



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Parc éolien au large de la Bretagne Sud (AO5) – état actuel de l'environnement

Rapport final relatif au compartiment
« 3.6 Poissons, mollusques, crustacés
- Espèces pélagiques »



Janvier 2025

| Version | Date | Description | Auteurs | Relecteur |
|------------|-------------------|-----------------------|--|------------------|
| 1.0 | 31/01/2025 | Production initiale | M. CAMBRELING G. ALLAIN | G. ALLAIN |
| 2.0 | 24/03/2025 | Version finale | M. CAMBRELING G. ALLAIN | G. ALLAIN |

COORDONNEES

| Siège social | Directeur de projet | Responsable d'affaire |
|---|---|---|
| setec énergie environnement Immeuble Central Seine 42 - 52 quai de la Rapée - CS 71230 75583 Paris cedex 12 Tél +33 1 82 51 55 55 Fax +33 1 82 51 55 56 environnement@setec.fr www.setec.fr | Philippe BORNENS 358 ZA La Grande Halte 29940 La Forêt-Fouesnant Tél. +33 (0)2 98 51 44 79 Mob. +33 (0)6 07 97 09 14 philippe.bornens@setec.com | Françoise LEVEQUE 358 ZA La Grande Halte 29940 La Forêt-Fouesnant Tél +33 (0)2 98 51 47 71 Mob +33 (0)6 31 40 54 07 francoise.leveque@setec.com |

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduction | 6 |
| 2. Description de la campagne | 7 |
| 2.1 Principe..... | 7 |
| 2.2 Stratégie d'échantillonnage..... | 8 |
| 2.3 Moyens nautiques et matériels | 9 |
| 2.3.1 Moyens nautiques | 9 |
| 2.3.2 Moyens matériels..... | 10 |
| 3. Méthodes d'analyse | 13 |
| 3.1 Traitement des données | 13 |
| 3.1.1 Estimation de la biomasse acoustique | 13 |
| 3.1.2 Caractérisation des agrégations | 14 |
| Calcul des indices d'agrégation..... | 14 |
| Clustering des agrégations..... | 15 |
| 4. Résultats | 16 |
| 4.1 Résultats des pêches d'identification | 16 |
| 4.2 Estimation globale de la biomasse par saison | 18 |
| 4.3 Cartographie de la distribution spatiale..... | 19 |
| 4.3.1 Distribution des anchois..... | 19 |
| 4.3.2 Distribution des sardines..... | 20 |
| 4.4 Caractérisation des agrégations | 21 |
| 4.4.1 Répartition verticale par saison | 21 |
| 4.4.2 Clustering des agrégations..... | 22 |
| 5. Conclusion | 26 |
| 6. Références..... | 27 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Schéma de principe de la campagne (adapté d'une présentation Ifremer, source : setec énergie environnement, 2025). | 7 |
| Figure 2 : Parcours d'acquisition suivi par le Minibex chaque jour (de B à D en suivant la ligne noire) (source : setec énergie environnement, 2025) | 8 |
| Figure 3 : Représentation des périodes des campagnes d'échantillonnages des ressources halieutiques sur une année (source : setec énergie environnement, 2025) | 9 |
| Figure 4 : Le Minibex de la société SAAS (à gauche) et Marilude II (à droite) (source : setec énergie environnement, 2025) | 10 |
| Figure 5 : Les 2 transducteurs de 38 et 120 kHz installés sous la coque du Minibex (en haut). Les outils utilisés à bord pour le paramétrage et le contrôle des transducteurs et la visualisation en temps réel des données acquises (en bas) (source : setec énergie environnement, 2025) | 10 |
| Figure 6 : Manipulation du chalut pélagique par les matelots lors du virage (à gauche) et échantillonnage des captures (à droite) (source : setec énergie environnement, 2025) | 11 |
| Figure 7 : Gréement à quatre panneaux d'un chalut pélagique (source : M. Bdioui et M. Cherif, 2016) | 12 |
| Figure 8 : Sonde WiMo Plus fixée à son bâti (source : setec énergie environnement, 2025) | 12 |
| Figure 9 : Méthode de création d'un échantillon de référence à fine échelle (le bleu représentant des cellules Poissons, l'orange celles Autres (Doray et al., 2024) | 14 |
| Figure 10 : Composition en espèces des captures (en biomasse) des pêches d'identification au chalut pélagique (source : setec énergie environnement, 2025) | 16 |
| Figure 11 : Biomasse acoustique extrapolée sur l'ensemble de la zone d'étude (233 km ²) (source : setec énergie environnement, 2025) | 18 |
| Figure 12 : Distribution de la biomasse acoustique d'anchois selon les transects acoustiques (source : setec énergie environnement, 2025) | 19 |
| Figure 13 : Distribution de la biomasse acoustique de sardine selon les transects acoustiques (source : setec énergie environnement, 2025) | 20 |
| Figure 14 : Histogramme de la répartition du signal acoustique des poissons en fonction de l'altitude, exprimée en distance par rapport au fond de la colonne d'eau (source : setec énergie environnement, 2025) | 21 |
| Figure 15 : Boxplots des caractéristiques des agrégations de poissons selon trois types de clusters. Les agrégations sont classées en clusters "Surface" (vert), "Dispersés" (orange) et "Isolés" (violet) et décrites par des indices géostatistiques (après transformation logarithmique et centrage-réduction) : aire (taille des bancs), altitude (distance par rapport au fond), inertie (dispersion des agrégations autour du centre de gravité), isométrie (symétrie de cette dispersion), et NASC (densité acoustique) (source : setec énergie environnement, 2025) | 22 |
| Figure 16 : Capture d'écran du logiciel Movies3D illustrant les agrégations classées en « Bancs de surface » lors de la campagne de printemps. On observe des bancs de petite taille, très denses, apparaissant ici en rouge et vert dans les couches superficielles de la colonne d'eau (anchois et sardine dominants). Une couche diffusante planctonique (en bleu) est également présente entre 30 et 60 m de profondeur. Près du fond, des bancs de faible densité (en bleu/vert) sont aussi visibles (merlan bleu dominant). (source : setec énergie environnement, 2025) | 23 |
| Figure 17 : Capture d'écran du logiciel Movies3D illustrant les agrégations classées en « Bancs dispersés ». Deux types de bancs dispersés sont visibles : à gauche, une couche diffuse située juste au-dessus du fond, et à droite, une série de petits bancs plus agrégés. (source : setec énergie environnement, 2025) | 23 |
| Figure 18 : Capture d'écran du logiciel Movies3D illustrant les agrégations classées en « Bancs isolés ». À gauche, un banc de très grande taille est visible, s'étendant sur environ 90 mètres de long et 50 mètres de hauteur (source : setec énergie environnement, 2025) | 24 |
| Figure 19 : Histogramme représentant la répartition du NASC des poissons associés aux clusters d'agrégations (somme du NASC des ESDU classifiées dans chacun des clusters) selon les saisons. Les clusters sont classifiés en "Surface" (vert), "Dispersés" | |

(orange), "Isolés" (violet) et "NA" (gris, signal non classifié). Le nombre indiqué au-dessus de chaque barre correspond au nombre d'ESDU (milles nautiques) appartenant à chaque cluster. (source : setec énergie environnement, 2025)..... 24

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Dates des campagnes et affrètements des bateaux de pêche (source : setec énergie environnement, 2025)..... | 9 |
| Tableau 2 : Taille moyenne (cm) ± écart type pour les anchois et les sardines par saison (source : setec énergie environnement, 2025)..... | 17 |

1. INTRODUCTION

Ce document constitue le rapport final de suivi des populations de poissons pélagiques (c'est-à-dire qui vivent dans la pleine eau, sans relation avec le fond) dans la zone d'étude du projet de parc éolien flottant au large de Belle-Ile (AO5). Il présente et analyse les données collectées lors des quatre campagnes réalisées entre février et décembre 2024.

L'objectif principal est de caractériser l'état initial des écosystèmes pélagiques, en particulier les stades adultes et juvéniles des petits poissons pélagiques (sardine, anchois, maquereau, chinchard, etc.) afin de fournir une base solide pour évaluer les éventuels impacts du parc éolien durant les phases futures du projet. Ce suivi permet d'analyser la variabilité saisonnière et annuelle des peuplements, tout en offrant une description fine de leur répartition spatiale et de leur abondance.

Dans le cadre des projets éoliens en mer, le compartiment pélagique a été jusqu'ici moins étudié que les compartiments benthique (potentiellement impacté par les travaux de fondations / d'ancrage des éoliennes) ou de surface (impacts potentiels sur la mégafaune marine). Les quelques études réalisées (Floeter et al. 2017, Rutherford et Fernandes 2024) ne permettent pas de conclure sur les effets de la présence de parcs éoliens sur la distribution, le comportement et l'abondance des poissons pélagiques, potentiellement de plus en plus importants avec la multiplication des projets de parcs éoliens au large des côtes françaises et européennes.

La phase de construction est en effet susceptible de provoquer des perturbations temporaires, telles que des nuisances sonores, pouvant modifier les comportements d'agrégation et de migration (Popper et Hawkins 2019, Berkel et al. 2020). Une fois en exploitation, les parcs peuvent générer des vibrations permanentes affectant les comportements des poissons (Andersson and Öhman, 2010) et modifier localement l'habitat : courantologie, mélange vertical (Floeter et al. 2017), effets d'agrégation (Degraer et al. 2020, Rutherford et Fernandes 2024).

La variabilité inter journalière et la variabilité saisonnière de la répartition, de l'abondance et de la biomasse des espèces pélagiques est également peu documentée, les campagnes européennes d'évaluation de leurs populations, principale source d'observations, ayant lieu une à deux fois par an (au printemps et à l'automne dans le golfe de Gascogne, cf. Doray et al. 2021).

Ce rapport présente les résultats obtenus, comprenant l'estimation de la biomasse des espèces cibles, l'analyse des dynamiques saisonnières observées, la cartographie détaillée des biomasses des deux principales espèces étudiées, l'anchois et la sardine, ainsi que la caractérisation de leurs schémas d'agrégation.

2. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE

2.1 PRINCIPE

Ce suivi vise à répondre à la nécessité de mieux caractériser les populations de poissons pélagiques, stades adultes et juvéniles, dans une approche adaptée à leur comportement agrégatif et à leur forte mobilité. Contrairement aux méthodes adaptées aux espèces benthodémersales, basées uniquement sur des prélèvements au chalut et des statistiques de captures, ce protocole propose une méthode intégrée combinant acoustique et pêches ciblées.

Les espèces pélagiques, par leur distribution dans l'ensemble de la masse d'eau, leur déplacement rapide et leur comportement spécifique, sont difficiles à échantillonner correctement avec les seuls engins de pêche. Ceux-ci ne donnent qu'une vision partielle et biaisée de la composition des peuplements, produisant des résultats davantage orientés vers la présence ou l'absence des espèces. L'approche acoustique, couplée à des prélèvements biologiques, permet de s'affranchir de ces limites en fournissant des informations fiables sur l'abondance, la biomasse et la répartition spatiale des espèces.

Le protocole, défini avec les conseils de l'Ifremer, s'inspire de celui des campagnes PELGAS (Pélagiques Gascogne) menées par l'Ifremer (Doray et al. 2014, Doray et al. 2021), qui utilisent une méthodologie éprouvée pour :

- Décrire la composition des peuplements pélagiques ;
- Estimer les biomasses et les abondances des espèces ;
- Analyser leur répartition spatiale à une échelle fine.

Cette campagne repose sur deux principes fondamentaux :

1. **L'utilisation de l'acoustique** : L'échosondeur permet de localiser, mesurer et cartographier les bancs de poissons avec précision, en fournissant une représentation continue et fine de leur distribution spatiale.
2. **Le couplage avec les pêches au chalut pélagique** : Ces prélèvements ciblés permettent de valider les données acoustiques en identifiant les espèces et leurs tailles, et en établissant les proportions spécifiques des captures.

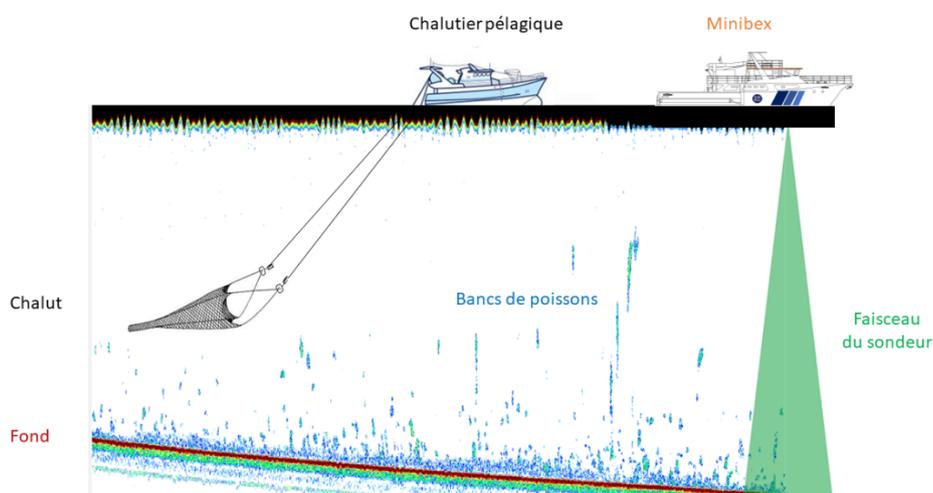
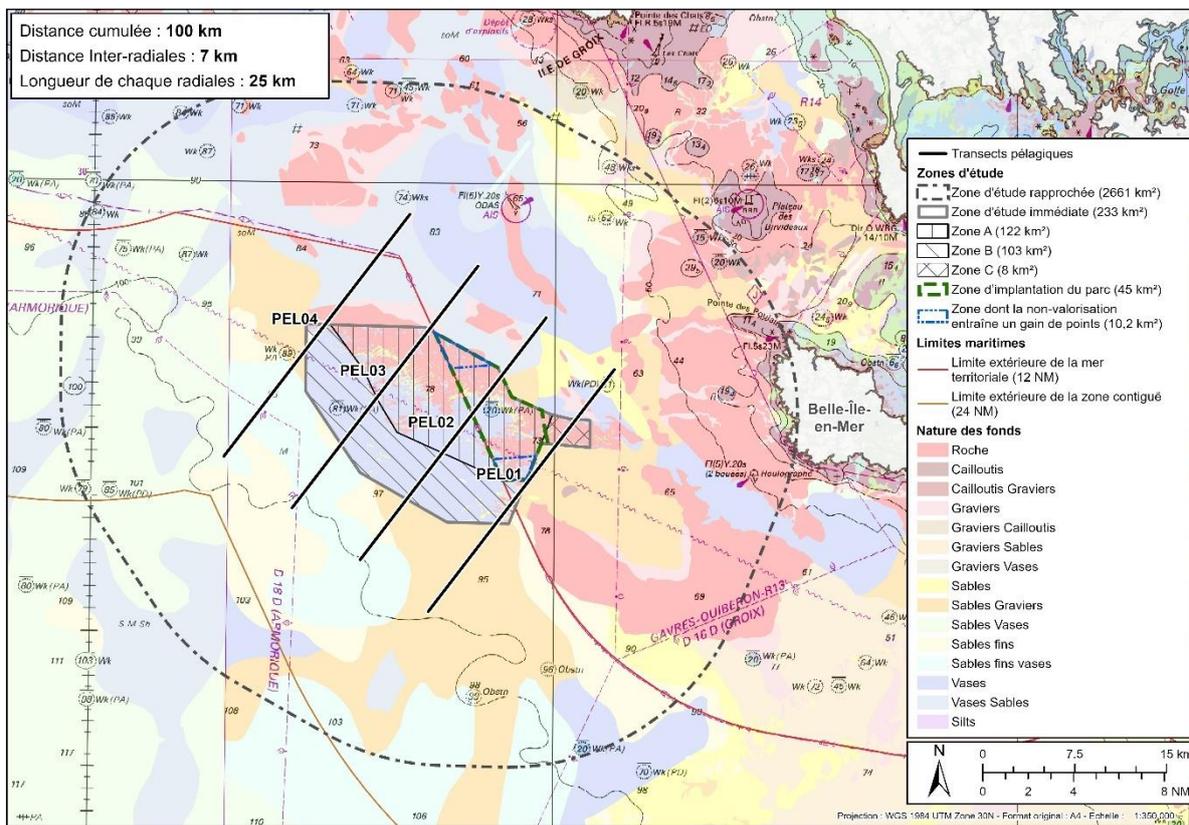


Figure 1 : Schéma de principe de la campagne (adapté d'une présentation Ifremer, source : setec énergie environnement, 2025)

2.2 STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Le plan d'échantillonnage repose sur 4 radiales de 25 km, espacées de 7 km et couvrant l'ensemble de la zone d'étude immédiate (Figure 2). Ces radiales, positionnées perpendiculairement aux isobathes, permettent d'échantillonner les différents habitats présents dans la zone. L'ensemble des radiales peut être échantillonné au cours d'une seule journée, en conditions diurnes, y compris pendant la période hivernale lorsque la durée d'ensoleillement est limitée (inférieure à 9 heures).



| | LONG_DMD_D | LAT_DMD_D | LONG_DMD_F | LAT_DMD_F |
|-------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| PEL01 | 3° 26.147' O | 47° 21.775' N | 3° 38.080' O | 47° 10.994' N |
| PEL02 | 3° 30.589' O | 47° 24.051' N | 3° 42.515' O | 47° 13.263' N |
| PEL03 | 3° 35.036' O | 47° 26.325' N | 3° 46.956' O | 47° 15.529' N |
| PEL04 | 3° 39.491' O | 47° 28.595' N | 3° 51.403' O | 47° 17.792' N |

Figure 2 : Parcours d'acquisition suivi par le Minibex chaque jour (de B à D en suivant la ligne noire) (source : setec énergie environnement, 2025)

La fréquence des campagnes est conçue pour capturer la variabilité saisonnière annuelle en planifiant des missions d'acquisition à chaque saison : hiver, printemps, été et automne.

Chaque campagne saisonnière se déroule sur trois jours d'acquisition, idéalement consécutifs, sous réserve des conditions météorologiques et de la disponibilité des navires. Ces trois jours permettent de répéter les transects trois fois, minimisant ainsi les biais potentiels liés à la forte mobilité des espèces pélagiques.

L'objectif est de caractériser la variabilité inter-journalière ainsi que la variabilité saisonnière de la répartition, de l'abondance et de la biomasse des espèces sur le site d'étude. Cette variabilité est peu documentée : les

campagnes d'évaluation des petits pélagiques ont lieu chaque année au printemps (Ifremer PELGAS en mai, depuis 2000) et à l'automne (campagnes acoustiques espagnoles Juvena, en septembre depuis 2003), la distribution des petits pélagiques reste méconnue le reste de l'année, à l'exception de 2 campagnes au drone de surface réalisées au large de la Vendée en février 2023 et 2024 dans le cadre du projet DELMOGES (Doray et al., 2024).

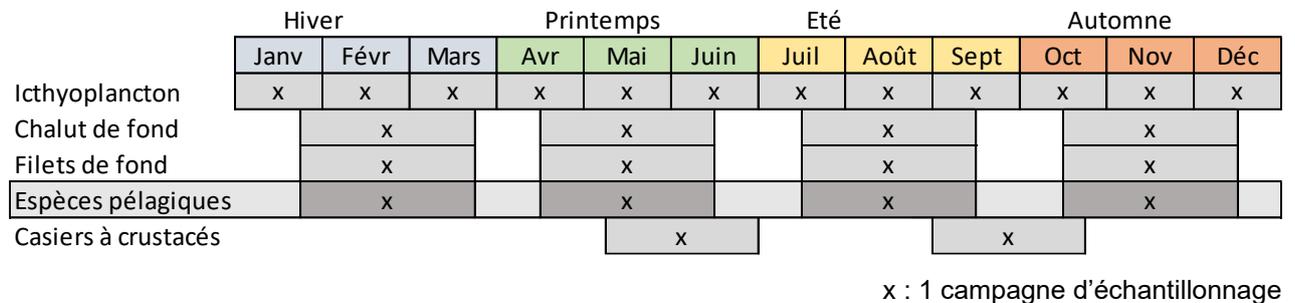


Figure 3 : Représentation des périodes des campagnes d'échantillonnages des ressources halieutiques sur une année (source : setec énergie environnement, 2025)

2.3 MOYENS NAUTIQUES ET MATERIELS

2.3.1 Moyens nautiques

Les campagnes ont mobilisé deux types de navires : le Minibex, exploité par la société SAAS (Ship As A Service, Lorient), pour les prospections acoustiques, et un chalutier pélagique pour les prélèvements biologiques.

Le Minibex est un navire hauturier équipé pour répondre aux exigences de navigation, de sécurité et de performance technique nécessaires à ce type de mission. Un sondeur Simrad EK80 y a été installé en février 2024, spécifiquement pour la réalisation des prospections acoustiques.

Pour les quatre campagnes réalisées, deux chalutiers différents ont été mobilisés pour les pêches visant à caractériser les traces acoustiques. Le Marilude II (La Turballe) a été affrété pour la première campagne (hiver), puis a été remplacé, pour des raisons de disponibilité, par l'Océanie (Lorient) pour les campagnes de printemps, d'été et d'automne. Les patrons des deux navires ont une grande expérience de la pêche au chalut pélagique, qu'ils pratiquent depuis de nombreuses années. Le matériel de pêche utilisé (chalut pélagique, non modifié) est resté identique entre les différentes campagnes. Lors des campagnes d'hiver et d'automne, le troisième jour d'échantillonnage acoustique a été réalisé sans pêches associées, du fait de conditions météorologiques dégradées.

Tableau 1 : Dates des campagnes et affrètements des bateaux de pêche (source : setec énergie environnement, 2025)

| Campagne | Période | Navire scientifique | Navire de pêche | Jours de pêche |
|-----------|--------------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| Hiver | les 21, 22 et 25/03/2024 | Minibex | Marilude II | 2 |
| Printemps | du 02/06 au 04/06/2024 | Minibex | Océanie | 3 |
| Été | les 20, 21 et 24/09/2024 | Minibex | Océanie | 3 |
| Automne | du 15/12 au 17/12/2024 | Minibex | Océanie | 2 |



Figure 4 : Le Minibex de la société SAAS (à gauche) et Marilude II (à droite) (source : setec énergie environnement, 2025)

2.3.2 Moyens matériels

Prospection et acquisition acoustique

Les prospections et acquisitions acoustiques ont été effectuées à l'aide d'un sondeur Simrad EK80 équipé de deux transducteurs fonctionnant à des fréquences de 38 kHz et 120 kHz. Ces transducteurs ont été installés à l'intérieur d'un blister fixé sous la coque du navire Minibex, en position centrale. La première calibration et les premiers tests du sondeur ont été réalisés avec l'appui de Kongsberg (Simrad) en février 2024. Les ondes émises par le sondeur permettent d'explorer l'intégralité de la colonne d'eau, en enregistrant et quantifiant les échos renvoyés par les organismes marins constituant le plancton et le necton (poissons).



Figure 5 : Les 2 transducteurs de 38 et 120 kHz installés sous la coque du Minibex (en haut). Les outils utilisés à bord pour le paramétrage et le contrôle des transducteurs et la visualisation en temps réel des données acquises (en bas) (source : setec énergie environnement, 2025)

De nouvelles calibrations ont été effectuées en juin et septembre 2024 de manière à pouvoir ajuster les gains des sondeurs en prenant compte les différences de température et salinité, donc de célérité du son en fonction des saisons. Les logiciels HERMES et MOVIES3D, développés pour les campagnes d'acoustique halieutique de la flotte océanographique et fournis par l'Ifremer, ont été utilisés pour l'acquisition et l'analyse des données acoustiques de la campagne.

HERMES permet de communiquer avec le sondeur et de configurer les paramètres d'acquisition de manière simplifiée. Le logiciel MOVIES3D est quant à lui utilisé pour visualiser les échogrammes, classer les échos en différents écotypes (par exemple, échos de poissons pélagiques, de parasites, de plancton) et corriger les interférences acoustiques. Cette étape de classification, l'écotypage, est cruciale pour distinguer les espèces cibles des autres sources d'échos et garantir la précision des analyses.

Pêches d'identification

En complément de l'acquisition acoustique, des traits au chalut pélagique (Figure 6) ont été réalisés pour collecter des données biologiques. Lorsque des concentrations notables ou des types particuliers de bancs de poissons pélagiques sont repérés dans la colonne d'eau, la décision de réaliser un prélèvement au chalut est prise et les coordonnées et la profondeur des bancs à cibler sont communiquées par VHF ou messagerie au chalutier pélagique. Ces prélèvements permettent de caractériser les espèces présentes, de déterminer leurs proportions spécifiques et de mesurer les tailles individuelles.

L'échantillonnage des poissons pélagiques dans la colonne d'eau est effectué à l'aide d'un chalut pélagique gréé en 4 panneaux (Figure 7) doté d'une maille étirée de 20 mm, d'une corde de dos mesurant 102 m et d'un netsonde Marport. Le chalut est déployé à la profondeur adaptée pour cibler les traces acoustiques préalablement localisées. La durée des opérations successives (route, filage, trait de 20 à 30 minutes à 3.5 nœuds, virage, retour) fait qu'il est possible de réaliser environ 4 à 6 traits de chalut par jour de prospection.

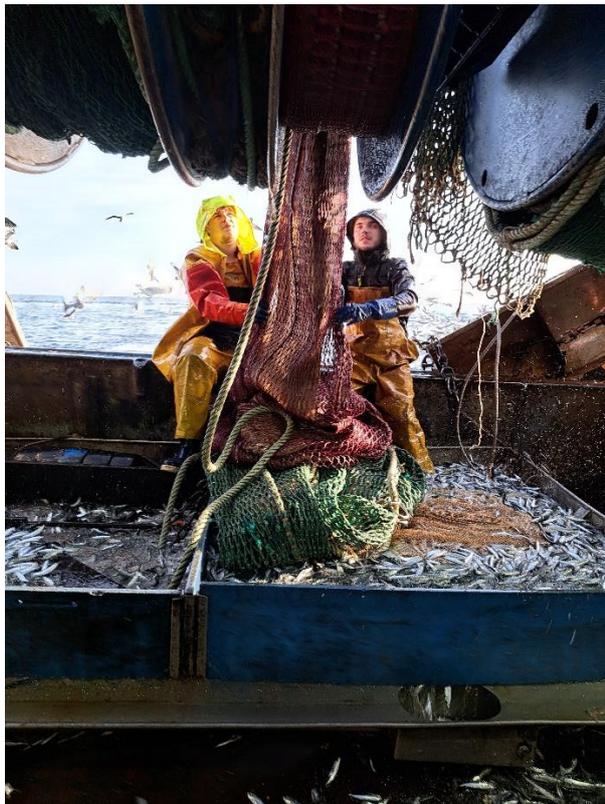


Figure 6 : Manipulation du chalut pélagique par les matelots lors du virage (à gauche) et échantillonnage des captures (à droite) (source : setec énergie environnement, 2025)

Après chaque trait de chalut, le poids total des captures est selon leur volume mesuré ou estimé. Un échantillon représentatif des captures est prélevé pour être pesé et trié. La taille de cet échantillon dépend principalement de l'hétérogénéité des captures et des tailles des individus. Plus les captures seront mixtes et les tailles grandes, plus la taille de l'échantillon est élevée. Si la capture est faible, elle est entièrement traitée. Après le tri et l'identification des espèces, les paramètres biologiques de taille et de poids sont mesurés sur les espèces observées. Pour chaque espèce, 100 individus sont mesurés et pesés individuellement pour déterminer la relation taille-poids qui sert à la conversion des indices d'abondance en indice de biomasse. Si le nombre d'individus est inférieur à 100, tout l'effectif est mesuré. Les mensurations (Longueur Totale) sont faites à l'aide d'un ichtyomètre au demi-millimètre inférieur. Les mesures de poids sont réalisées à l'aide d'une balance de précision (10^{-3} g).

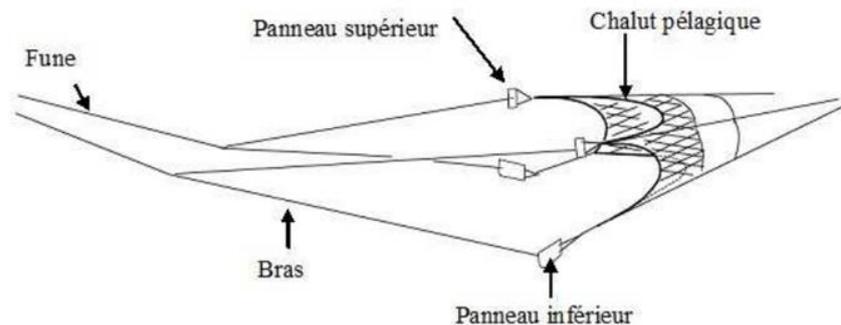


Figure 7 : Gréement à quatre panneaux d'un chalut pélagique (source : M. Bdioui et M. Cherif, 2016)

Profils de la colonne d'eau

Chaque jour au début du parcours d'acquisition acoustique par le Minibex, un profil vertical de mesure est réalisé à la sonde multiparamètres WiMo Plus de NKE Instrumentation. Les paramètres suivants ont été mesurés sur toute la colonne d'eau :

- Pression (dbar)
- Conductivité (mS/cm)
- Température (°C)
- Concentration (mg/L) en oxygène
- Saturation (%) en oxygène
- Turbidité (NTU)
- Chlorophylle a (ppb)
- Salinité (PSU)
- Profondeur (m)

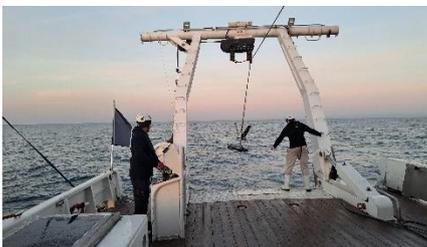


Figure 8 : Sonde WiMo Plus fixée à son bâti (source : setec énergie environnement, 2025)

Les paramètres de salinité et de température mesurés sont immédiatement intégrés dans le logiciel du sondeur, ce qui permet de calculer la célérité du son dans la colonne d'eau en temps réel et d'améliorer ainsi la précision des données acoustiques.

3. METHODES D'ANALYSE

3.1 TRAITEMENT DES DONNEES

3.1.1 Estimation de la biomasse acoustique

Les données collectées ont été traitées selon une méthodologie standardisée décrite par (Doray et al., 2010), garantissant une conversion rigoureuse des densités acoustiques en biomasses estimées. Les signaux acoustiques ont été segmentés en Unités Élémentaires de Distance d'Échantillonnage (ESDU), correspondant à 1 mille nautique de longueur, subdivisées en Unités d'Échantillonnage Élémentaires (ESU), représentant des cellules de 10 m de hauteur (en profondeur) et 1 mille nautique (en distance horizontale).

Chaque ESU a été classé par écotype, une classification des signaux acoustiques en fonction de leurs caractéristiques et de leur structure, permettant de différencier les types d'agrégations (e.g., bancs denses, dispersés, couches diffuses). Cette classification permet de les associer aux captures des traits de chalut réalisés. La combinaison des données acoustiques et biologiques (provenant des traits de chalut) permet une estimation robuste de la biomasse des espèces pélagiques.

Deux méthodologies complémentaires ont été mises en œuvre indépendamment sur chaque parcours de prospection pour estimer et cartographier la biomasse des espèces pélagiques dans la zone étudiée.

Méthode 1 : Estimation globale de la biomasse par extrapolation

Cette méthode repose sur le calcul d'une biomasse moyenne par ESDU et par espèce, selon les étapes suivantes, en utilisant un code R adapté du package EchoR (Doray et al., 2013):

- **Calcul des densités acoustiques moyennes** : Le NASC (Nautical Area Scattering Coefficient, en $m^2 \cdot nmi^{-2}$) représente la densité acoustique à l'échelle de l'ESDU. La moyenne du NASC de chaque écotype est calculé afin d'obtenir un « ESDU moyen » représentatif de l'ensemble de la zone.
- **Détermination des captures moyennes** : Les traits de chalut sont utilisés pour calculer un « chalut moyen », représentatif des captures réalisées sur l'ensemble de la zone d'étude. Ce chalut moyen permet d'associer les écotypes acoustiques aux espèces pêchées et d'estimer leur contribution respective à la densité acoustique observée.
- **Combinaison des données acoustiques et biologiques** : L'ESDU et le chalut moyen sont combinés pour estimer la biomasse moyenne par espèce à l'échelle de l'ESDU.
- **Extrapolation spatiale** : La biomasse moyenne par espèce est ensuite extrapolée à l'ensemble de la zone étudiée (multiplication de la densité moyenne de poisson par unité de surface par l'aire de la zone), ce qui permet d'obtenir une estimation globale de la biomasse.

Cette méthode permet de quantifier les erreurs d'estimation, en prenant en compte la variance des données acoustiques et des captures, fournissant ainsi une estimation globale de la biomasse avec une analyse robuste des incertitudes.

Méthode 2 : Association spatiale des ESDU aux traits de chalut pour la cartographie

Cette méthode repose sur une approche différente, où chaque ESDU est associé au trait de chalut spatialement le plus proche.

Les données acoustiques et biologiques sont ainsi croisées pour créer des cartographies détaillées des biomasses acoustiques des espèces cibles le long des transects acoustiques. Les cartes obtenues mettent en évidence la répartition spatiale des espèces sur l'ensemble de la zone étudiée, permettant d'identifier les zones de forte densité et d'analyser les variations spatiales.

Cette approche améliore la précision des estimations locales et complète l'estimation globale de la biomasse en fournissant une vision détaillée de la répartition des espèces dans la zone d'étude.

3.1.2 Caractérisation des agrégations

La caractérisation des agrégations repose sur un échantillonnage à haute résolution, obtenu en combinant deux approches complémentaires :

- **Échantillonnage manuel** : Comme décrit précédemment pour l'estimation de la biomasse (Doray et al., 2010), cet échantillonnage est réalisé sur des unités d'échantillonnage élémentaires (ESU) d'1 mille nautique de long et 10 m de hauteur.
- **Écho-intégration à fine échelle** : Les données acoustiques collectées à 38 kHz sont intégrées à une résolution plus fine (ESU \approx 5 m horizontal x 1 m vertical).

Ces deux approches sont fusionnées via une procédure appelée **matrypage**, permettant de créer une matrice labellisée à fine échelle où chaque cellule est catégorisée comme "Poisson" ou "Autre" (Figure 9). Les cellules labellisées sont ensuite agrégées dans des ESDU d'un mille nautique, garantissant que les indices calculés et, par la suite, les clusters décrivent les mêmes unités spatiales (Doray et al., 2024).

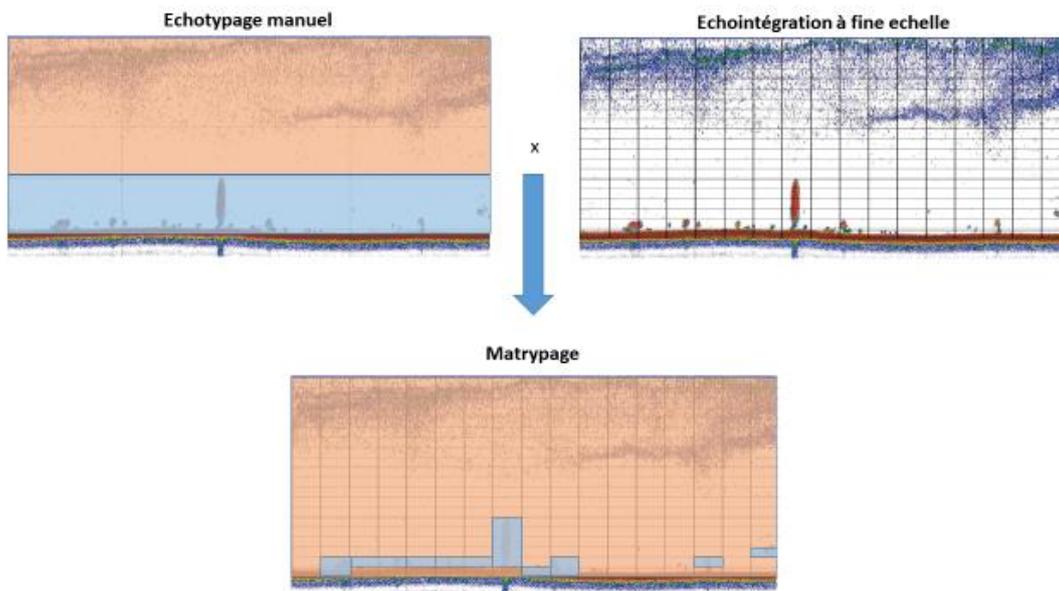


Figure 9 : Méthode de création d'un échantillonnage de référence à fine échelle (le bleu représentant des cellules Poissons, l'orange celles Autres (Doray et al., 2024)

Calcul des indices d'agrégation

À partir de la matrice labellisée, des indices spatiaux sont calculés pour chaque ESDU à l'aide du package **RGeostats** (MINES ParisTech / ARMINES, The Geostatistical R Package, téléchargeable gratuitement à l'adresse <http://cg.ensmp.fr/rgeostats>). Ces indices incluent :

- **Altitude du centre de gravité** : Représente la position moyenne des agrégats par rapport au fond.
- **Inertie et isotropie** : Mesurent respectivement la dispersion des points autour du centre de gravité et la symétrie des agrégats.
- **Aire** : Décrivant l'étendue spatiale des agrégats.
- **Densité acoustique totale (NASC)**

Les indices sont transformés logarithmiquement pour symétriser leur distribution et centrés-réduits afin d'équilibrer le poids de chaque variable dans les analyses ultérieures.

Clustering des agrégations

Un filtrage préliminaire est appliqué pour conserver uniquement les ESDU pertinents. Seuls les ESDU présentant une densité acoustique supérieure à la moyenne (> 190 NASC) sont retenues, réduisant le nombre total à 83 ESDU sur les 574 initialement disponibles. Ce filtrage permet de se concentrer sur les agrégations les plus significatives.

Une fois les données préparées, une réduction de dimension est effectuée à l'aide de la méthode **t-SNE (t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding)**, qui projette les données dans un espace bidimensionnel tout en conservant les relations de proximité initiales (Maaten and Hinton, 2008). Cette méthode est particulièrement efficace pour visualiser et analyser des ensembles de données complexes et multidimensionnelles.

Les deux premiers axes obtenus à partir de la t-SNE servent de base pour une **Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)**, appliquée à l'aide de la méthode de Ward (Ward, 1963). Cette classification regroupe les ESU en clusters homogènes, caractérisés par des similitudes dans leurs caractéristiques d'agrégations. Le nombre optimal de clusters est déterminé en maximisant la variance inter-cluster et en minimisant la variance intra-cluster.

Le clustering des agrégations permet de définir les types dominants d'agrégations pour chaque saison. En identifiant des regroupements spécifiques, tels que des bancs denses proches du fond ou des agrégations diffuses en surface, cette approche offre une compréhension détaillée des dynamiques saisonnières et des cycles écologiques des petits poissons pélagiques. Ces résultats contribuent à affiner l'analyse des variations spatio-temporelles et à enrichir notre compréhension de l'écologie de ces populations dans la zone d'étude.

4. RESULTATS

Les résultats des quatre campagnes sont présentés ci-dessous. Les données de la dernière journée de la campagne hivernale n'ont pas été incluses en raison de la mauvaise qualité des données acoustiques, liée à un état de la mer particulièrement défavorable.

4.1 RÉSULTATS DES PÊCHES D'IDENTIFICATION

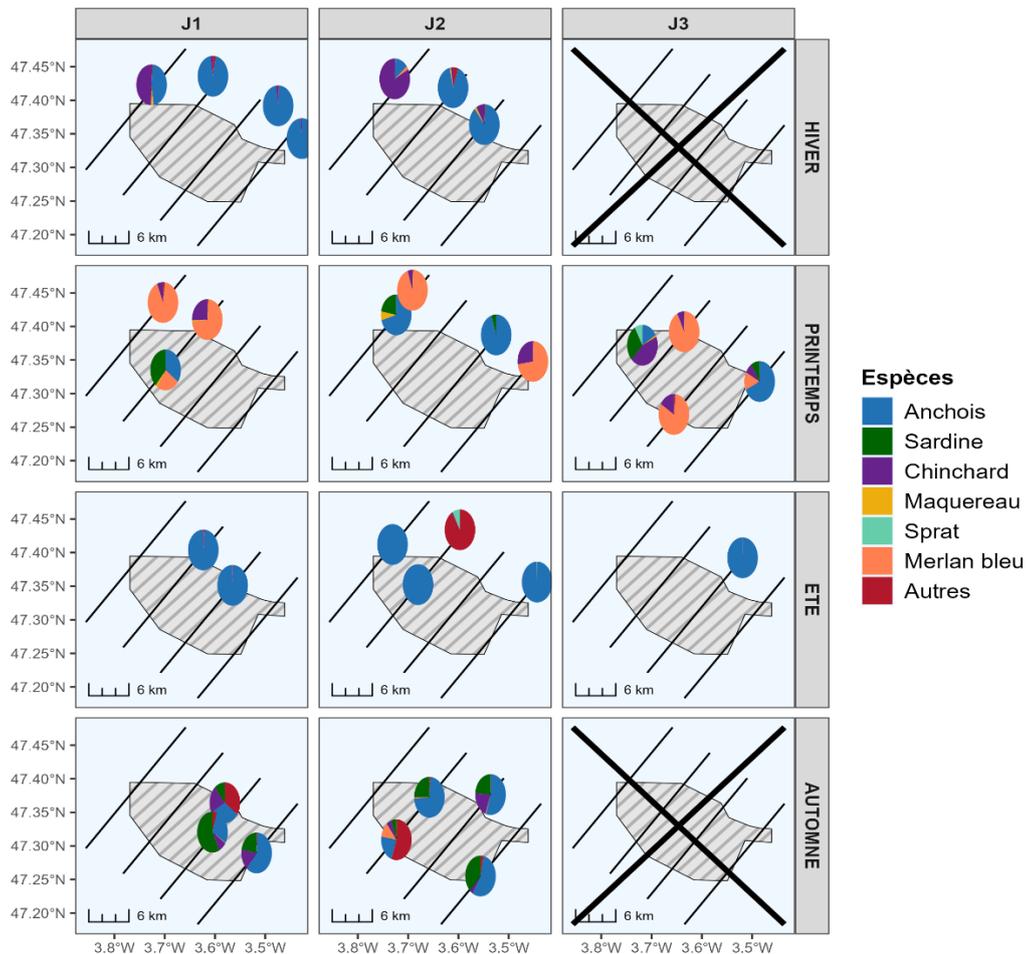


Figure 10 : Composition en espèces des captures (en biomasse) des pêches d'identification au chalut pélagique (source : setec énergie environnement, 2025)

Les pêches d'identification, réalisées à raison de 1 à 4 traits par parcours, ont permis d'estimer la biomasse des espèces, présentée ci-après. L'absence de chalutier pour le dernier parcours de la campagne d'automne n'a pas permis de réaliser de pêches d'identification. Par conséquent, les estimations de biomasse pour ce parcours ont été établies en s'appuyant sur les données des pêches des deux premiers parcours.

Les résultats révèlent une nette dominance de l'anchois dans les captures sur l'ensemble des campagnes. Les sardines sont même absentes des captures lors des campagnes d'hiver et d'été.

La campagne de printemps se distingue par la présence importante de bancs en surface, en plus des bancs proches du fond. Les pêches de fond révèlent une forte présence de merlan bleu, tandis que les pêches de surface sont dominées par les anchois et les sardines. Cette campagne est la seule à montrer une distinction claire entre les captures réalisées en surface et celles effectuées en profondeur.

On observe une forte variabilité entre les saisons, mais une faible variabilité entre les parcours réalisés au sein d'une même saison (ou campagne).

Les autres espèces pélagiques (chinchard, maquereau, sprat) apparaissent de manière plus irrégulière et dans des proportions généralement faibles.

Tableau 2 : Taille moyenne (cm) ± écart type pour les anchois et les sardines par saison (source : setec énergie environnement, 2025)

| Espèces | Hiver | Printemps | Eté | Automne |
|----------------|--------------|------------------|--------------|----------------|
| <i>Anchois</i> | 10.97 ± 1.2 | 13.19 ± 0.93 | 14.65 ± 1.81 | 10.98 ± 1.16 |
| <i>Sardine</i> | NA | 9.02 ± 0.53 | NA | 11.47 ± 0.83 |

Les tailles des sardines et des anchois étant très proches d'une pêche à l'autre au cours d'une même campagne, elles ont été moyennées pour présenter une taille moyenne par saison.

4.2 ESTIMATION GLOBALE DE LA BIOMASSE PAR SAISON

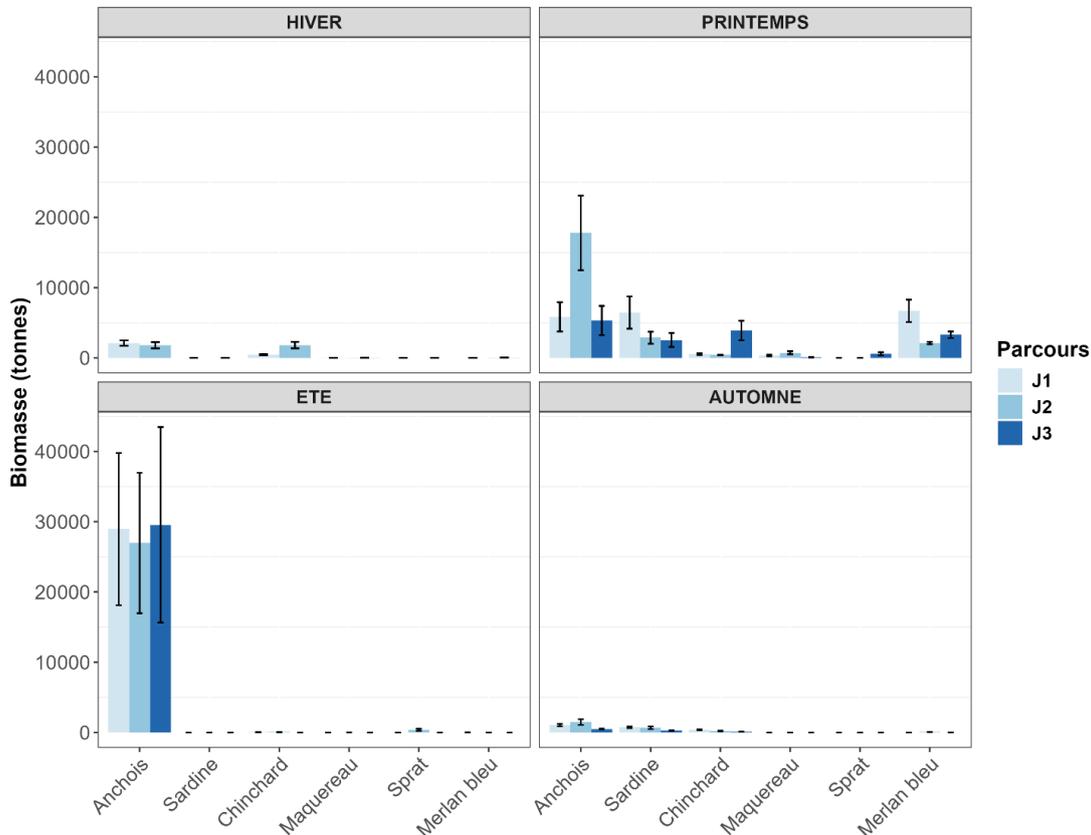


Figure 11 : Biomasse acoustique extrapolée sur l'ensemble de la zone d'étude (233 km²) (source : setec énergie environnement, 2025)

L'estimation des biomasses extrapolée à l'échelle de la zone d'étude (AO5, 233 km²) est présentée ci-dessus (Figure 11). Cette représentation globale met en évidence des biomasses importantes et des variations saisonnières significatives dans la proportion des principales espèces cibles :

- **Hiver** : Une faible biomasse est observée en hiver. Les seules espèces significativement présentes sont l'anchois et le chinchard, avec des biomasses estimées ne dépassant pas 2 500 tonnes à l'échelle de la zone d'étude, pour chaque espèce et chaque parcours.
- **Printemps** : Une répartition diversifiée des biomasses est observée au printemps, saison caractérisée par une plus grande équitabilité entre les espèces étudiées. L'anchois, la sardine et le merlan bleu dominent avec des biomasses pouvant dépasser les 5000 tonnes selon les parcours.
- **Été** : Une biomasse très importante, exclusivement composée d'anchois, est estimée, atteignant près de 30 000 tonnes pour chaque parcours. Toutefois, la variabilité et l'erreur associées à ces estimations sont plus élevées que lors des campagnes précédentes. Cette augmentation s'explique par des schémas d'agrégation spécifiques, avec une grande partie de la biomasse concentrée en quelques points précis (cf. partie suivante 4.3 : Cartographie de la distribution spatiale).
- **Automne** : Cette campagne est caractérisée par une biomasse très faible, similaire à celle observée en hiver. Les anchois, sardines et chinchards ne sont présents que de manière marginale, et les trois parcours présentent des résultats très similaires.

4.3 CARTOGRAPHIE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE

Les cartographies des biomasses (Figure 12 et Figure 13) permettent de visualiser la distribution spatiale des espèces sur la zone d'étude.

4.3.1 Distribution des anchois

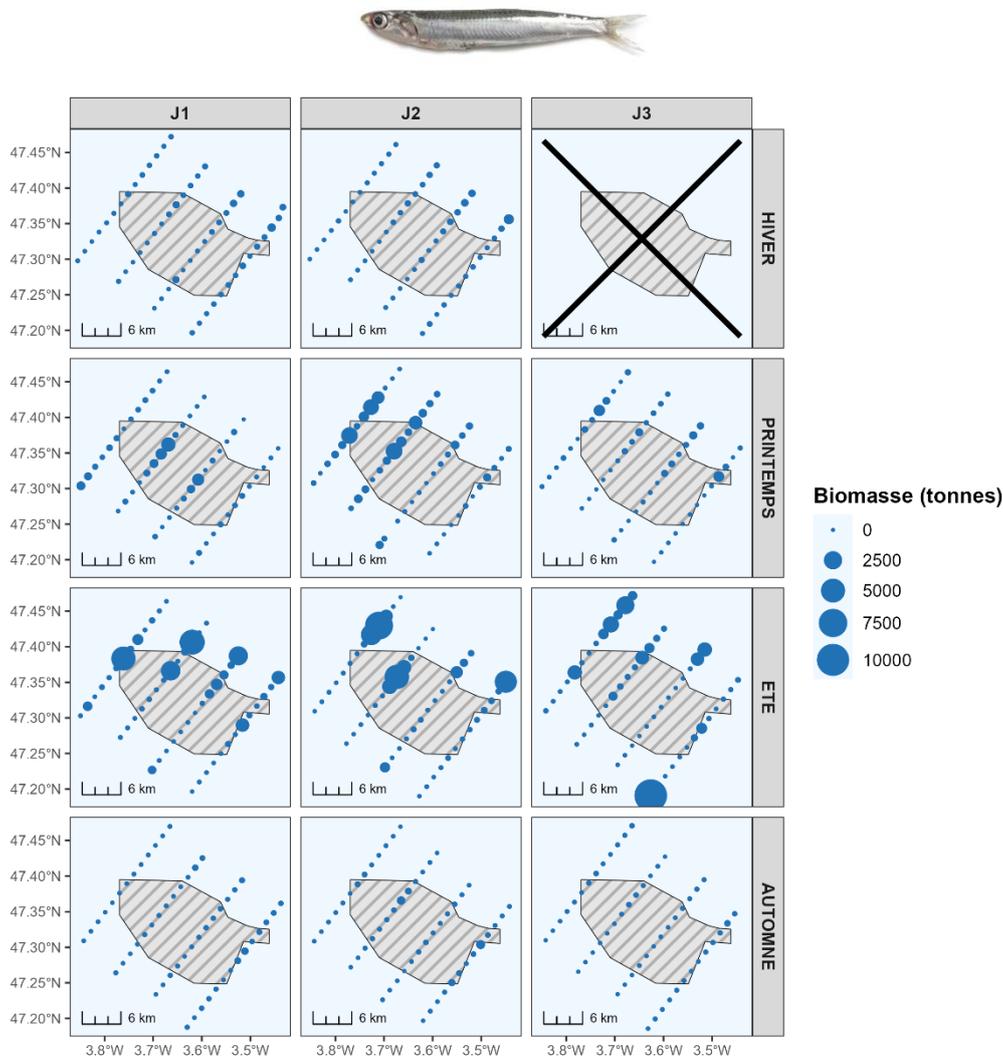


Figure 12 : Distribution de la biomasse acoustique d'anchois selon les transects acoustiques (source : setec énergie environnement, 2025)

En hiver et à l'automne, la biomasse d'anchois est très faible et se caractérise par une répartition relativement homogène. En hiver, elle est davantage concentrée sur la partie nord des radiales, au-dessus et au nord du plateau rocheux, où la profondeur est moindre. Les parcours réalisés au cours de ces saisons révèlent une forte similarité, avec peu de variation spatiale significative.

Au printemps et en été, la distribution spatiale de l'anchois devient plus contrastée. Au printemps, bien que la biomasse augmente, la répartition reste relativement homogène entre les parcours, avec des densités modérées et quelques zones de concentration localisées. En été, la biomasse atteint des niveaux très élevés, mais sa distribution est marquée par des bancs extrêmement denses et localisés. Cette répartition ponctuelle génère une forte variabilité spatiale entre les parcours, augmentant ainsi l'incertitude des estimations globales.

4.3.2 Distribution des sardines

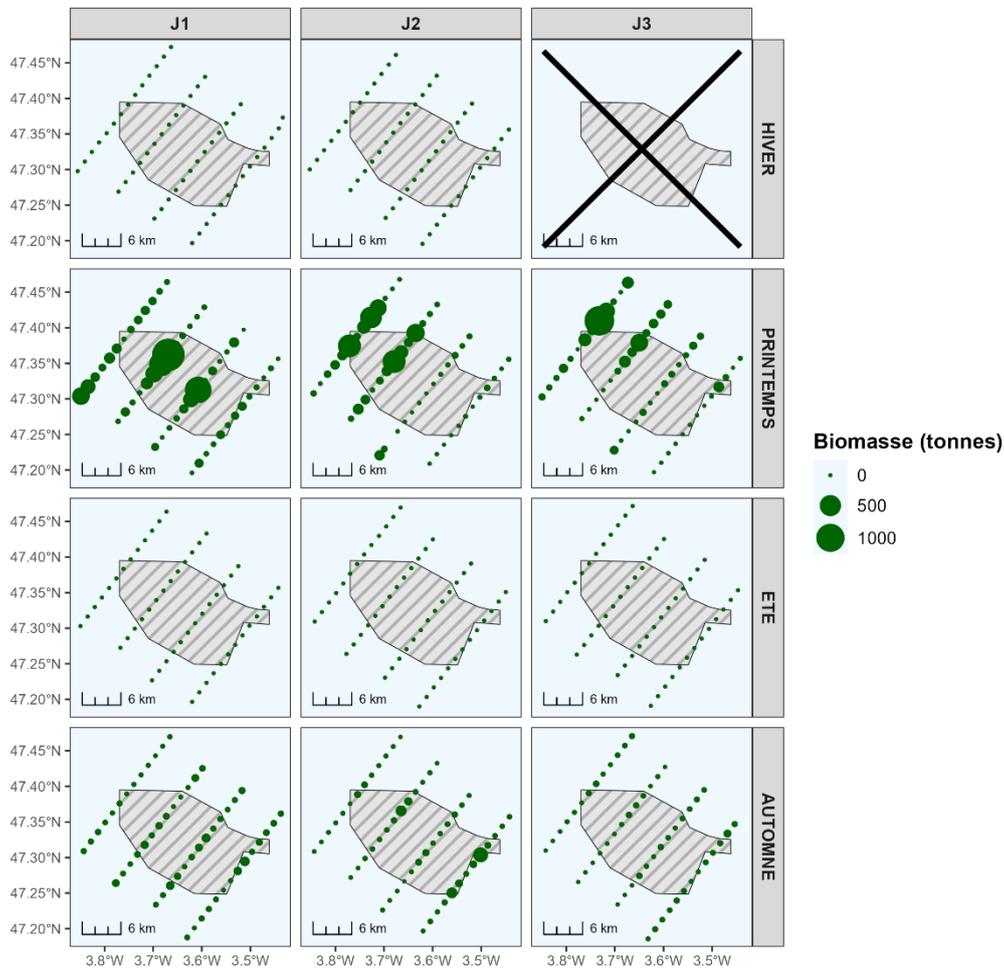


Figure 13 : Distribution de la biomasse acoustique de sardine selon les transects acoustiques (source : setec énergie environnement, 2025)

En hiver, en été et en automne, la biomasse de sardine apparaît très faible, avec une répartition homogène et une quasi-absence sur l'ensemble de la zone. Aucun point de forte densité n'est observé, et les parcours réalisés au cours de ces saisons montrent une similarité marquée, traduisant une présence très limitée de cette espèce.

Le printemps se distingue nettement des autres saisons par une biomasse estimée de sardine atteignant son maximum. Des zones de forte densité sont localisées sur certains transects, montrant une variabilité notable d'un jour à l'autre. Cette dynamique reflète une mobilité significative des bancs de sardines, entraînant également des fluctuations de la biomasse estimée entre les différents parcours.

4.4 CARACTERISATION DES AGREGATIONS

4.4.1 Répartition verticale par saison

Le premier graphique (proportion de signal acoustique selon l'altitude) illustre la répartition verticale des signaux acoustiques associés aux poissons dans la colonne d'eau pour chaque saison, avec l'altitude correspondant à la distance par rapport au fond.

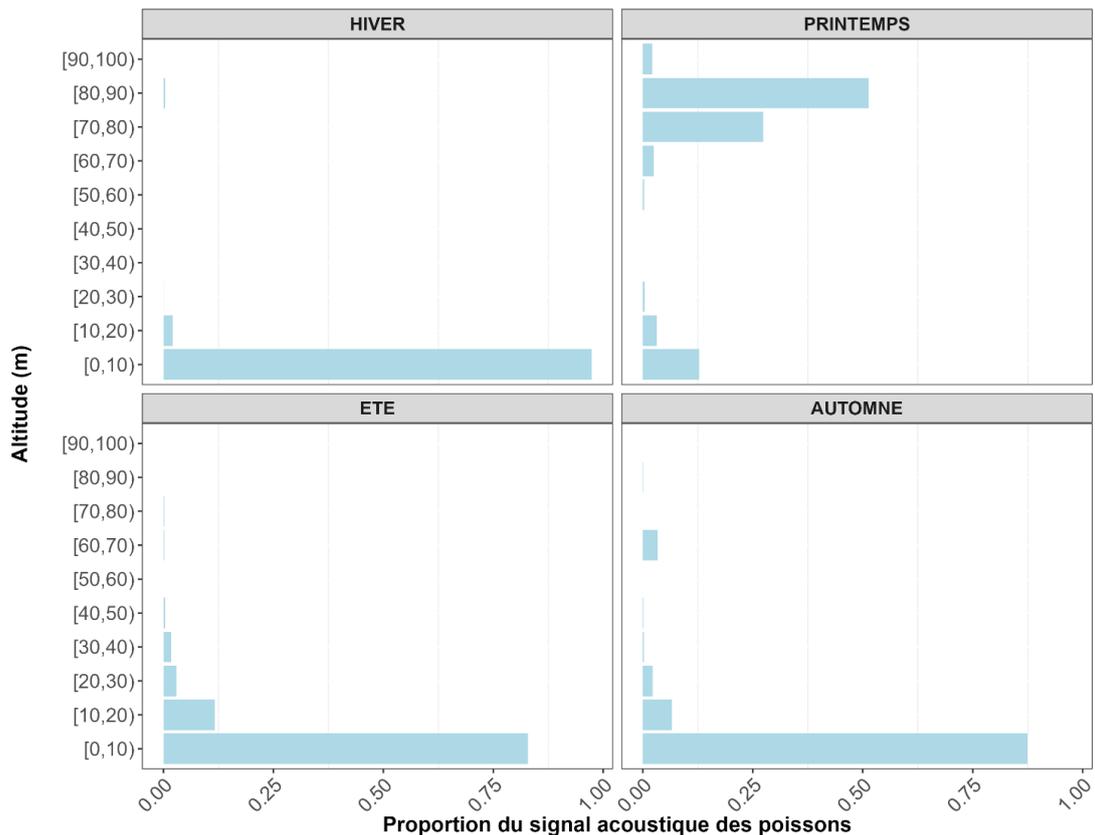


Figure 14 : Histogramme de la répartition du signal acoustique des poissons en fonction de l'altitude, exprimée en distance par rapport au fond de la colonne d'eau (source : setec énergie environnement, 2025)

- Hiver, été et automne** : Ces saisons présentent une distribution verticale similaire, avec une majorité des signaux acoustiques concentrée dans les couches profondes (0-10 m d'altitude), traduisant une répartition proche du fond. En hiver, cette dépendance au fond est particulièrement marquée, la quasi-totalité des signaux se situant dans cette tranche d'altitude. Les signaux dans les couches intermédiaires ou superficielles (au-delà de 20 m d'altitude) sont quasi inexistantes, indiquant un comportement d'agrégation exclusivement en profondeur.
- Printemps** : Contrairement aux autres saisons, le printemps se distingue par une proportion notable de signal acoustique dans les couches superficielles (60-100 m d'altitude). Cette répartition traduit une présence importante de sardines et d'anchois dans les couches supérieures de la colonne d'eau. De plus, la distribution spatiale (horizontale) varie significativement d'un jour à l'autre, comme observé précédemment, suggérant une mobilité élevée des bancs de surface. Cette forte variabilité spatio-temporelle pourrait expliquer les fluctuations de biomasse estimées entre les différents parcours.

Ces observations mettent en évidence des schémas verticaux d'agrégation distincts selon les saisons. En hiver, été et automne, les bancs se regroupent presque exclusivement en profondeur, tandis qu'au printemps, la biomasse présente une dynamique différente, largement influencée par des regroupements en surface, particulièrement mobiles.

4.4.2 Clustering des agrégations

Les agrégations peuvent être regroupées en trois types ou clusters principaux, qui présentent les caractéristiques suivantes :

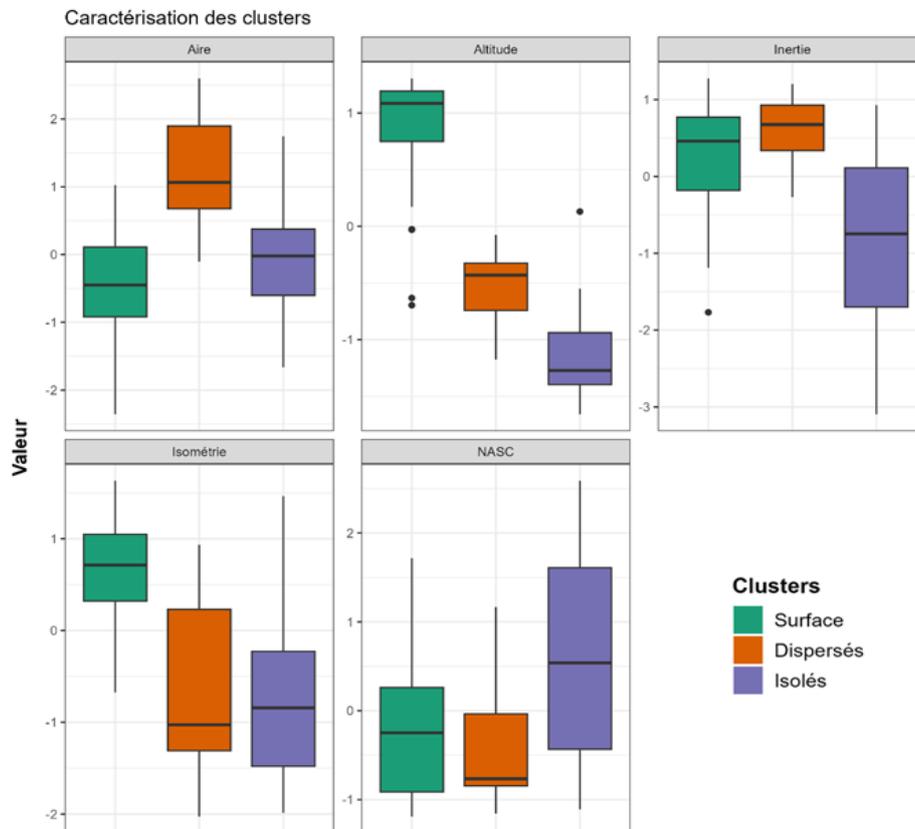


Figure 15 : Boxplots des caractéristiques des agrégations de poissons selon trois types de clusters. Les agrégations sont classées en clusters "Surface" (vert), "Dispersés" (orange) et "Isolés" (violet) et décrites par des indices géostatistiques (après transformation logarithmique et centrage-réduction) : aire (taille des bancs), altitude (distance par rapport au fond), inertie (dispersion des agrégations autour du centre de gravité), isométrie (symétrie de cette dispersion), et NASC (densité acoustique) (source : setec énergie environnement, 2025)

Cluster 1 : Bancs de surface

Petites agrégations réparties en surface, caractérisées par une forte densité. Elles sont souvent associées à des bancs de faible densité situés à proximité du fond.

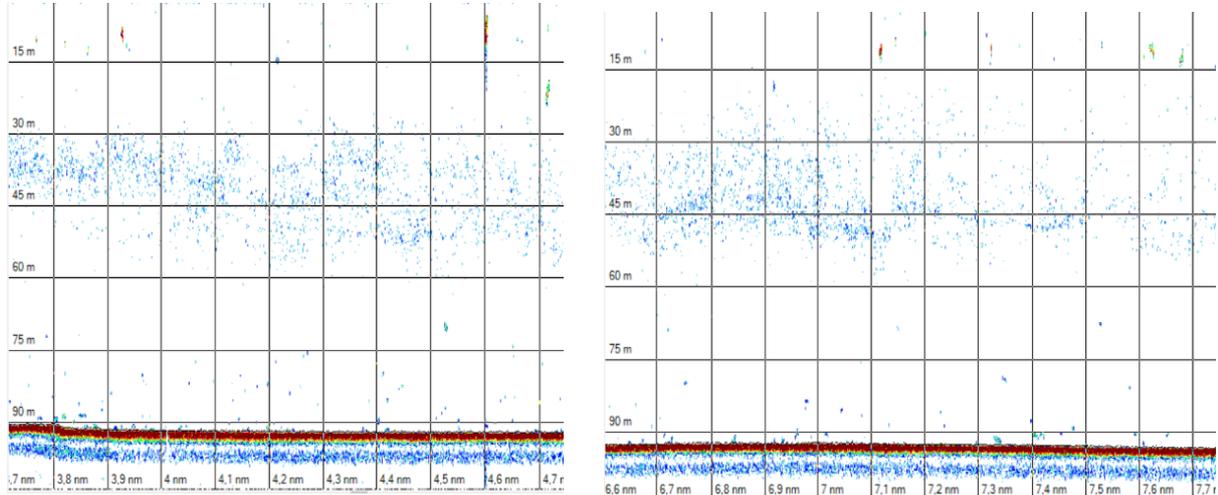


Figure 16 : Capture d'écran du logiciel Movies3D illustrant les agrégations classées en « Bancs de surface » lors de la campagne de printemps. On observe des bancs de petite taille, très denses, apparaissant ici **en rouge et vert** dans les couches superficielles de la colonne d'eau (anchois et sardine dominants). Une couche diffusante planctonique (en bleu) est également présente entre 30 et 60 m de profondeur. Près du fond, des bancs de faible densité (en bleu/vert) sont aussi visibles (merlan bleu dominant). (source : setec énergie environnement, 2025)

Cluster 2 : Bancs dispersés

Ces agrégations se caractérisent par une large surface et une forte dispersion, mais une densité relativement faible. Elles se situent à proximité du fond sans y être directement collées.

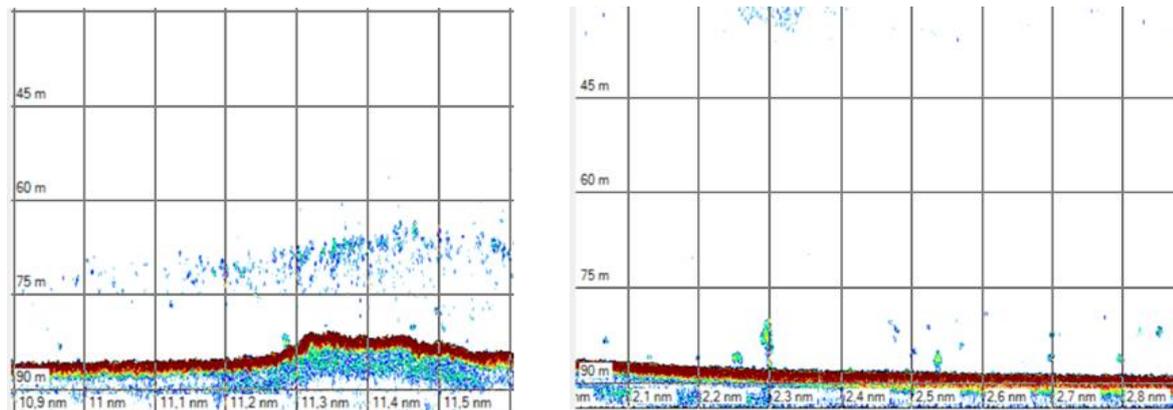


Figure 17 : Capture d'écran du logiciel Movies3D illustrant les agrégations classées en « Bancs dispersés ». Deux types de bancs dispersés sont visibles : à gauche, une couche diffuse située juste au-dessus du fond, et à droite, une série de petits bancs plus agrégés. (source : setec énergie environnement, 2025)

Cluster 3 : Bancs isolés

Ce cluster est caractérisé par des bancs denses et localisés, souvent de grande taille et situés à proximité du fond.

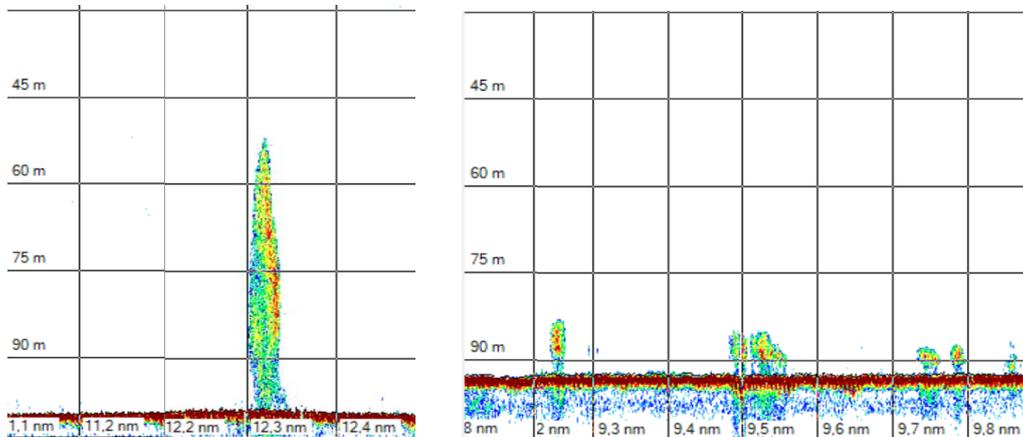


Figure 18 : Capture d'écran du logiciel Movies3D illustrant les agrégations classées en « Bancs isolés ». À gauche, un banc de très grande taille est visible, s'étendant sur environ 90 mètres de long et 50 mètres de hauteur (source : setec énergie environnement, 2025)

Ces trois clusters ou types d'agrégations sont présents dans des proportions différentes en fonction de la saison :

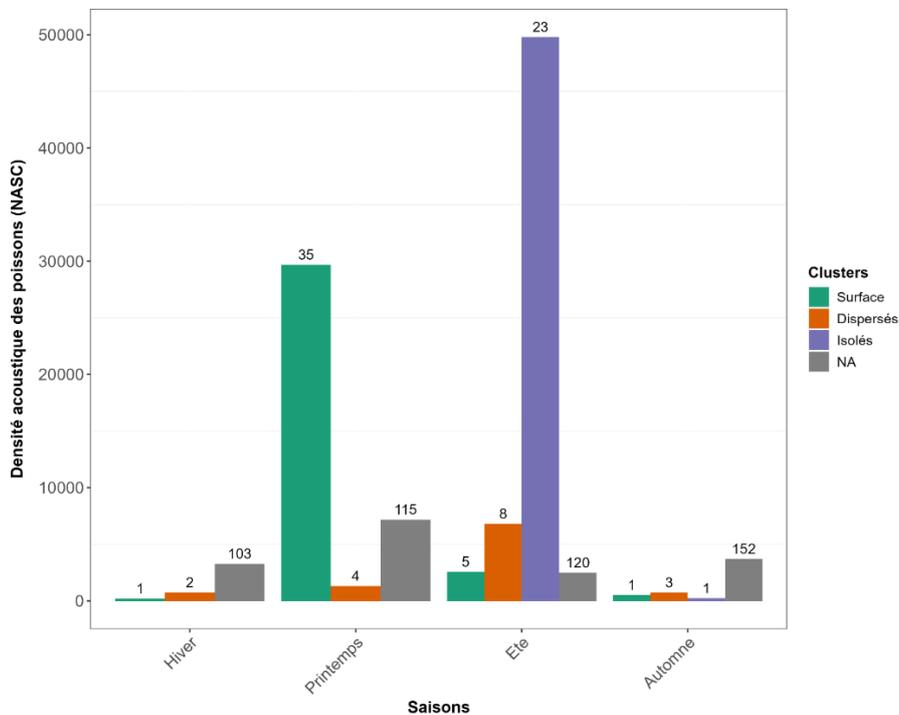


Figure 19 : Histogramme représentant la répartition du NASC des poissons associés aux clusters d'agrégations (somme du NASC des ESDU classifiées dans chacun des clusters) selon les saisons. Les clusters sont classifiés en "Surface" (vert), "Dispersés" (orange), "Isolés" (violet) et "NA" (gris, signal non classifié). Le nombre indiqué au-dessus de chaque barre correspond au nombre d'ESDU (milles nautiques) appartenant à chaque cluster. (source : setec énergie environnement, 2025)

- **Hiver et automne** : La majorité des ESDU n'a pas pu être classée en raison de la faiblesse des signaux acoustiques, ce qui reflète une biomasse faible et homogène, ces faibles densités étant concentrées près du fond (cf. Figure 14).
- **Printemps** : Cette saison est dominée par le **cluster "Surface"** (vert), qui décrit des bancs répartis dans les couches superficielles de la colonne d'eau. Bien que ce type d'agrégation ne représente que 35 ESDU sur un total de 154, il est associé à une densité acoustique particulièrement élevée. Ces agrégations denses de surface, dominées par les sardines et les anchois, sont fréquemment associées à des bancs de merlan bleu localisés près du fond. Ces bancs de surface représentent une biomasse importante et présentent une forte mobilité d'un jour à l'autre (cf. Figures 12 et 13).
- **Été** : La saison estivale est largement dominée par le **cluster "Isolés"** (violet), qui représente de grands bancs extrêmement denses et localisés. Ces bancs, bien que rares (23 ESDU classés "Isolés" sur un total de 156), concentrent l'essentiel du signal acoustique et de la biomasse estivale. Un seul banc isolé peut représenter jusqu'à 8500 unités de NASC, soit théoriquement 10 000 tonnes d'anchois (cf. Figure 4 gauche) avec tout de même une petite incertitude sur l'espèce : toutes les pêches de cette journée et même de cette campagne concernent l'anchois (absence de la sardine) mais ce banc particulier n'a pas pu être échantillonné. Ces bancs, localisés surtout en profondeur (cf. Figure 14), présentent également une forte mobilité d'un jour à l'autre (cf. Figures 12 et 13). Ces caractéristiques expliquent l'incertitude élevée dans l'estimation globale de la biomasse en été, car le fait de rencontrer ou non ces bancs localisés peut fortement influencer les estimations.

5. CONCLUSION

Les quatre campagnes réalisées en 2024 dans la zone d'étude du projet de parc éolien correspondant à l'AO5, à l'ouest de Belle-Île, ont permis de documenter sur un cycle annuel complet les dynamiques saisonnières des peuplements de petits poissons pélagiques (notamment *Engraulis encrasicolus* et *Sardina pilchardus*) et leurs schémas d'agrégation spécifiques.

Les analyses menées à partir des résultats des campagnes mettent en évidence une différence nette entre deux périodes de l'année.

D'une part, **l'automne et l'hiver** (campagnes de décembre et mars) se caractérisent par des **biomasses faibles** et des **agrégations diffuses proches du fond**. Cette période correspond vraisemblablement à une phase de dispersion et d'absence de reproduction pour l'anchois (œufs et larves observés uniquement d'avril à juillet lors des campagnes mensuelles ichtyoplancton réalisées sur la zone d'étude) et dans une moindre mesure pour la sardine (œufs observés en mai-juin et en octobre-novembre lors des campagnes mensuelles ichtyoplancton réalisées sur la zone d'étude). Les agrégations hivernales, couches continues proches du fond aux extrémités côtières des radiales, sont comparables à celles décrites dans le cadre du programme DELMOGES (Doray et al., 2024) et pourraient être liées à une interaction forte avec les dauphins communs. Ces agrégations apparaissent cependant moins denses et moins importantes que celles observées à la même période plus au sud, au large de la Vendée et de la Charente (campagnes du programme DELMOGES et campagnes réalisées par notre équipe dans la zone d'étude AO7 à l'ouest d'Oléron).

D'autre part, **le printemps et l'été** (campagnes de juin et septembre) se caractérisent par des **biomasses élevées** et des **schémas d'agrégation** différenciés.

Au **printemps**, les sardines et les anchois dominent avec des agrégations diffuses et denses en surface, un comportement en accord avec les observations de la campagne PELGAS 2024, qui indiquent une biomasse importante en avril dans cette zone et une présence proche de la surface pour ces deux espèces. Les sardines pêchées, mesurant en moyenne 9 cm (Tableau 2), sont identifiées comme des juvéniles de l'année ("Fiche *Sardina pilchardus*", Ifremer), suggérant que cette région pourrait servir de zone de nurserie. En revanche, les anchois, avec une taille moyenne dépassant 13 cm (Tableau 2), sont probablement des adultes matures en période de frai (Motos et al., 1996), ce qui est cohérent avec les œufs et larves observés d'avril à juillet lors des campagnes ichtyoplancton.

En **été**, la biomasse d'anchois dans la zone d'étude est particulièrement élevée, avec environ 30 000 tonnes concentrées dans des bancs denses et localisés. La campagne PELGAS 2024 estimait à environ 180 000 tonnes la biomasse d'anchois à l'échelle du golfe au printemps de la même année (Doray and Duhamel, 2024). Ainsi, la présence d'une biomasse aussi importante dans une zone restreinte durant l'été traduit une concentration notable de l'espèce par rapport à l'ensemble de la population printanière.

Cette période est connue comme une phase de croissance post-reproductive ("Fiche *Engraulis encrasicolus*," Ifremer) durant laquelle les individus gagnent en taille et en poids après la reproduction. La taille moyenne de 15 cm des individus capturés lors des pêches d'identification (Tableau 2) confirme cette croissance estivale des adultes. Ces observations suggèrent que la zone d'étude pourrait constituer un habitat favorable à cette phase de croissance post-reproduction.

Un suivi pluriannuel permettrait de confirmer la stabilité des schémas d'agrégation observés, en particulier les concentrations estivales d'anchois et printanières de sardines, ou bien de les préciser (nous avons par exemple observé très peu de sardines à l'automne, malgré les pontes importantes observées les années précédentes lors des campagnes ichtyoplancton). L'effet des variations de paramètres physico-chimiques et biologiques (plancton) sur les dynamiques locales des petits poissons pélagiques pourrait alors être précisé.

6. REFERENCES

- Andersson, M.H., Öhman, M.C., 2010. Fish and sessile assemblages associated with wind-turbine constructions in the Baltic Sea. *Mar. Freshwater Res.* 61, 642. <https://doi.org/10.1071/MF09117>
- Berkel, J. van, Burchard, H., Christensen, A., Mortensen, L.O., Petersen, O.S., 2020. The Effects of Offshore Wind Farms on Hydrodynamics and Implications for Fishes. *Oceanography* 33, 108–117. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.410>
- Degraer, S., Carey, D.A., Coolen, J.W.P., Hutchison, Z.L., Kerckhof, F., 2020. Offshore Wind Farm Artificial Reefs Affect Ecosystem Structure and Functioning: A Synthesis. *Oceanography* 33, 48–57. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.405>
- Doray, M., Badts, V., Masse, J., Duhamel, E., Huret, M., Doremus, G., Petitgas, P., Masse, J., Duhamel, E., Huret, M., Doremus, G., Petitgas, P., 2014. Manuel des protocoles de campagne halieutique. Campagnes PELGAS (PELAGiques GAScogne). <https://doi.org/10.13155/30259>
- Doray, M., Cambreling, M., Ariza, A., Le Bouffant, N., Poncelet, C., Veit, E., Berger, L., Ponchart, M., Ducatel, C., Duhamel, E., Marchand, L., Petitgas, P., Ariza, A., Le Bouffant, N., Poncelet, C., Veit, E., Berger, L., Ponchart, M., Ducatel, C., Duhamel, E., Marchand, L., Petitgas, P., 2024. DELMOGES. Caractérisation hydroacoustique de la distribution des dauphins communs et des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne en février 2023 et 2024. <https://doi.org/10.13155/101596>
- Doray, M., Duhamel, E., 2024. Estimation of small pelagic fish biomass in the Bay of Biscay based on PELGAS 2024 survey acoustic-trawl data. <https://doi.org/10.13155/103492>
- Doray, M., Masse, J., Petitgas, P., 2010. Pelagic fish stock assessment by acoustic methods at Ifremer. <https://doi.org/10.13155/11446>
- Doray, M., Petitgas, P., Saraux, C., Cornou, A.S., 2013. EchoR : R package for computing indices of the state of fish population and communities, based on fisheries acoustic data. R package. <https://gitlab.ifremer.fr/md0276b/echor>
- 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.7462Ifremer>, Fiches par espèce [WWW Document], n.d. . peche. URL <https://peche.ifremer.fr/en/Fiches-par-espece> (accessed 1.24.25).
- Ifremer, Fiches par espèce [WWW Document], n.d. . peche. URL <https://peche.ifremer.fr/en/Fiches-par-espece> (accessed 1.24.25).
- Floeter, J. et al. 2017. Pelagic effects of offshore wind farm foundations in the stratified North Sea. *Progress in Oceanography*, Volume 156, 2017, Pages 154-173, ISSN 0079-6611, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.07.003>.
- Maaten, L. van der, Hinton, G., 2008. Visualizing Data using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research* 9, 2579–2605.
- Rutherford, R. and Fernandes, P.G., 2024. The effect of offshore windfarms on the distribution, behaviour, and abundance of fish. ICES WGFAS, 9-12 April 2024.
- Ward, J.H., 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* 58, 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>