

Direction du Centre de Nantes/Département Océanographie et Dynamique des Écosystèmes

Unité Littoral/LER Arcachon - Anglet

Florence Sanchez • Nathalie Caill-Milly • Muriel Lissardy • Elvire Antajan • Claire Méteigner

Décembre 2021 – ODE/LITTORAL/LERAR/21.018

SUIVI DE LA POPULATION DE PALOURDE JAPONAISE DANS LE BASSIN D'ARCACHON

- ANNÉE 2021 -



Fiche documentaire

Titre du rapport : Suivi de la population de palourde japonaise dans le bassin d'Arcachon - Année 2021	
Référence interne : R.ODE/LITTORAL/LER AR 21.018	Date de publication : Décembre 2021 Version : 1.0.0
Diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle)	Référence de l'illustration de couverture Amélie Régimbart © Ifremer Langue(s) : français
<p>Résumé : Co-organisé avec le CDPMEM33, et bénéficiant du soutien financier du DLAL FEAMP Bassin d'Arcachon Val de l'Eyre, de la Région Nouvelle-Aquitaine, du CDPMEM33 et de l'Ifremer, le suivi de la population de palourde japonaise dans le bassin d'Arcachon, à partir d'indicateurs standardisés, a été réalisé grâce à une campagne programmée en 2021. La campagne s'est échelonnée sur 3 périodes, du 21 mai au 14 juin 2021. Les prélèvements ont été effectués au moyen d'une benne Hamon, suivant un protocole d'échantillonnage aléatoire stratifié spatialement équilibré (GRTS - generalized random tessellation stratified). L'échantillonnage a porté sur 525 stations réparties sur une zone de 51 km², divisée en 16 strates de référence habituellement prospectées depuis 2003, auxquelles s'ajoutent 5 strates supplémentaires. La palourde japonaise <i>Ruditapes philippinarum</i> reste l'espèce dominante avec 99 % des effectifs. Les individus mesurent entre 4 et 40 mm avec l'observation de deux classes modales, une à 8-10 mm et une à 28-30 mm. En 2021, les densités moyennes relevées sont de 39 palourdes par m² pour un poids de 206 g par m². Sur les 16 strates de référence, la population totale de palourdes toutes espèces confondues est estimée à 1 674 millions d'individus (± 106 millions) pour une biomasse totale de 8 827 tonnes (± 561 tonnes). Pour la palourde japonaise, la population est estimée à 1 662 millions d'individus (± 105 millions) pour une biomasse de 8 769 tonnes (± 558 tonnes). Avec 507 tonnes (soit 6 % de la biomasse), la biomasse exploitable en 2021 (palourdes d'une longueur L ≥ 35 mm) se situe dans les niveaux les plus bas de la série de données. Le niveau d'abondance des juvéniles (L < 17 mm) s'élève à 276 millions d'individus pour une biomasse de 101 tonnes, ce qui représente 17 % des effectifs et 1 % de la biomasse. Le stock de reproducteurs (L ≥ 25 mm) est estimé à 7 906 tonnes pour 1 118 millions d'individus, soit 90 % de la biomasse et 67 % des effectifs. Le stock total de palourde japonaise reste à un niveau élevé mais la fraction exploitable (même si elle est équivalente à celle de 2018) se trouve dans les niveaux les plus bas de la série de données réalisées depuis 2003.</p> <p>Abstract: Co-organized with CDPMEM33, with financial support from DLAL FEAMP Arcachon Basin Val de l'Eyre, the Nouvelle-Aquitaine region, the CDPMEM33 and Ifremer, the monitoring of the Manila clam population in the Arcachon Bay using standardized indicators has been carried out thanks to a survey scheduled for 2021. The survey was performed over 3 periods, from May 21 to June 14, 2021. Samples were collected using a Hamon grab, following a spatially balanced stratified random sampling protocol (GRTS - generalized random tessellation stratified). Sampling was carried out at 525 stations spread over an area of 51 km², divided into 16 reference strata usually surveyed and with 5 additional strata. The Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> remains the dominant species with 99% of the population. Individuals measured between 4 and 40 mm with the observation of two modal classes, one at 8-10 mm and one at 28-30 mm. In 2021, the average densities recorded are 39 clams per m² for 206 g per m². In the 16 reference strata, the total clam population included all species, is estimated at 1,674 million individuals (± 106 million) for a total biomass of 8,827 tons (± 561 tons). For <i>Ruditapes philippinarum</i>, the population is estimated at 1,662 million individuals (± 105 million) for a biomass of 8,769 tons (± 558 tons). With 507 tons (i.e. 6% of the biomass), the biomass of commercial size clams in 2021 (L ≥ 35 mm) is at the lowest levels of the data series. The level of juvenile abundance (L < 17 mm) amounts to 276 million individuals for a biomass of 101 tonnes (i.e 17% of the population and 1% of the</p>	

biomass). The spawning stock ($L \geq 25$ mm) is estimated at 7,906 tons for 1,118 million individuals (90% of the biomass and 67% of the numbers). The total Manila clam stock remains at a high level but the biomass of commercial size clams (even if it is equivalent to 2018) is at the lowest levels of the data set since 2003.

Mots-clés : évaluation de stock ; palourde japonaise ; *Ruditapes philippinarum* ; bassin d’Arcachon

Key words: stock assessment; Manila clam; *Ruditapes philippinarum*; Arcachon Bay

Comment citer ce document : Sanchez, F., Caill-Milly, N., Lissardy, M., Antajan, A., Méteigner, C. (2021). Suivi de la population de palourde japonaise dans le bassin d’Arcachon. Année 2021. R.ODE/LITTORAL/LER AR 21.018., 49 p.

Disponibilité des données de la recherche :

DOI :

Commanditaire du rapport : CDPMEM33

Nom / référence du contrat :

Rapport intermédiaire

Rapport définitif

Projets dans lesquels ce rapport s’inscrit (programme européen, campagne, etc.) : P305-0057

Auteur(s) / adresse mail

Affiliation / Direction / Service, laboratoire

Florence Sanchez / florence.sanchez@ifremer.fr

ODE/LITTORAL/LER AR

Nathalie Caill-Milly / nathalie.caill.milly@ifremer.fr

ODE/LITTORAL/LER AR

Muriel Lissardy / muriel.lissardy@ifremer.fr

ODE/LITTORAL/LER AR

Elvire Antajan / elvire.antajan@ifremer.fr

ODE/LITTORAL/LER AR

Claire Méteigner / claire.meteigner@ifremer.fr

ODE/LITTORAL/LER AR

Encadrement(s) :

Destinataire : CDPMEM33, DLAL FEAMP du Pays Bassin d'Arcachon-Val de l'Eyre

Validé par : Elvire Antajan

Remerciements

Nous adressons nos remerciements au CDPMEM33 pour la confiance accordée pour la mise en place de cette étude et tout particulièrement à Céline Laffitte, Aurélie Dufour et David Lamourous pour leur implication dans la gestion de la campagne et leur participation active durant cette dernière.

Nous remercions vivement Mickaël Thiry et Sébastien Dourthe de l'entreprise Les Pleines Mers d'Andernos-Bains pour la mise en œuvre de la campagne, pour leur accueil, leur professionnalisme et leur aide précieuse. Leur engagement a contribué au bon déroulement des opérations.

Nous tenons à remercier aussi tous les pêcheurs professionnels qui ont participé aux prélèvements de terrain : Ankh Geyre, Joël Bernardi, Damien Bonneau, Brice Bernardi, Fernand Balsera, Alex Tavares Monteiro, Briac Le Guern, Eric Auroux, Alain Mazoua, Jean-Robert Baleste, Yann Duvignac, Boum Mansour, Kévin Bermudez, Lucie Saubesty, Kévin Bodereau, Delphine Moulin, Anthony Pautonnier, Délia Bernardi, Maud Vial, Yannick Vial, Antoine Duvignac, Thomas Perucho, Nicolas Bonnat, Fabien Couailler, Jean-Philippe Morgado, Julien Chillon, Luc Argelas, Jean-Marie Briau et Patrick Thomas.

Nous remercions vivement notre collègue Amélie Régimbart du Service VIGIES de l'Ifremer ainsi que Gaël Monceau (en stage de Master 2 à l'Ifremer) pour leur participation active à la campagne. Nos remerciements s'adressent également à Nicolas Bez, Noëlle Bru et Claire Kermorvant pour l'encadrement scientifique de Gaël Monceau sur la poursuite du travail relatif à l'optimisation du protocole d'échantillonnage. Un grand merci au laboratoire EMH (Stéphanie Mahévas, Verena Trenkel et Olivier Berthele) pour l'accueil de Gaël dans leurs locaux, et au service administratif (Emilie Marc Raffin) pour la gestion du dossier de stage.

Un merci particulier à Stéphane Lesbats de la DCOM pour les belles images prises depuis le ciel (par le drone) et à Loic Rigouin et Florence d'Amico du LER AR pour avoir aidé aux prises de vues.

Un grand merci également au Laboratoire de Biologie Halieutique (LBH) de l'Ifremer pour le prêt de la benne Hamon et aux services administratifs et juridiques pour le suivi du dossier, en particulier, Thomas Le Roi, Anne-Cécile Belzon et Marine Falhun. Nous remercions également Florence Trut du LER AR pour son aide sur des aspects administratifs liés à l'étude.

Nos remerciements s'adressent enfin à Guillaume Bernard de l'Université de Bordeaux, Aline Delamare du DLAL-FEAMP Pays Bassin d'Arcachon-Val de l'Eyre, Thomas Fauvel, Kévin Leleu et Charles Mars du Parc Naturel Marin du Bassin d'Arcachon, Gaëlle Renard de l'OP Pêcheurs d'Aquitaine, Guillaume Ortega de Capena et Anthony Gueguen du CRPMEM NA pour leur aide dans les prélèvements.

La campagne a bénéficié du soutien financier :

- du DLAL-FEAMP Développement Local mené par les Acteurs Locaux - Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche du Bassin d'Arcachon-Val de l'Eyre ;
- de la Région Nouvelle-Aquitaine ;
- du Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Élevages Marins Gironde - CDPMEM33 ;
- de l'Ifremer.

Sommaire

1	INTRODUCTION	1
2	MATERIELS ET METHODES	3
2.1	DELIMITATION DE L' AIRE DE REPARTITION DE LA PALOURDE ET STRATIFICATION	3
2.2	ÉCHANTILLONNAGE ALEATOIRE	5
2.3	NOMBRE DE PRELEVEMENTS.....	5
2.4	METHODE DE PRELEVEMENT	6
2.4.1	<i>Mise en œuvre</i>	6
2.4.2	<i>Engin utilisé</i>	6
2.5	TRAITEMENT DES ECHANTILLONS.....	7
2.6	ANALYSE DES DONNEES.....	7
3	RESULTATS.....	9
3.1	PROPORTION DES DIFFERENTES ESPECES DE PALOURDE.....	9
3.2	STRUCTURE EN TAILLE DE LA POPULATION DE PALOURDE JAPONAISE.....	9
3.3	INDICES D' ABONDANCE RELATIFS.....	10
3.4	ESTIMATION DES ABONDANCES ET DES BIOMASSES.....	11
3.5	FRACTION ET BIOMASSE EXPLOITABLE DU STOCK DE PALOURDE JAPONAISE	12
3.6	FRACTION ET ABONDANCE DES JUVENILES DE PALOURDE JAPONAISE	13
3.7	FRACTION ET ABONDANCE DES REPRODUCTEURS DE PALOURDE JAPONAISE	14
3.8	DISTRIBUTION SPATIALE DES DENSITES DE PALOURDE JAPONAISE	15
4	BILAN AU REGARD DES AUTRES ANNEES DE CAMPAGNE.....	20
4.1	À L' ECHELLE GLOBALE.....	20
4.1.1	<i>Indices d'abondance relatifs, abondance et biomasse totales</i>	20
4.1.2	<i>Histogrammes de fréquence de taille</i>	21
4.1.3	<i>Abondance des juvéniles, des reproducteurs et de la biomasse exploitable de la palourde japonaise</i>	22
4.2	À L' ECHELLE DES STRATES.....	25
4.2.1	<i>Évolution des indicateurs suivis entre 2018 et 2021</i>	25
4.2.2	<i>Cas des zones fermées à la pêche</i>	29
4.2.3	<i>Cas des zones supplémentaires</i>	29
5	BIBLIOGRAPHIE.....	32

1 Introduction

Entre 1980 et 1986, l'élevage de la palourde japonaise [*Ruditapes philippinarum* (A. Adams et Reeve, 1850)] sur estran a été tenté par des ostréiculteurs arcachonnais (Robert et Deltreil, 1990). Mais plusieurs facteurs ont conduit à l'abandon de la vénériculture à la fin des années 80 : la chute des cours due à la concurrence économique de l'Espagne, du Portugal, de l'Italie et de la Tunisie, l'action de prédateurs tels que le baliste (Popovsky *et al.*, 1999) ou encore des mortalités importantes survenues en été et en automne 1992.

La palourde japonaise a toutefois trouvé des conditions favorables à son bon développement dans le bassin d'Arcachon. Elle s'y est répandue rapidement et la population néonaturelle de cette espèce a supplanté l'espèce locale [palourde européenne, *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758)] dès le début des années 1990 (Auby, 1993). Sur un secteur de 24 km², Bertignac *et al.* (2001) montrent que 94 % des effectifs et plus de 97 % de la biomasse sont occupés par la palourde japonaise en 2000. Sur une zone de 43 km², Sanchez *et al.* (2018) estiment à 99 % ces grandeurs. Une troisième espèce est présente dans de très faibles proportions, il s'agit de la palourde jaune [*Polittapes aureus* (Gmelin, 1791)].

L'activité de pêche à la palourde est importante dans le bassin. Elle se pratique à la main à marée basse sur l'estran. Depuis les premières statistiques officielles de captures datant de 1992, les apports sont caractérisés par un premier pic de production en 1997 (455 tonnes déclarées), puis, après une année 2000 marquée par une production très faible (78 tonnes), les débarquements ont augmenté (sauf en 2005) pour atteindre un pic à 1 028 tonnes en 2007. Depuis cette date, les apports présentent une tendance globale à la baisse jusqu'en 2015. Les années 2016 à 2018 semblent amorcer une légère reprise (500 tonnes en 2018) avant de chuter autour de 200 tonnes en 2020 (source CRPMEM Nouvelle-Aquitaine). Ces données ne concernent que les professionnels de la pêche ayant les statuts de Pêcheurs Professionnels (PP) et de Conchyliculteurs Petite Pêche (CPP). En 2017, le nombre de licences délivrées s'élevait à 69 dont 46 licences pour les patrons pêcheurs et 23 pour les salariés (source CRPMEM Nouvelle-Aquitaine). En 2019, ce nombre est de 44 licences pour les patrons et 48 pour les salariés (Figure 1). Ces chiffres sont en baisse en 2020 avec 41 licences pour les patrons et 32 pour les salariés.

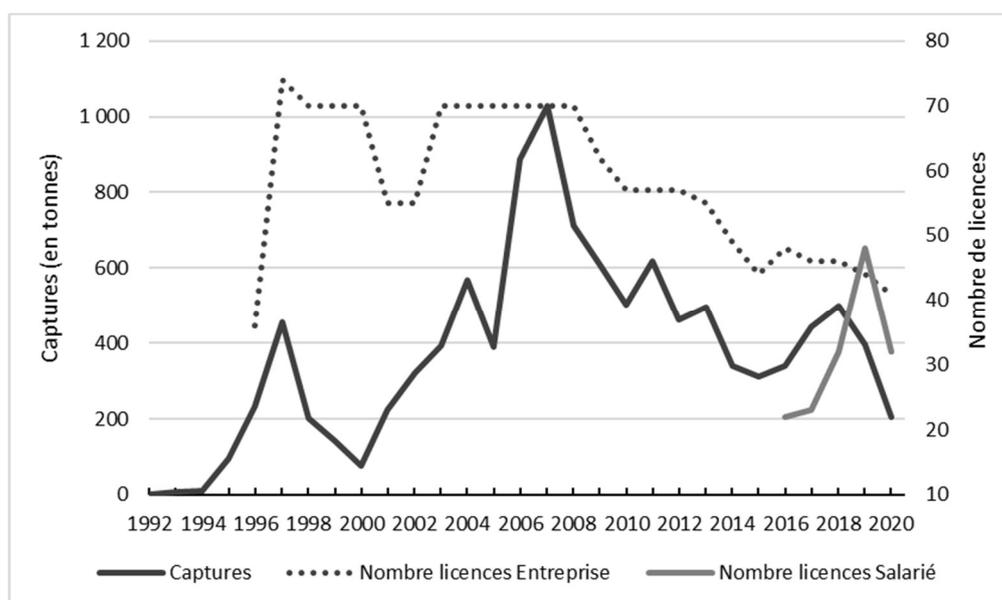


Figure 1. Captures de palourdes déclarées sur le bassin d'Arcachon (sources : CRTS La Rochelle, SIH Ifremer et Base Pêche Aquitaine (BPA) du CRPMEM Nouvelle-Aquitaine).

D'un point de vue réglementaire, la pêche de la palourde japonaise sur les côtes atlantiques est encadrée à trois niveaux (Caill-Milly, 2012) :

- **au niveau européen**, le règlement CE n°40/2008 fixe une taille minimale de capture qui correspond à la longueur antéropostérieure de la coquille. Pour les zones 1 à 5 excepté Skagerrak/Kattergat qui comprennent les eaux de l'Atlantique Nord, de la Manche et de la mer du Nord, cette taille minimale est établie à 35 mm depuis 2008¹. Le règlement CE 40/2008 n'encadre cependant qu'un régime dérogatoire du règlement CE n°850/1998 ;
- **au niveau national**, l'exercice de la pêche à pied professionnelle est depuis 2010 soumis à la détention d'un permis de pêche national (Décret du 28/12/2010 n° 2010-1653). Il est délivré pour une durée de douze mois par le préfet du département dans lequel le demandeur envisage de pratiquer principalement son activité ou, le cas échéant, par l'autorité compétente définie par le décret n°90-95 du 25 janvier 1990 ;
- **au niveau local**, des réglementations spécifiques au niveau des gisements peuvent être établies par les Comités Départementaux, Interdépartementaux et Régionaux des Pêches Maritimes et des Élevages Marins (CDPMEM, CIDPMEM et CRPMEM) dont les statuts prévoient qu'ils participent à l'organisation de la gestion responsable des ressources halieutiques. Ces réglementations font l'objet d'arrêtés préfectoraux établis par les services de l'État en région ; en Nouvelle-Aquitaine, c'est la direction inter-régionale de la mer (DIRM) Sud-Atlantique qui est en charge de la mise en œuvre de ces réglementations. Pour la ressource palourde du bassin d'Arcachon, différentes mesures de gestion ont été appliquées depuis que le stock est suivi ; elles concernent le contingent de licences, les périodes de fermeture de la pêche et la mise en place de zones de réserve de pêche. A l'heure actuelle, la pêche de la palourde, qu'elle soit professionnelle ou de loisir, est interdite sur deux zones : la réserve de l'île aux Oiseaux et la réserve de la Humeyre (Figure 2). Cette réglementation est en application depuis le 1^{er} novembre 2016.

Les mesures de gestion locale établies par les professionnels s'appuient, pour une large part sur les résultats issus des campagnes d'évaluation du stock de palourde japonaise intra-bassin. Ces campagnes permettent d'estimer le stock et ses principales caractéristiques. L'évolution des indicateurs suivis et les connaissances acquises par les travaux de recherche (Dang, 2009 ; Caill-Milly, 2012 ; Kermorvant, 2019...) sont mobilisées pour l'émission de recommandations ou d'avis par l'Ifremer aux structures en charge de la gestion de cette ressource.

Les campagnes sont co-organisées par le CDPMEM33 (organisation, logistique, échantillonnage) et par l'Ifremer (protocole, échantillonnage, traitement de données), avec la participation des pêcheurs professionnels de palourdes. Un groupe de travail « palourde », associant des scientifiques, des professionnels ainsi que leurs représentants, et l'Administration est également instauré depuis 2003. Les zones à prospecter y sont définies, les résultats des campagnes y sont présentés et les retombées en matière de gestion discutées (Caill-Milly, 2012). Les propositions sont ensuite formulées par écrit par l'Ifremer et les décisions incombent aux structures professionnelles en lien avec l'Administration (Caill-Milly *et al.*, 2021).

La précédente évaluation date de 2018. Le présent rapport détaille les résultats de la campagne 2021 qui s'est déroulée du 21 mai au 14 juin 2021. Les résultats présentés concernent principalement la palourde japonaise, pour les autres espèces (européenne et jaune), seules leurs abondances et biomasses totales sont fournies. Au-delà des indicateurs classiquement suivis (densité, biomasse totale, biomasse des reproducteurs et des juvéniles etc.), les données acquises durant cette campagne permettent également de tester les performances de différents plans d'échantillonnage et de mettre à jour la relation taille-poids frais de la palourde japonaise. Ces deux derniers points font l'objet de rapports séparés (Bez, 2021 ; Caill-Milly et Sanchez, 2021).

¹ Hormis dans le cas de la Basse-Normandie pour laquelle la taille minimale de capture est 40 mm (Arrêté du 15/07/2010 - JORF n°0171) essentiellement pour des raisons de marché.

2 Matériels et méthodes

Le protocole mis en œuvre s'appuie sur ceux appliqués durant les campagnes précédentes par Bertignac et al. (2001), Caill-Milly et al. (2003, 2006 et 2008) et Sanchez et al. (2010, 2013, 2014, 2018). La méthode décrite ci-dessous est généralement appliquée pour l'estimation quantitative de stocks de petits bivalves.

2.1 Délimitation de l'aire de répartition de la palourde japonaise et stratification

Sur le bassin, l'aire de répartition de la palourde japonaise se situe essentiellement à l'est de l'axe La Hume/Claouey et couvre environ 93 km². À l'intérieur de cette aire, des zones ne peuvent être échantillonnées pour des raisons d'accès ou en raison de l'engin de prélèvement retenu : les zones d'herbus (prés salés), les parcs ostréicoles et les chenaux. Une fois ces espaces soustraits, l'étendue obtenue est découpée (à dire d'experts) en zones homogènes aux niveaux réglementaire, sédimentologique et bathymétrique ; elles définissent des strates.

Afin de pouvoir comparer les résultats avec ceux des années antérieures, les strates définies lors des campagnes précédentes ont été conservées. Elles sont au nombre de 16. Par commodité, elles seront dénommées dans la suite du document « strates de référence ». Comme en 2018, les zones de réserve ont été prospectées : uniquement la partie Nord de « La Humeyre » cette année (notée LHn) et l'île aux Oiseaux dénommée « RIO » prospectée depuis 2012 (Figure 2). L'échantillonnage de strates supplémentaires a été reconduit en 2021. Il est identique à celui de 2018 : au nord du bassin, la strate nommée « K2 » de 2,4 km² (aussi échantillonnée en 2012), au centre, la strate M2 de 1,4 km² (aussi échantillonnée en 2012) et à l'est la strate N de 1,2 km² (dénommée Branne, également échantillonnée en 2014). Pour couvrir ces 5 km² supplémentaires, les surfaces prospectées de la strate A et de la strate D ont été diminuées (la superficie passe de 6,71 km² à 5,55 km² pour la strate A et de 6,90 km² à 4,1 km² pour la strate D). Les zones supprimées correspondent aux zones où les densités étaient les plus faibles (Figure 2). On émet l'hypothèse que ce changement n'a pas d'impact significatif sur les résultats. Le tableau 1 précise les principales caractéristiques des strates échantillonnées.

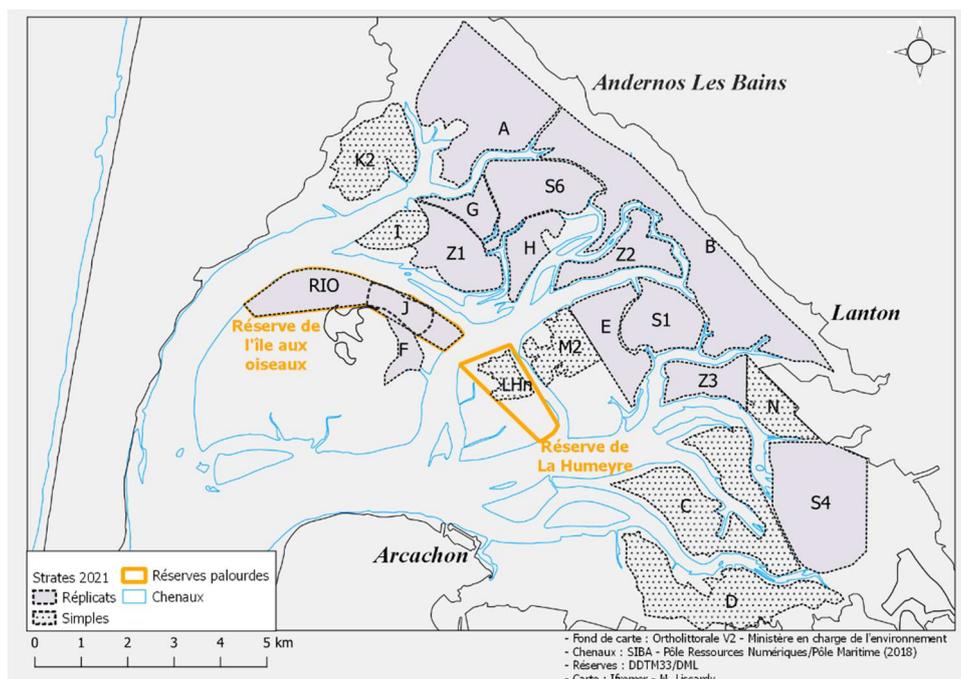


Figure 2. Carte des 16 strates de référence et des strates supplémentaires retenues pour la campagne 2021. Les zones de réserve « de l'île aux Oiseaux » et de la « Humeyre » sont indiquées en orange.

Tableau 1. Principales caractéristiques des 16 strates de référence et des strates supplémentaires.

	Strate	Surface (km ²)	Description des strates
Strates de référence	A	5,55	Secteur de pêche avec ancienne zone de réserve « Hautebelle » (zone 1 - arrêté préfectoral du 10/12/2003, du 22/03/2006 ; zone 3 - arrêté préfectoral du 28/03/2013 et du 26/06/2014)
	B	7,33	Secteur de pêche
	C	4,89	Secteur de pêche
	D	4,05	Secteur de pêche avec ancienne zone de réserve (zone 2 - arrêté préfectoral du 22/03/2006 ; zone 3 – arrêté préfectoral du 26/03/2007)
	E	1,95	Secteur de pêche avec une partie en réserve pour 2008-2009 (zone 2 – arrêté préfectoral du 09/04/2008)
	F	0,63	Secteur de pêche
	G	0,87	Secteur de pêche, incluant une petite partie en zone de réserve par arrêté préfectoral du 06/02/2015 (zone 2 - Loc Blanc)
	H	1,17	Secteur de pêche
	I	0,85	Secteur de pêche, ancienne zone de réserve par arrêté préfectoral du 06/02/2015 (zone 1 - Germananot)
	J	0,78	Secteur de pêche avec ancienne zone de réserve (en partie – zone 1 – arrêté préfectoral du 09/04/2008) ; Strate incluse dans la réserve de pêche de l'île aux Oiseaux (cf. strate RIO ci-dessous) définie par arrêté préfectoral du 12/03/2009 à compter du 1 ^{er} avril 2009
	Z1	2,20	Ancienne réserve de pêche par arrêtés préfectoraux du 13/12/2002 et du 06/02/2015 (zone 2 - Loc Blanc)
	Z2	1,59	Ancienne réserve de pêche (arrêté préfectoral du 13/12/2002)
	Z3	1,33	Ancienne réserve de pêche (arrêté préfectoral du 13/12/2002) ; réserve de pêche PIREOU à compter du 1 ^{er} avril 2009 (arrêtés préfectoraux du 12/03/2009, du 27/03/2012, du 28/09/2012, du 24/10/2012) ; réouverture à la pêche à partir du 01/04/2013
	S1	2,00	Ancienne réserve de pêche par arrêtés préfectoraux 198/99 du 27/08/1999, du 30/06/2000 et du 28/06/2002 et réserve de pêche pour 2008 – 2009 (zone 2 – arrêté préfectoral du 09/04/2008)
	S4	4,97	Ancienne réserve de pêche par arrêtés préfectoraux 198/99 du 27/08/1999, du 30/06/2000 et du 28/06/2002, échantillonnée en 2000
S6	2,69	Ancienne réserve de pêche par arrêtés préfectoraux 198/99 du 27/08/1999, du 30/06/2000 et du 28/06/2002	
	Sous total	42,85	
Strates supplémentaires	RIO	3,15	Strate supplémentaire correspondant à la réserve de pêche de l'île aux Oiseaux (incluant J) mise en place par arrêtés préfectoraux du 12/03/2009, du 27/03/2012, du 28/09/2012, du 24/10/2012 et du 28/03/2013 : fermée du 01/04/2009 au 01/07/2014 ; Ouverte à la pêche du 02/07/2014 au 31/10/2016 par arrêtés préfectoraux du 26/06/2014 ; réserve de pêche par arrêté préfectoral du 28/10/2016 bénéficiant d'ouvertures exceptionnelles
	K2	2,38	Strate supplémentaire échantillonnée en 2012 et 2018
	M2	1,38	Strate supplémentaire échantillonnée en 2012 et 2018
	LHn	0,63	Strate supplémentaire incluse dans la nouvelle zone de réserve établie par arrêté préfectoral du 28/10/2016 (zone 2 - La Humeyre) ; fermée depuis le 01/11/2016, bénéficiant d'ouvertures exceptionnelles ; échantillonnée en 2018
	N	1,18	Strate supplémentaire correspondant à l'ancienne zone de réserve dite « Branne » (1,78 km²) mise en place par arrêté préfectoral du 28/03/2013, échantillonnée en 2014 (notée RB) et en 2018
	Sous total	8,72	
	Total prospecté	51,57	

2.2 Échantillonnage aléatoire

Pour chacune de ces strates, des points appelés « stations » ont été tirés aléatoirement. Une liste complémentaire de points est ajoutée en cas d'inaccessibilité à la zone (bordure de strate, mouillage, chenal ...). Chaque station est identifiée par ses coordonnées géographiques (en degrés décimaux) dans le système géodésique WGS84. Le nombre de stations par strate est proportionnel à la superficie de cette dernière et, pour disposer d'une précision suffisante dans l'estimation, il a été admis que le nombre de stations par km² devait être voisin de 10.

Jusqu'en 2014, l'évaluation reposait sur un protocole d'échantillonnage classique pour l'étude de bivalves, l'échantillonnage aléatoire stratifié (StRS - Stratified Random Sampling) (Berthou et al., 1997). Les travaux menés dans le cadre d'une thèse sur l'optimisation de protocoles d'échantillonnage appliqués aux suivis des ressources (Kermorvant, 2019) ont permis de tester l'utilisation d'autres protocoles dits « spatialement équilibrés » (tels que le GRTS - Generalized Random Tessellation Stratified ou le BAS – Balanced Acceptance Sampling) et de les comparer avec le protocole classique utilisé jusqu'à présent. Introduite par Stevens and Olsen (2003) et approfondie par Stevens and Olsen (2004), cette méthode permet de répartir uniformément les points d'échantillonnage sur le territoire étudié tout en diminuant la variance des échantillons. Depuis 2018, la campagne d'évaluation utilise un protocole GRTS tout en gardant le même nombre de points au km² fixé à 10 lors des campagnes précédentes (Figure 3).

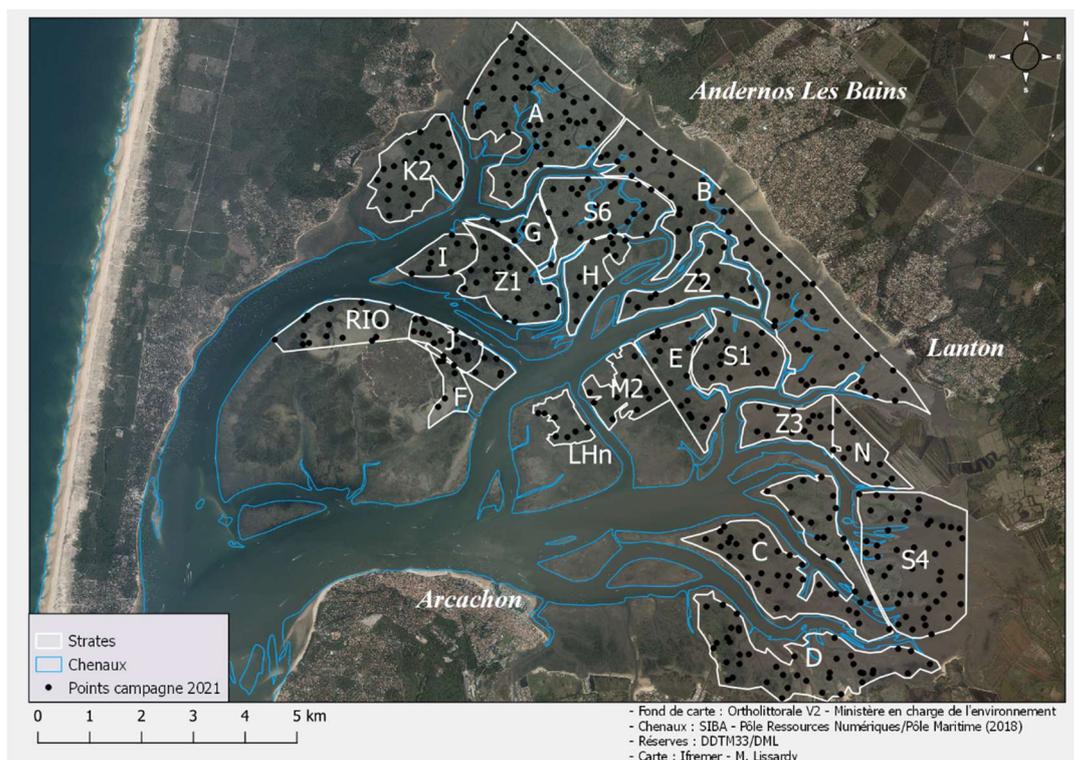


Figure 3. Application du protocole d'échantillonnage GRTS en 2021 pour une répartition spatialement équilibrée des points par strate, avec un nombre de points au km² fixé à 10.

2.3 Nombre de prélèvements

Pour chaque station, deux prélèvements (réplicats) sont effectués à l'exception des stations situées dans les strates C, D, I et J et dans les strates supplémentaires, où un seul prélèvement est réalisé. Pour les strates de référence, ce nombre de prélèvements par station a été discuté et arrêté lors de la campagne de 2006 (Caill-Milly et al., 2006). Pour les nouvelles strates, il a été décidé de faire un seul prélèvement par station pour ne pas trop augmenter le nombre de jours en mer prévu. Le tableau 2 résume le nombre de stations réalisées et l'application ou non de répliqués par strate.

Tableau 2. Nombre de stations et application des réplicats par strate.

Strate	Surface (km ²)	Nombre de stations	Réplicats (Oui/Non)
A	5,55	56	O
B	7,33	74	O
C	4,89	49	N
D	4,05	41	N
E	1,95	20	O
F	0,63	7	O
G	0,87	9	O
H	1,17	13	O
I	0,85	9	N
J	0,78	8	N
S1	2,00	21	O
S4	4,97	49	O
S6	2,69	27	O
Z1	2,20	24	O
Z2	1,59	16	O
Z3	1,33	14	O
Total	42,85	437	
RIO*	3,15	32	O
K2	2,38	24	N
M2	1,38	13	N
LHn	0,63	7	N
N	1,18	12	N
Total	51,57	525	

* Incluant J

2.4 Méthode de prélèvement

2.4.1 Mise en œuvre

L'échantillonnage a été réalisé depuis la barge ostréicole « PIERREN » (12 m, tirant d'eau < 1 m) affrétée et équipée pour la campagne. Le positionnement sur chaque point se fait à l'aide d'un GPS. Le navire est immobilisé grâce à l'enfoncement de 2 pieux. Pour accéder à toutes les stations, les prélèvements ont été effectués à marée haute de coefficient supérieur à 60. Au total, 20 marées ont été réalisées sur 22 marées programmées (1 annulée pour cause de panne de la grue et 1 marée annulée pour mauvais temps) sur 18 jours de campagne répartis en 3 périodes : du 21 au 24 mai ; du 28 mai au 02 juin et du 06 au 14 juin 2021.

2.4.2 Engin utilisé

Les prélèvements sont réalisés avec une benne Hamon (Figure 4). La benne est préférée à d'autres engins car elle conduit à une donnée quantitative précise contrairement par exemple à la drague qui fournit des données semi-quantitatives ou qualitatives. De par son poids (~ 400 kg) et sa bonne pénétration dans le sédiment (> 10 cm), cet engin permet de récolter des espèces profondément enfouies, comme la palourde qui se répartit à des profondeurs comprises entre 7 et 12 cm (Caill-Milly, 2012).

Actionnée par une grue hydraulique équipée d'un treuil, la benne descend jusqu'au fond au bout d'un câble. La tension du câble permet de maintenir la benne en position ouverte. Une fois son godet sur le fond, la tension du câble s'annule permettant la fermeture de la benne. Le godet piège 0,25 m² (L : 0,5 m, l : 0,5 m, h : environ 0,2 m) de sédiment.

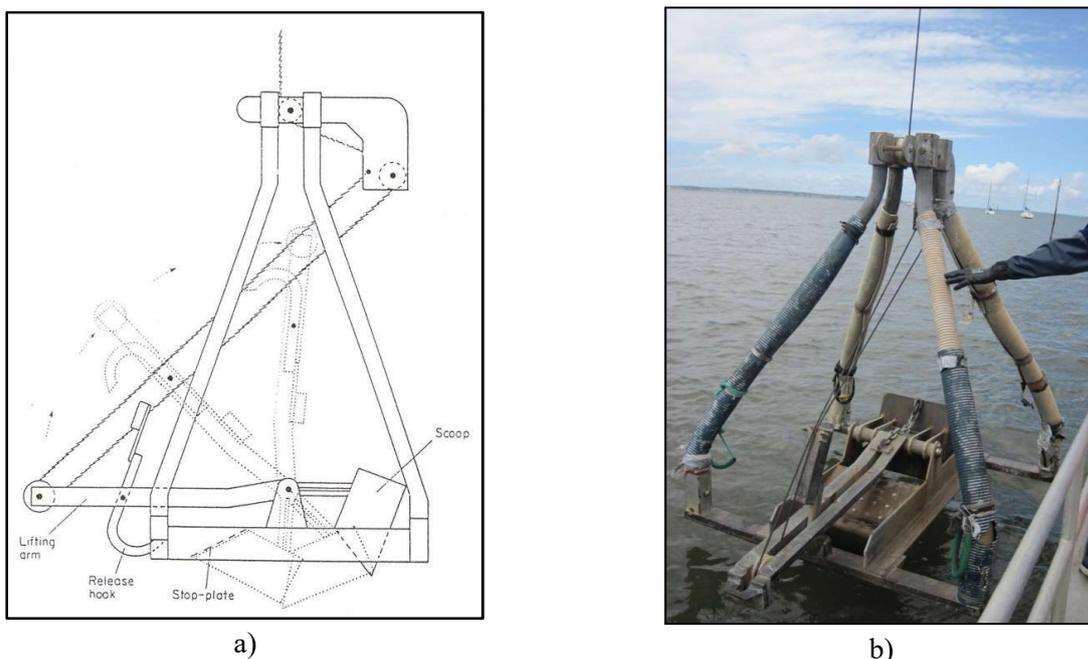


Figure 4. a) Plan de la benne Hamon ; b) Mise en œuvre de la benne Hamon.

2.5 Traitement des échantillons

Une fois ramené à bord, chaque prélèvement est rincé et tamisé sur deux tables de tri composées de trois tamis de maille carrée de 20, 10 et 5 mm. L'utilisation d'un couvercle ouvert à son sommet, pourvu de petites gouttières permet de limiter les projections d'eau et la perte des petites palourdes (Annexe 1).

Les palourdes sont ensuite récupérées, identifiées (distinction des trois espèces présentes) et mesurées individuellement à l'aide d'un pied à coulisse électronique (Digital IP67 Mitutoyo, précision 0,01 mm). Les mensurations réalisées à bord sont directement enregistrées sur un ordinateur portable à l'aide d'une interface Mitutoyo Input Tool reliée au pied à coulisse (Annexe 1). À la fin de chaque marée, le fichier de données généré est enregistré en vue de son traitement ultérieur.

Pour l'estimation du stock, ces mesures à bord permettent de relâcher les individus capturés dès les mensurations effectuées. En 2021, quelques échantillons de palourdes ont été ramenés à terre, puis relâchés, pour effectuer des mesures individuelles de taille et de poids frais afin de mettre à jour la relation taille-poids frais de la palourde japonaise. Durant la campagne, les moules exotiques *Arcuatula senhousia* ont été mises en poche pour l'Université de Bordeaux qui étudie sa distribution dans le bassin.

2.6 Analyse des données

L'analyse des données comprend pour l'ensemble de la zone d'étude et par strate :

- l'évaluation des proportions des différentes espèces de palourdes présentes ;
- les indices d'abondances moyens exprimés en nombre et en poids par m² ;
- les abondances et les biomasses totales ;
- les histogrammes de fréquence de taille ;
- l'évaluation de la fraction des juvéniles et des reproducteurs, ainsi que leurs abondances en effectif et en poids ;
- l'évaluation de la fraction exploitable du stock et son abondance en effectif et en poids ;
- la distribution spatiale des densités exprimées en nombre et en poids par m² ;

Les 4 derniers éléments de cette liste ne sont considérés que pour la palourde japonaise.

Pour estimer la biomasse, il est nécessaire d'attribuer un poids à chaque palourde prélevée. En 2021, de nouvelles mesures biométriques sur la palourde japonaise ont été réalisées et permettent ainsi d'actualiser la relation taille-poids (RTP) jusque-là utilisée pour cette espèce (Caill-Milly et al., 2003 ; Caill-Milly et Sanchez, 2021). Elle est de type exponentiel : $P=aL^b$, où P représente le poids frais (en mg), L la longueur (en mm), a et b les coefficients de la relation spécifiques à chaque espèce. Ces relations sont les suivantes (avec R^2 le coefficient de détermination) :

Pour <i>R. philippinarum</i> ,	$P = 0,1628 L^{3,1694}$	avec $R^2=0,9811$ (n = 2023)	Année 2021
Pour <i>R. decussatus</i>	$P = 0,2723 L^{2,9355}$	avec $R^2=0,968$ (n = 46)	Année 2003
Pour <i>P. aureus</i> ,	$P = 0,1074 L^{3,2477}$	avec $R^2=0,943$ (n = 67)	Année 2003

Par rapport à la relation taille-poids de 2003, la nouvelle RTP établie pour la palourde japonaise estime pour une taille donnée (à partir de 11 mm) un poids supérieur (Caill-Milly et Sanchez, 2021).

Le détail des calculs des moyennes et totaux en effectif et en biomasse par strate, ainsi que leurs variances associées, est donné dans l'annexe 2 (pour les strates avec un ou deux prélèvements). La méthodologie repose sur les travaux de Cochran (1977) et a été décrite par Berthou et al. (1997).

La distribution spatiale des densités exprimées en nombre et en poids par m^2 est effectuée à l'aide d'une étude géostatistique qui comprend les étapes suivantes : analyse exploratoire des données ; analyse variographique avec ajustement d'un modèle au variogramme expérimental (effet de pépite + modèle exponentiel isotrope) ; estimation globale et variance associée. La méthode d'interpolation utilisée est le krigeage par bloc en voisinage glissant avec un voisinage de 200 m. L'intégralité de ces étapes a été effectuée sous le package RGeostats développé par l'École des Mines de Paris². Les données de densités issues du krigeage ont été extraites pour représenter les distributions des densités en effectif et en poids sous forme de cartes, à l'aide du logiciel QGIS 3.16.4-HANNOVER.

² <http://rgeostats.free.fr/>

3 Résultats

3.1 Proportion des différentes espèces de palourde

Les trois espèces ont été observées en 2021 avec un nombre total de palourdes récoltées sur l'ensemble des strates échantillonnées de 8 231 individus. Comme les années précédentes, la palourde japonaise (*Ruditapes philippinarum*) reste largement dominante, avec 99 % des effectifs et de la biomasse totale.

La palourde européenne (*Ruditapes decussatus*) atteint en proportion environ 0,6 % des effectifs et de la biomasse. La palourde jaune (*Polittapes aureus*) est très peu présente (0,1 % en effectif et 0,05 % en biomasse). La figure 5 illustre les résultats par strate.

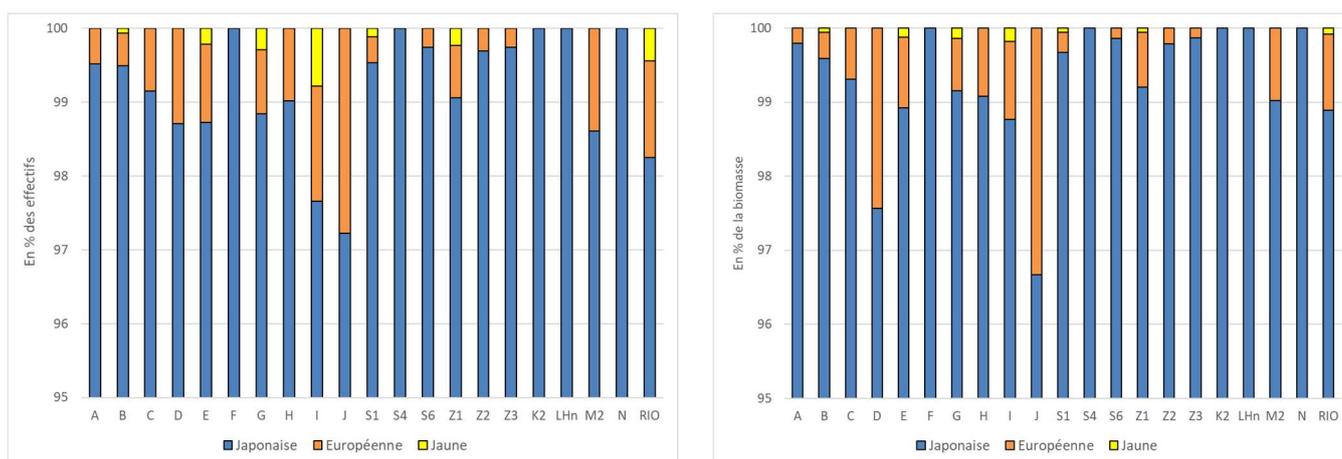


Figure 5. Proportion des 3 espèces de palourdes par strate en % des effectifs et de la biomasse en 2021.

Sur les strates de référence, la palourde européenne est observée un peu partout avec des proportions comprises entre 0,3 et 1,4 % des effectifs. Les plus grandes proportions sont enregistrées sur les strates J et I avec respectivement 3 % et 2 % des effectifs (4 % et 1 % de la biomasse). La palourde jaune est très faiblement présente sur le bassin. La plus grande proportion observée est de 1 % pour la strate I (Figure 5).

3.2 Structure en taille de la population de palourde japonaise

L'histogramme de fréquence de taille est uniquement établi pour la palourde japonaise car elle seule dispose d'effectifs suffisants par strate. En 2021, les individus mesurent entre 4 et 40 mm avec l'observation de deux classes modales, une à [8-10[mm et une à [28-30[mm (Figure 6).

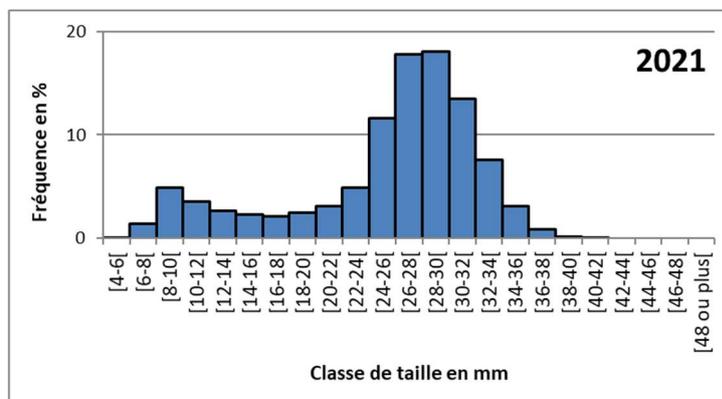


Figure 6. Histogramme de fréquence de taille (en % des effectifs) de la palourde japonaise à partir des mesures réalisées sur les strates de référence en 2021 (N = 7 638).

Les résultats par strate sont fournis en annexe 3. En 2021, les histogrammes de fréquence de taille mettent en évidence deux classes modales dans la majorité des strates. Les valeurs des classes modales varient selon les strates, pour l'essentiel, les classes modales les plus petites sont autour de [8-10[mm ou [10-12[mm et les plus grandes sont soit [26-28[mm ou [28-30[mm ou [30-32[mm.

3.3 Indices d'abondance relatifs

En moyenne en 2021 et pour les strates de référence, les densités estimées (toutes espèces confondues) sont de **39** palourdes par m² pour un poids de **206** g par m² (Tableau 3).

Avec un effectif de 82 individus.m⁻² et un poids de 407 g.m⁻², la strate S1 présente les plus fortes densités en nombre d'individus alors qu'en biomasse, il s'agit de la strate Z1 avec 441 g.m⁻². Les autres strates possèdent des densités comprises entre 14 et 76 individus.m⁻². En poids, les densités sont comprises entre 60 et 423 g.m⁻². Les densités les plus élevées en effectif (supérieures à la moyenne) sont observées sur les strates les plus internes du bassin : B, E, G, I, S1, S6, Z1, Z2 et Z3. En biomasse, il s'agit des strates E, G, I, J, S1, S6, Z1, Z2 et Z3. Les strates A, C, D, F, H, J, S4 présentent des densités inférieures à la moyenne, comprises entre 14 et 38 individus.m⁻².

Parmi les strates supplémentaires, la strate N (ancienne réserve de Branne) est caractérisée par une densité en effectif supérieure à la moyenne, avec 66 individus.m⁻² pour une biomasse de 286 g.m⁻². Les autres strates supplémentaires K2 et M2, présentent des densités bien inférieures à la moyenne. Les strates RIO et LHn, en réserve actuellement, sont caractérisées par des densités faibles en effectif et en poids par rapport à la moyenne des autres strates (14 et 12 individus.m⁻²; 92 et 84 g.m⁻²).

Tableau 3. Indices d'abondance moyens toutes espèces confondues par strate et pour l'ensemble de la zone prospectée.

	Nombre.m ⁻²	Poids en g.m ⁻²
A	22,3	138,6
B	42,3	194,3
C	38,4	187,4
D	22,6	109,2
E	47,0	300,2
F	16,9	76,8
G	76,4	423,2
H	31,4	184,7
I	56,9	377,5
J	36,0	224,3
S1	82,3	406,9
S4	14,0	60,3
S6	56,4	264,2
Z1	70,8	441,1
Z2	40,4	248,1
Z3	54,4	275,9
Moyenne	39,0	205,9
K2	3,8	40,3
LHn	12,0	84,2
M2	22,2	167,9
N	66,0	286,5
RIO	14,3	91,9
Moyenne	35,6	189,7

3.4 Estimation des abondances et des biomasses

Pour permettre la comparaison avec les données antérieures, les estimations sont uniquement effectuées pour les 16 strates de référence ; elles ne prennent pas en compte les strates supplémentaires, celles-ci sont présentées à part.

En 2021, la population totale de palourdes toutes espèces confondues est estimée à **1 674 millions d'individus** (± 106 millions³) pour une biomasse totale de **8 827 tonnes** (± 561 tonnes).

Pour la palourde japonaise, la population est estimée à **1 662 millions d'individus** (± 105 millions) pour une biomasse de **8 769 tonnes** (± 558 tonnes). La palourde européenne et la palourde jaune représentent quant à elles respectivement 55 tonnes (pour 11 millions d'individus) et 4 tonnes (pour 1,5 millions d'individus).

La répartition des effectifs et des biomasses par strate en 2021 est présentée sur les figures 7 et 8. Les résultats sont détaillés en annexe 4.

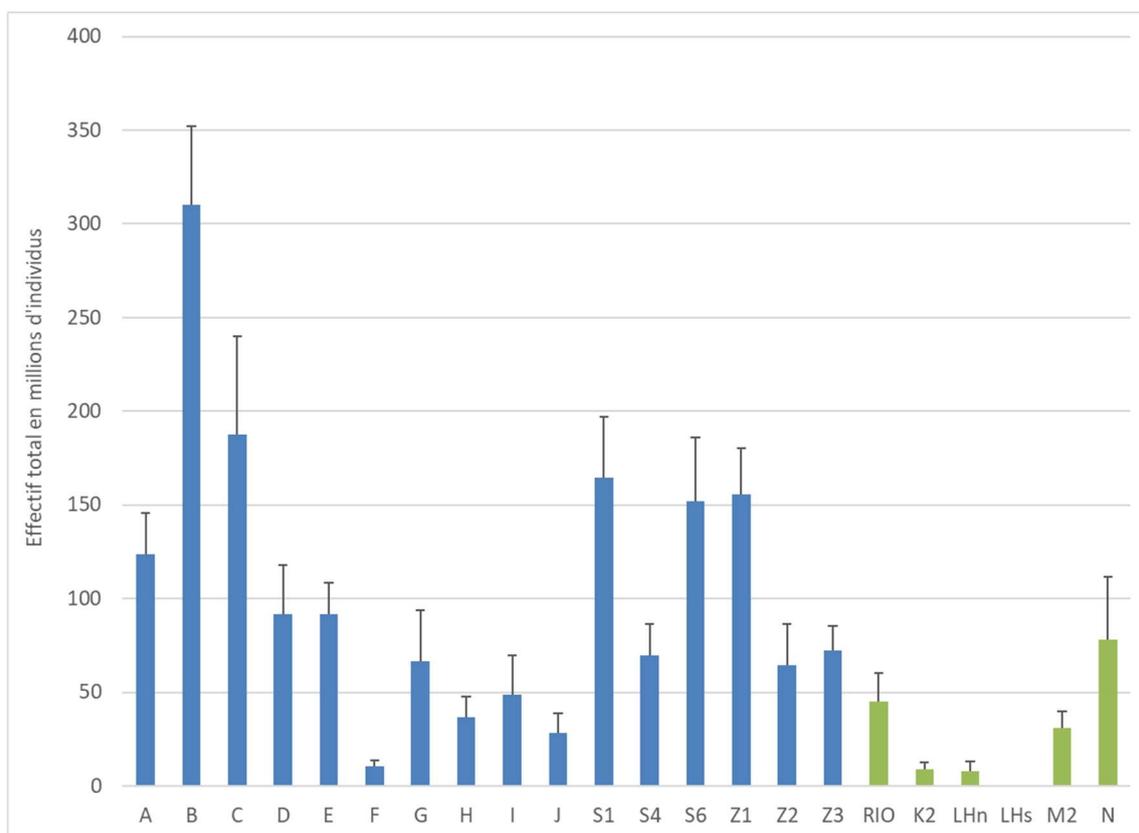


Figure 7. Effectif total estimé par strate pour les 3 espèces de palourde en 2021 (chaque barre noire verticale représente l'écart type associé à l'abondance de la strate). En bleu, les strates de référence, en vert les strates supplémentaires (dont les zones de réserve actuelles).

³ Les chiffres entre parenthèses représentent l'écart type.

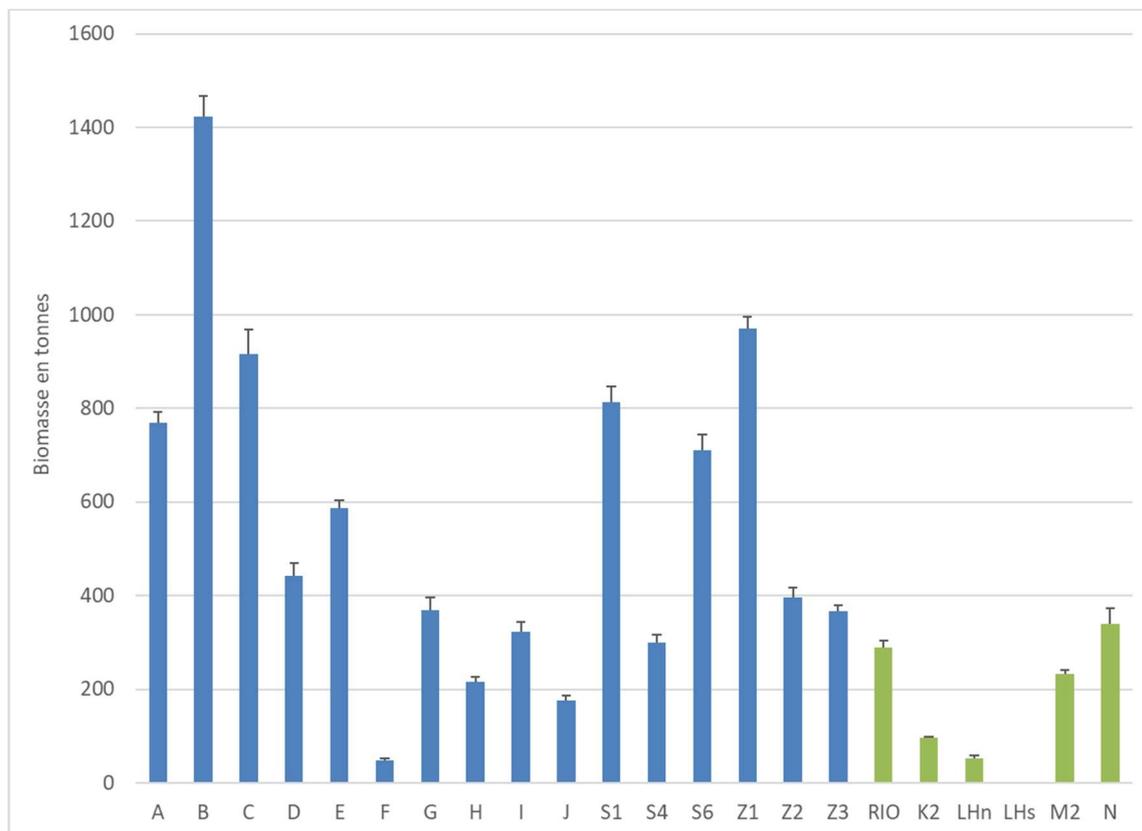


Figure 8. Biomasse totale estimée par strate pour les 3 espèces de palourde en 2021 (chaque barre noire verticale représente l'écart type associé à l'abondance de la strate). En bleu, les strates de référence, en vert les strates supplémentaires (dont les zones de réserve actuelles).

3.5 Fraction et biomasse exploitable du stock de palourde japonaise

Depuis 2008, la taille réglementaire de première commercialisation est de 35 mm pour la palourde japonaise (Règlement (CE) n°40/2008). Le terme « fraction exploitable » utilisé dans ce document se réfère à cette taille (il s'agit de la part des individus de taille supérieure ou égale à 35 mm sur la population totale exprimée en effectif ou en poids).

Sur l'ensemble des 16 strates, la fraction exploitable pour la palourde japonaise représente 2 % des effectifs et 6 % de la biomasse totale (Tableau 4).

En 2021, la biomasse exploitable pour la palourde japonaise est estimée à **507 tonnes** (± 60) pour **37 millions d'individus** (± 4).

Tableau 4. Longueurs moyennes (toutes tailles confondues), abondance et biomasse exploitable exprimées en millions d'individus, en tonnes et en % de la population totale de chaque strate pour la palourde japonaise en 2021.

	Longueur moyenne ⁴	Effectif en nombre ≥ 35 mm		Biomasse ≥ 35 mm	
		millions	%	tonnes	%
	mm				
A	26,3	4,0	3,2	56,4	7,3
B	24,1	1,4	0,4	18,6	1,3
C	23,5	1,2	0,6	15,3	1,7
D	23,2	1,6	1,7	23,1	5,3
E	25,7	3,9	4,3	52,4	9,0
F	23,2	0,7	6,8	10,3	21,2
G	24,9	1,7	2,6	24,2	6,6
H	24,4	1,3	3,5	17,5	8,2
I	25,7	5,7	12,0	78,4	24,6
J	25,0	1,6	5,7	20,5	12,0
S1	24,5	0,6	0,3	7,5	0,9
S4	23,7	0,8	1,2	11,8	4,0
S6	23,5	2,2	1,4	27,5	3,9
Z1	26,0	7,5	4,9	102,1	10,6
Z2	26,1	2,4	3,7	33,9	8,6
Z3	25,0	0,6	0,8	7,3	2,0
Total		37	2,2	507	5,8
K2	30,7	3,2	34,8	53,3	55,7
LHn	26,3	1,4	19,0	22,5	42,4
M2	28,2	3,0	9,9	40,1	17,4
N	24,1	0,0	0,0	0,00	0,0
RIO	26,6	2,0	4,5	27,5	9,6

Strate à un prélèvement/station

Les plus fortes proportions de palourdes supérieures ou égales à 35 mm en effectif sont localisées dans les strates I, F, J et Z1 avec des valeurs comprises entre 5 et 12 %. Les plus faibles proportions (< 1 %) sont enregistrées sur les strates B, C, S1 et Z3. Sur les strates supplémentaires K2, LHn et M2, les palourdes supérieures à 35 mm représentent 35 %, 19 % et 10 % des effectifs. Sur la strate N, aucune palourde exploitable n'a été observée. Concernant la réserve de l'île aux Oiseaux (strate RIO), celle-ci présente une proportion de 4,5 % en effectif. Les plus fortes biomasses sont observées sur la strate Z1 avec 102 tonnes et la strate I avec 78 tonnes (Tableau 4).

3.6 Fraction et abondance des juvéniles de palourde japonaise

En 2021, la fraction des juvéniles est de 17 % des effectifs et 1 % de la biomasse.

Le niveau d'abondance des juvéniles de palourde japonaise est estimé à **276 millions d'individus** (± 23) pour une biomasse estimée de **101 tonnes** (± 9).

Les strates présentant les plus fortes proportions de juvéniles (en effectif) sont les strates C, D, E, F, G, H, I, J, S6, avec des valeurs supérieures ou égales à 18 %. Les abondances dans ces strates s'échelonnent entre 11 et 40 millions d'individus, les strates F, H et J ayant de plus faibles valeurs (2, 9 et 7 millions respectivement). Pour les strates supplémentaires, c'est la strate N (ancienne réserve de Branne) qui comptabilise la plus forte valeur avec 7 millions d'individus. La réserve de l'île aux Oiseaux (strate RIO) comptabilise 6 millions d'individus représentant 13 % des effectifs sur cette strate.

⁴ Longueur moyenne des palourdes japonaises et non de la fraction exploitable

Tableau 5. Abondance et biomasse des juvéniles exprimées en millions d'individus, en tonnes et en % de la population totale de chaque strate pour la palourde japonaise en 2021.

	Effectif en nombre < 17 mm		Biomasse < 17 mm	
	millions	%	tonnes	%
A	18,2	14,8	9,9	1,3
B	38,6	12,5	14,6	1,0
C	40,3	21,7	11,8	1,3
D	23,3	25,8	9,1	2,1
E	18,2	20,0	5,2	0,9
F	2,3	22,0	1,3	2,8
G	13,6	20,6	7,7	2,1
H	8,6	23,8	2,0	1,0
I	10,6	22,4	3,7	1,2
J	6,7	24,3	1,9	1,1
S1	21,1	12,9	5,1	0,6
S4	6,7	9,6	3,8	1,3
S6	28,5	18,8	8,6	1,2
Z1	24,0	15,6	10,9	1,1
Z2	7,8	12,1	2,0	0,5
Z3	7,8	10,8	2,9	0,8
Total	276,4	16,6	100,6	1,1
K2	0,8	8,7	0,3	0,3
LHn	1,8	23,8	1,4	2,7
M2	3,0	9,9	1,1	0,5
N	7,1	9,1	4,3	1,3
RIO	5,9	13,4	2,1	0,7

Strate à un prélèvement/station

3.7 Fraction et abondance des reproducteurs de palourde japonaise

En 2021, la fraction des reproducteurs (individus de taille supérieure ou égale à 25 mm) représente 67 % des effectifs et 90 % de la biomasse.

Le niveau d'abondance des reproducteurs de palourde japonaise est estimé à **1 118 millions d'individus** (± 74) pour une biomasse estimée de **7 906 tonnes** (± 514).

Les plus forts effectifs de reproducteurs sont observés sur les strates B, C, S1, Z1, S6 et A avec des valeurs comprises entre 94 et 194 millions d'individus, représentant des proportions comprises entre 63 % et 76 % des effectifs. En biomasse, ces mêmes strates comptabilisent des valeurs comprises entre 652 et 1 165 tonnes. La fraction des reproducteurs en biomasse est importante dans chaque strate avec des pourcentages compris entre 72 et 97 % (Tableau 6).

Tableau 6. Abondance et biomasse des reproducteurs, exprimées en millions d'individus, en tonnes et en % de la population totale de chaque strate pour la palourde japonaise en 2021.

	Effectif en nombre ≥ 25 mm		Biomasse ≥ 25 mm	
	millions	%	tonnes	%
A	93,6	76,1	728,4	94,8
B	194,3	63,0	1171,6	82,6
C	117,7	63,3	818,2	89,9
D	55,4	61,1	388,2	89,8
E	64,3	70,9	553,6	95,4
F	5,9	55,9	41,4	85,7
G	44,0	66,8	338,4	92,5
H	24,0	65,8	203,6	95,0
I	31,1	65,6	300,9	94,4
J	18,4	67,1	162,0	95,3
S1	116,6	71,2	723,2	89,1
S4	35,3	50,7	218,9	73,0
S6	104,0	68,7	654,2	92,2
Z1	111,6	72,4	906,2	94,2
Z2	50,2	78,3	375,4	95,1
Z3	51,4	71,3	322,2	88,1
Total	1117,9	67,3	7 906,5	90,2
K2	7,1	78,3	93,5	97,6
LHn	4,3	57,1	48,1	90,5
M2	24,7	81,7	221,7	96,5
N	41,5	53,0	241,1	71,0
RIO	35,2	79,9	275,2	96,2

Strate à un prélèvement/station

3.8 Distribution spatiale des densités de palourde japonaise

Les cartes de distribution spatiale des densités (Figures 9 et 10) montrent que la population de palourde japonaise se répartit sur les zones les plus internes du bassin avec des densités maximales au sud du chenal de Ville (correspondant aux strates I, Z1, G et S6), au sud-est du chenal d'Andernos (strate Z2) et entre le chenal de Lanton et le chenal d'Audenge sur les parties les plus à l'est (strates S1, B, Z3 et N). Les plus faibles densités sont observées sur la strate S4 située à proximité de la Leyre, sur les strates A et K2 situées au nord du bassin et la strate RIO correspondant à la réserve de l'île aux Oiseaux.

Les figures 11 et 12 représentent les densités de palourdes exploitables. En quantité faible, les palourdes exploitables se localisent sur un petit secteur entre le chenal d'Arès et celui de la Girouasse, correspondant aux strates I et Z1. Quant aux juvéniles, ils sont présents un peu partout, les densités les plus fortes étant situées sur des secteurs bien localisés au nord du chenal de la Girouasse (strates I, Z1, G, S6) et sur une petite zone au sud du chenal de Comprian (strate C) (Figures 13 et 14). Les reproducteurs, représentant l'essentiel de la population, se répartissent sur l'ensemble de la zone prospectée (Figures 15 et 16).

Les cartes de distribution spatiale des densités des campagnes antérieures (de 2010 à 2018) sont fournies en annexe 5.

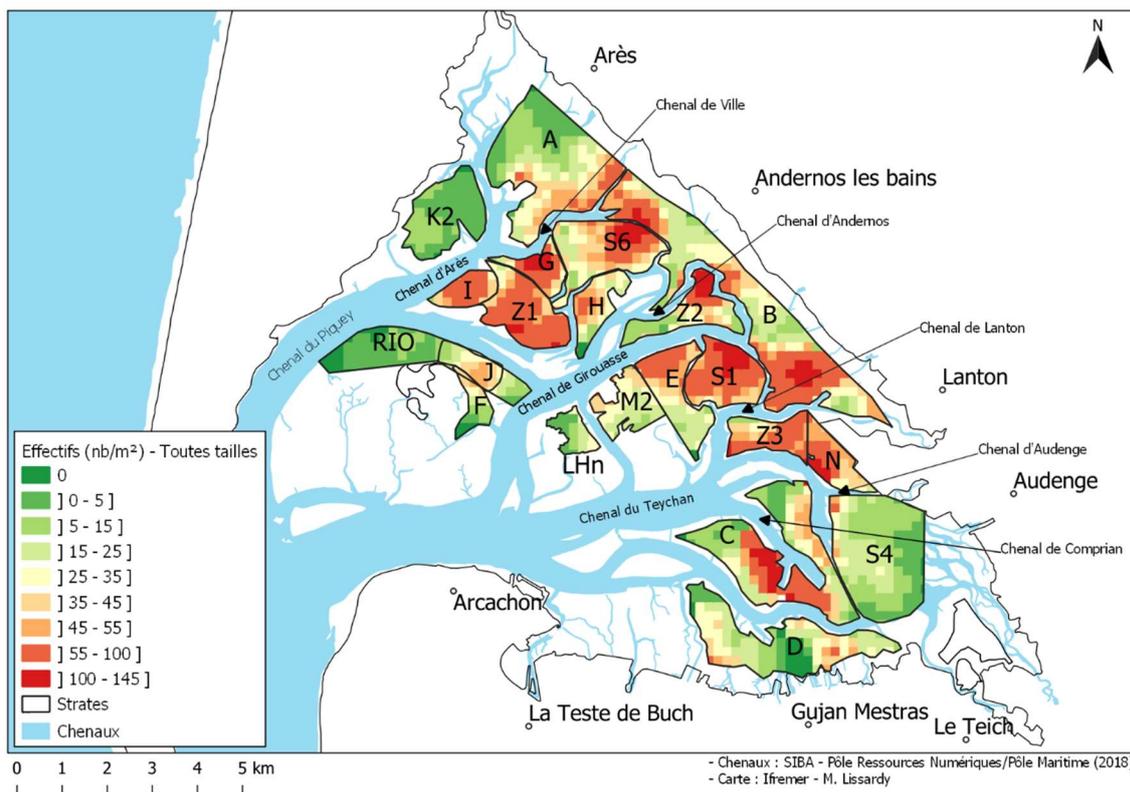


Figure 9. Distribution des densités interpolées de la palourde japonaise (en nb.m⁻²) en 2021.

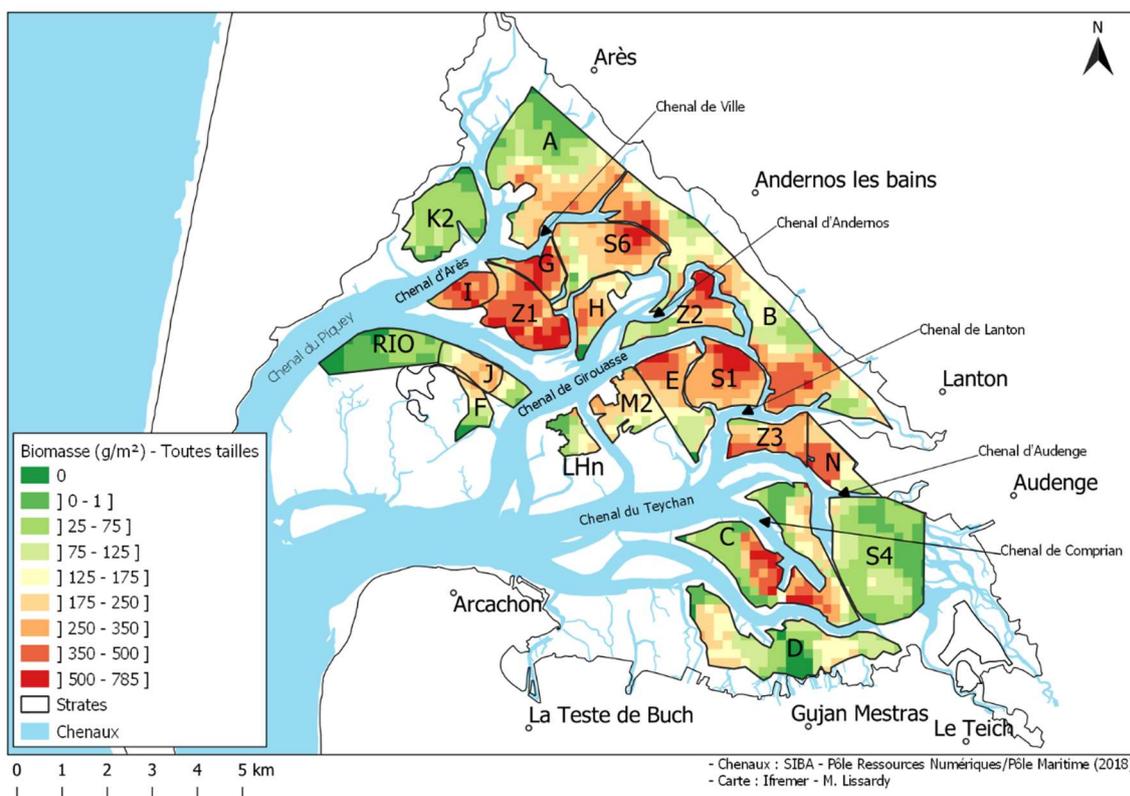


Figure 10. Distribution des densités interpolées de la palourde japonaise (en g.m⁻²) en 2021.

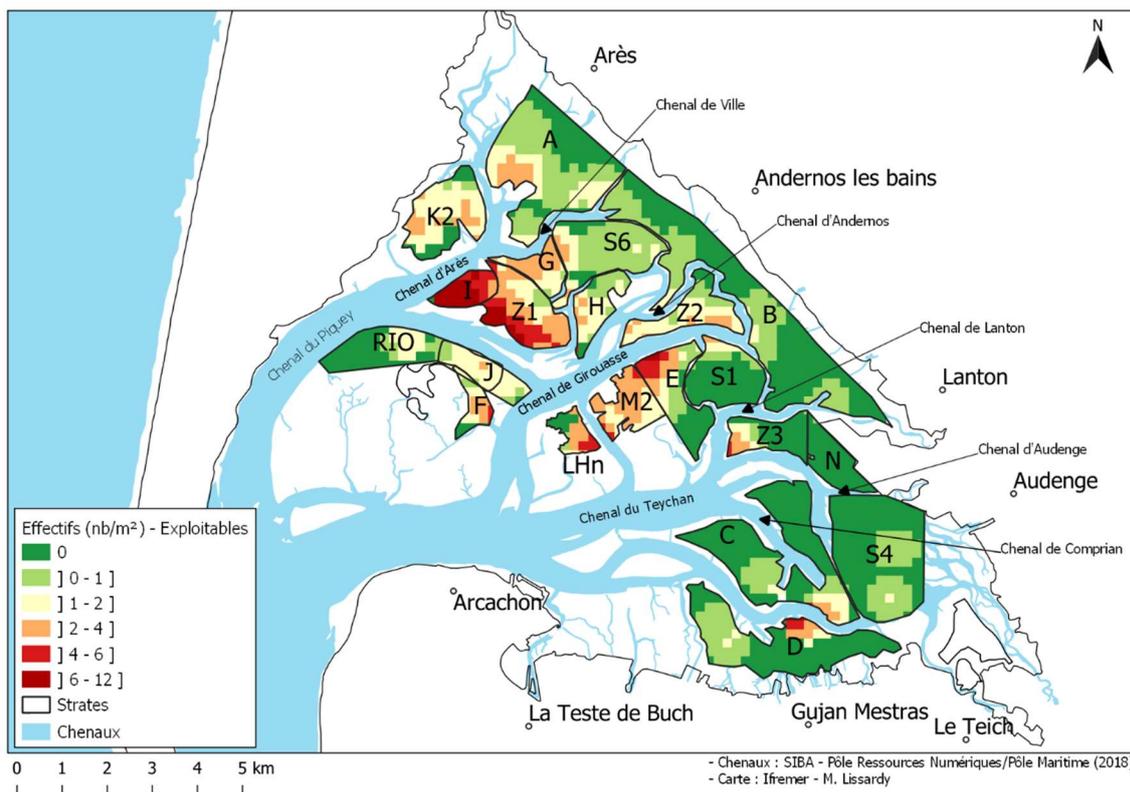


Figure 11. Distribution des densités exploitables interpolées (≥ 35 mm, en nb.m⁻²) de la palourde japonaise en 2021.

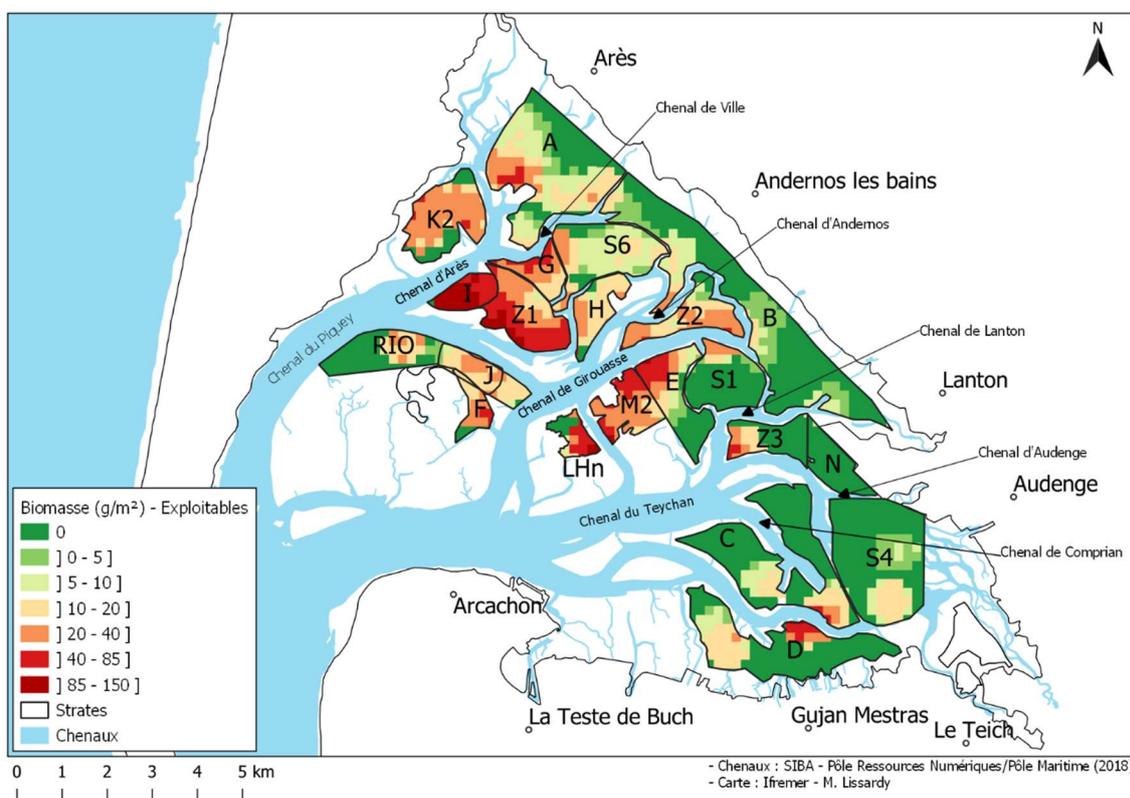


Figure 12. Distribution des densités exploitables interpolées (≥ 35 mm, en g.m⁻²) de la palourde japonaise en 2021.

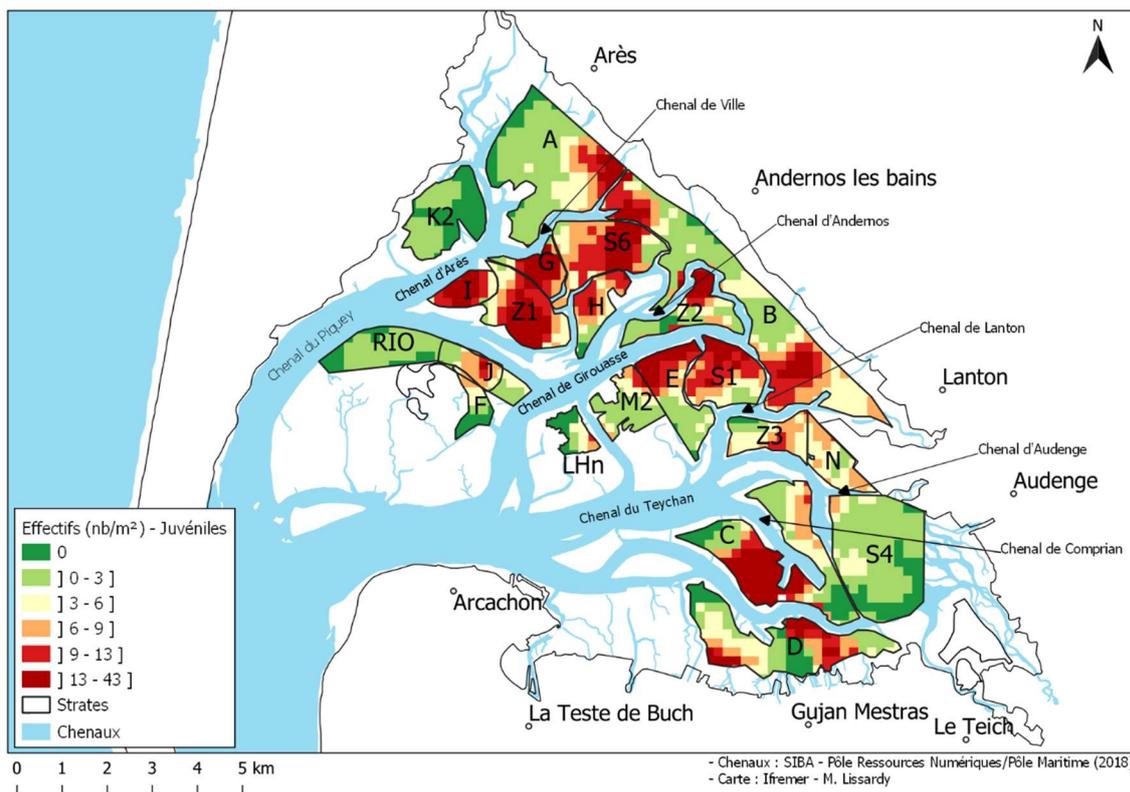


Figure 13. Distribution des densités de juvéniles interpolées ($< 17\text{ mm}$, en nb.m⁻²) de la palourde japonaise en 2021.

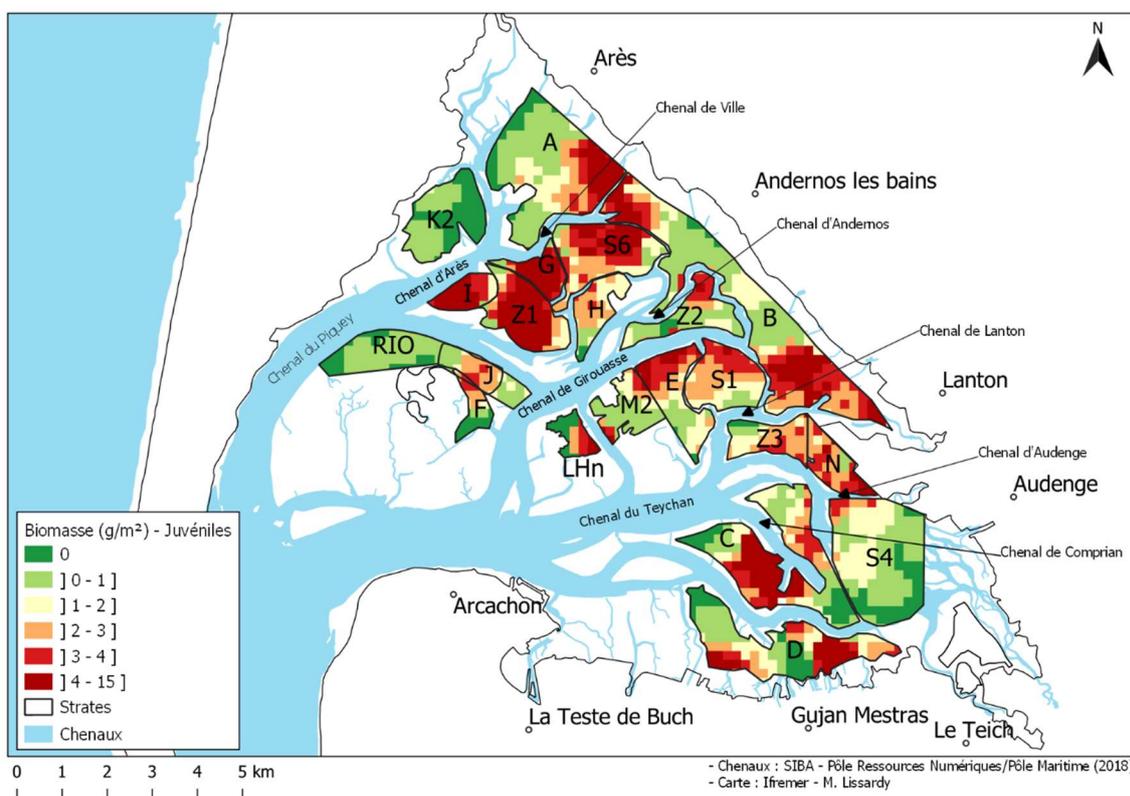


Figure 14. Distribution des densités de juvéniles interpolées ($< 17\text{ mm}$, en g.m⁻²) de la palourde japonaise en 2021.

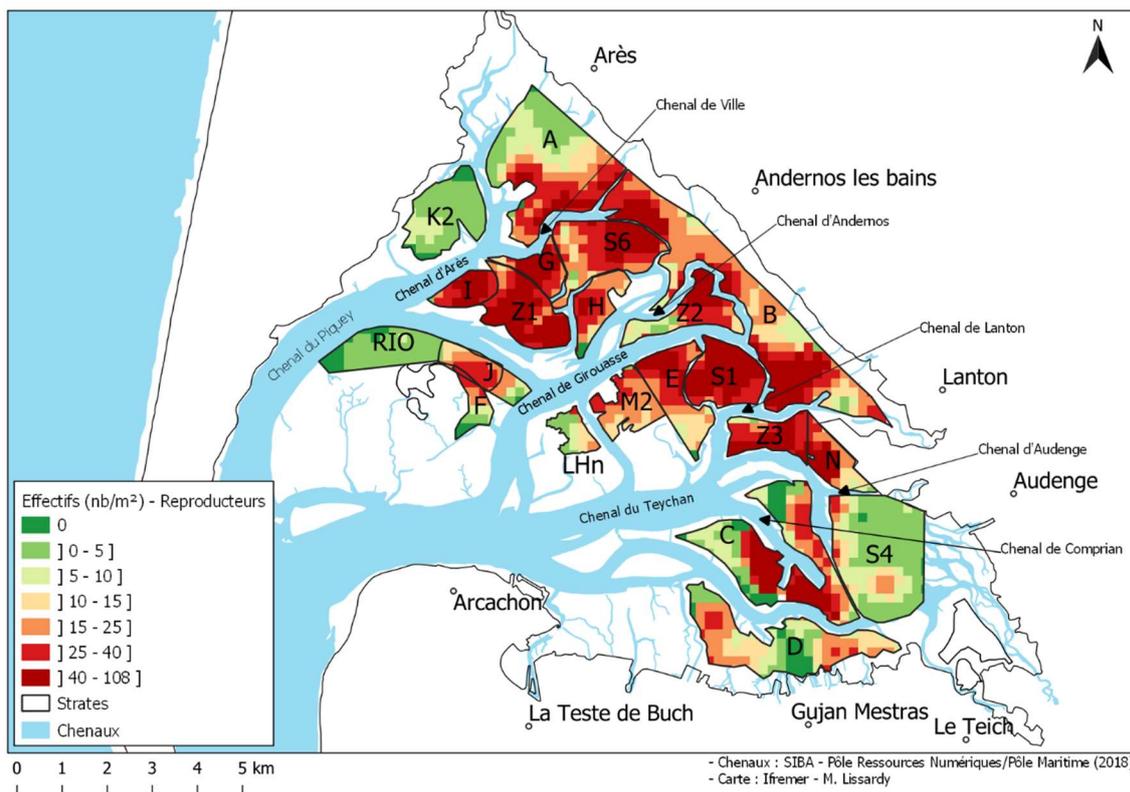


Figure 15. Distribution des densités de reproducteurs interpolées (≥ 25 mm, en nb.m⁻²) de la palourde japonaise en 2021.

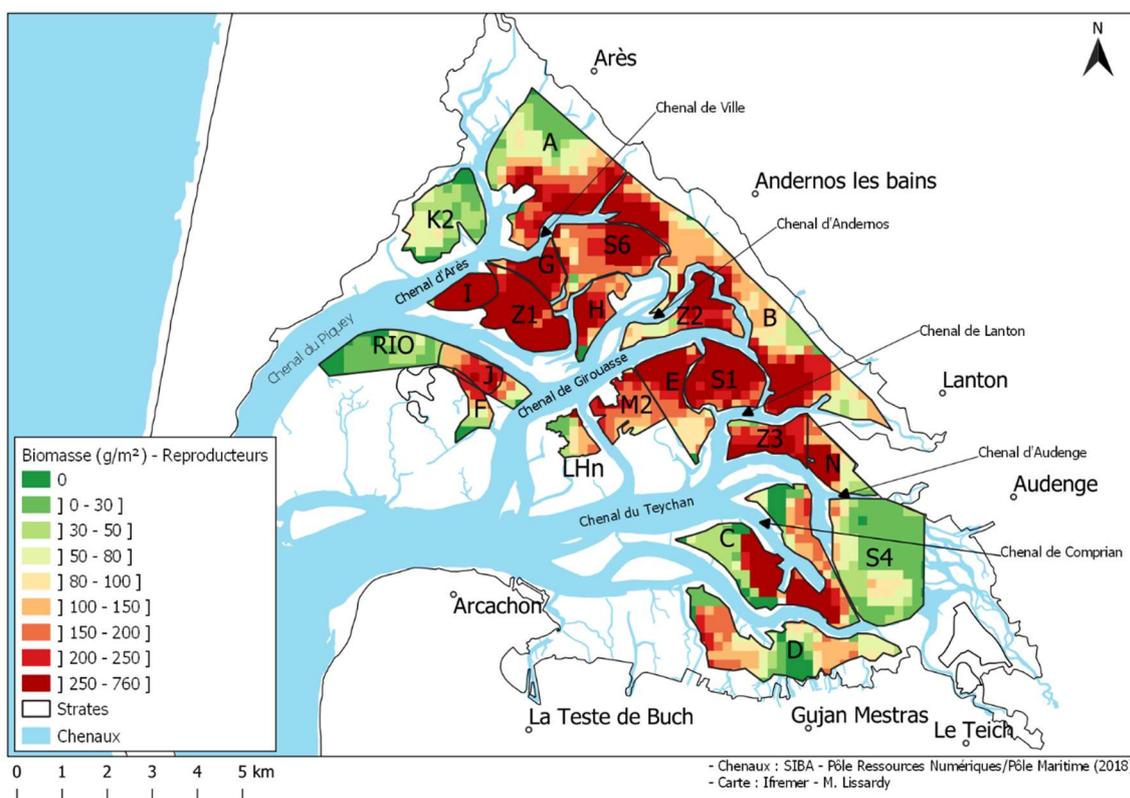


Figure 16. Distribution des densités de reproducteurs interpolées (≥ 25 mm, en g.m⁻²) de la palourde japonaise en 2021.

4 Bilan au regard des autres années de campagne

4.1 À l'échelle globale

4.1.1 Indices d'abondance relatifs, abondance et biomasse totales

Toutes espèces confondues, la densité moyenne observée en 2021 sur les strates de référence est équivalente à celle de 2018 avec **39 individus.m⁻² pour un poids de 206 g.m⁻²** (en 2018, 39 individus.m⁻² et 192 g.m⁻²).

Le stock de palourdes toutes espèces confondues y compris celui de la palourde japonaise, reste à des niveaux élevés au sein de la série de données réalisées depuis 2003 (Figures 17 et 18).

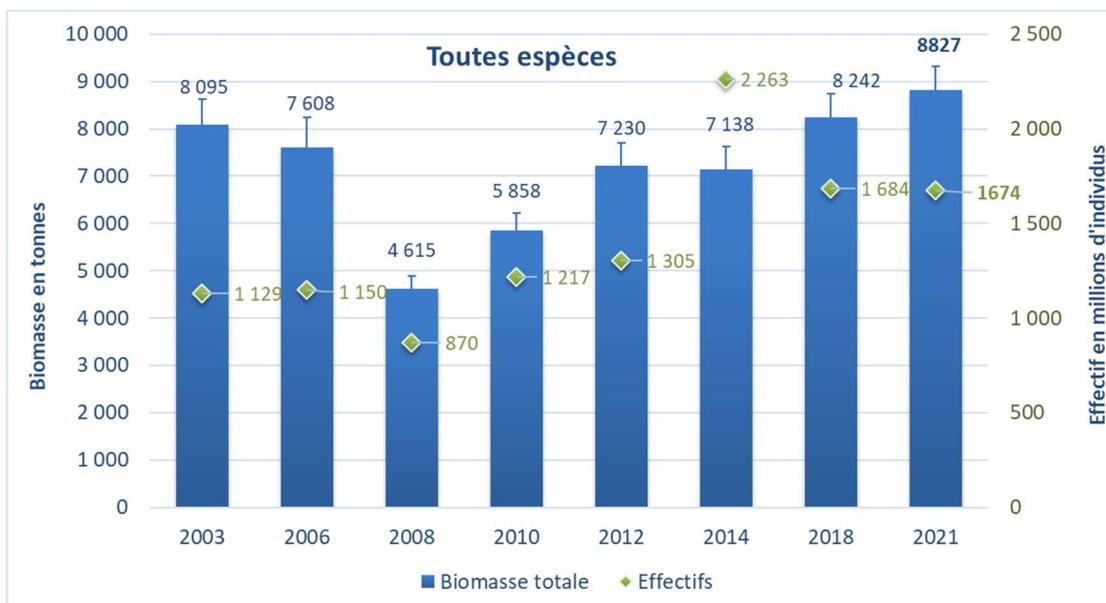


Figure 17. Évolution depuis 2003 de la biomasse totale (avec son écart-type) et de l'effectif total sur les strates de référence (toutes espèces confondues).

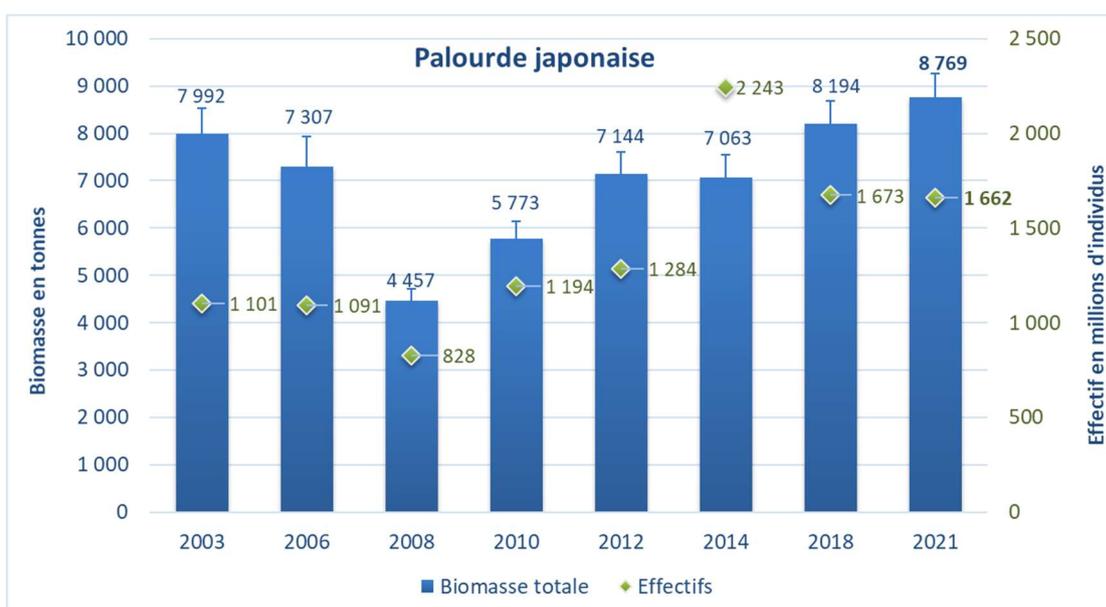


Figure 18. Évolution depuis 2003 de la biomasse totale (avec son écart-type) et de l'effectif total de la palourde japonaise sur les strates de référence.

4.1.2 Histogrammes de fréquence de taille

En 2021, la structure en taille de la population de palourde japonaise est bimodale avec un mode à [8-10[mm et un mode à [28-30[mm (Figure 19). Les individus de taille inférieure à 17 mm représentent 17 % des effectifs alors qu'en 2018, ils représentaient 8 % des effectifs. Le passage d'un niveau d'abondance des juvéniles un peu plus élevé en 2021 qu'en 2018 explique une légère diminution de la taille moyenne entre 2018 et 2021 (de 25,8 mm à 24,8 mm) (Figure 20).

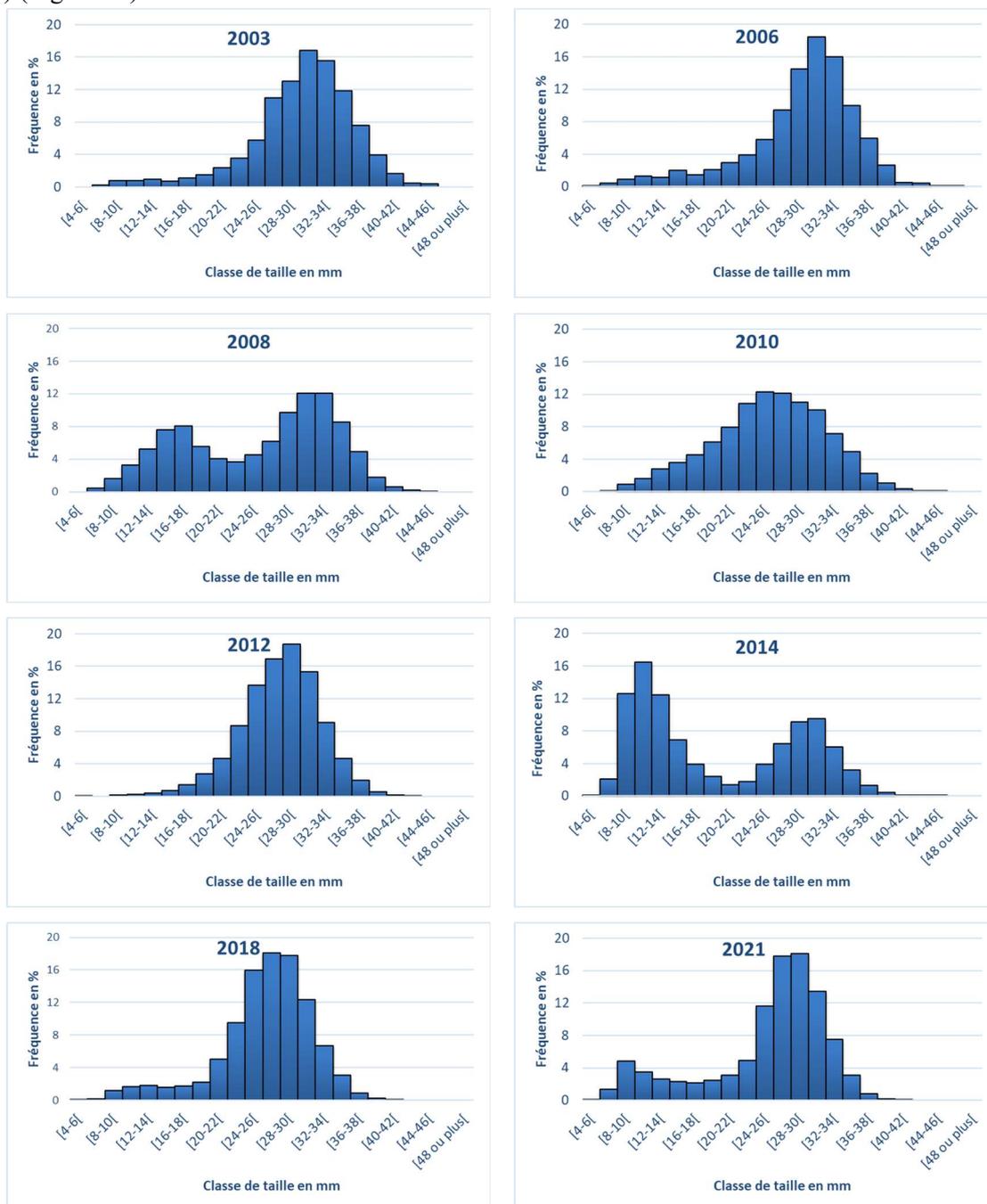


Figure 19. Comparaison des histogrammes de fréquence de taille de la palourde japonaise obtenus sur les 16 strates de référence échantillonnées (en % des effectifs) en 2003 (N = 4 599), 2006 (N = 4 255), 2008 (N = 4 011), 2010 (N = 5 719), 2012 (N = 5 972), 2014 (N = 10 483), 2018 (N = 7 875), 2021 (N = 7 638).

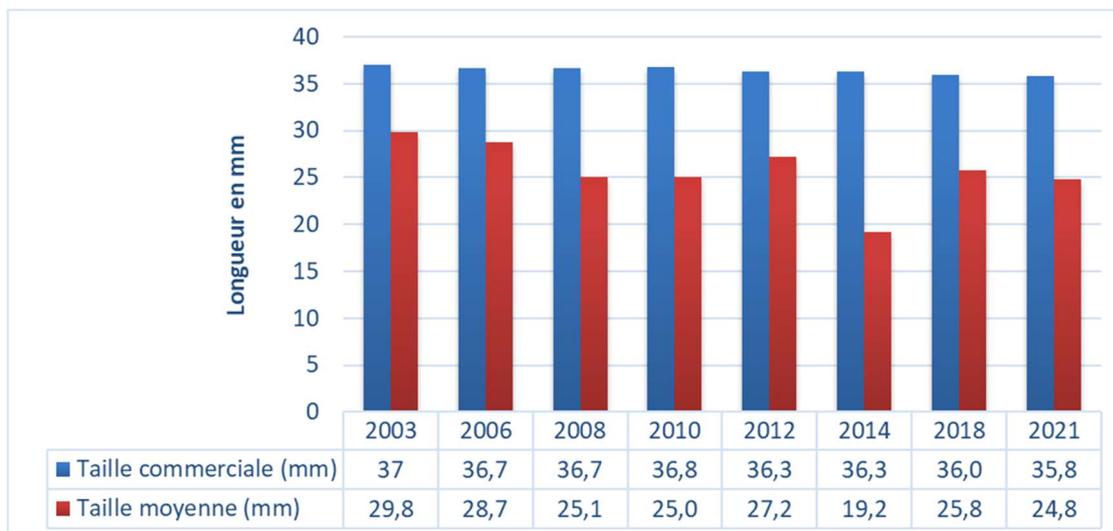


Figure 20. Évolution de la taille moyenne et de la taille commerciale des palourdes japonaises depuis 2003.

4.1.3 Abondance des juvéniles, des reproducteurs et de la biomasse exploitable de la palourde japonaise

L'information sur les niveaux d'abondance des juvéniles et des reproducteurs exprimés en effectif et en biomasse est disponible qu'à partir de l'année 2006.

Le niveau d'abondance des juvéniles a fortement chuté entre 2014 et 2018 (Figures 21 et 22). En 2018, il atteint cependant un niveau similaire à celui de 2010 avec 128 millions d'individus (Figure 21). L'année 2021 est marquée par une hausse importante des juvéniles (+ 116 % en effectif) avec une valeur de 276 millions d'individus pour 101 tonnes.

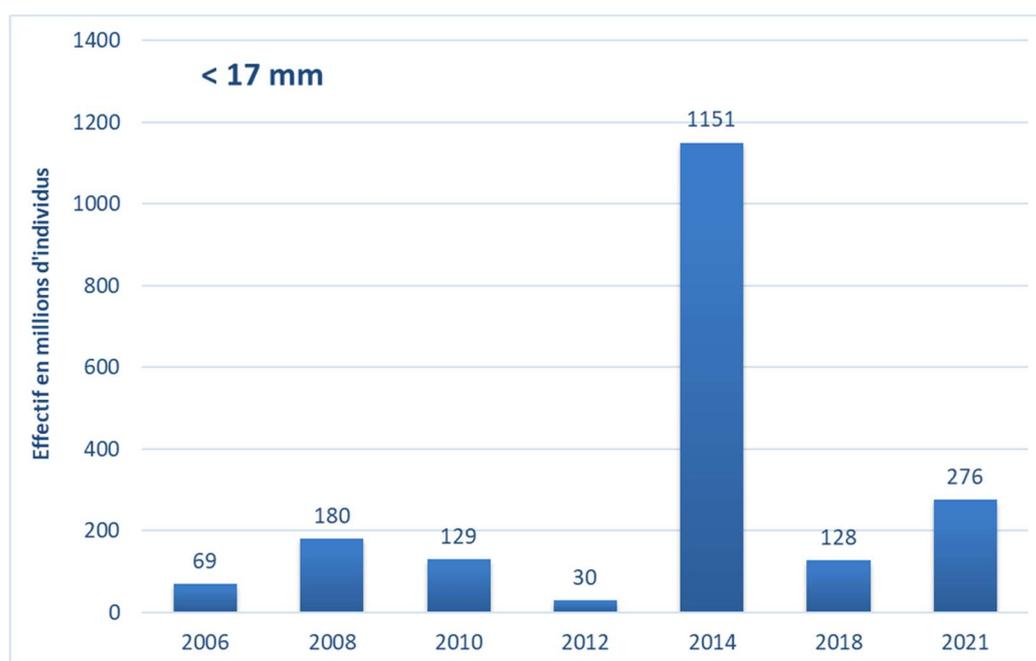


Figure 21. Évolution du niveau d'abondance des juvéniles (< 17 mm) exprimé en millions d'individus entre 2006 et 2021 sur les strates de référence (N.B. : les strates I et J n'étaient pas échantillonnées en 2006).

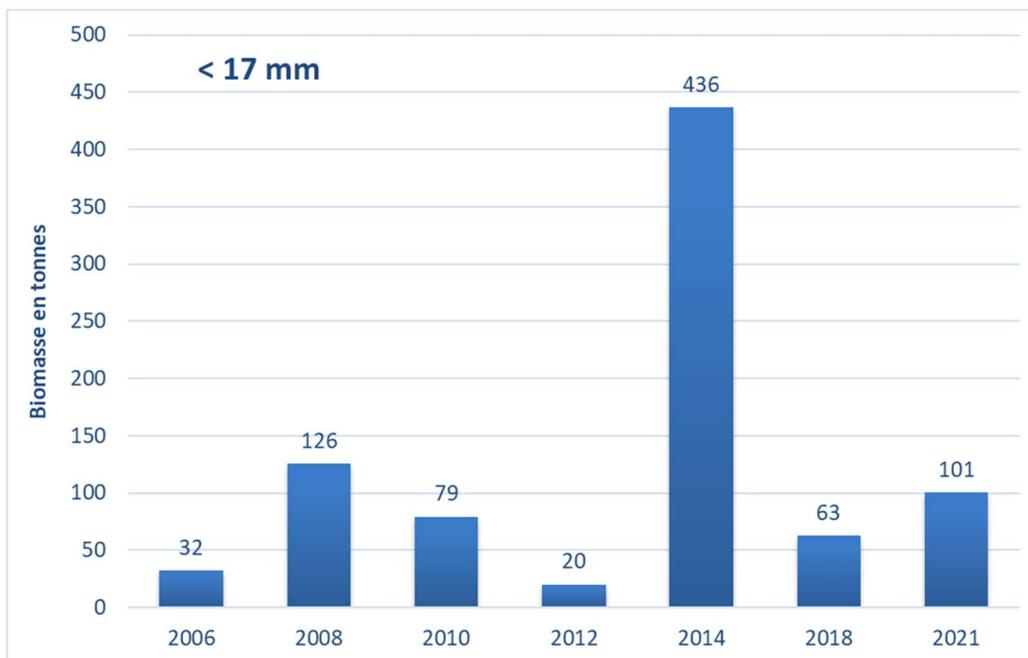


Figure 22. Évolution du niveau d'abondance des juvéniles (< 17 mm) exprimé en tonnes entre 2006 et 2021 sur les strates de référence (N.B. : les strates I et J n'étaient pas échantillonnées en 2006).

Avec **7 906 tonnes** et **1 118 millions d'individus** (soit 90 % de la biomasse et 67 % des effectifs), le niveau d'abondance des reproducteurs est parmi le plus élevé de la série de données (Figures 23 et 24).

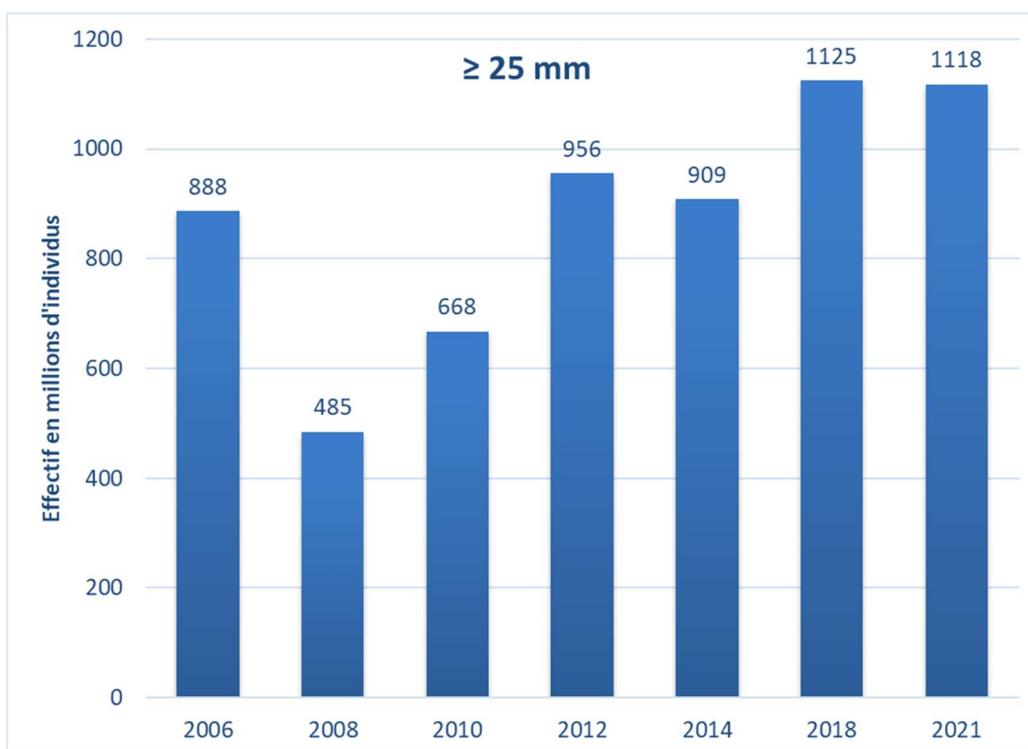


Figure 23. Évolution du niveau d'abondance des reproducteurs exprimé en millions d'individus depuis 2006 sur les strates de référence (les strates I et J n'étaient pas échantillonnées en 2006).

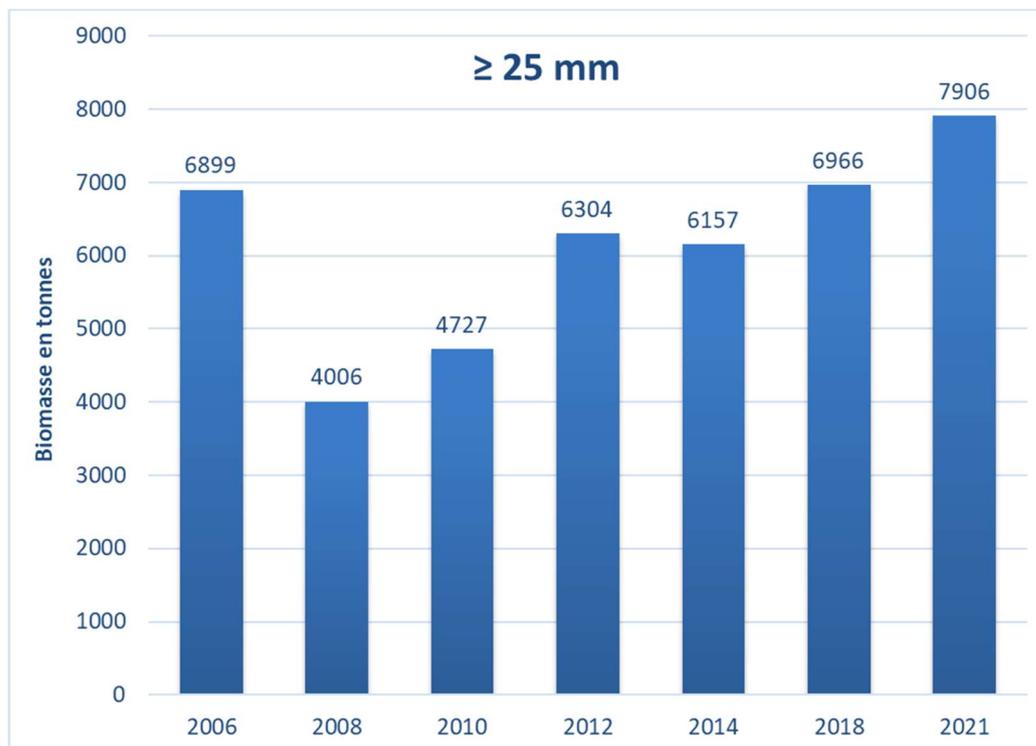


Figure 24. Évolution du niveau d'abondance des reproducteurs exprimé en tonnes depuis 2006 sur les strates de référence (les strates I et J n'étaient pas échantillonnées en 2006).

Avec une biomasse exploitable de **507 tonnes pour 37 millions d'individus** (soit 6 % de la biomasse et 2 % des effectifs), 2021 se situe dans les niveaux les plus bas de la série de données (Figures 25 et 26).



Figure 25. Évolution de l'abondance exploitable exprimée en millions d'individus depuis 2003 sur les strates de référence (les strates I et J n'étaient pas échantillonnées en 2003 et 2006).

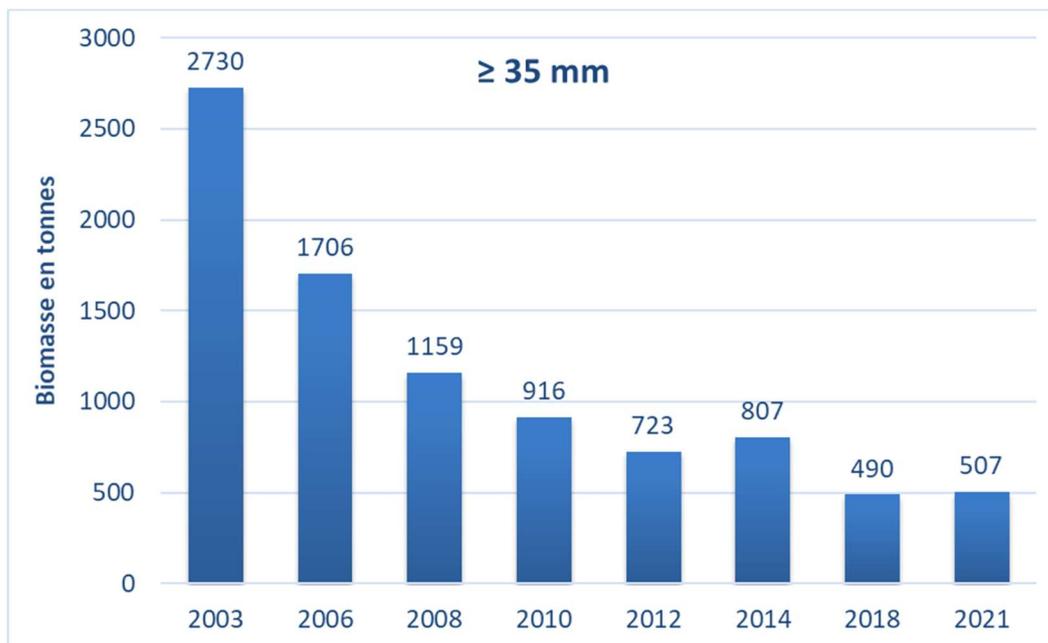


Figure 26. Évolution de la biomasse exploitable exprimée en tonnes depuis 2003 sur les strates de référence (les strates I et J n'étaient pas échantillonnées en 2003 et 2006).

4.2 À l'échelle des strates

4.2.1 Évolution des indicateurs suivis entre 2018 et 2021

- **Densité moyenne**

Les densités les plus élevées sont observées sur les zones les plus internes du bassin (strates B, E, G, I, S1, S6, Z1, Z2, Z3) alors que les densités les plus faibles sont localisées dans les zones plus proches des rivières (strates A, C, D, S4) ou dans les zones océaniques comme les strates RIO, J, F. Sur les strates G et I, les densités ont fortement augmenté en effectif et en poids (> 100 %). Sur les strates supplémentaires ou les zones de réserve, même si les densités ont augmenté, les valeurs restent en dessous de la moyenne à l'exception de la strate N (Tableau 7).

Tableau 7. Évolution de la densité entre 2018 et 2021 pour les 3 espèces de palourdes.

	2021 Nombre.m ⁻²	2018 Nombre.m ⁻²	Évolution en %	2021 Poids en g.m ⁻²	2018 Poids en g.m ⁻²	Évolution en %
A	22,3	15,0	48 %	138,6	71,1	95 %
B	42,3	44,5	-5 %	194,3	171,4	13 %
C	38,4	30,4	26 %	187,4	153,3	22 %
D	22,6	29,0	-22 %	109,2	124,7	-12 %
E	47,0	51,8	-9 %	300,2	318,0	-6 %
F	16,9	19,4	-13 %	76,8	84,9	-9 %
G	76,4	29,8	157 %	423,2	161,7	162 %
H	31,4	39,3	-20 %	184,7	254,9	-28 %
I	56,9	20,0	184 %	377,5	145,0	160 %
J	36,0	47,5	-24 %	224,3	227,4	-1 %
S1	82,3	83,1	-1 %	406,9	388,8	5 %
S4	14,0	28,4	-51 %	60,3	108,3	-44 %
S6	56,4	51,6	9 %	264,2	294,5	-10 %
Z1	70,8	68,0	4 %	441,1	418,8	5 %
Z2	40,4	41,4	-2 %	248,1	247,1	0 %
Z3	54,4	80,6	-32 %	275,9	374,0	-26 %
Moyenne	39	39	-1 %	206	192	7 %
K2	3,8	9,3	-59 %	40,3	91,6	-56 %
LHn	12,0	2,9	314 %	84,2	13,9	506 %
M2	22,2	5,7	289 %	167,9	35,2	377 %
N	66,0	44,3	49 %	286,5	137,7	108 %
RIO	14,3	8,3	72 %	91,9	48,6	89 %

- **Abondance totale**

En 2021, 3 strates de référence connaissent une évolution positive marquée de l'abondance totale de palourde japonaise avec des valeurs comprises entre +97 % et +169 % en poids (strates A, G et I). Toutes les autres strates de référence ont des abondances à la baisse, S4 ayant la plus forte diminution (-44 % en poids). Ce résultat peut s'expliquer par l'apport en eau douce dû à la Leyre. A l'exception de la strate K2, toutes les autres strates supplémentaires dont les réserves ont des abondances totales en nette progression (Tableaux 8, 9 et figure 27).

- **Abondance des juvéniles**

En 2021, toutes les strates à l'exception des strates de référence A, F, J, S4 et les strates supplémentaires K2 et N, enregistrent une hausse de l'abondance de juvéniles.

- **Abondance des reproducteurs**

Cette année, 9 strates de référence connaissent une augmentation de l'abondance des reproducteurs, toutes les autres enregistrent une baisse, parfois notable. Pour les zones supplémentaires, seule K2 présente une diminution de 55 % (Tableaux 8 et 9), toutes les autres ayant des abondances à la hausse.

- **Biomasse exploitable**

Plusieurs strates connaissent une augmentation importante de la biomasse exploitable entre 2018 et 2021 : A, B, F, I, J, S1, S4 et Z3 (Tableaux 8 et 9) avec des taux d'évolution compris entre +24 % et +360 % en poids. Sur les autres strates, les baisses enregistrent des valeurs comprises entre -27 % et -54 %. Seule la strate supplémentaire M2 enregistre une progression importante de palourdes commerciales (+820 %). Sur la strate N, on n'observe toujours pas de palourdes de taille supérieure ou égale à 35 mm.

Tableau 8. Comparaison de quelques indicateurs suivis de la palourde japonaise entre 2018 et 2021 pour les strates de référence, les zones de réserve (RIO et LHn) et les strates supplémentaires (K2, M2 et N).

Strate	Abondance totale (en tonnes)		Abondance des juvéniles < 17 mm (en tonnes)		Abondance des reproducteurs ≥ 25 mm (en tonnes)		Biomasse exploitable ≥ 35 mm (en tonnes)	
	2018	2021	2018	2021	2018	2021	2018	2021
A	389,9	768,1	13,3	9,9	359,4	728,4	30,5	56,4
B	1251,5	1417,9	7,7	14,6	827,7	1171,6	11,3	18,6
C	747,1	909,6	4,5	11,8	662,9	818,2	32,9	15,3
D	505,1	432,1	6,3	9,1	391,5	388,2	18,6	23,1
E	619,6	580,3	1,9	5,2	593,7	553,6	51,6	52,4
F	52,0	48,3	1,4	1,3	45,5	41,4	2,2	10,3
G	140,2	366,0	1,4	7,7	125,9	338,4	25,0	24,2
H	297,6	214,3	0,4	2,0	288,5	203,6	24,4	17,5
I	118,2	318,6	0,3	3,7	110,4	300,9	49,9	78,4
J	178,5	170,1	2,3	1,9	155,0	162,0	9,9	20,5
S1	777,0	811,3	1,9	5,1	660,3	723,2	0,0	7,5
S4	538,5	299,8	8,0	3,8	381,9	218,9	4,8	11,8
S6	789,9	709,6	4,8	8,6	737,7	654,2	44,0	27,5
Z1	902,0	962,4	6,8	10,9	842,4	906,2	136,9	102,1
Z2	390,3	394,5	1,0	2,0	366,6	375,4	45,4	33,9
Z3	496,6	365,9	0,7	2,9	417,0	322,2	2,3	7,3
Total	8 194	8 769	63	101	6 966	7 906	490	507
K2	210,8	95,8	0,3	0,3	209,8	93,5	113,1	53,3
LHn	8,8	53,1	0,5	1,4	8,3	48,1	0,0	22,5
M2	48,7	229,8	0,8	1,1	47,9	221,7	4,4	40,1
N	163,1	339,4	4,6	4,3	99,0	241,1	0,0	0,0
RIO	138,3	286,1	1,0	2,1	123,8	274,6	35,7	27,5

Tableau 9. Évolution (en %) des indicateurs suivis de la palourde japonaise entre 2018 et 2021 pour les strates de référence et la zone de réserve de l'île aux Oiseaux (RIO). En gris : évolution positive entre 2018 et 2021.

Strate	Abondance totale (palourde japonaise)	Abondance des juvéniles < 17 mm	Abondance des reproducteurs ≥ 25 mm	Biomasse exploitable ≥ 35 mm
	En poids	En poids	En poids	En poids
A	97 %	-25%	103%	85%
B	13 %	88%	42%	65%
C	22 %	163%	23%	-54%
D	-14 %	44%	-1%	24%
E	-6 %	168%	-7%	2%
F	-7 %	-6%	-9%	375%
G	161 %	452%	169%	-3%
H	-28 %	417%	-29%	-28%
I	169 %	1057%	172%	57%
J	-5 %	-17%	5%	107%
S1	4 %	170%	10%	
S4	-44 %	-53%	-43%	147%
S6	-10 %	81%	-11%	-38%
Z1	7 %	59%	8%	-25%
Z2	1 %	98%	2%	-25%
Z3	-26 %	335%	-23%	218%
Total	7 %	60 %	13 %	3 %
K2	-55 %	-10 %	-55 %	-53 %
LHn	503 %	161 %	482 %	-
M2	372 %	27 %	363 %	820 %
N	108 %	-6 %	143 %	-
RIO	107 %	114 %	122 %	-23 %

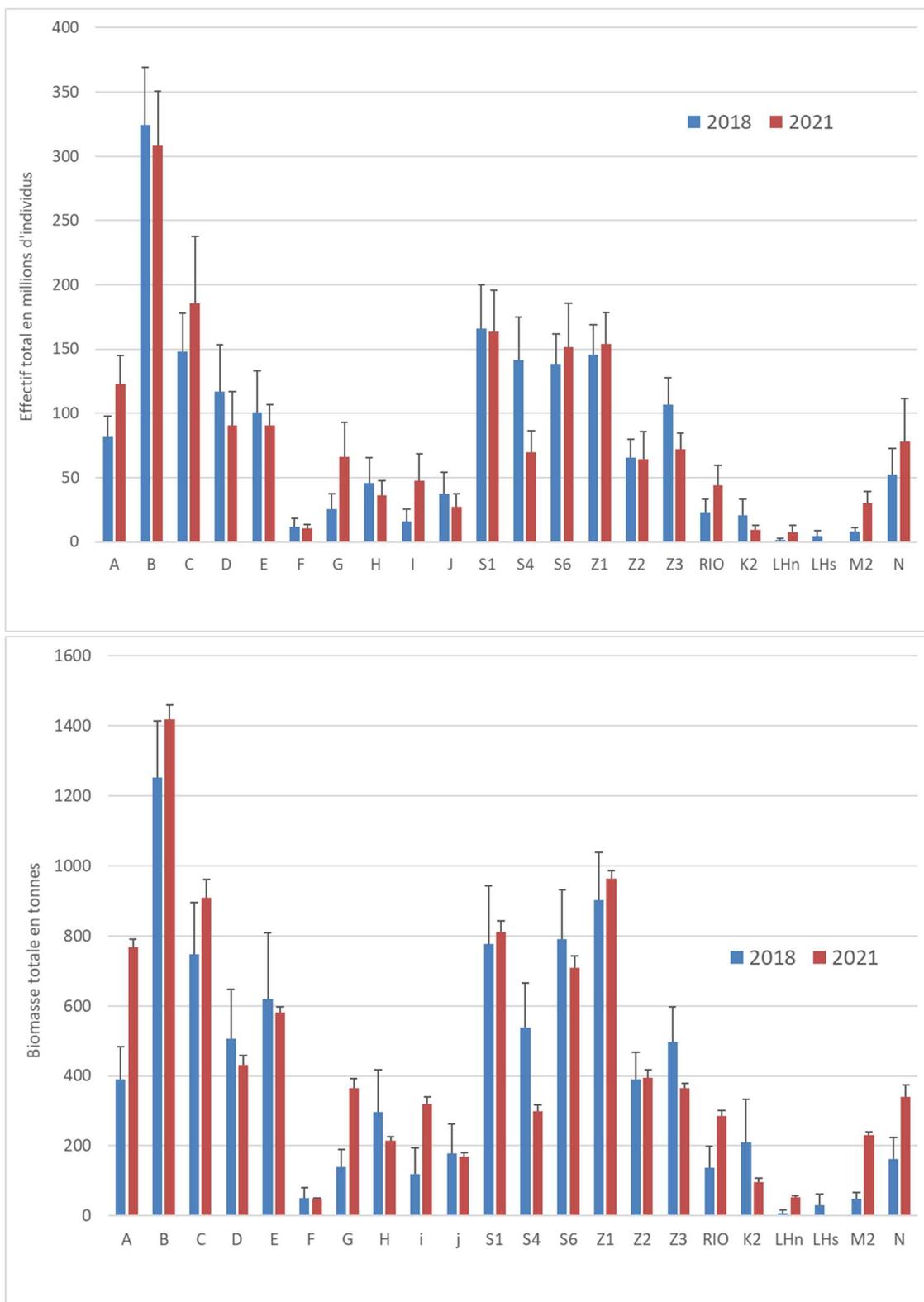


Figure 27. Effectif total et biomasse totale estimés par strate pour la palourde japonaise en 2018 et 2021 (chaque barre noire verticale représente l'écart type associé à l'abondance de la strate).

4.2.2 Cas des zones fermées à la pêche

La strate RIO enregistre une augmentation importante de tous les indicateurs suivis en comparaison aux valeurs obtenues en 2018 à l'exception de la biomasse exploitable toujours en baisse (Tableau 10). Au niveau réglementaire, cette zone est restée fermée à la pêche durant 5 ans (01/04/2009 - 01/07/2014, tableau 1), pour être réouverte ensuite durant 2 ans (02/07/2014 - 31/10/2016 ; arrêté préfectoral du 26/04/2014). De nouveau fermée à la pêche depuis le 01/11/2016, elle a fait l'objet d'ouvertures exceptionnelles sur quelques jours en décembre 2017.

La strate LHn correspond à une partie de la zone de réserve établie par l'arrêté préfectoral du 28/10/2016 (zone 2 - La Humeyre). Elle est fermée depuis le 01/11/2016. Seule la partie nord (strate LHn) a été échantillonnée en 2021. Les indicateurs calculés sont tous à la hausse par rapport à l'année 2018.

Tableau 10. Caractéristiques des zones fermées à la pêche en 2021 pour une sélection d'indicateurs.

Strate RIO - 3,15 km ² (32 stations)	2021	2018	2014	Proportion 2021 (en effectifs)	Caractéristiques en 2021
Abondance totale (en millions d'individus) toutes espèces	45	26	77	98 % japonaise 1 % européenne 0,4 % jaune	Longueur moyenne 26,6 mm Fraction exploitable (en poids) 9,6 % Fraction juvénile (en nombre) 13,4 %
Biomasse totale (en tonnes) toutes espèces	289	153	397		
Biomasse exploitable (en tonnes) palourde japonaise	27	36	126		
Abondance juvéniles (en millions d'individus) palourde japonaise	6	2	25		
Biomasse des reproducteurs (en tonnes)	275	124	349		

Strate LHn – 0,63 km ² (7 stations)	2021	2018	2014	Proportion 2021 (en effectifs)	Caractéristiques en 2021
Abondance totale (en millions d'individus) toutes espèces	8	2	-	100 % japonaise	Longueur moyenne 26,3 mm Fraction exploitable (en poids) 42 % Fraction juvénile (en nombre) 24 %
Biomasse totale (en tonnes) toutes espèces	53	9	-		
Biomasse exploitable (en tonnes) palourde japonaise	22	0	-		
Abondance juvéniles (en millions d'individus) palourde japonaise	2	1	-		
Biomasse des reproducteurs (en tonnes)	48	8	-		

4.2.3 Cas des zones supplémentaires

La strate K2 présente des indicateurs à la baisse par rapport à 2018 (de l'ordre de -55 %). Pour la strate M2, tous les indicateurs sont à un niveau plus élevé qu'en 2018 (>> 100 %). Sur la strate N (Branne), les abondances et les biomasses totales présentent des valeurs plus élevées qu'en 2018. Sur cette strate, la biomasse exploitable (palourdes de taille ≥ 35 mm) est nulle.

Tableau 11. Caractéristiques des zones supplémentaires échantillonnées en 2021 pour une sélection d'indicateurs.

Strate K2 - 2,4 km² (24 stations)	2021	2018	2014	2012	Proportion 2021 (en effectifs)	Caractéristiques en 2021
Abondance totale (en millions d'individus) toutes espèces	9	22	-	9,5	100 % japonaise	Longueur moyenne 31 mm Fraction exploitable (en poids) 56 % Fraction juvénile (en nombre) 9 %
Biomasse totale (en tonnes) toutes espèces	96	218	-	80		
Biomasse exploitable (en tonnes) palourde japonaise	53	113	-	27		
Abondance juvéniles (en millions d'individus) palourde japonaise	1	1	-	0,6		
Biomasse des reproducteurs (tonnes)	93	210		67		

Strate M2 - 1,4 km² (14 stations)	2021	2018	2014	2012	Proportion 2021 (en effectifs)	Caractéristiques en 2021
Abondance totale (en millions d'individus) toutes espèces	31	8	-	20	99 % japonaise 1 % européenne	Longueur moyenne 28 mm Fraction exploitable (en poids) 17 % Fraction juvénile (en nombre) 10 %
Biomasse totale (en tonnes) toutes espèces	232	49	-	134		
Biomasse exploitable (en tonnes) palourde japonaise	40	4	-	25		
Abondance juvéniles (en millions d'individus) palourde japonaise	3	1	-	0,5		
Biomasse des reproducteurs (en tonnes)	222	48	-	128		

Strate N - 1,2 km² (12 stations)	2021	2018	2014	2012	Proportion 2021 (en effectifs)	Caractéristiques en 2021
Abondance totale (en millions d'individus) toutes espèces	78	52	82	-	100 % japonaise	Longueur moyenne 24 mm Fraction exploitable (en poids) 0 % Fraction juvénile (en nombre) 9 %
Biomasse totale (en tonnes) toutes espèces	339	163	119	-		
Biomasse exploitable (en tonnes) palourde japonaise	0	0	0	-		
Abondance juvéniles (en millions d'individus) palourde japonaise	7	11	57	-		
Biomasse des reproducteurs (en tonnes)	241	99	69	-		

Le tableau 12 résume les principales grandeurs obtenues sur les 9 années de suivi.

Entre 2018 et 2021, on observe les évolutions suivantes :

- une densité moyenne toutes espèces confondues stable en nombre et en masse ;
- une biomasse de reproducteurs en progression et à un niveau haut ;
- un niveau de juvéniles en hausse ;
- un niveau de biomasse totale de palourde japonaise stable ;
- une biomasse exploitable stable mais qui demeure à un niveau bas par rapport à la série de données.

Tableau 12. Principales grandeurs obtenues sur les huit années de suivis pour les 16 strates de référence.

	2000 Aire prospectée 24 km ²	2003 Totalité	2006 Totalité	2008 Totalité	2010 Totalité	2012 Totalité	2014 Totalité	2018 Totalité	2021 Totalité	Évolution 2018/2021
Abondance moyenne toutes espèces (nombre d'individus.m ⁻²)	26	24	24	19	26	28	48	39	39	-
Biomasse moyenne toutes espèces (g.m ⁻²)	129	174	159	98	125	154	152	192	206	+7 %
Abondance totale toutes espèces (millions d'individus)	604	1 129	1 150	870	1 217	1 306	2 263	1 684	1 674	-0,6 %
Biomasse totale toutes espèces (tonnes)	2 975	8 095	7 608	4 615	5 858	7 230	7 138	8 242	8 827	+7 %
Biomasse totale palourde japonaise (tonnes)	2 890	7 992	7 307	4 457	5 773	7 144	7 063	8 194	8 769	+7 %
Part de la palourde japonaise (% des effectifs)	94 %	98 %	95 %	95 %	98 %	98 %	99 %	99 %	99 %	-
Biomasse exploitable palourde japonaise (tonnes)	690	2 730	1 710	1 159	916	723	807	490	507	+3 %
Abondance des reproducteurs palourde japonaise (millions d'individus) ⁵	-	-	888	485	668	956	909	1 125	1 118	-1 %
Biomasse des reproducteurs palourde japonaise (tonnes)	-	-	6 899	4 006	4 727	6 304	6 157	6 966	7 906	+13 %
Abondance de juvéniles palourde japonaise (millions d'individus)	-	51	69	180	129	30	1 151	128	276	+116 %
Biomasse de juvéniles palourde japonaise (tonnes)	-	-	32	126	79	20	436	63	101	+60 %
Longueur moyenne palourde japonaise (mm)	25,4	29,8	28,7	25,1	25,0	27,4	19,2	25,8	24,8	-
Longueur moyenne taille commerciale palourde japonaise (mm)	37,1	37	36,7	36,7	36,8	36,2	36,3	36	35,8	-

⁵ Valeurs incluant I et J à partir de 2008. Valeurs corrigées pour prendre les palourdes dont la longueur ≥ 25 mm. Sur les rapports précédents, les valeurs indiquées excluaient I et J et les calculs prenaient en compte les palourdes uniquement de longueur > 25 mm.

5 Bibliographie

- AUBY I., 1993. Évolution de la richesse biologique du bassin d’Arcachon. Rapport Société Scientifique d’Arcachon. Laboratoire d’Océanographie Biologique, Ifremer. Contrat SSA n°91 5 527 019, 222 p. + annexes.
- BERTHOU P., MAHE J.C., HUET J. et P. NOEL, 1997. Évaluation du Stock de Palourdes du golfe du Morbihan en 1997. Rapport interne Ifremer, 17 p.
- BEZ N., 2021. Estimation et plan d’échantillonnage. Application au stock de palourdes du bassin d’Arcachon. Rapport interne IRD/Ifremer, 15 p.
- BROWN J.A., ROBERTSON B.L., McDONALD T., 2015. Spatially balanced sampling: application to environmental surveys, in: Spatial Statistics Conference, 2015, vol. 27, 6-9.
- CAILL-MILLY N., DE CASAMAJOR M.N., LISSARDY M., MORANDEAU G. et F. SANCHEZ, 2003. Évaluation du stock de palourdes du bassin d’Arcachon. Rapport interne Ifremer DCN/HGS/LRHA, 44 p.
- CAILL-MILLY N., DUCLERCQ B. et G. MORANDEAU, 2006. Campagne d’évaluation du stock de palourdes du Bassin d’Arcachon – année 2006. Rapport interne Ifremer DCN/HGS/LRHA, 51 p.
- CAILL-MILLY N., BOBINET J., LISSARDY M., MORANDEAU G. et SANCHEZ F., 2008. Campagne d’évaluation du stock de palourdes du Bassin d’Arcachon – année 2008. Rapport interne Ifremer DCN/HGS/LRHA, 66 p.
- CAILL-MILLY N., D’AMICO F., N. BRU, 2010. Relationship between the state of the Manila clam’s (*Ruditapes philippinarum*) stock and socio-ecosystem factors in the Bay of Arcachon by using complementary multivariate descriptive approaches, ICES CM 2010/G:40, 2010 ICES Annual Science Conference, 20-24 September, Nantes, France, poster.
- CAILL-MILLY N., 2012. Relations entre l’état d’une ressource et son exploitation *via* la compréhension et la formalisation des interactions de socio-écosystèmes. Application à la palourde japonaise (*Venerupis philippinarum*) du bassin d’Arcachon. Thèse UPPA, 199 p.
- CAILL-MILLY N., SANCHEZ F., LISSARDY M., DE MONTAUDOUIN X., BRU N., KERMORVANT C., GANTHY F., 2021. Drawing lessons from a pluridisciplinary approach associating stakeholders for a better management of a bivalve population (french atlantic coast)? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 251, 107194, 12 p.
- CAILL-MILLY N., SANCHEZ F., 2021. Relation taille-poids frais de la palourde japonaise du bassin d’Arcachon – Année 2021. Rapport interne Ifremer ODE/LITTORAL/LERAR 21.019, 9 p.
- COCHRAN W.G., 1977. Sampling techniques (Third edition) John Wiley & Sons, 428 pages.
- DANG C., 2009. Dynamique des populations de palourdes japonaises (*Ruditapes philippinarum*) dans le Bassin d’Arcachon. Conséquences sur la gestion des populations exploitées. Thèse Univ. Bordeaux 1, 356 p.
- KERMORVANT C., 2016. Optimisation de protocoles d’échantillonnage appliqués aux suivis de ressources exploitées dans les substrats meubles, exemple du stock de palourdes dans le bassin d’Arcachon. Rapport Master 2 Dynamique des écosystèmes aquatiques, Univ. De Pau et des Pays de l’Adour, 20 p.

KERMORVANT C., CAILL-MILLY N., D'AMICO F., BRU N., SANCHEZ F., LISSARDY M., BROWN J., 2017. Optimization of a survey using spatially balanced sampling: a single-year application of clam monitoring in the Arcachon Bay (SW France). *Aquatic Living Resources*, 30(11), 37: 1-11.

KERMORVANT C., 2019. Optimisation de protocoles d'échantillonnage appliqués aux suivis de la biodiversité et des ressources. Thèse UPPA, 159 p.

POPOVSKY J., GALLET F. et F. PAUTRIZEL, 1999. État des suivis et des évaluations des stocks de coquillages en élevage et des gisements naturels dans les bassins conchylicoles de la façade Adria. Rapport Observatoire des pêches et des cultures marines du golfe de Gascogne, 91 p.

ROBERT R. et J.-P. DELTREIL, 1990. Élevage de la Palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* dans le bassin d'Arcachon, bilan des dix dernières années et perspectives de développement, Rapport interne Ifremer, RIDRV-90.40-RA/Arcachon, 21 p.

SANCHEZ F., CAILL-MILLY N., LISSARDY M., DE CASAMAJOR M.N., MORANDEAU G., 2010. Campagne d'évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon. Année 2010. Rapport Ifremer RBE/HGS/LRHA, 47 p.

SANCHEZ F., CAILL-MILLY N., DE CASAMAJOR M.N., LISSARDY M., BINIAS C., BRU N., 2013. Campagne d'évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon. Année 2012. Rapport Ifremer RBE/HGS/LRHA, 45 p.

SANCHEZ F., CAILL-MILLY N., LISSARDY M., BRU N., 2014. Campagne d'évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon. Année 2014. Rapport Ifremer RBE/HGS/LRHA, 48 p.

SANCHEZ F., CAILL-MILLY N., LISSARDY M., 2018. Campagne d'évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon. Année 2018. Rapport Ifremer ODE/UL/LERAR, 61 p.

STEVENS D.L., OLSEN A.R., 2003. Variance estimation for spatially balanced samples of environmental resources. *Environmetrics*, 14, 593 – 610.

STEVENS D.L., OLSEN A.R., 2004. Spatially balanced sampling of natural resources. *Journal of the American Statistical Association*, 99, 262 – 278.

Annexe 1 - Photos de la campagne 2021 (© Ifremer/A. Régimbart et F. Sanchez)



Benne Hamon.



Rinçage et tamisage du sédiment.



Enregistrement de la taille des palourdes au pied à coulisse électronique Mitutoyo.

Annexe 2 - Échantillonnage stratifié à deux niveaux pour l'évaluation directe des mollusques bivalves (in Berthou et al., 1997) et échantillonnage stratifié à un niveau

Pour les strates avec deux prélèvements par station, l'échantillonnage est stratifié et comporte deux niveaux ; les strates sont spatiales, les unités secondaires sont de taille constante.

Taux d'échantillonnage

Unités primaires : les unités primaires correspondent aux stations ou points géographiques tirés au hasard dans la strate. Pour une strate h donnée, le taux d'échantillonnage à ce niveau, désigné par f_{1h} est :

$$f_{1h} = \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h} \quad (1)$$

avec : n_h = nombre de points dans la strate

S_h = Surface totale de la strate

R = Rayon d'activité du bateau de prélèvement autour des coordonnées du point moyen demandé (« point théorique »). On suppose, en fait, que le navire travaille dans un cercle autour d'un point. Ce rayon est une fonction croissante de la longueur du bateau et de la fiabilité des moyens de navigation mis en œuvre (ici GPS) ; le rôle du patron (aptitude de navigation, adaptation aux appareils, etc.) doit également intervenir, mais il est difficile à quantifier. En l'absence d'éléments précis, la valeur de ce rayon était fixée arbitrairement à 25 mètres. En 2003, nous avons ramené ce rayon à 12 mètres car il correspond à la longueur du navire utilisé pour la campagne.

Unités secondaires : les unités secondaires correspondent aux coups de benne Hamon réalisés par point. Dans la strate h , le taux d'échantillonnage à ce niveau, désigné par f_2 est égal à :

$$f_2 = \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (2)$$

avec : k = nombre de coups de benne par point (ou station), fixé ici à deux.
 R = rayon d'activité

Nombre d'échantillons par niveau

Premier niveau : soit N_h le nombre total de points réalisables dans la strate. On doit avoir :

$$f_{1h} = \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h} = \frac{n_h}{N_h} \quad \text{et donc} \quad N_h = \frac{S_h}{\pi \cdot R^2} \quad (3)$$

La probabilité d'intersection entre deux unités d'échantillonnage a été considérée comme nulle.

Deuxième niveau : le nombre potentiel d'unités d'échantillonnage est :

$$4 \cdot \pi \cdot R^2$$

Estimateurs

Pour une strate h donnée, l'estimateur de l'effectif moyen ou de la biomasse moyenne sur 0.25 m^2 représenté par \bar{x}_h est :

$$\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \bar{x}_{ih}}{n_h} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^k x_{ijh}}{k \cdot n_h} \quad (4)$$

x_{ijh} est l'effectif capturé par coup de benne j , réalisé sur le point i de la strate h .

Pour le calcul d'une estimation de la variance associée, on fera appel aux notions d'espérance et de variance conditionnelles. La formulation générale du problème (Cochran, 1977) donne (E désignant l'espérance mathématique, V la variance et $\hat{\theta}$ un estimateur) :

$$V(\hat{\theta}) = V_1(E_2(\hat{\theta})) + E_1(V_2(\hat{\theta})) \quad (5)$$

La variance est constituée de deux termes. Le premier se rapporte à la variance entre les unités primaires (variance inter-unité), le second se réfère aux unités secondaires au sein des unités primaires (variance intra-unité).

Dans notre cas, le premier terme à droite de l'équation (5) est :

$$V_1\left[E_2\left(\bar{x}_h\right)\right] = \left(1 - \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h}\right) \cdot \frac{S_{1h}^2}{n_h} \quad (6)$$

En considérant que l'échantillonnage au deuxième niveau est aléatoire simple, on obtient :

$$V_2\left(\bar{x}_h\right) = \left(1 - \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot R^2}\right) \cdot \frac{1}{n_h^2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_h} S_{2ih}^2}{k} \quad (7)$$

E_1 de l'équation (5) se présente comme suit :

$$E_1\left[\frac{\sum_{i=1}^{n_h} S_{2ih}^2}{n_h}\right] = \frac{\sum_{i=1}^{N_h} S_{2ih}^2}{N_h} = S_{2h}^2 \quad (8)$$

donc :

$$E_1\left[V_2\left(\bar{x}_h\right)\right] = \left(1 - \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot R^2}\right) \cdot \frac{S_{2h}^2}{k \cdot n_h} \quad (9)$$

Finalement, la variance de l'estimateur est égale à :

$$V\left(\bar{x}_h\right) = \left(1 - \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h}\right) \cdot \frac{S_{1h}^2}{n_h} + \left(1 - \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot R^2}\right) \cdot \frac{S_{2h}^2}{k \cdot n_h} \quad (10)$$

Pour estimer cette variance à partir de l'échantillon existant, il est nécessaire de disposer d'une estimation non biaisée de S_h^2 et S_{2h}^2 . Cochran (1977) montre qu'un estimateur non biaisé de S_h^2 est donné par :

$$s_{1h}^2 - \left(1 - \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot R^2}\right) \cdot \frac{s_{2h}^2}{k} \quad (11)$$

avec :

$$s_{1h}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (\bar{x}_{ih} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1} \quad (12)$$

$$s_{2h}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^k (x_{hj} - \bar{x}_{ih})^2}{n_h \cdot (k - 1)} \quad (13)$$

Finalement, l'expression de la variance de l'estimateur s'écrit :

$$V\left(\bar{x}_h\right) = \left(1 - \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h}\right) \cdot \frac{s_{1h}^2}{n_h} + \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h} \cdot \left(1 - \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot R^2}\right) \cdot \frac{s_{2h}^2}{k \cdot n_h} \quad (14)$$

L'estimateur effectif (ou biomasse) total(e) sur la strate h , désigné par T_h est donné par :

$$T_h = 4 \cdot S_h \cdot \bar{x}_h \quad (15)$$

et la variance correspondante est égale à :

$$V(T_h) = 16 \cdot S_h^2 \cdot V\left(\bar{x}_h\right) \quad (16)$$

Pour les strates avec un prélèvement par station, le taux d'échantillonnage est simple (échantillonnage structuré à un seul niveau) et conduit à de nombreuses simplifications. Avec les notations présentées précédemment, l'estimateur de l'effectif moyen ou de la biomasse moyenne sur 0.25 m² est alors :

$$\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i}{n_h} \quad (17)$$

x_i = effectif ou biomasse par coup de benne

n_h = nombre de points dans la strate h

Pour la variance, seule subsiste la variance entre les unités primaires (variance inter-unités) et le rayon d'action du navire n'intervient plus dans le calcul. Dans ces conditions, la variance est :

$$V(\bar{x}_h) = \frac{S_h^2}{n_h} \quad (18)$$

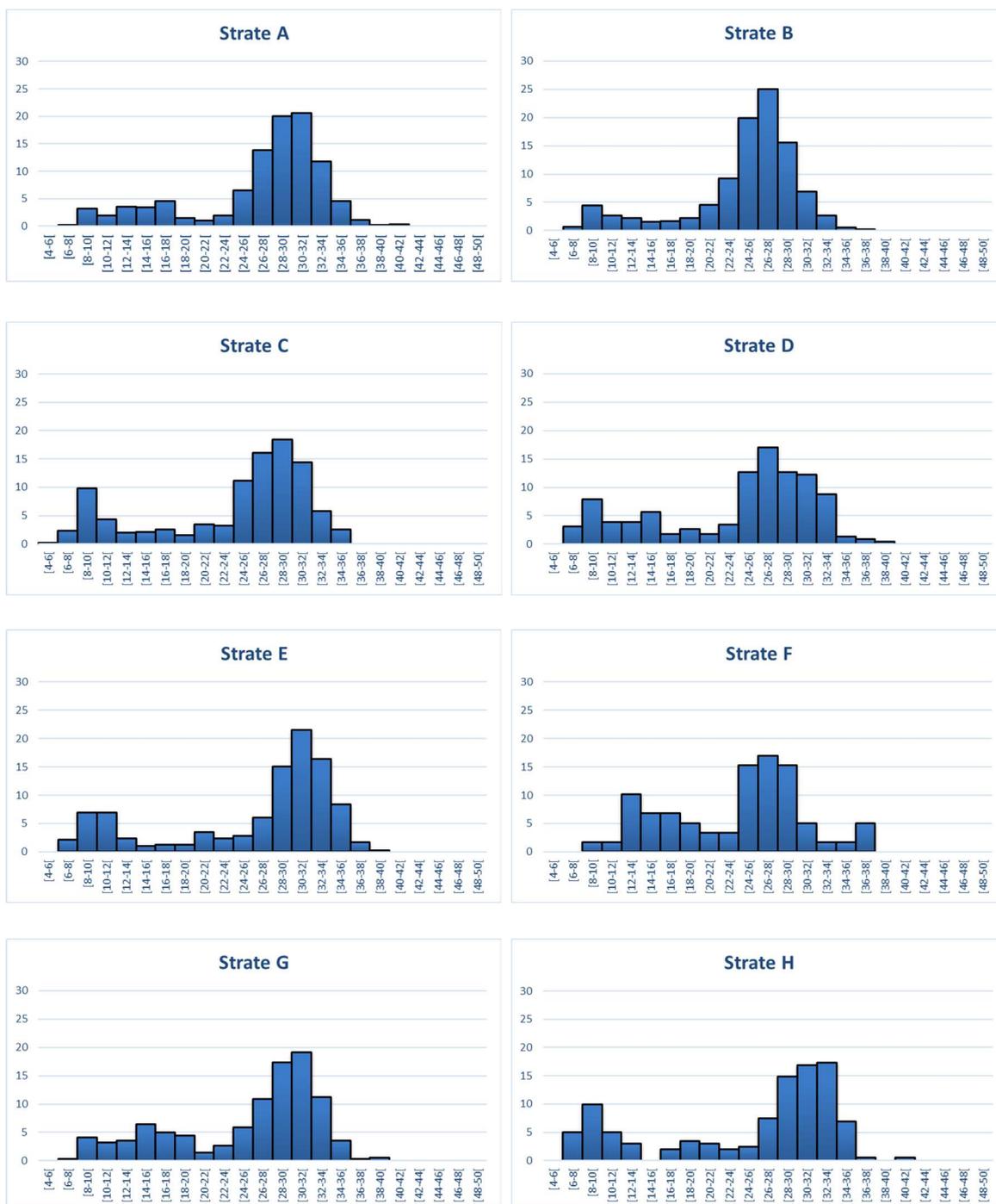
s_h = variance relative à la strate h

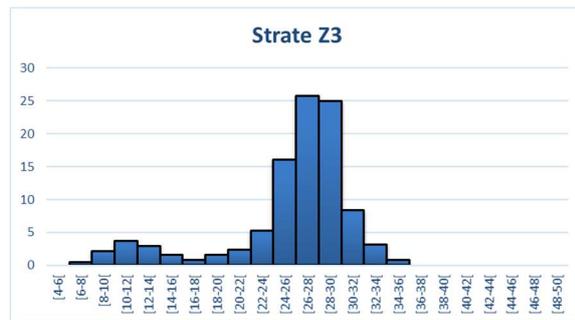
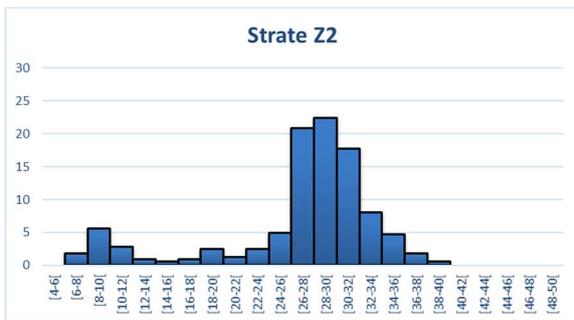
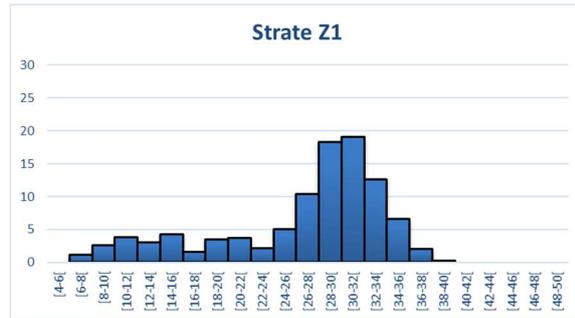
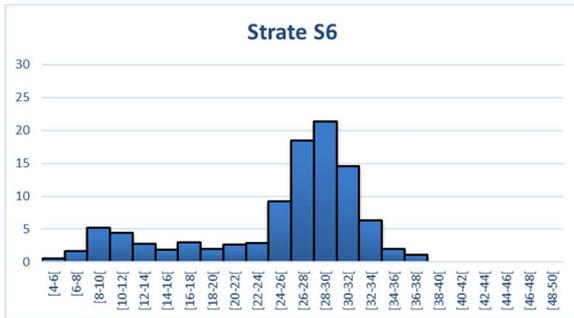
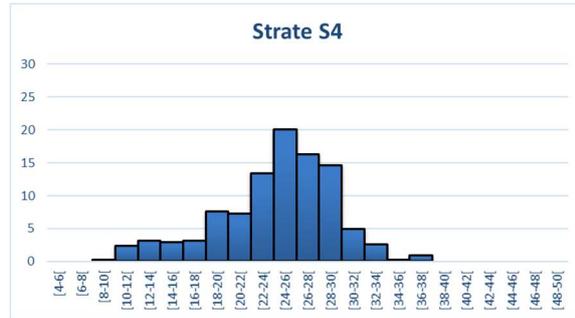
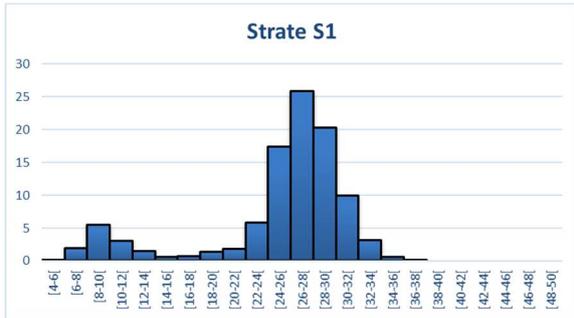
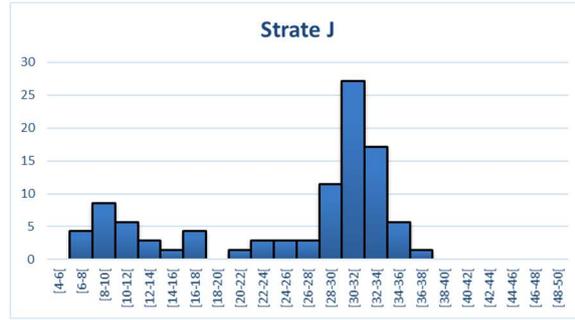
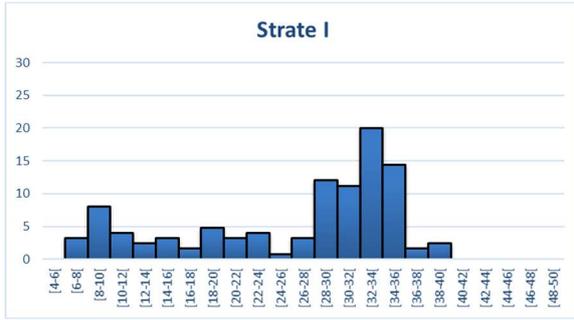
L'estimateur effectif (ou biomasse) total(e) sur la strate h et la variance correspondante, sont par conséquent :

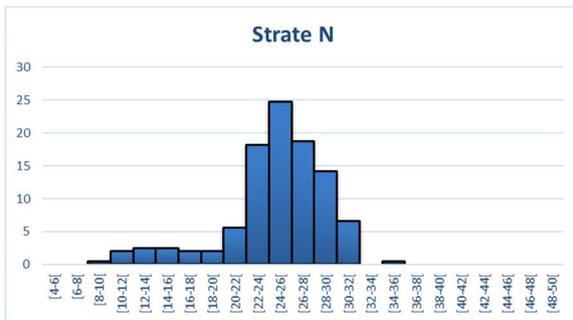
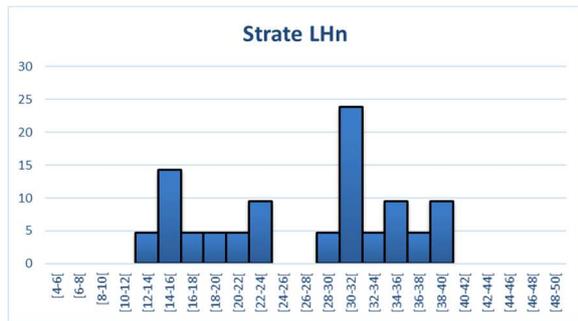
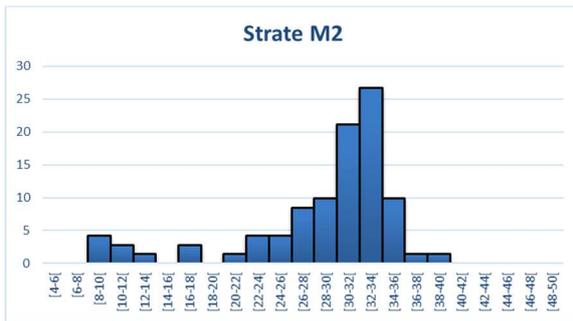
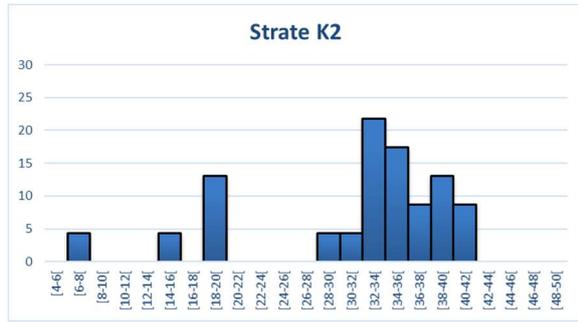
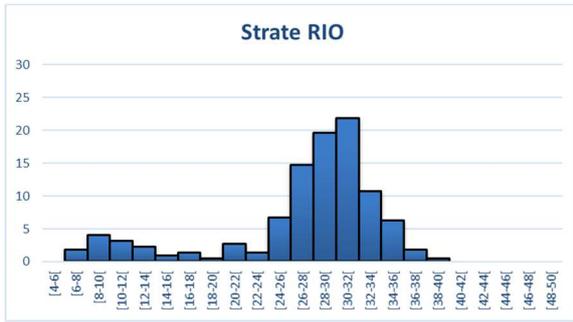
$$T_h = 4 \cdot S_h \cdot \bar{x}_h \quad (19)$$

$$V(T_h) = 16 \cdot S_h^2 \cdot V\left(\bar{x}_h\right) \quad (20)$$

Annexe 3 - Histogrammes de fréquence de taille des palourdes japonaises échantillonnées dans les différentes strates (en abscisse classe de taille en mm, en ordonnée % des effectifs) en 2021







Annexe 4 - Tableaux des résultats sur les abondances et les biomasses par strate et par espèce

Palourde européenne

strate	surface (km ²)	nombre de stations	effectif /0,25m ²	écart-type	biomasse (g)/0,25m ²	écart-type	effectif total (en millions)	écart-type	biomasse totale (tonnes)	écart-type
A	5,55	56	0,03	0,03	0,07	0,07	0,60	0,60	1,57	1,57
B	7,33	74	0,05	0,02	0,17	0,08	1,39	0,64	5,11	2,32
C	4,89	49	0,08	0,06	0,32	0,23	1,60	1,12	6,34	4,46
D	4,05	41	0,07	0,04	0,66	0,38	1,19	0,67	10,78	6,14
E	1,95	20	0,13	0,07	0,71	0,42	0,98	0,56	5,59	3,31
F	0,63	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G	0,87	9	0,17	0,08	0,75	0,41	0,58	0,29	2,61	1,44
H	1,17	13	0,08	0,05	0,43	0,30	0,36	0,24	2,00	1,40
I	0,85	9	0,22	0,15	0,99	0,86	0,76	0,50	3,39	2,94
J	0,78	8	0,25	0,16	1,87	1,22	0,78	0,51	5,86	3,84
S1	2,00	21	0,07	0,04	0,28	0,16	0,57	0,31	2,21	1,30
S4	4,97	49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S6	2,69	27	0,04	0,03	0,09	0,08	0,40	0,28	1,02	0,88
Z1	2,20	24	0,13	0,07	0,82	0,55	1,10	0,61	7,20	4,82
Z2	1,59	16	0,03	0,03	0,14	0,14	0,20	0,20	0,86	0,86
Z3	1,33	14	0,04	0,04	0,09	0,09	0,19	0,19	0,49	0,49
total	42,87	437	0,06		0,32		10,7	2,01	55,03	11,42
K2	2,38	24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LHn	0,63	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	1,38	13	0,08	0,08	0,41	0,41	0,43	0,43	2,27	2,27
N	1,18	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RIO	3,15	32	0,05	0,03	0,24	0,18	0,59	0,43	2,98	2,22

Palourde japonaise

strate	surface (km ²)	nombre de stations	effectif /0,25m ²	écart-type	biomasse (g)/0,25m ²	écart-type	effectif total (en millions)	écart-type	biomasse totale (tonnes)	écart-type
A	5,55	56	5,54	1,00	34,58	6,45	122,98	22,25	768,13	143,29
B	7,33	74	10,52	1,45	48,37	6,65	308,38	42,37	1417,92	194,82
C	4,89	49	9,51	2,65	46,53	14,48	185,93	51,81	909,61	283,07
D	4,05	41	5,59	1,61	26,64	7,50	90,58	26,14	432,08	121,59
E	1,95	20	11,60	2,06	74,25	15,23	90,65	16,13	580,26	119,02
F	0,63	7	4,21	1,29	19,21	5,19	10,60	3,25	48,30	13,06
G	0,87	9	18,89	7,70	104,91	43,46	65,90	26,87	366,03	151,63
H	1,17	13	7,77	2,35	45,76	13,36	36,38	10,99	214,27	62,58
I	0,85	9	13,89	6,11	93,20	39,78	47,48	20,89	318,62	136,00
J	0,78	8	8,75	3,19	54,20	21,23	27,46	10,01	170,11	66,62
S1	2,00	21	20,48	3,99	101,39	19,63	163,85	31,96	811,29	157,11
S4	4,97	49	3,50	0,84	15,07	3,94	69,60	16,73	299,77	78,43
S6	2,69	27	14,07	3,18	65,95	13,01	151,43	34,20	709,58	140,04
Z1	2,20	24	17,52	2,78	109,38	18,65	154,16	24,43	962,41	164,08
Z2	1,59	16	10,06	3,43	61,90	17,17	64,14	21,84	394,54	109,46
Z3	1,33	14	13,57	2,41	68,88	12,31	72,09	12,82	365,88	65,36
total	42,87	437	9,69		51,13		1661,60	104,96	8768,81	557,85
K2	2,38	24	0,96	0,37	10,07	4,10	9,11	3,55	95,76	38,99
LHn	0,63	7	3,00	2,08	21,04	13,14	7,57	5,25	53,08	33,13
M2	1,38	13	5,46	1,62	41,56	13,42	30,21	8,96	229,84	74,21
N	1,18	12	16,50	7,09	71,63	36,98	78,17	33,60	339,37	175,17
RIO	3,15	32	3,50	1,23	22,73	7,92	44,06	15,47	286,10	99,69

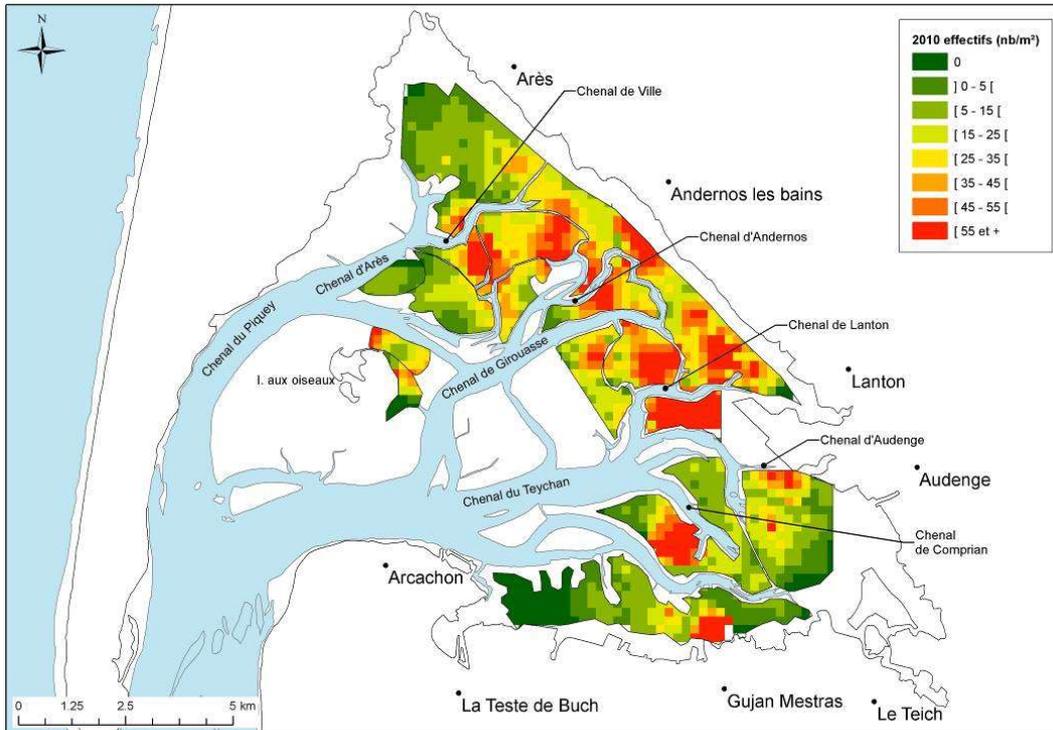
Palourde jaune

strate	surface (km ²)	nombre de stations	effectif /0,25m ²	écart-type	biomasse (g)/0,25m ²	écart-type	effectif total (en millions)	écart-type	biomasse totale (tonnes)	écart-type
A	5,55	56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B	7,33	74	0,01	0,01	0,03	0,03	0,20	0,20	0,77	0,77
C	4,89	49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D	4,05	41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E	1,95	20	0,03	0,02	0,09	0,09	0,20	0,20	0,71	0,71
F	0,63	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G	0,87	9	0,06	0,06	0,15	0,15	0,19	0,19	0,53	0,53
H	1,17	13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I	0,85	9	0,11	0,11	0,17	0,17	0,38	0,38	0,58	0,58
J	0,78	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S1	2,00	21	0,02	0,02	0,06	0,06	0,19	0,19	0,48	0,48
S4	4,97	49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S6	2,69	27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Z1	2,20	24	0,04	0,03	0,06	0,04	0,37	0,25	0,57	0,40
Z2	1,59	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Z3	1,33	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
total	42,87	437	0,01		0,02		1,52	0,60	3,65	1,45
K2	2,38	24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LHn	0,63	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	1,38	13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N	1,18	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RIO	3,15	32	0,02	0,02	0,02	0,02	0,20	0,20	0,24	0,24

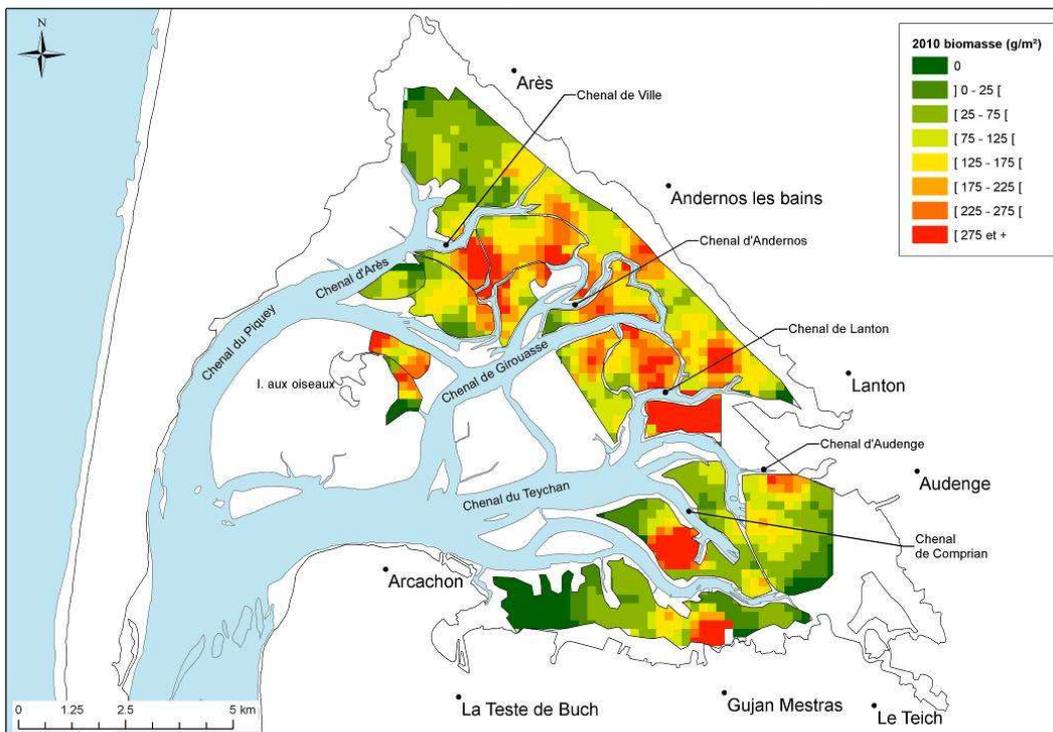
Toutes palourdes confondues

strate	surface (km ²)	nombre de stations	effectif /0,25m ²	écart-type	biomasse (g)/0,25m ²	écart-type	effectif total (en millions)	écart-type	biomasse totale (tonnes)	écart-type
A	5,55	56	5,56	1,01	34,65	6,45	123,57	22,33	769,69	143,38
B	7,33	74	10,57	1,45	48,57	6,65	309,96	42,42	1423,81	194,79
C	4,89	49	9,59	2,69	46,85	14,63	187,53	52,56	915,96	286,04
D	4,05	41	5,66	1,62	27,31	7,59	91,76	26,29	442,86	123,06
E	1,95	20	11,75	2,10	75,06	15,38	91,82	16,41	586,56	120,19
F	0,63	7	4,21	1,29	19,21	5,19	10,60	3,25	48,30	13,06
G	0,87	9	19,11	7,73	105,81	43,67	66,68	26,96	369,17	152,37
H	1,17	13	7,85	2,34	46,19	13,38	36,74	10,97	216,28	62,65
I	0,85	9	14,22	6,19	94,36	40,19	48,62	21,16	322,59	137,38
J	0,78	8	9,00	3,28	56,07	21,84	28,25	10,29	175,97	68,54
S1	2,00	21	20,57	4,03	101,72	19,74	164,61	32,21	813,98	157,92
S4	4,97	49	3,50	0,84	15,07	3,94	69,60	16,73	299,77	78,43
S6	2,69	27	14,11	3,18	66,04	13,03	151,83	34,20	710,60	140,16
Z1	2,20	24	17,69	2,80	110,26	18,80	155,63	24,59	970,18	165,39
Z2	1,59	16	10,09	3,45	62,03	17,25	64,34	21,98	395,40	109,98
Z3	1,33	14	13,61	2,42	68,98	12,32	72,28	12,85	366,37	65,45
total	42,87	437	9,76		51,48		1673,81	105,70	8827,49	561,48
K2	2,38	24	0,96	0,37	10,07	4,10	9,11	3,55	95,76	38,99
LHn	0,63	7	3,00	2,08	21,04	13,14	7,57	5,25	53,08	33,13
M2	1,38	13	5,54	1,64	41,97	13,51	30,63	9,09	232,11	74,72
N	1,18	12	16,50	7,09	71,63	36,98	78,17	33,60	339,37	175,17
RIO	3,15	32	3,56	1,23	22,98	7,90	44,84	15,47	289,32	99,50

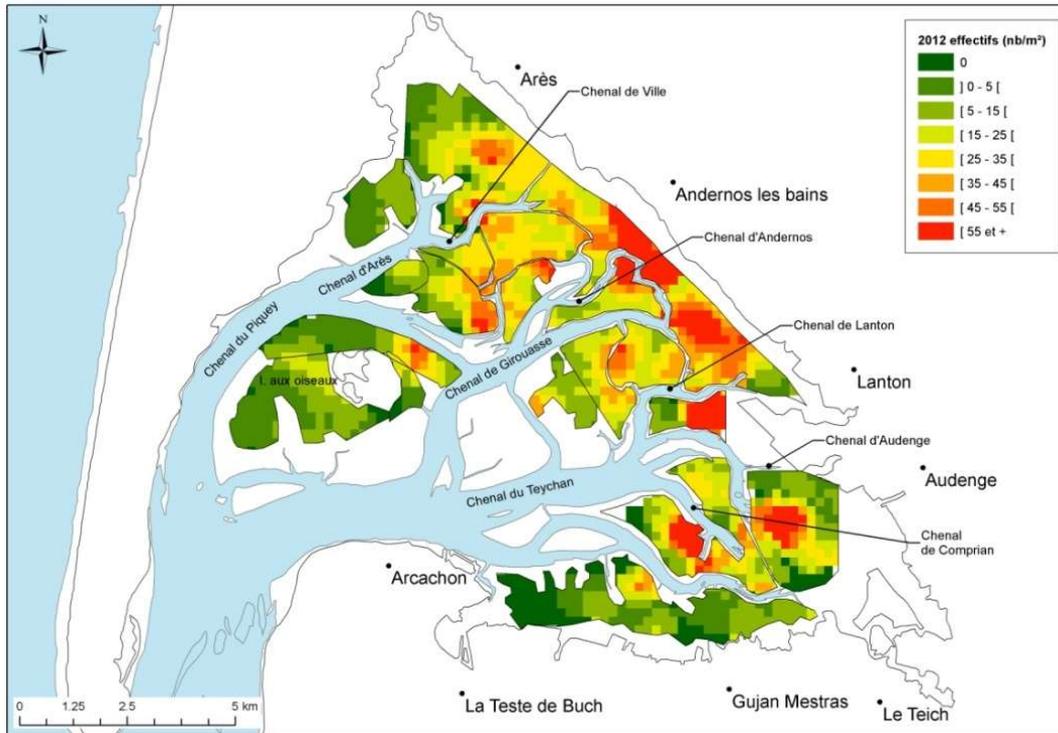
Annexe 5 - Répartition des densités de palourde japonaise (en effectifs et en biomasses) pour les années 2010, 2012, 2014 et 2018 (cartes élaborées sous ArcGis 10.3 à partir des calculs effectués avec le package RGeostats)



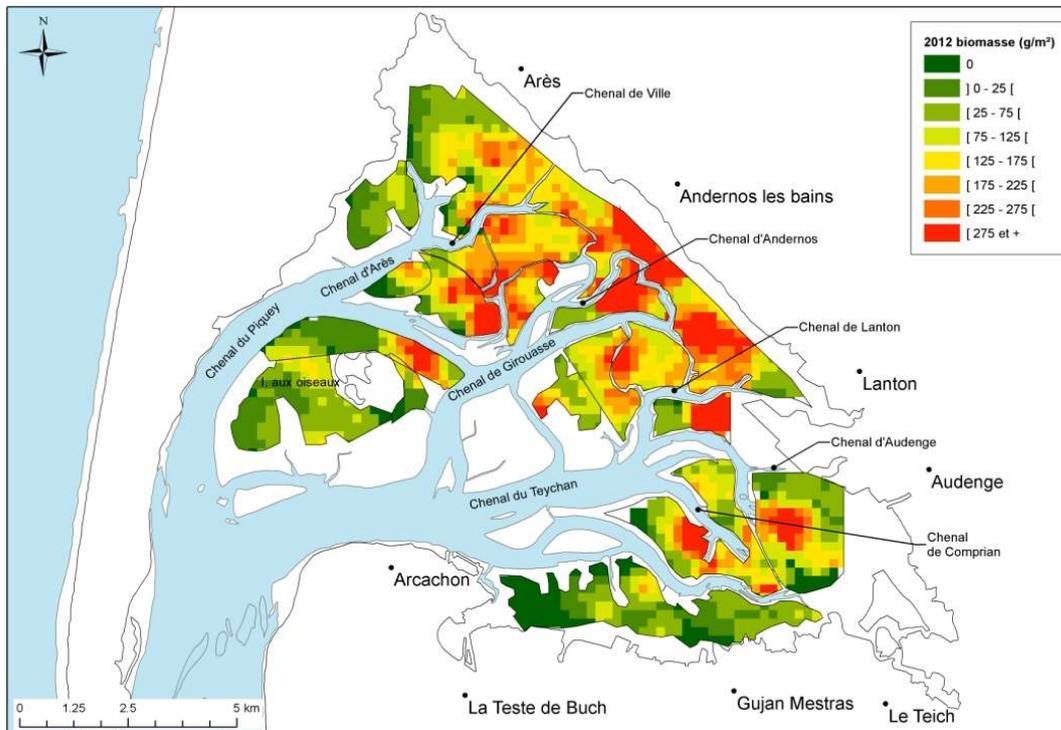
Carte des densités interpolées (en nb.m⁻²) pour la campagne 2010



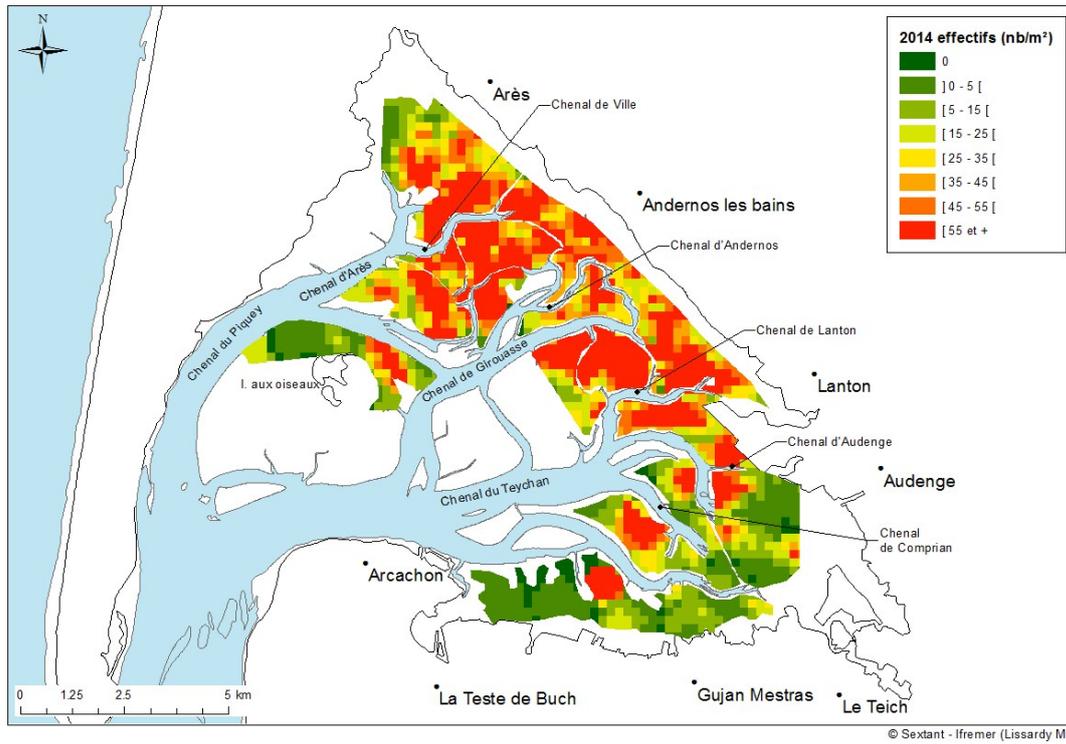
Carte des densités interpolées (en g.m⁻²) pour la campagne 2010



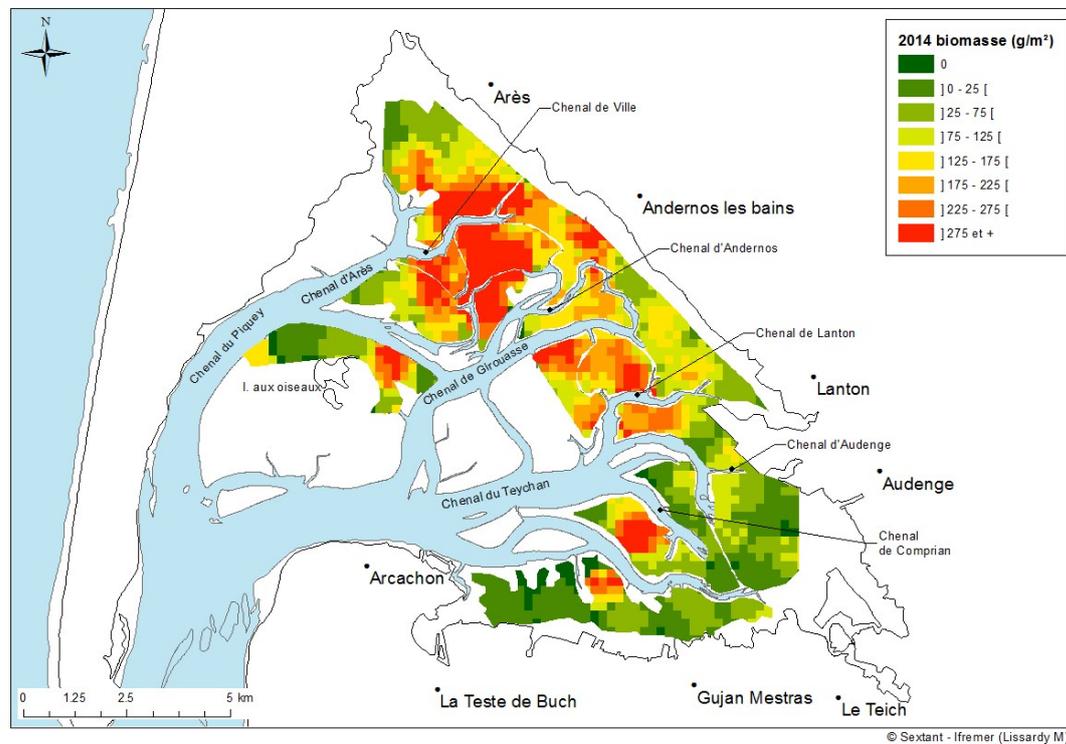
Carte des densités interpolées (en nb.m⁻²) pour la campagne 2012



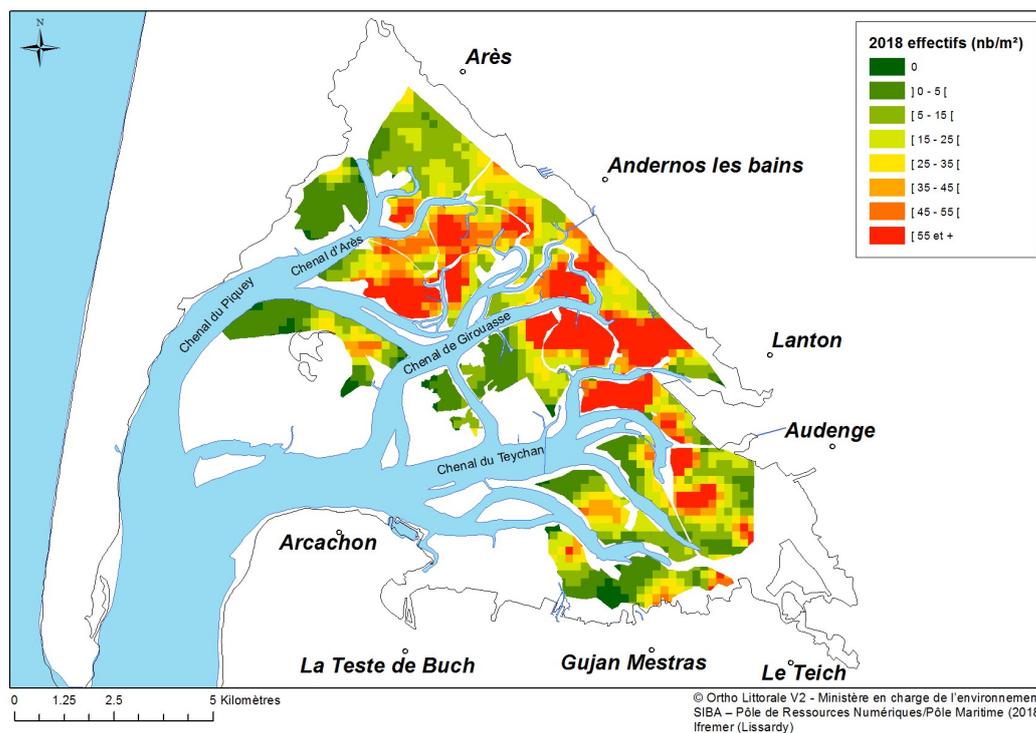
Carte des densités interpolées (en g.m⁻²) pour la campagne 2012



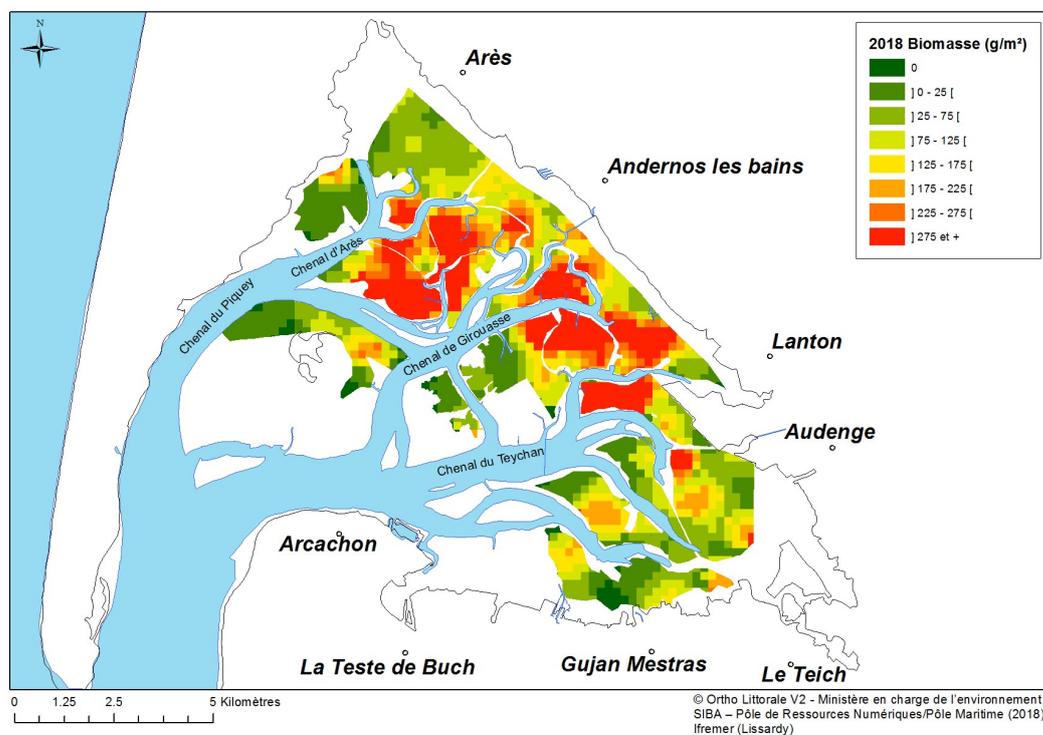
Carte des densités interpolées (en nb.m⁻²) pour la campagne 2014



Carte des densités interpolées (en g.m⁻²) pour la campagne 2014



Carte des densités interpolées (en nb.m⁻²) pour la campagne 2018



Carte des densités interpolées (en g.m⁻²) pour la campagne 2018