).

2.2.2 Distribution dans l'espace des proies

Les données CW de l'échosondeur ont été converties au format standard .HAC avec le logiciel Hermes². Les échogrammes CW à la fréquence 70kHz ont été écho-intégrés avec le logiciel MOVIES3D² à un seuil minimal de -60dB sur une grille de dimension horizontale 1 mille nautique (1852 mètres) et verticale 10m (Figure 2). Chaque cellule (ou polygone dans une cellule) a ensuite été classifiée manuellement en deux catégories : petits poissons pélagiques (label « Poisson ») ou autres cibles (label « autres »). Cet échantillonnage manuel a été réalisé par avec le logiciel MOVIES3D, en suivant la procédure standard utilisée pour évaluer les populations de petits poissons pélagiques dans la zone (Doray et al., 2021). Cet échantillonnage manuel n'est réalisable qu'à basse résolution spatiale (1852m horizontal x 10m vertical, seuil mini : -60dB). Il a été combiné avec une écho-intégration à haute résolution spatiale (5m

² <https://www.flotteoceanographique.fr/Nos-moyens/Logiciels-de-la-flotte/Gestion-de-missions-et-des-donnees/HERMES-et-MOVIES3D>

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

horizontal x 1m vertical, seuil mini : -60dB) des données acoustiques enregistrées à la fréquence 70kHz, afin de pouvoir étudier les patrons d'agrégation des petits poissons pélagiques à une échelle plus fine.

Cet écho-typage de référence à fine échelle a été obtenu avec une procédure de 'matrypage' consistant à combiner les informations de l'écho-typage manuel et de l'écho-intégration à une fine échelle au seuil de -60 dB (Figure 2).

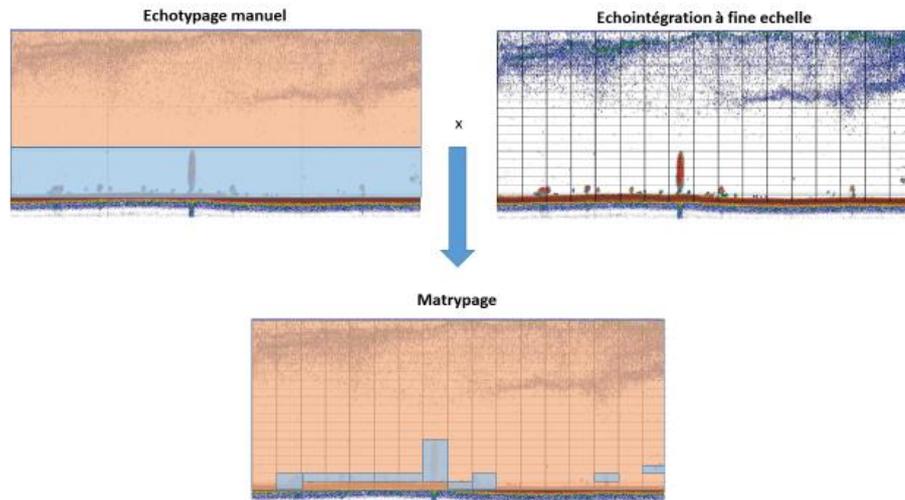


Figure 3 : Méthode de création d'un écho-typage de référence à fine échelle (le bleu représentant des cellules Poissons, le orange des celles Autres).

A l'issue de cette procédure, chaque cellule de l'écho-intégration à fine échelle est associée à un label qui identifie si la densité acoustique (Sv) qu'elle contient est considérée comme « Poisson » ou « Autre ».

Les cellules de l'échotypage fine échelle ont ensuite été regroupées dans les unités d'échantillonnage élémentaires (ESU) de l'échotypage manuel (ESU d'1 mille nautique de long), afin de produire des images acoustiques labellisées.

Des indices spatiaux (Woillez et al., 2007) ont été calculés à partir des densités acoustiques « poisson » de chacune de ces images, afin de caractériser à fine échelle la distribution verticale (altitude du centre de gravité) et l'occupation de l'espace (inertie, isotropie, aire positive, aire de dispersion et aire équivalente) des petits poissons pélagiques détectés par l'échosondeur du DriX.

2.2.3 Typologie des agrégations de petits poissons pélagiques

Afin de définir une typologie des agrégations de petits poissons pélagiques observées pendant les campagnes DriX, chaque ESU située sur le plateau continental et contenant une densité significative de poissons a été décrite par 5 descripteurs calculés sur les valeurs à l'intérieur de l'ESU: la densité acoustique totale des poissons (NASC), l'inertie (inertia), l'isotropie (iso) et l'aire de dispersion (aire) des densités acoustiques de poissons.

Une méthode de réduction de dimensions (T-Distributed Stochastic Neighbor Embedding, t-SNE, Maaten and Hinton, 2008) suivie d'une classification (Hierarchical Agglomerative

Clustering, Ward, 1963) ont été appliquées à ces descripteurs, afin de regrouper les ESUs présentant des densités et distributions spatiales de poissons similaires. La distribution des descripteurs a été étudiée au sein de chaque groupe, afin de préciser les densités et distributions spatiales caractéristiques des petits poissons pélagiques dans la zone.

2.2.4 Co-occurrence des dauphins et des proies

Il était impossible de déterminer si les émissions sonores enregistrées par l'hydrophone avaient été émises par un ou plusieurs dauphins. Deux indicateurs différents ont donc été utilisés pour caractériser la distribution des dauphins :

- Les clics et sifflements de dauphins ont été codés en présence/absence dans chaque ESU de l'échotypage manuel, pour étudier la présence des dauphins ;
- Les occurrences des clics et sifflements de dauphins ont été additionnés dans chaque ESU de l'échotypage manuel, afin de représenter l'activité sonore des dauphins. Cet indice mesure l'activité d'écholocation du ou des dauphins présent(s) autour du DriX, et peut être considéré comme un proxy de la présence et de l'activité de détection/chasse du ou des cétacés.

La densité acoustique totale (ou Nautical Areal Scattering Coefficient, NASC) attribuée aux petits poissons pélagiques intégrée dans la colonne d'eau dans chaque ESU a été utilisée comme un proxy de la biomasse des proies des dauphins.

Les distributions des dauphins et de leurs proies ont été cartographiées et comparés au moyen de méthodes géostatistiques³. Voir par exemple Petitgas et al., (2017) pour une introduction à ces méthodes.

La co-occurrence des dauphins et de leurs proies a été étudiée dans un premier temps en représentant sur une même carte la présence /absence ou l'activité des dauphins et la densité acoustique totale attribuée aux petits poissons pélagiques dans chaque ESU de l'échotypage manuel. Les 2 premiers axes d'inertie et le centre de gravité des distributions de dauphins et de proies ont été représentées sur les cartes. Un indice de recouvrement des 2 premières directions de l'inertie (dispersion) des distributions de dauphins et de proies, le Global Index of Collocation (GIC, Woillez et al., 2007), a également été calculé, afin d'évaluer le chevauchement spatial global entre les distributions. Ces analyses ont été réalisées pour chaque parcours du DriX, et tous parcours confondus.

Dans un second temps, des variogrammes expérimentaux ont été calculés pour les poissons (indice d'abondance : NASC , indice d'agrégation : aire de dispersion et altitude au dessus du fond) et pour les dauphins (présence /absence et indice d'activité). Le variogramme expérimental représente la variabilité moyenne entre les paires de points situées à la même distance les uns des autres (Petitgas et al., 2017). L'évolution de la variabilité moyenne entre les paires de points situés dans des classes de distances croissantes est étudiée afin de caractériser la part de variabilité spatialement structurée, et la dimension moyennes des

³ <https://www.geosciences.minesparis.psl.eu/presentation/geostatistique/>

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

agrégats dans les distributions spatiales (cf. Petitgas et al., 2017; Rivoirard et al., 2000). Les variogrammes croisés (ou covariogrammes) représentent la variabilité moyenne entre deux variables observées en des points situés à la même distance (Petitgas et al., 2017). Ils permettent de caractériser la covariance spatiale entre deux variables à différentes échelles. Ils indiquent si les structures spatiales (ou agrégats) des deux variables sont observées pour certaines distances en moyenne au même endroit (covariogramme croissant), à des endroits différents (covariogramme décroissant) ou sans relation spatiale (covariogramme plat). Les covariogrammes entre les distributions spatiales des descripteurs des distributions des dauphins et de leurs proies ont été calculés et représentés, afin d'étudier la co-variation spatiale entre les variables. Les (co)variogrammes ont été calculés entre des points appartenant au même parcours (intra-parcours), à des parcours différents (inter-parcours), ou sans considération d'appartenance à un parcours, afin d'étudier l'effet de la répétition des 2 parcours dans la même zone sur les distributions spatiales.

2.2.5 Cartographie

La présence et l'absence des dauphins dans chaque ESU de l'échotypage manuel ont été représentés sur une carte pour chaque parcours.

La densité acoustique totale (NASC) attribuée aux petits poissons pélagiques et les valeurs des indices spatiaux par ESU ont été représentés sur des cartes pour chaque parcours.

La présence/absence de dauphins, le proxy de biomasse et les indicateurs spatiaux des poissons ont ensuite été interpolés par krigeage (Petitgas, 2001; Rivoirard et al., 2000), afin de produire des cartes continues dans la zone échantillonnée. Le krigeage est une méthode d'interpolation probabiliste qui utilise un modèle de la covariance spatiale entre les points d'observation. Ce modèle est ajusté ici sur le variogramme expérimental des valeurs observées (cf. 2.2.4). Le modèle de variogramme est utilisé dans l'algorithme de krigeage pour estimer la valeur de la variable à cartographier entre les points d'observation, sur une grille régulière. Les valeurs estimées sont des relations linéaires entre les valeurs observées les plus proches, dont les coefficients sont calculés à partir du modèle de variogramme. Le krigeage fournit des estimations non biaisées, et avec une erreur minimale, relativement au modèle de variogramme utilisé (Petitgas et al., 2017). Comme la zone avait été couverte 2 fois avec des parcours différents en 2023, une méthode de krigeage prenant en compte la variabilité spatio-temporelle a été appliquée, afin d'utiliser les informations collectées lors des 2 parcours successifs (large puis côtier). Des variogrammes expérimentaux ont d'abord été calculés de différentes façons : pour les 2 parcours séparément, intra-parcours (les paires de points appartiennent toutes au même parcours) et inter-parcours (les paires de points appartiennent à des parcours différents). Ces variogrammes ont ensuite été comparés afin de sélectionner le variogramme le plus approprié afin de cartographier la densité moyenne des poissons par krigeage ordinaire, en combinant dans le temps et l'espace les informations disponibles.

3 Résultats

NB : cette première version du livrable présente les résultats obtenus en février 2023. Les données collectés en février 2024 sont en cours d'analyse et seront ajoutées à une deuxième version du livrable. Les résultats 2024 corroborent les observations réalisées en 2023 présentées ici.

3.1 DETECTIONS DE DAUPHINS

Les cartes de détections de dauphins par le DriX en février 2023 de jour et de nuit sont présentées ci-dessous.

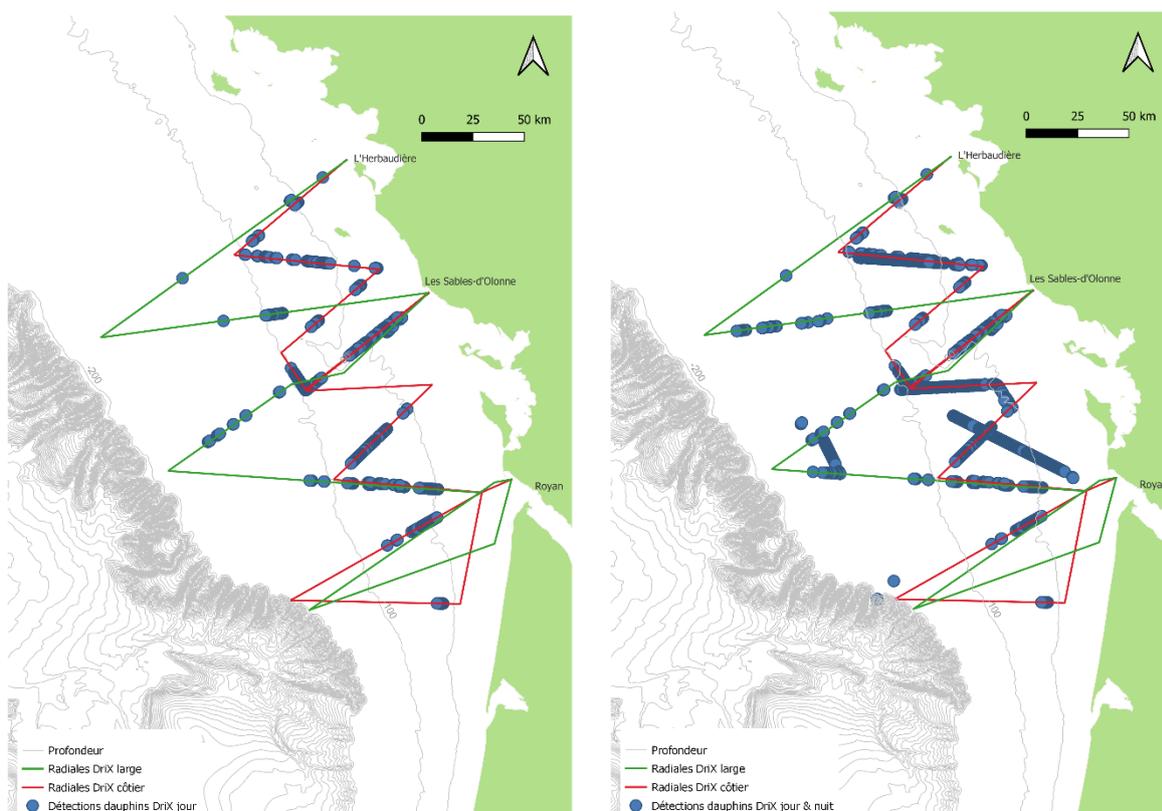


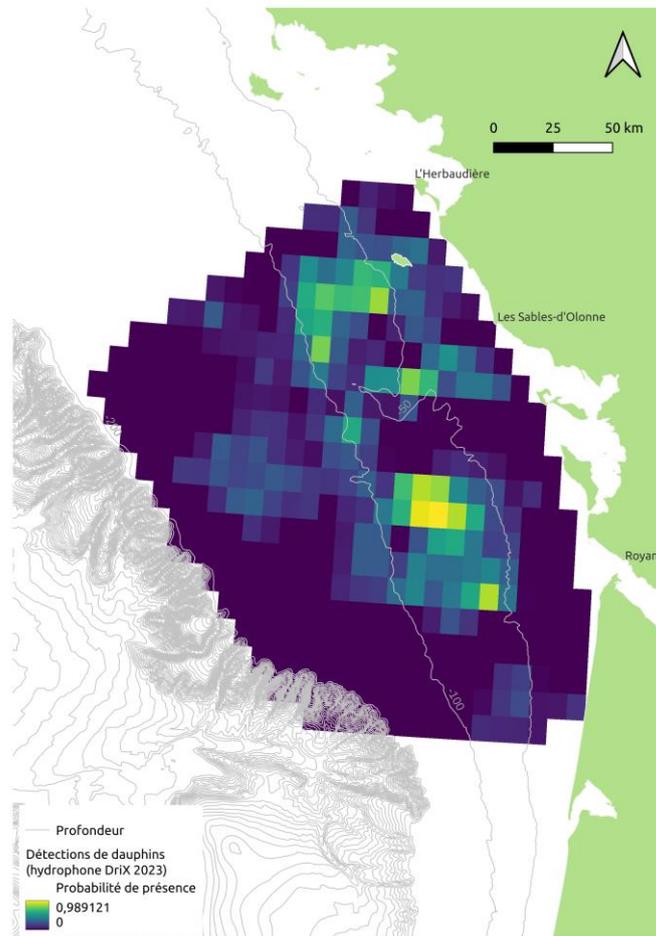
Figure 4 : Détections de dauphins avec l'hydrophone du DriX lors de la campagne de février 2023 (rond bleu : présence de clics ou sifflements de dauphin). Détections de jour (carte de gauche), de jour et de nuit (carte de droite).

La présence des dauphins a été détectée plus fréquemment de nuit que de jour. La détection de leurs émissions acoustiques était en effet plus favorable de nuit, car le DriX naviguait à vitesse réduite et générait donc moins de bruit.

La figure 5 présente la probabilité de présence de dauphins interpolée par krigeage ordinaire dans la zone prospectée par le DriX en 2023. Le krigeage a été réalisé à partir du variogramme expérimental de tous les points appartenant au même parcours (intra-parcours).

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

Les probabilités d'occurrence de dauphins étaient les plus élevées entre 50 et 100m de profondeur de Noirmoutier à Royan, avec une zone de distribution secondaire à moins de 50m de profondeur entre Les Sables d'Olonne et Noirmoutier.



3.2 PROIES DES DAUPHINS

3.2.1 Densité

Les cartes de densités des proies des dauphins détectées par le DriX en février 2023 sont présentées ci-dessous.

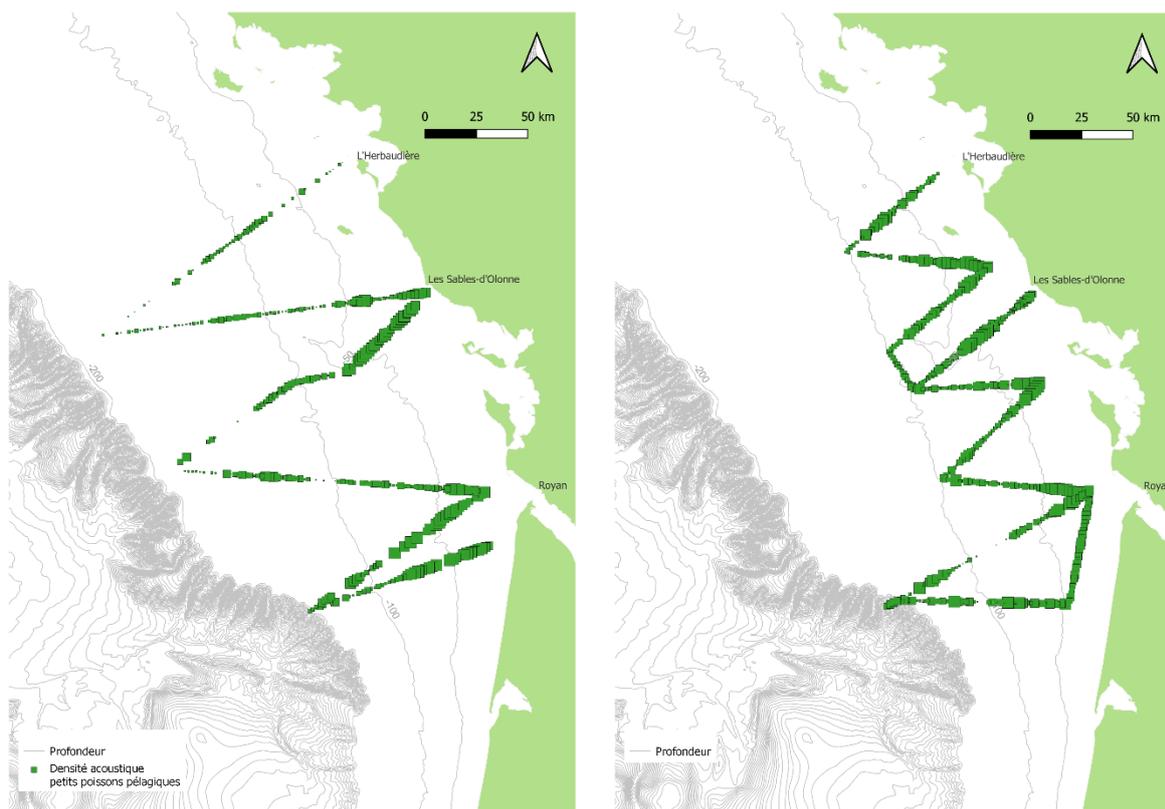


Figure 6 : Densité acoustique de proies de dauphins détectées avec l'échosondeur du DriX lors de la campagne de février 2023 (surface des carrés verts proportionnelle à la racine carrée de la densité acoustique). Parcours large (carte de gauche), parcours côtier (carte de droite).

Les proies de dauphins étaient majoritairement concentrées près de la côte, à des profondeurs inférieures à 100m (Figure 6).

Le centre de gravité de la distribution s'est déplacé vers le Nord-Ouest entre les deux parcours (Figure 6, annexe 1). Le variogramme expérimental inter-parcours n'était pas structuré spatialement (Annexe 2), ce qui confirme que les zones de fortes densités de proies ont bougé lors du deuxième parcours, car leurs positions n'étaient pas corrélées spatialement avec celles du premier parcours. L'analyse des centres de gravités et des variogrammes intra et inter-parcours a permis de déterminer que les dimensions des agrégations denses de proies ont peu varié entre les parcours, contrairement à leurs positions et densités, mais que ces variations sont restées contenues dans la bande côtière.

Le krigeage a donc été réalisé avec le variogramme expérimental calculé sur les points appartenant au même parcours (variogramme intra-parcours, annexe 2), afin de cartographier la densité moyenne dans la zone côtière en intégrant l'information sur la taille des agrégations observées au cours des 2 parcours. La figure 7 présente la densité acoustique des proies des dauphins interpolée par krigeage ordinaire dans la zone prospectée par le DriX en 2023.

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

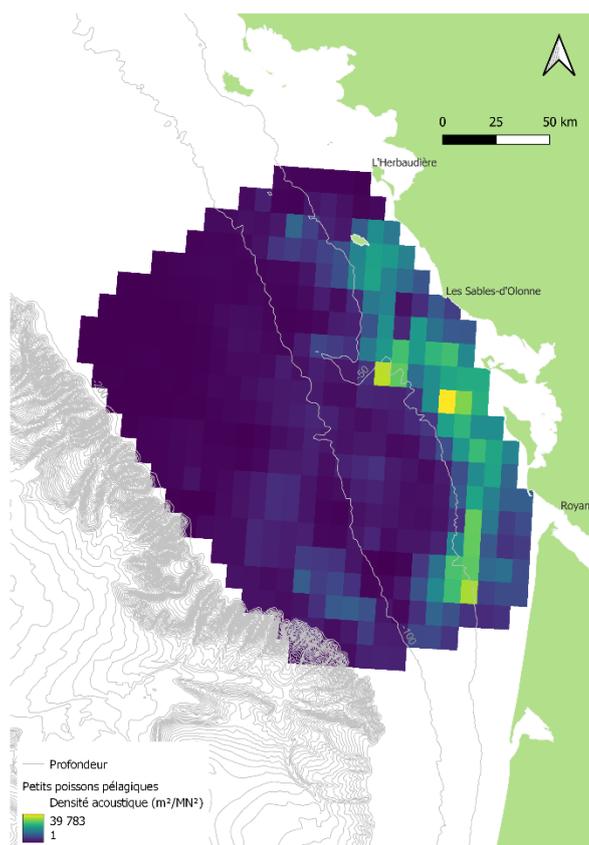


Figure 7 : Carte interpolée de la densité acoustique de petits poissons pélagiques observée lors de la campagne DriX de février 2023. Carte obtenue par krigeage ordinaire des densités acoustiques à la fréquence 70kHz de l'échosondeur du DriX, résolution : 0.5°.

3.2.2 Indices spatiaux

3.2.2.1 Altitude du centre de gravité

Le tableau ci-dessous présente les statistiques descriptives de l'altitude (distance au dessus du fond) du centre de gravité des petits poissons pélagiques observés par le DriX lors des 2 parcours en février 2023.

Tableau 1. Statistiques descriptives de l'altitude (en mètres) du centre de gravité des densités acoustiques de petits poissons pélagiques observées par le DriX lors des 2 parcours en février 2023.

Minimum	Quantile 25%	Médiane	Moyenne	Quantile 75%	Maximum
0.966	3.259	5.657	10.858	10.228	160.513

Les petits poissons pélagiques étaient majoritairement distribués à une faible altitude au-dessus du fond (médiane : 5.7m) lors de la campagne DriX de février 2023.

La figure 8 présente la carte interpolée par krigeage ordinaire de l'altitude des petits poissons pélagiques en février 2023.

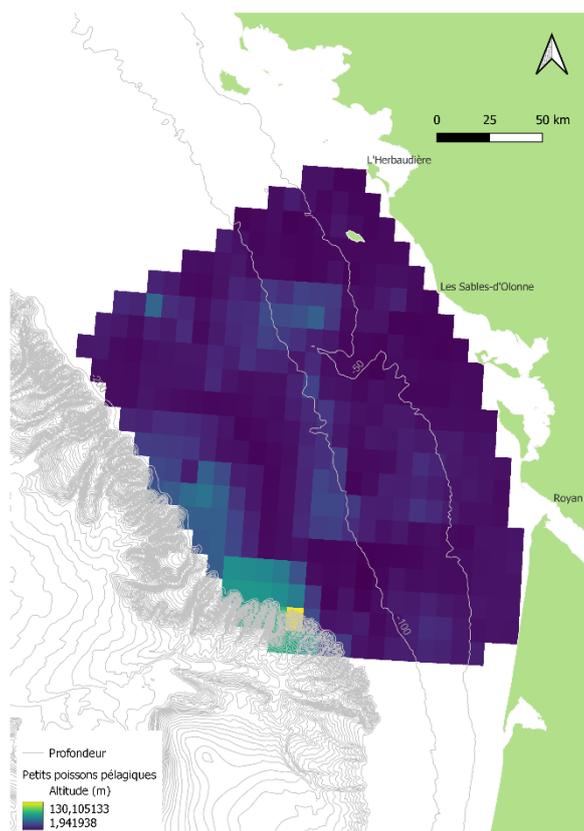


Figure 8 : Carte interpolée de l'altitude (m) des petits poissons pélagiques observés lors de la campagne DriX de février 2023. Carte obtenue par krigeage ordinaire de l'altitude du centre de gravité des densités acoustiques à 70kHz de l'échosondeur du DriX, résolution : 0.5°.

Les proies des dauphins étaient majoritairement distribuées très près du fond (altitude < 2m), notamment près de la côte, à moins de 100m profondeur. Quelques bancs proches de la surface (altitude > 100m) ont également été observés au bord du plateau continental dans le Sud-Ouest de la zone (Figure 8).

3.2.2.2 Indices d'agrégation

L'aire de dispersion (ou spreading area, SA) est un indicateur d'agrégation spatial autour des fortes densités (Woillez et al., 2007) : plus le SA est élevé, plus les petits poissons pélagiques sont agrégés au sein d'une ESU.

La figure 9 présente la carte interpolée par krigeage ordinaire de l'aire de dispersion par ESU des petits poissons pélagiques en février 2023.

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

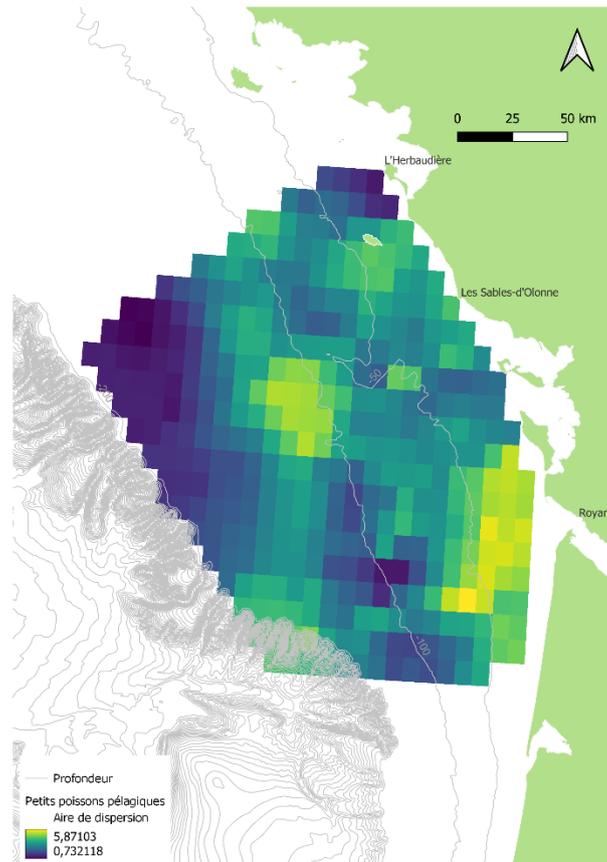


Figure 9 : Carte interpolée de l'aire de dispersion (MN^2) des petits poissons pélagiques observés lors de la campagne DriX de février 2023. Carte obtenue par krigeage ordinaire de l'aire de dispersion par Elementary Sampling Units des densités acoustiques à 70kHz de l'échosondeur du DriX, résolution : 0.5° .

Les proies des dauphins étaient le plus agrégées devant l'estuaire de la Gironde et au large du plateau de Rochebonne, en face des Sables d'Olonne. Des agrégations denses secondaires ont été observées à l'Est du plateau de Rochebonne, au Sud de l'île d'Yeu, et au bord du plateau continental dans le Sud-Ouest de la zone.

Les cartes d'inertie et d'isotropie des densité acoustiques de petits poissons pélagiques sont présentées ci-dessous.

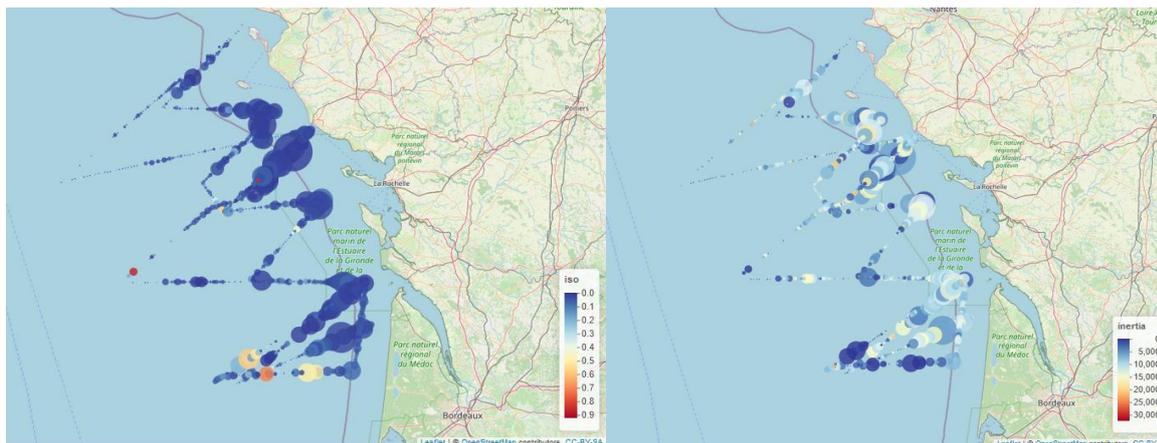


Figure 10 : Cartes d'isotropie (gauche) et d'inertie (droite) des densités acoustiques 70kHz de petits poissons pélagiques par unité d'échantillonnage (1 mille nautique de long), observées lors de la campagne DriX de février 2023. Couleur des bulles proportionnelle à l'isotropie ou l'inertie, diamètre des bulles proportionnel à la densité acoustique totale.

Les densités acoustiques de petits poissons pélagiques étaient globalement distribuées de façon anisotrope dans la majorité des ESUs, à part dans l'extrême Sud de la zone (Figure 10 gauche). Leur degré de dispersion (inertie) était variable, sauf dans l'extrême Sud de la zone où la dispersion était faible.

3.2.3 Typologie des agrégations de petits poissons pélagiques

Seules les ESUs où une densité acoustique de petits poissons pélagiques supérieure à 10 000 m^2/MN^2 et où la profondeur du fond était inférieure ou égale à 150 m ont été retenues pour l'analyse.

La réduction de dimension et la classification appliquées sur le jeu de données sélectionné a permis de distinguer 3 groupes d'ESUs, dont les distributions spatiales sont représentées dans la figure 11 et les caractéristiques dans la figure 12.

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

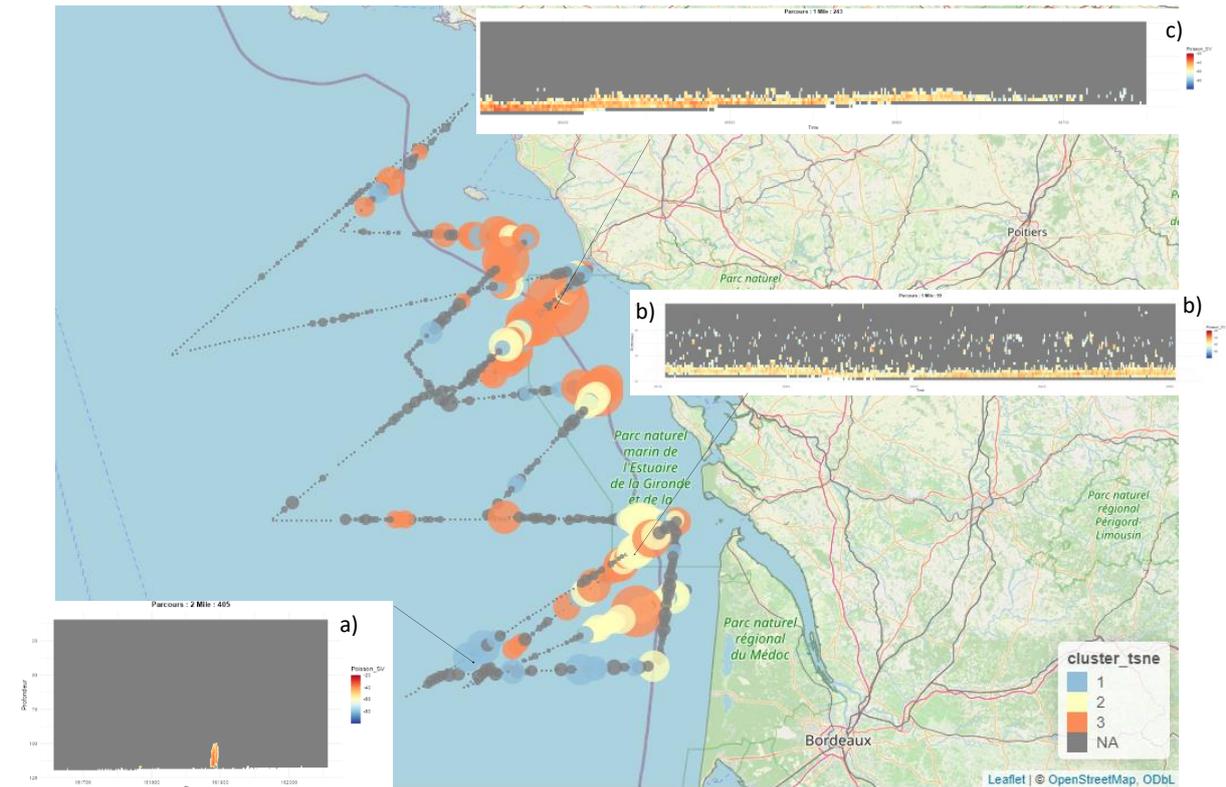


Figure 11 : Carte de l'appartenance des unités d'échantillonnage (1 mille nautique de long) aux groupes d'agrégations de petits poissons pélagiques (couleurs) identifiés lors de la campagne DriX de février 2023. Couleur des bulles : appartenance au groupe (groupe NA : unité non retenue dans la classification), diamètre des bulles proportionnel à la densité acoustique totale des petits poissons pélagiques. Echogrammes représentatifs (axe x : distance : 1 MN, axe y : profondeur (m), couleurs des pixels proportionnelles à la densité acoustique) : a) du groupe 1 ; b) du groupe 2 ; c) du groupe 3. Les flèches indiquent l'unité d'échantillonnage où l'échogramme a été observé.

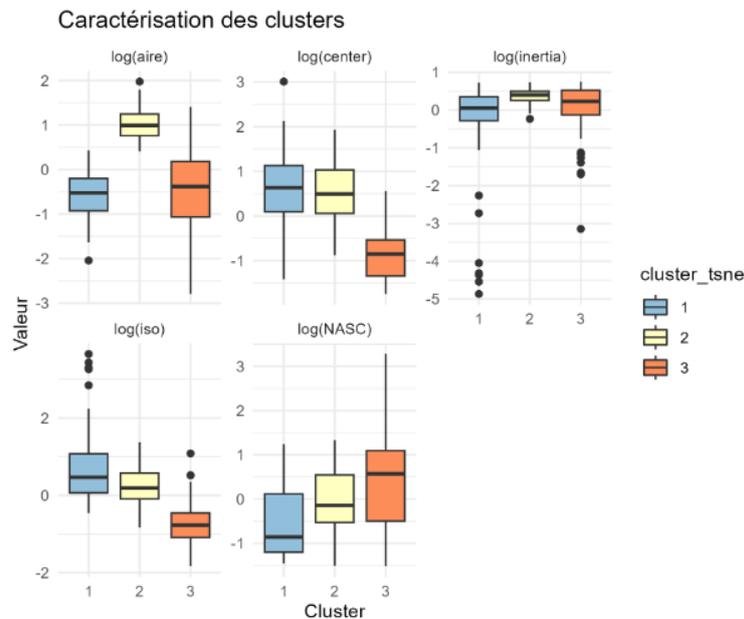


Figure 12 : Distributions des descripteurs de la densité (NASC) et de la distribution spatiale des densités acoustiques de petits poissons pélagiques dans les groupes issus de la classification (couleurs), campagne DriX février 2023. Couleur des bulles : appartenance au groupe, inertia : inertie, iso : isotropie, aire : aire de dispersion, center : altitude du centre de gravité des densités acoustiques de petits poissons pélagiques.

Le groupe 1 regroupait les agrégations de poissons les moins denses, distribuées de façon la plus isotrope, les moins agrégées et moins proches du fond (Figure 12 et échogramme caractéristique figure 11a). Ces agrégations étaient dispersées dans la zone côtière (fonds inférieurs à 100m), et plus présentes à l'extrême Sud-Ouest de la zone, en bordure de plateau (Figure 11).

Le groupe 2 regroupait des poissons très agrégés, avec des densités et des isotropies intermédiaires, et relativement éloignées du fond (Figure 12 et échogramme caractéristique figure 11b). Ces agrégations ont été observées essentiellement dans le Sud de la zone, en face l'estuaire de la Gironde (Figure 11).

Le groupe 3 regroupait les agrégations les plus denses et proches du fond et les moins isotropiques (Figure 12 et échogramme caractéristique figure 11c). Ces agrégations ont été observées essentiellement près de la côte dans le Nord de la zone, en face des Sables d'Olonnes et au Sud de l'île d'Yeu (Figure 11). Ce type d'agrégation de petits poissons pélagiques n'avait jamais été observé auparavant lors des campagnes acoustiques PELGAS (Doray et al., 2018) réalisées chaque printemps dans ces zones du golfe de Gascogne.

3.2.4 Composition des bancs de petits poissons pélagiques

En 2023, quatre traits de chalut pélagique en bœufs ont été réalisés dans la zone couverte par le DriX. Le 15/02/2023, les chalutiers ont recherché sans succès les bancs du groupe 3 détectés par le DriX 5 jours avant entre Rochebonne et les Sables d'Olonne. Ils ont réalisé deux traits le 15/02/2023 sur des bancs situés à une dizaine de mètres au-dessus du fond. Ces bancs étaient composés d'une majorité d'anchois de petite taille. Les deux autres traits ont été réalisés le 16/02/2023 sur des bancs typiques du groupe 3 détectés la veille par le DriX au Sud de l'île d'Yeu. Les pêches d'identification ont révélé que l'un des groupes de bancs du groupe 3 observés dans la zone était composé de petits sprats, et l'autre de sardine de taille moyenne.

3.3 CO-OCCURRENCE ENTRE DAUPHINS ET PROIES

Les cartes de présence et d'activité de dauphins et de la densité de leurs proies lors du premier et second parcours en février 2023 sont présentées ci-dessous, avec les centres de gravités des distributions, leurs axes d'inertie et l'indice de co-occurrence global (GIC).

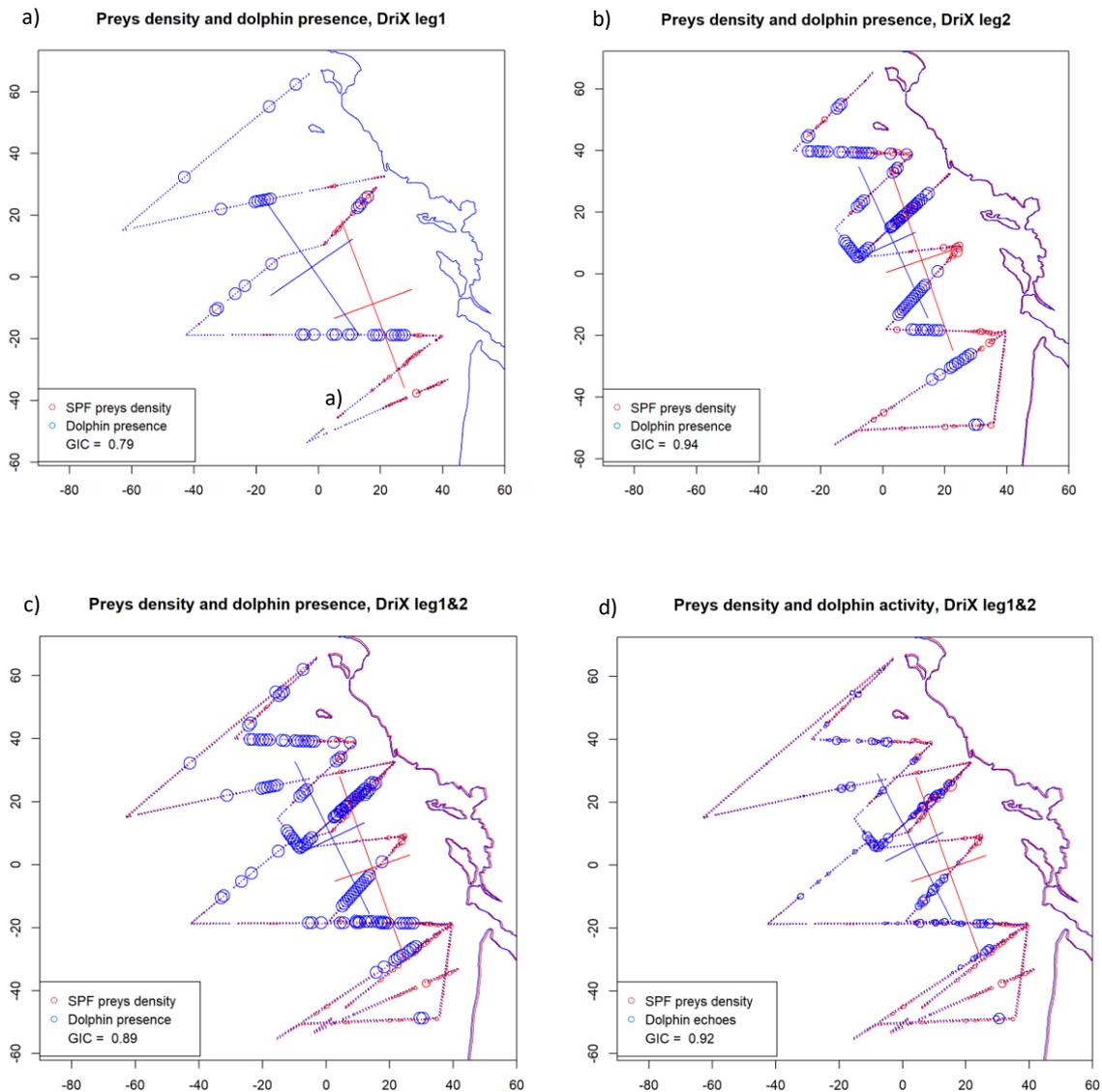


Figure 13 : présence de dauphins (grands cercles bleus) et densité de leurs proies (cercles rouges proportionnels à la densité) enregistrés lors du premier (a) et second (b) parcours du DriX en février 2023. Présence de dauphins (c) et activité d'écholocation des dauphins (cercles bleus proportionnels aux occurrences d'émissions sonores, d), avec la densité de leurs proies (cercles rouges), enregistrés lors des deux parcours du DriX en février 2023. Les segments représentent les deux premiers axes d'inertie, avec le centre de gravité des distributions à leur intersection. Les Global Index of Collocation (GIC) entre les distributions sont indiqués dans les légendes.

Lors du premier parcours, les positions respectives des axes d'inertie et des centres de gravité indiquent que les dauphins étaient globalement distribués un peu plus au large et dans le Nord-Ouest de la zone que leurs proies (Figure 13a). L'alignement des axes d'inertie et une

valeur de GIC élevée (0.79) indiquent cependant que les distributions des dauphins et de leurs proies étaient chevauchantes (Figure 13a). Les dauphins étaient plus présents dans la zone côtière couverte lors du second parcours (Figure 13b). Ils étaient toujours distribués un peu plus vers le large et le Nord Ouest que leurs proies, mais leur co-occurrence avec leurs proies était plus importante (GIC = 0.94). Les mêmes patrons sont observés lorsque les observations réalisées lors des deux parcours sont analysées ensemble, que ce soit en termes de présence (Figure 13c) ou d'activité d'écholocation des dauphins (Figure 13d). Les résultats par parcours pour l'activité d'écholocation des dauphins sont présentés dans l'annexe 4.

Les variogrammes inter-parcours des indicateurs dauphins et proies n'étaient pas structurés spatialement (Annexe 5). Ceci indique que les distributions ont bougé entre les parcours de façon aléatoire. Il n'est donc pas envisageable d'analyser les structures spatiales en mélangeant les observations des deux parcours. Nous avons donc analysé les (co)variogrammes entre variables, calculés sur des observations appartenant au même parcours (Figure 14).

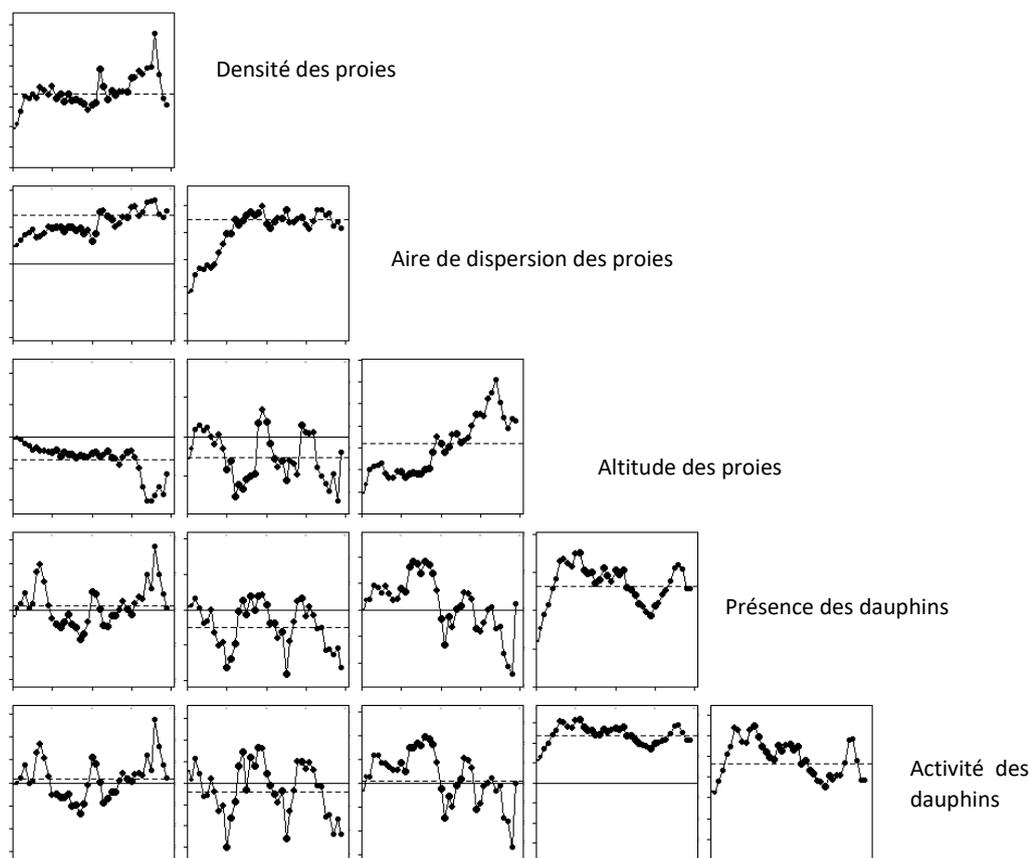


Figure 14 : Diagonale, de haut en bas : variogrammes (ordonnées) des densités, aires de dispersion et altitude des proies, et de la présence et activité des dauphins en fonction de la distance (abscisses). Graphiques sous la diagonale : covariogrammes (ordonnées) entre les indicateurs en fonction de la distance (abscisses).

Les variogrammes des indicateurs dauphins et proies indiquent que toutes leurs distributions étaient structurées spatialement (variogrammes sur la diagonale de la Fig. 14). La structure spatiale de la distribution de la densité des proies représentait environ 50% de la variance totale, sous la forme d'agrégats de diamètre moyens 4 milles nautiques (MN). La structure

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

spatiale de l'indice d'agrégation (Spreading area) des poissons à l'échelle de l'ESU, représentait environ 2/3 de la variance totale, sous la forme d'agrégats de diamètre moyen 24 MN. La structure spatiale de l'altitude du centre de gravité des poissons représentait environ 2/3 de la variance totale, sous la forme d'agrégats de diamètre moyen 4 et 34 MN. La structure spatiale des indicateurs dauphins représentait environ 33% (activité) et 50% (présence) de la variance totale, sous la forme d'agrégats de diamètre moyen 12 MN.

Le covariogramme entre la densité et l'indice d'agrégation des poissons est croissant, ce qui indique que les agrégats des deux indicateurs étaient situés en moyenne aux mêmes endroits. Le covariogramme entre la densité et l'altitude des poissons est décroissant puis plat à des distances supérieures à 24 MN, confirmant que les agrégats de proies denses étaient distribués dans les zones où leur altitude est faible (densité et altitude corrélées négativement à leurs échelles d'agrégation spatiales). A l'échelle de leurs agrégats (4MN pour les poissons, 12 MN pour les dauphins), le covariogramme entre la densité des proies et les indices dauphins est croissant pour des distances de 0 à 14 MN. Ceci confirme que les agrégats de proies et de dauphins étaient en moyenne localisés aux mêmes endroits.

4 Discussion et conclusion

Il n'était pas possible d'utiliser un navire de la Flotte Océanographique Française (FOF), ou un navire de pêche en hiver pendant la période du pic d'échouage car :

- aucun navire de la FOF avec un équipement acoustique adéquat et capable d'opérer dans le golfe de Gascogne en février n'était disponible. Le seul navire possible était le N/O Thalassa, non disponible en février car réalisant la campagne d'intérêt public IBTS en mer du Nord. Aucun navire de pêche ne disposait de l'équipement acoustique adéquat pour la mission ;
- les demandes de campagne pour Thalassa doivent être soumises à la FOF, 2 ans à l'avance (sans garantie d'obtenir du temps navire). Le projet DELMOGES a démarré début 2022, la campagne devait avoir lieu en février 2023. Il était donc impossible d'utiliser un navire hauturier de la FOF ;

Le drone DriX était mobilisable pendant tout le mois de février en 2023, et pendant 15 jours en 2024, afin de pouvoir sortir en mer lorsque la météo le permettait. Cette flexibilité de mise en œuvre était indispensable pour acquérir des données acoustiques halieutiques de qualité en février dans le GdG. Il ne paraissait pas possible de mobiliser un navire hauturier de la FOF ou un navire de pêche avec son équipage pendant 1 mois, pour ne sortir que quelques jours.

La carène perce-vague et le lest profond du DriX lui confèrent une très bonne tenue à la mer pour sa taille, permettant de collecter des données de qualité acceptable avec un échosondeur à vitesse élevée (9 nœuds en moyenne), jusque dans des conditions de mer forte (5 sur échelle Douglas). Le fort roulis du DriX par houle supérieure à 1.5m a nécessité un important travail de correction de la détection du fond sur les données échosondeur CW. Celles-ci étaient cependant d'une qualité suffisante pour cartographier les proies des dauphins.

La superposition des cellules et polygones issus de l'échotypage manuel à basse résolution spatiale, sur les matrices issues de l'écho-intégration à haute résolution, a permis d'extraire les écho-traces de petits poissons pélagiques et de caractériser finement leur structure spatiale, en conservant un temps d'analyse manuelle acceptable. Le calcul d'indices spatiaux à partir des densités poisson issues de l'écho-typage à fine échelle (ESU de 1 MN de long) a permis de caractériser la distribution spatiale des proies à fine échelle, et d'identifier 3 types d'agrégations denses de petits poissons pélagiques. A l'échelle plus large de la zone d'étude, le calcul d'indices spatiaux (centre de gravité, inertie et GIC) et la variographie appliquée aux distributions de dauphins et de proies ont permis d'étudier la dynamique et la co-occurrence des dauphins et de leurs proies.

L'interpolation des observations de la campagne de février 2023 nécessitait de combiner les données collectées lors des deux parcours successifs, chacun ayant couvert une zone différente. L'analyse conjointe des positions des centres de gravité et des variogrammes expérimentaux intra et inter-parcours a permis de caractériser la dynamique des agrégations spatiales des paramètres étudiés. Cette analyse a permis de sélectionner le modèle de variogramme le plus approprié pour interpoler la distribution moyenne des paramètres en combinant les informations issues des deux couvertures successives de la zone.

Des variations importantes de la distribution des dauphins ont été observées à l'échelle d'une semaine entre les 2 parcours du DriX réalisés en 2023. Les observations du DriX confirment les résultats des survols Capécet, qui ont montré que les dauphins pouvaient être très mobiles dans la zone en hiver. La distribution des proies était plus stable à l'échelle d'une semaine en 2023.

Les observations réalisées par le DriX et les navires de pêche en février 2023 et 2024 dans le centre du Golfe de Gascogne indiquent que les dauphins et leurs proies étaient concentrés en hiver dans les mêmes zones, près de la côte, à moins de 100m de profondeur. Leurs bancs se situaient majoritairement près du fond (altitude médiane 5.7m), sous la forme d'agrégats de bancs, d'un diamètre moyen de 4 MN. Leur organisation spatiale à fine échelle ne différait pas de celle observée au printemps, à l'exception de la présence de bancs denses très près du fond, s'étendant sur plusieurs milles nautiques. Ces bancs semblent être des structures dynamiques, pouvant se déplacer ou changer d'apparence en moins d'une semaine. Ils sont composés majoritairement d'anchois, de sardine et de sprat. Ces bancs denses pourraient résulter d'un comportement hivernal de concentration près du fond, déjà observé chez d'autres espèces de petits poissons pélagiques (ex. chez le hareng en hiver en Manche et dans les fjords norvégiens). Ce comportement pourrait indiquer que les PPP se nourrissent pour partie en hiver de proies d'origine benthique dans le GdG. Ces tapis de poissons pourraient également résulter d'un comportement d'évitement des petits poissons pélagiques vis-à-vis de leurs prédateurs, et notamment des dauphins. Des pêcheurs à la senne rapportent en effet que les sardines forment le même genre de bancs l'été, quand les dauphins abondent. Une stratégie d'anti-prédation consistant à nager très près du fond pourrait avoir été sélectionnée, ou apprise, par les proies des dauphins, car elle leur permettrait d'être moins détectables par l'écholocalisation des dauphins. L'écholocalisation doit en effet être limitée, comme tous les sonars, par la présence d'une zone aveugle proche du fond, dans laquelle tous les échos se confondent

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024

avec l'écho très fort réfléchi par le fond lui-même. Les proies pourraient ainsi nager le plus près possible du fond lorsqu'elles se sentent menacées, afin de ne pas être détectées par les dauphins. Cette stratégie pourrait être plus ou moins efficace, en fonction du nombre de poissons essayant de l'appliquer, et de la hauteur de la zone aveugle au-dessus du fond. Si trop de poissons essayent de se cacher dans la zone aveugle, ils pourraient se concentrer au-dessus de celle-ci et former des bancs denses semblables à ceux du groupe 3, très détectables par un sonar, ou un dauphin. On peut supposer que les PPP seraient alors également plus capturables par les dauphins, car ils ne pourraient pas plonger davantage pour éviter les attaques des prédateurs.

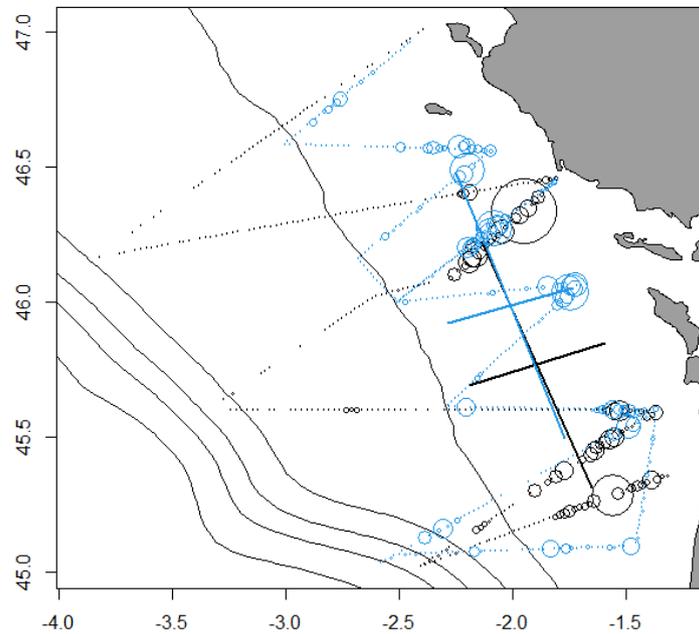
D'après l'analyse des observations du DriX dans le centre du Golfe de Gascogne en février 2023, les dauphins et leurs proies sont distribuées dans la zone où s'exerce l'essentiel de l'effort de pêche des fileyeurs ciblant des espèces démersales (sole, merlu, bar, cf. (Authier et al., 2023; Brevet et al., 2024; Cloâtre et al., 2023), au moment du pic de captures accidentelles de dauphins (Authier et al., 2023). La présence de leurs proies préférentielles à une faible profondeur au-dessus du fond, parfois sous la forme de bancs très denses, pourrait inciter les dauphins à plonger pour venir se nourrir de jour près du fond. Ils se retrouveraient ainsi dans la zone d'action des filets. Ce comportement alimentaire pourrait contribuer à expliquer comment des dauphins communs, évoluant habituellement en surface, peuvent être capturés à plusieurs dizaines de mètres de profondeur par des filets pêchant parfois à moins d'un mètre au-dessus du fond (filets à sole). Cette hypothèse devra être validée par des observations directes, mais celles-ci ne sont pas simples à réaliser. La pose de marques enregistrant la pression sur les dauphins communs pour suivre leur profondeur de nage est difficile, du fait des conséquences souvent létales (crise cardiaque) de la capture/manipulation de ces animaux. Des tentatives de triangulation acoustique ont été faites pour essayer de reconstituer les trajectoires des dauphins à partir de leurs émissions sonores, mais sans résultat probant. La pose de capteurs de pression sur des dauphins échoués et/ou le développement de marques ventouses détachables équipées de capteurs de pression pourraient permettre de suivre les déplacements verticaux des dauphins, sans avoir à les capturer.

Le DriX a montré une bonne flexibilité d'utilisation, et a permis d'acquérir de façon fiable des données exploitables en hiver dans le Golfe de Gascogne. Ce drone pourrait être une plateforme d'observation opérationnelle pour le suivi des distributions de poissons et de dauphin en hiver dans les zones à risque.

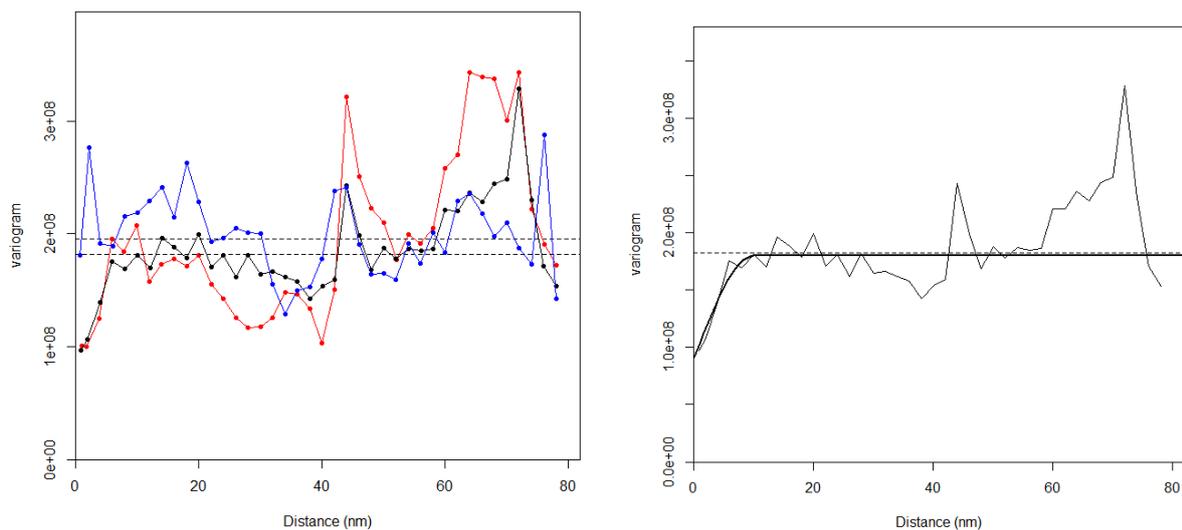
6 Bibliographie

- Authier, M., Brevet, M., Dubroca, L., 2023. Estimation du risque et de la mortalité par captures accidentelles des petits cétacés. Chapitres 2a & 2b (Saisine DGAMPA 2023 sur les captures accidentelles de petits cétacés dans le Golfe de Gascogne).
- Brevet, M., Demaneche, S., Peltier, H., Authier, M., Dubroca, L., 2024. Description des activités de pêches, cartographie et typologie des stratégies opérant dans le golfe de Gascogne. Livrable Proj. DELMOGES. <https://doi.org/10.13155/99926>
- Cloâtre, T., Authier, M., Brevet, M., Dubroca, L., Demaneche, S., Brevet, M., Dubroca, L., Demaneche, S., 2023. Analyse des données de captures accidentelles de petits cétacés dans le Golfe de Gascogne en période hivernale et préparation de la campagne 2023-2024.
- Doray, M., Petitgas, P., Romagnan, J.B., Huret, M., Duhamel, E., Dupuy, C., Spitz, J., Authier, M., Sanchez, F., Berger, L., Doremus, G., Bourriau, P., Grellier, P., Masse, J., 2018. The PELGAS survey: Ship-based integrated monitoring of the Bay of Biscay pelagic ecosystem. *Prog. Oceanogr.* 166, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.09.015>
- Doray, M., Van Der Kooij, J., Boyra, G. (Eds.), 2021. ICES Survey Protocols - Manual for acoustic surveys coordinated under the ICES Working Group on Acoustic and Egg Surveys for Small Pelagic Fish (WGACEGG). <https://doi.org/10.17895/ICES.PUB.7462>
- Maaten, L. van der, Hinton, G., 2008. Visualizing Data using t-SNE. *J. Mach. Learn. Res.* 9, 2579–2605.
- Massé, J., Sanchez, F., Delaunay, D., Robert, J.M., Petitgas, P., 2016. A partnership between science and industry for a monitoring of anchovy and sardine in the Bay of Biscay: When fishermen are actors of science. *Fish. Res.* 178, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.11.018>
- Petitgas, P., Woillez, M., Rivoirard, J., Renard, D., Bez, N., Rivoirard, J., Renard, D., Bez, N., 2017. Handbook of Geostatistics in R for Fisheries and Marine Ecology. ICES Coop. Res. Rep. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.3717>
- Rivoirard, J., Bez, N., Fernandes, P., Foote, K., Simmonds, J., 2000. Geostatistics for Estimating Fish Abundance. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Veit, E., 2022. ESS-DRIX-2022 cruise, RV L'Europe.
- Ward, J., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Amer Stat. Assoc* 58, 236–244.
- Woillez, M., Poulard, J.C., Rivoirard, J., Petitgas, P., Bez, N., 2007. Indices for capturing spatial patterns and their evolution in time, with application to European hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay. *ICES J Mar Sci* 64, 537–550.

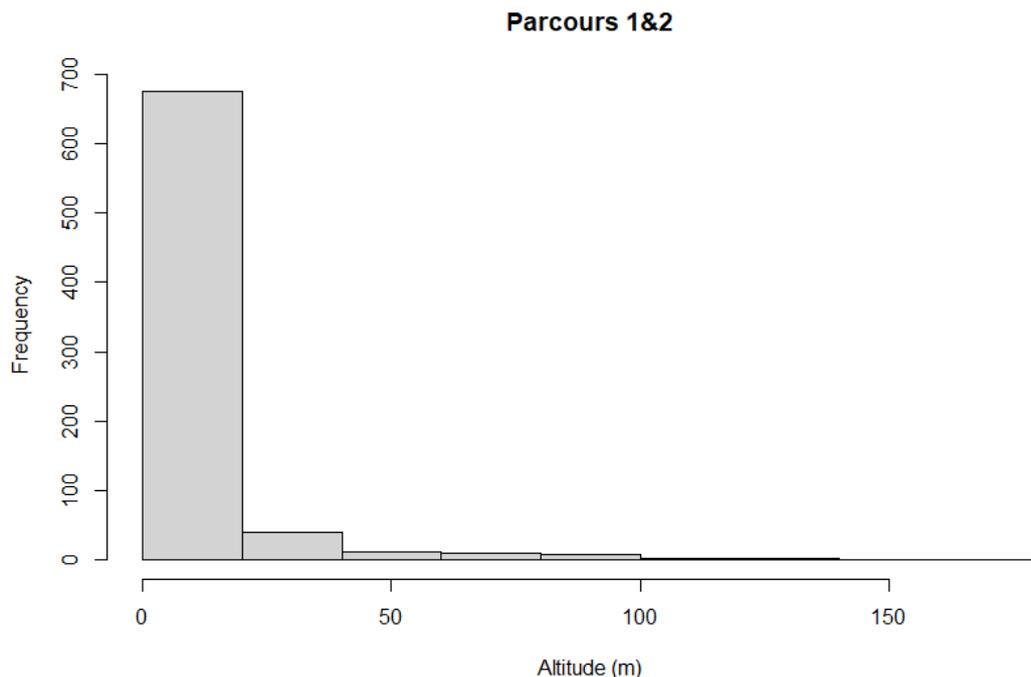
7 Annexes



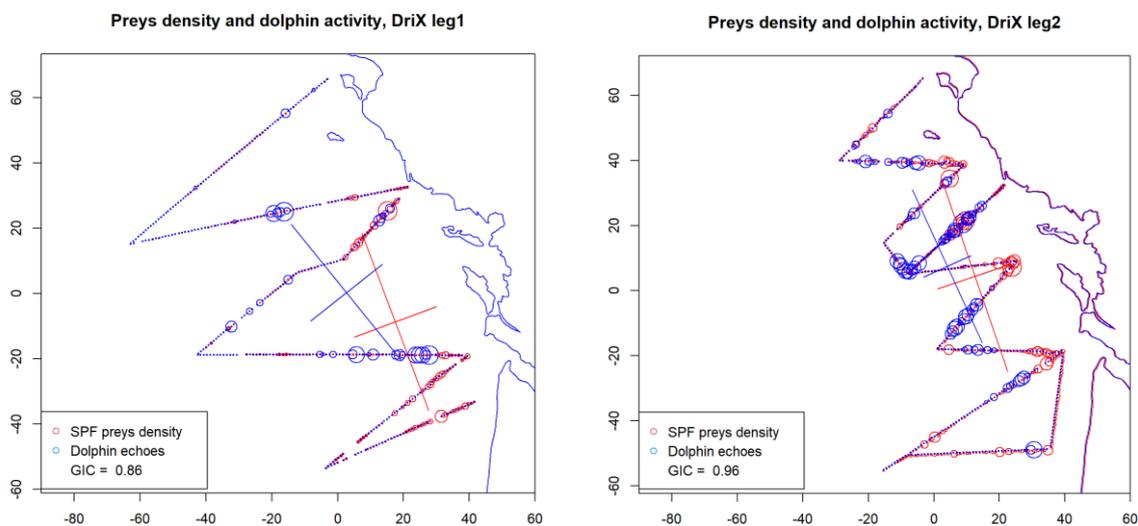
Annexe 1 : Carte de distribution des densités acoustiques de proies de dauphins communs (cercles de diamètres proportionnels à la racine carrée de la densité acoustique) en février 2023 : noir : parcours large, bleu : parcours côtier. Croix : 2 premiers axes d'inertie, centre de gravité des distributions à leur intersection.



Annexe 2 : Gauche : variogrammes expérimentaux des densités acoustiques de proies de dauphins communs : rouge : parcours large, noir: intra-parcours, bleu: inter-parcours. Droite : modèle de variogramme (pépite seuil $0.9 \cdot 10^8$ + sphérique seuil $0.9 \cdot 10^8$, portée : 10 milles nautiques), ajusté sur le variogramme expérimental intra-parcours des densités acoustiques de proies de dauphins communs.

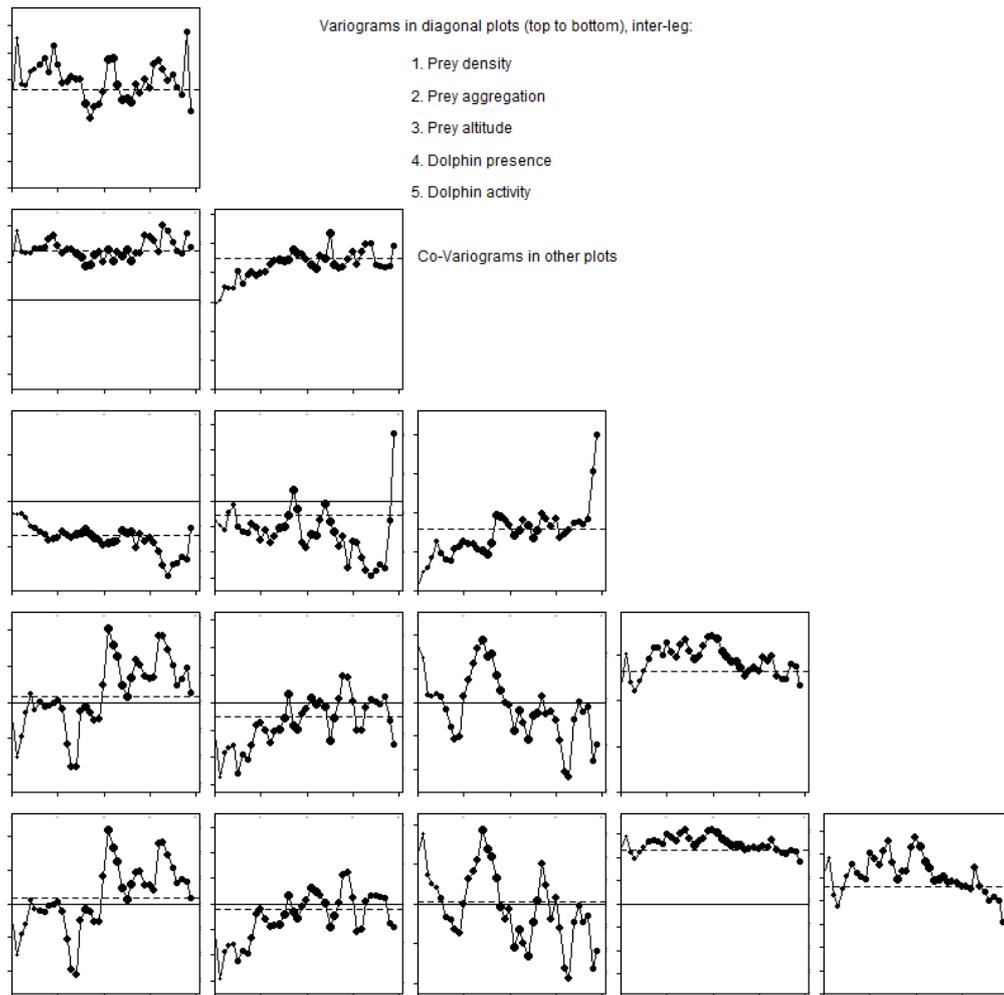


Annexe 3 : Histogramme de l'altitude des densités acoustiques de petits poissons pélagiques détectées par le DriX en février 2023 (parcours 1&2).



Annexe 4 : Activité d'écholocation des dauphins (cercles bleus proportionnels aux occurrences d'émissions sonores) et densité de leurs proies (cercles rouges proportionnels à la densité) enregistrés lors du premier (gauche) et second (droite) parcours du DriX en février 2023. Les segments représentent les deux premiers axes d'inertie, avec le centre de gravité des distributions à leur intersection. Le Global Index of Collocation (GIC) entre les deux distributions est indiqué dans la légende.

Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024



Annexe 5 : Diagonale, de haut en bas : variogrammes des densités, aires de dispersion et altitude des proies, et de la présence et activité des dauphins. Graphiques sous la diagonale : covariogrammes entre les indicateurs. (Co)variogrammes calculés en appariant des observations issues de parcours différents.