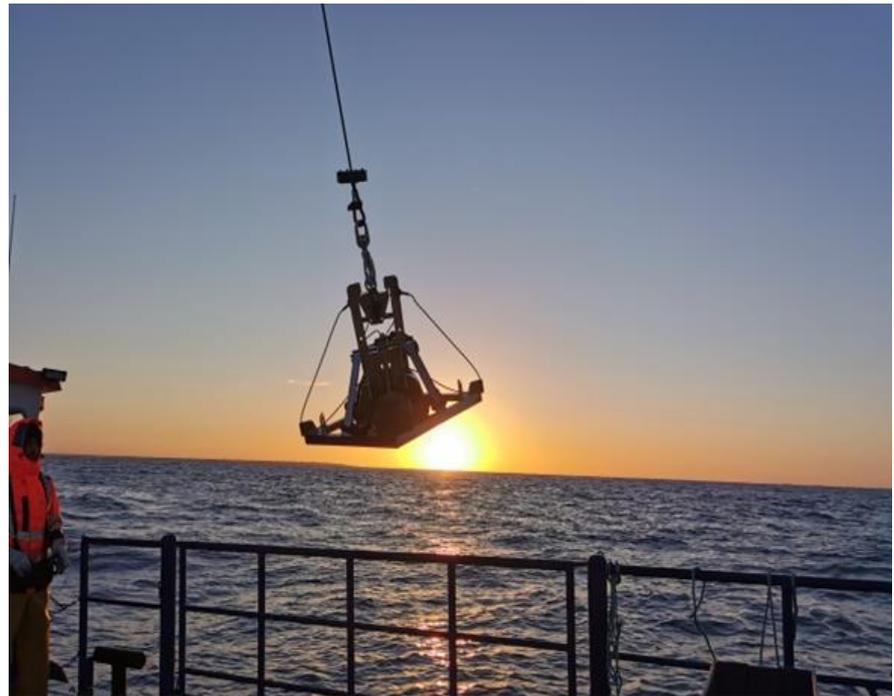


Inventaire des peuplements benthiques sur les zones de dragage et sur le site d'immersion de la Lambarde

2022



Rapport final

2023



BIO-LITTORAL

Écologie en environnements marin et estuarien
Siret 479 506 404 000 17

Siège social

3 place du Patureau
44 240 La Chapelle sur Erdre

Tel : 09 82 43 12 85

Laboratoires

2, rue du Château de l'Eraudière
Immeuble Le Nevada CS 80693
44 306 Nantes Cedex 3

E-mail : al.barille@bio-littoral.fr



Titre :	
Inventaire des peuplements benthiques sur les zones de dragage et sur le site d'immersion de la Lambarde et son voisinage en 2022.	
Marché : 19045	Commande : 215321
Auteurs principaux : A.L. Barillé; N. Harin	Organisme Bio-Littoral 
Collaborateurs : M. Delemarre ; N. Truhaus ; C. Guedes, B Devienne.	Organisme Bio-Littoral 
Résumé :	
<p>Le Port de Nantes Saint-Nazaire (PNSN) réalise des dragages d'entretien du chenal de la Loire, dans le but de garantir un accès sécurisé aux navires. La majeure partie des sédiments dragués en estuaire de Loire est immergée sur le site de la Lambarde situé à 20 km au large de Saint Nazaire.</p> <p>Afin d'évaluer les incidences des opérations de dragage et d'immersion sur l'environnement, des inventaires de la faune benthique sont réalisés depuis 2004. Les derniers en date ont été réalisés en novembre 2022, dans l'estuaire de la Loire (23 stations, 98 espèces sur les 7977 organismes récoltés) et sur la zone d'immersion comprenant son extension validée dans l'arrêté d'avril 2013, ainsi que sur les secteurs susceptibles d'être impactés par les immersions tels que définis dans les suivis antérieurs (29 anciennes stations + 6 nouvelles stations), 351 espèces identifiées sur les 46 545 organismes identifiés.</p> <p>En 2015, la crue de mars avait certainement emporté une partie de la faune benthique du chenal ce qui explique que l'on n'ait récolté 10 fois moins d'organismes et seulement 55 espèces. La faible hydraulité de la Loire en 2017, 2019 et 2022, explique les fortes densités rencontrées dans le chenal.</p> <p>Une analyse des différents suivis antérieurs a mis en exergue une différence de protocole jusqu'en 2013 qui rend difficile l'interprétation de l'évolution de la faune benthique entre 2004 et 2013. Les suivis de 2013, 2015, 2017, 2019 et 2022 sont identiques et permettent de suivre une évolution des peuplements benthiques sous l'influence d'une activité anthropique (dragage en Loire et immersion en mer).</p> <p>La faune benthique extraite avec les vases du chenal de la Loire, est pauvre en espèces et représente une biomasse trop faible pour participer de manière importante au fonctionnement écologique de l'estuaire de la Loire qui est basé essentiellement sur la production benthique des vasières intertidales. Les fortes valeurs de matières organiques observées en 2017, 2019 et 2022 dans le secteur de Paimboeuf pourraient être liées au ruisseau de l'Amondrière. Une tendance vers une granulométrie plus grosse était observée sur les sédiments du chenal entre 2017 et 2019. En 2022, une augmentation de la fraction de particules fines est visible sur l'ensemble de l'estuaire.</p> <p>Concernant le secteur de la Lambarde, les grands habitats marins situés autour de la concession sont encore semblables à ceux décrits par Glémarec en 1969. Les suivis montrent cependant l'expansion des peuplements très denses de crustacés tubicoles (<i>Haploops</i> et <i>Ampelisca</i>) vers la côte, modifiant durablement les habitats et leur fonctionnalité écologique. Cette expansion ne semble pas liée à l'activité d'immersion.</p> <p>Les immersions ont un fort impact très localisé (généralement sur la station proche de la zone de dépôt où la faune est très réduite) et un impact moins important sur les stations dans un rayon de 1km tout autour avec une faune moins dense et une dominance du vers opportuniste <i>Lagis korenis</i>.</p> <p>Le retour du peuplement initial à <i>Spisula solida</i>, sur l'ancienne zone d'immersion qui a retrouvé un sédiment de sable grossier est de nouveau observé en 2019 et 2022 comme en 2015, mais ce peuplement reste instable (forte diminution en 2017). On ne peut donc pas encore parler de réelle résilience.</p>	
Mots-Clefs :	
Inventaire, Chenal Loire, Zone d'immersion, Invertébrés benthiques, Dragages, Clapage.	

Table des matières

I	CONTEXTE DE L'ETUDE	5
II	OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	6
III	MATERIELS ET METHODES.....	7
III.1	Stratégie d'échantillonnage	7
III.1.1	Zone de dragage	7
III.1.2	Zone d'immersion de la Lambarde et sa "zone d'impact"	9
III.2	Protocole 2022	12
III.2.1	Dates des prélèvements	12
III.2.2	Technique de prélèvement	12
III.2.3	Analyse des échantillons de faune benthique.....	15
III.2.4	Analyse sédimentaire en laboratoire	18
III.3	Evolution des protocoles d'échantillonnage de 2004 à 2022	19
IV	PARAMETRES EXTERNES	23
IV.1	Volumes clapés et zones d'immersion de la Lambarde.	23
IV.2	Influence des paramètres environnementaux	25
IV.2.1	Débit de la Loire.....	25
IV.2.2	Influence de la marée et des vents	27
V	RESULTATS DES ANALYSES SEDIMENTAIRES	27
V.1	Analyse granulométrique	27
V.1.1	Chenal de la Loire	28
V.1.2	Secteur Lambarde.....	30
V.2	Teneur en matière organique	35
V.2.1	Chenal de la Loire	35
V.2.2	Secteur Lambarde.....	36
V.3	Synthèse de l'analyse sédimentaire	37
VI	RESULTATS FAUNISTIQUE.....	38
VI.1	Chenal de la Loire	38
VI.1.1	Synthèse globale.....	38
VI.1.2	Richesse spécifique.....	39
VI.1.3	Evolution de la richesse spécifique entre 2015 et 2022.....	41
VI.1.4	Densité d'organismes	42
VI.1.5	Evolution des densités d'organismes entre 2015 et 2022	43
VI.1.6	Biomasse d'organismes	46
VI.2	Secteur de la Lambarde.....	47
VI.2.1	Synthèse globale.....	47



VI.2.2	Richesse spécifique.....	48
VI.2.3	Densité faunistique.....	49
VI.2.4	Espèces caractéristiques du secteur de la Lambarde.....	52
VI.2.5	Biomasse de la faune benthique	69
VI.2.6	Synthèse de l'évolution de la faune benthique sur le secteur de la Lambarde	70
VI.3	Structure des peuplements benthiques.....	71
VI.3.1	Résultat sur le chenal de l'estuaire de la Loire.....	72
VI.3.2	Résultat sur la Lambarde.....	73
VI.4	Indices de qualité biologiques sur le secteur de la Lambarde	77
VI.4.1	M-Ambi.....	77
VII	CONCLUSIONS	81
VIII	ANNEXES.....	89
	Annexe 1 : Analyses sédimentaires 2022.....	89
	Annexe 2 : Faune Lambarde 2022.....	91
	Annexe 3 : Résultats de la procédure SIMPER pour le calcul des espèces discriminantes en 2022.	100

I Contexte de l'étude

Avec 30 millions de tonnes par an, Nantes Saint-Nazaire est le premier port de la façade atlantique française. Les navires fréquentant ses terminaux utilisent un chenal de navigation long de 69 km depuis la zone d'attente jusqu'à Nantes (Figure 1). Le Port de Nantes Saint-Nazaire (PNSN) réalise des dragages d'entretien du chenal de la Loire, des zones d'évitage et des souilles situées le long des 12 km de quais dans le but de garantir un accès sécurisé aux navires. La majeure partie des sédiments dragués en estuaire de Loire est immergée sur le site de la Lambarde (Figure 1).

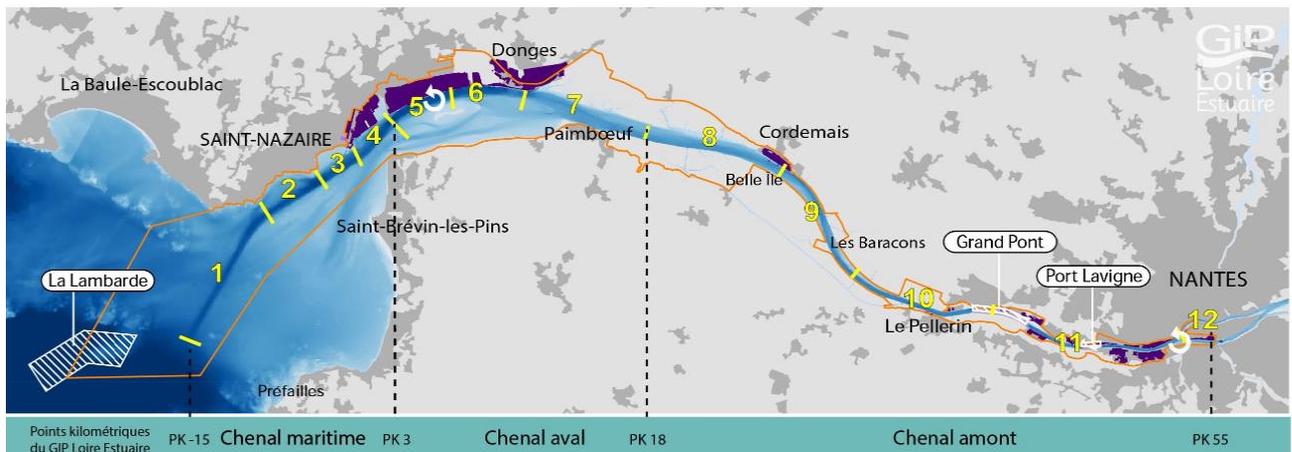


Figure 1 : Localisation des principaux sites portuaires (zones en violet) et des sections du chenal (source GIP Loire-Estuaire).

La zone d'immersion de la Lambarde, d'une surface de 1000 ha, est située à une vingtaine de kilomètres du port de Saint-Nazaire (Figure 2).

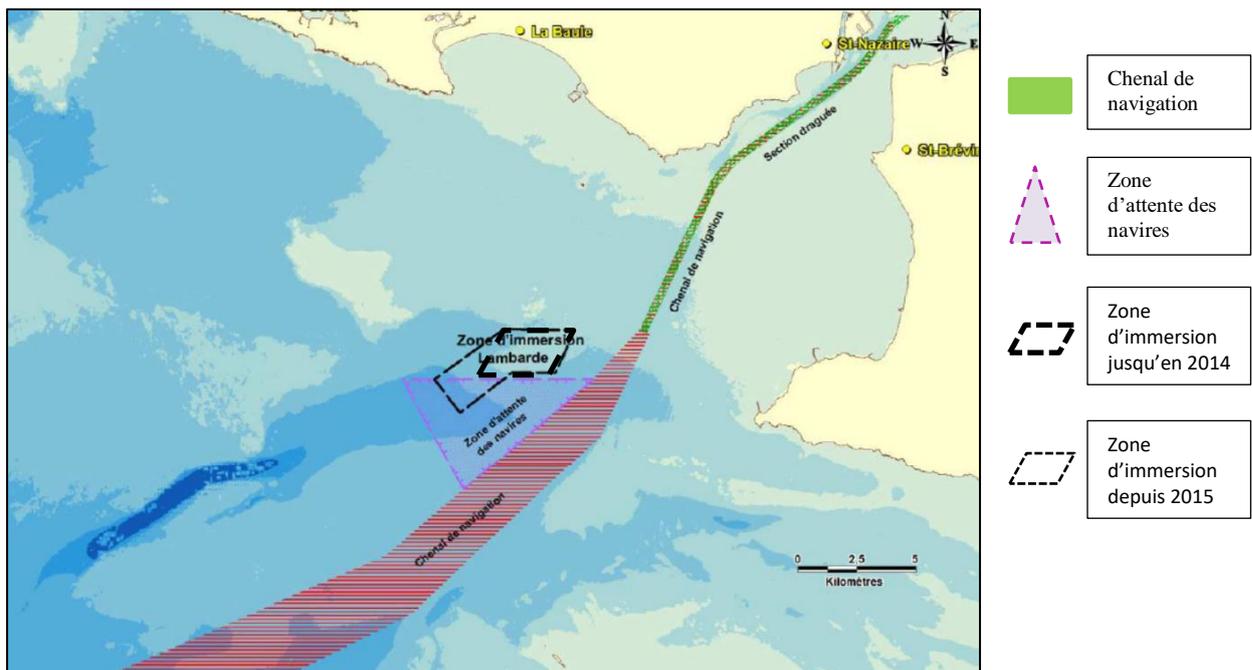


Figure 2 : Localisation de la zone d'immersion de sédiment de la Lambarde, du chenal de navigation et de la zone d'attente des navires.

Equipé d'un front d'accostage et de deux pontons, le site portuaire de Paimbœuf accueille aujourd'hui l'équipe dédiée à la logistique des trois dragues du PNSN: la Samuel de Champlain (drague aspiratrice en marche), Le Milouin (drague à injection d'eau) et l'André Gendre (drague aspiratrice stationnaire à désagrégateur) pour le dragage des postes à quai.

Dans le cadre de l'autorisation inter-préfectorale du 24 avril 2013, le PNSN doit assurer, tous les deux ans, un suivi des peuplements benthiques sur les zones draguées et sur la zone d'immersion afin de contribuer à l'évaluation des incidences des opérations de dragage et d'immersion sur l'environnement.

Les inventaires de la faune benthique à réaliser dans ce cadre, couvrent les zones draguées, la zone d'immersion avec son extension validée dans l'arrêté d'avril 2013 et les secteurs potentiellement impactés par les immersions tels que définis dans les suivis antérieurs.

Ces suivis ont été initiés en 2004 et les quatre derniers inventaires, réalisés en septembre-octobre 2013, 2015, 2017 et 2019, ont des protocoles identiques. Le suivi de 2021 'ayant pu être réalisé pour des raisons administratives, il a été reporté en 2022. Le plan d'échantillonnage de l'inventaire de 2022 reprend celui des inventaires précédents afin de comparer leurs évolutions dans le temps. Cependant, à la demande de l'Ifremer, 6 stations ont été rajoutées autour de la zone en cours d'immersion et 2 stations redondantes ont été enlevées. L'échantillonnage de 2022 porte donc sur 23 stations dans le chenal de la Loire et 35 stations dans le secteur de la zone d'immersion de la Lambarde.

II Objectifs de l'étude

Cette étude est déclinée en quatre objectifs.

- 1) Réaliser un inventaire des peuplements benthiques en 2022
 - a. du chenal de navigation c'est-à-dire des zones draguées de l'estuaire de la Loire,
 - b. de la zone d'immersion de la Lambarde et de son extension
 - c. des habitats marins de la zone périphérique susceptible d'être impactée par le panache de turbidité généré par les immersions de sédiments.

Le plan d'échantillonnage porte sur 58 stations échantillonnées conformément au protocole qui répond aux normes en vigueur et aux recommandations de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau).

- 2) Réaliser une étude comparative avec les données antérieures afin d'estimer l'impact des opérations de dragage et d'immersion sur la faune benthique de l'estuaire
 - a. sur la zone d'immersion de la Lambarde et sa zone dite d'impact, en mars 2004, durant l'été 2007, en mai 2009 et en juin et septembre 2011,
 - b. sur les secteurs dragués, durant l'été 2007,
 - c. sur l'ensemble des zones draguées, sur la zone d'immersion actuellement exploitée et sa zone d'impact, en septembre-octobre 2013, 2015, 2017 et 2019.
- 3) Analyser ces résultats d'un point de vue écologique à l'aide d'indicateurs biotiques pertinents.
- 4) Une attention particulière sera portée sur les habitats à crustacés tubicoles tels que les Haploops ou les Ampelisca, dont l'expansion est à surveiller. En effet, ces organismes qui ont des modes de vie très similaires, ont été retrouvés sur le site de suivi de la Directive Cadre sur l'Eau (proche de la station LB15). Ces suivis assurés depuis 2006 par Bio-Littoral révèlent la présence conjointe des deux espèces sur ce site, ce qui est assez inhabituel.

III Matériels et méthodes

III.1 Stratégie d'échantillonnage

En 2022, le plan d'échantillonnage des peuplements benthiques comprend 52 stations communes avec les suivis de 2013, 2015, 2017 et 2019. 6 stations supplémentaires ont été rajoutées autour de la zone d'immersion en activité afin de mieux cibler un impact potentiel.

III.1.1 Zone de dragage

Le suivi 2022 a permis d'échantillonner **23 stations** dans la zone de dragage du chenal de l'estuaire de la Loire + la zone située en amont de Paimboeuf sur la rive sud (Figure 3). La station C26 a été légèrement décalée en raison de la présence d'une bouée située au niveau des anciennes coordonnées de cette station. Les coordonnées des stations échantillonnées en 2022 figurent dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable**. Les stations sont regroupées en 4 secteurs géographiques.

Le protocole d'échantillonnage de ces stations est identique à celui des suivis antérieurs.

Tableau 1 : Coordonnées en degrés et minutes décimales (WGS84) des 23 stations du chenal

Zone externe :	3 stations
Chenal « zone intermédiaire »	11 stations
Amont de Paimboeuf, rive sud :	5 stations
Secteur endigué	4 stations

ID_Carto	date	heure	Lat	Long	sondeur (m)	remarque
C7	19/11/2022	07:20	47°12,482' N	2°16,837' O	18	
C13	19/11/2022	06:33	47°14,474' N	2°14,619' O	15	
C19	18/11/2022	17:00	47°15,538' N	2°12,447' O	16,5	
A2	18/11/2022	16:35	47°16,082' N	2°12,088' O	8,2	
A8	18/11/2022	17:20	47°16,431' N	2°11,617' O	6	
C26	18/11/2022	15:41	47°16,658' N	2°10,585' O	17,8	station décalée du fait d'une bouée de chenal
C33	18/11/2022	15:04	47°17,249' N	2°9,764' O	12,9	
Z2	18/11/2022	14:54	47°17,710' N	2°8,468' O	15,2	
C52	18/11/2022	14:29	47°18,002' N	2°7,785' O	17,4	
C63	18/11/2022	14:12	47°18,130' N	2°6,715' O	16,2	
Z7	18/11/2022	13:58	47°18,095' N	2°5,648' O	8,2	
C80	18/11/2022	13:48	47°18,167' N	2°4,620' O	13	
C88	18/11/2022	13:13	47°18,032' N	2°2,631' O	9,6	
C99	18/11/2022	11:12	47°16,539' N	1°53,240' O	9,4	
C106	18/11/2022	12:42	47°17,101' N	1°59,324' O	8,8	
C98	18/11/2022	12:27	47°17,165' N	1°59,104' O	10	
C107	18/11/2022	12:18	47°17,064' N	1°59,043' O	10	
C108	18/11/2022	12:08	47°17,021' N	1°58,666' O	10,4	
C109	18/11/2022	12:00	47°16,999' N	1°58,457' O	9,7	
GP5	18/11/2022	09:22	47°12,355' N	1°42,021' O	10	
C102	18/11/2022	08:50	47°11,535' N	1°36,124' O	7	
C103	18/11/2022	08:30	47°11,774' N	1°34,976' O	6	
C105	18/11/2022	08:00	47°11,886' N	1°34,064' O	6	

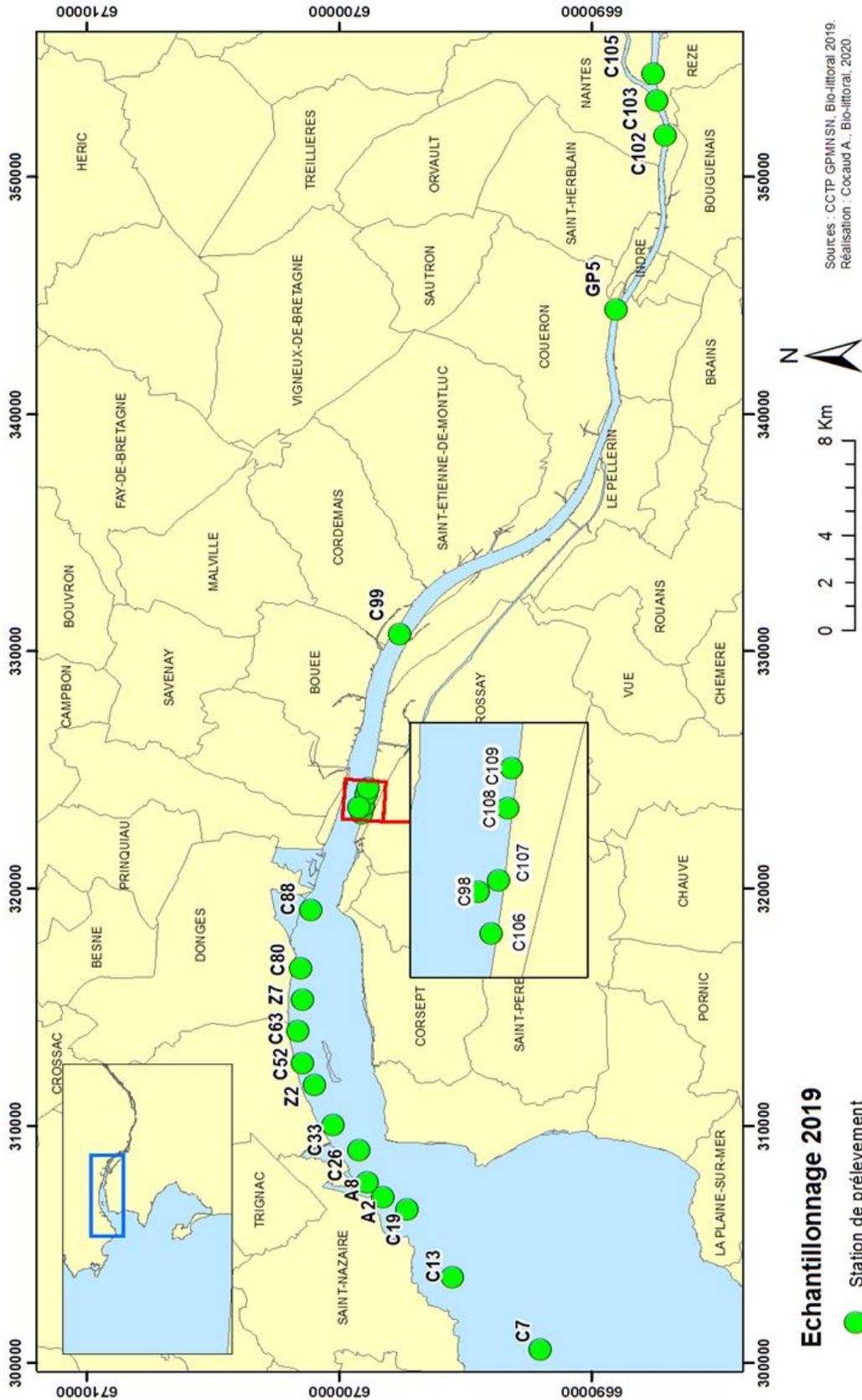


Figure 3 : Localisation des 23 stations d'échantillonnage de la faune benthique dans les zones draguées : chenal de l'estuaire de la Loire et zone amont de Paimboeuf en 2022.

III.1.2 Zone d'immersion de la Lambarde et sa "zone d'impact"

Pour la période d'autorisation s'étendant d'avril 2013 à avril 2023, le périmètre de la Lambarde se présente sous la forme d'un parallélogramme avec une extension vers le sud-ouest. La zone d'immersion a été découpée en sous-zones qui sont exploitées successivement. La sous-zone 19 est arrivée à saturation et la sous-zone 22 est exploitée depuis août 2021 (Figure 4). Chaque sous-zone est divisée en 4 casiers (a,b,c,d) qui sont utilisés par rotation, en changeant de casier à chaque vidage.

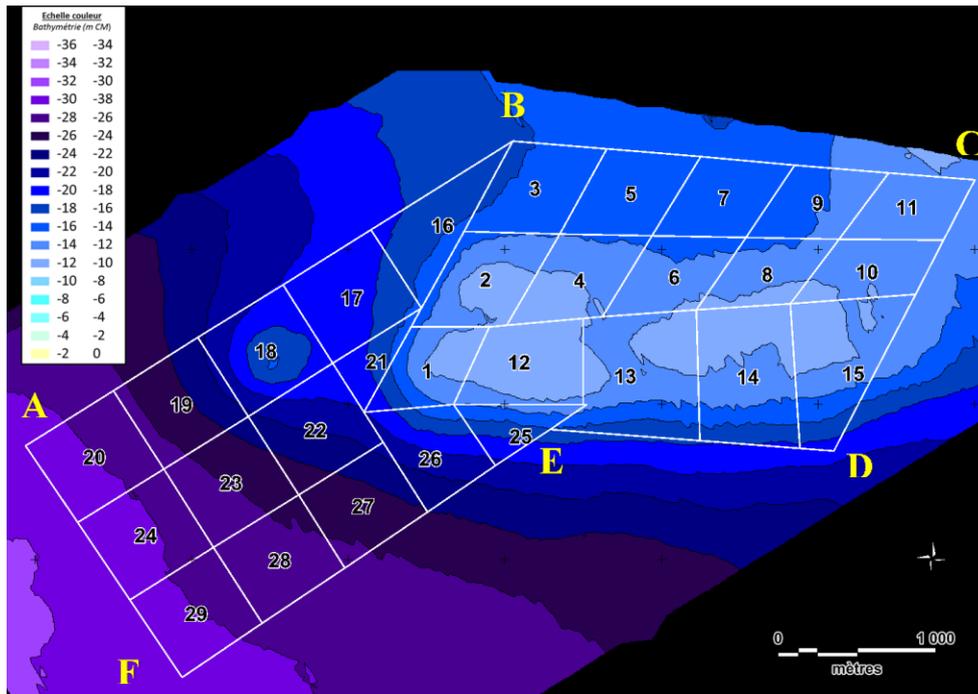


Figure 4 : Découpage de la zone d'immersion en sous-zones d'exploitation.

Les coordonnées du périmètre de la zone d'immersion sont données dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Coordonnées du périmètre de la zone d'immersion accordée en 2013

Sommets	Coordonnées en Lambert II centre		Coordonnées en WGS 84	
	X	Y	X	Y
A	238940	249736	02° 25' 38.7048" W	47° 08' 56.0688" N
B	242050	251700	02° 23' 16.9368" W	47° 10' 05.628" N
C	245000	251450	02° 20' 56.3892" W	47° 10' 03.2592" N
D	244100	249700	02° 21' 34.092" W	47° 09' 04.9464" N
E	242287	249840	02° 23' 00.4056" W	47° 09' 05.958" N
F	239939	248242	02° 24' 47.0844" W	47° 08' 09.726" N

L'échantillonnage sur le secteur de la Lambarde porte sur 35 stations en septembre 2022

- Deux stations sur les 31 du suivi réalisé jusqu'en 2019 sur la Lambarde sont abandonnées. En effet, les stations LB17 et LB11 sont situées très près de stations déjà échantillonnées et ne montrent pas de peuplement différent de celui de ces stations au cours des trois suivis précédents → **29 stations historiques**.
- Depuis 2015, année de mise en exploitation de la zone d'immersion étendue (sous-zones 16 à 29), les sous-zones 18 et 19 sont les seules sur lesquelles des immersions directes ont

été réalisées. La sous-zone 19 est désormais saturée et la sous-zone qui a été exploitée dès août 2021 est la 22. L'ordre d'utilisation envisagé pour les sous-zones est le suivant : 22 puis 23, 27, 28, 20, 24 et 29.

- **Six stations supplémentaires** (points verts sur la Figure 5) ont été positionnées de manière à évaluer plus précisément l'impact de l'activité d'immersion (sur et autour des sous-zones en cours d'exploitation).
- **Il y a donc un total de 35 (31-2+6) stations** à échantillonner en 2022 sur le secteur de la Lambarde.

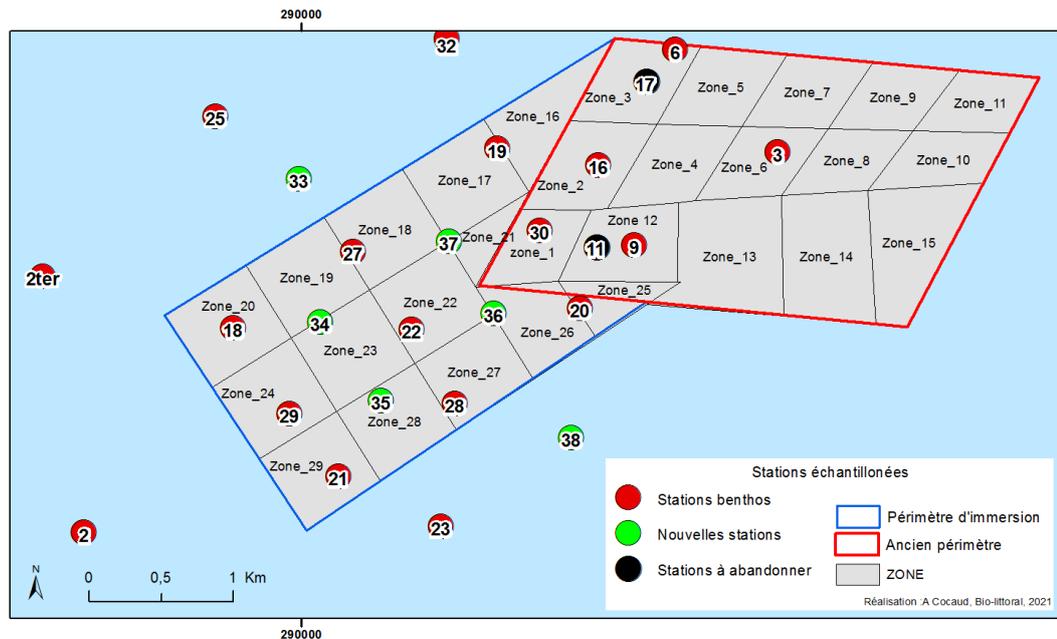


Figure 5. Localisation des stations 11 et 17 qui ont été abandonnées (en noir) et des 6 stations supplémentaires (en vert) qui sont rajoutées pour affiner le suivi de la zone 22 en exploitation en 2022.

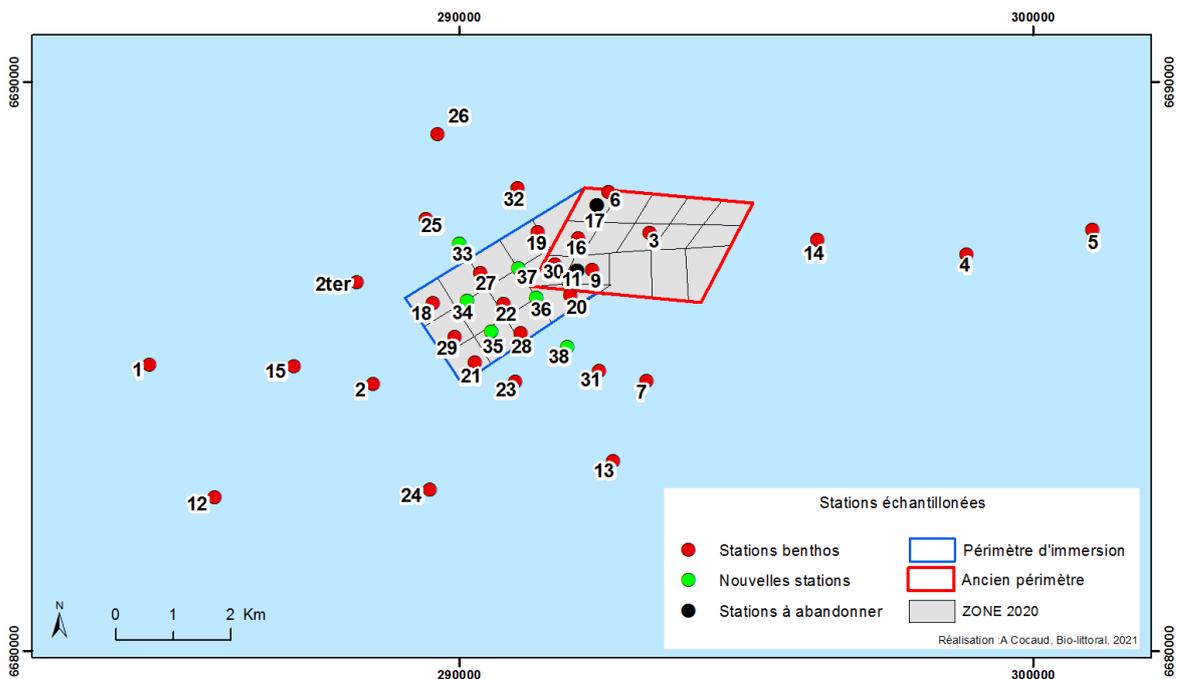


Figure 6 : Vue globale des 35 stations qui ont été échantillonnées en 2022 sur la Lambarde.

Tableau 3 : Coordonnées en degrés et minutes décimales (WGS84) des 35 stations prélevées en 2022 et profondeurs en mètres au moment du prélèvement dans la zone de la Lambarde.

Zone d'immersion :	5 stations
Zone d'extension :	12 stations
Secteur Nord de la zone d'immersion :	4 stations
Secteur Est de la zone d'immersion :	3 stations
Secteur Sud de la zone d'immersion :	6 stations
Secteur Ouest de la zone d'immersion :	5 stations

ID_Carto	date	heure	Lat	Long	sondeur (m)	remarque
LB 1	01/12/2022	10h40	47°8,134' N	2°29,104' O	35	
LB 12	01/12/2022	11h15	47°6,920' N	2°28,077' O	27	
LB 11			2°23,308' O	47°9,303' N	13,7	abandonnée
LB 13	01/12/2022	16h	47°7,524' N	2°22,632' O	24	
LB 14	02/12/2022	10h05	47°9,746' N	2°20,024' O	21	
LB 15	01/12/2022	12h45	47°8,217' N	2°27,120' O	36	
LB 16	19/11/2022	9h26	47°9,610' N	2°23,322' O	17	
LB 17			2°23,095' O	47°9,935' N	16,6	abandonnée
LB 2	01/12/2022	12h20	47°8,094' N	2°26,005' O	35	
LB 2ter	01/12/2022	13h15	47°9,048' N	2°26,327' O	32	
LB 3	19/11/2022	8h56	47°9,704' N	2°22,344' O	14	
LB 4	02/12/2022	10h55	47°9,704' N	2°17,955' O	18	
LB 5	02/12/2022	10h40	47°10,014' N	2°16,244' O	12	
LB 6	19/11/2022	8h28	47°10,064' N	2°22,944' O	16	
LB 7	01/12/2022	16h35	47°8,304' N	2°22,245' O	27	
LB 9	02/12/2022	11h35	47°9,317' N	2°23,097' O	16	
LB_18	01/12/2022	13h45	47°8,903' N	2°25,264' O	32	
LB_19	19/11/2022	9h40	47°9,646' N	2°23,883' O	20	
LB_20	02/12/2022	11h50	47°9,066' N	2°23,370' O	23	
LB_21	01/12/2022	14h30	47°8,371' N	2°24,630' O	31	
LB_22	02/12/2022	12h55	47°8,943' N	2°24,282' O	28	
LB_23	01/12/2022	15h05	47°8,209' N	2°24,049' O	31	
LB_24	01/12/2022	11h50	47°7,134' N	2°25,128' O	27	
LB_25	19/11/2022	11h52	47°9,696' N	2°25,440' O	30	
LB_26	19/11/2022	10h37	47°10,500' N	2°25,350' O	17	
LB_27	19/11/2022	13h15	47°9,222' N	2°24,633' O	30	
LB_28	01/12/2022	18h10	47°8,675' N	2°24,018' O	27	
LB_29	01/12/2022	14h10	47°8,595' N	2°24,923' O	31	
LB_30	02/12/2022	12h05	47°9,350' N	2°23,617' O	17	
LB_31	01/12/2022	17h15	47°8,371' N	2°22,901' O	28	
LB_32	19/11/2022	10h10	47°10,048' N	2°24,203' O	18	
LB_33	19/11/2022	12h45	47° 9,483' N	2° 24,957' O	30	nouvelle
LB_34	02/12/2022	13h30	47° 8,948' N	2° 24,787' O	28	nouvelle
LB_35	01/12/2022	18h30	47° 8,667' N	2° 24,424' O	28	nouvelle
LB_36	02/12/2022	13h15	47° 9,024' N	2° 23,842' O	25	nouvelle
LB_37	02/12/2022	12h35	47° 9,285' N	2° 24,113' O	23	nouvelle
LB_38	01/12/2022	17h30	47° 8,576' N	2° 23,367' O	28	nouvelle

III.2 Protocole 2022

Le protocole est le même que celui mis en œuvre lors des inventaires d'invertébrés benthiques effectués dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2014. Il répond à la norme ISO 16 665 établie pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement des échantillons de la macrofaune marine de fonds meubles.

III.2.1 Dates des prélèvements

Le bon de commande de cette étude n'a été signé par le PNSN que le 10 novembre 2022, ce qui a laissé très peu de temps pour réaliser la campagne d'échantillonnage qui se déroule généralement en septembre (2007, 2013, 2015) ou octobre (2017 et 2019). En effet pour pouvoir évaluer une évolution dans les peuplements benthiques, il est impératif de réaliser les prélèvements dans des conditions environnementales similaires.

Compte tenu des mauvaises conditions météorologiques au cours du mois de novembre 2022 les échantillonnages se sont déroulés du **18 novembre au 2 décembre 2022**. Le débit de la Loire était encore en phase d'étiage (Figure 7) ce qui correspond aux conditions de débit des précédentes campagnes d'investigation. D'autre part, les eaux ayant une grande inertie thermique, et les températures extérieures n'ayant commencé à baisser qu'au début du mois de décembre 2022, il n'est pas attendu de différence majeure avec les conditions environnementales des précédents suivis. Les peuplements benthiques de 2022 pourront donc être comparés avec les données antérieures.

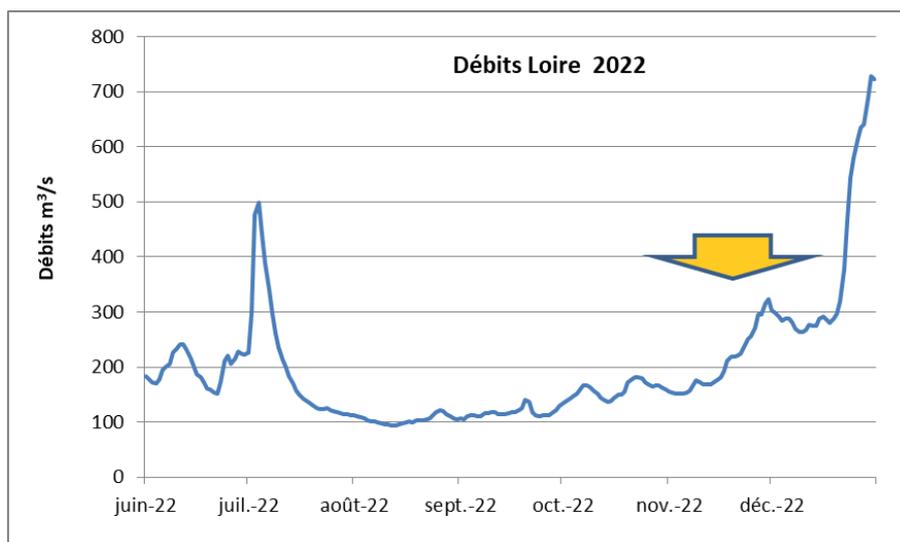


Figure 7 : Débit moyen journalier à la station de Montjean sur Loire du 1^{er} juin 2022 au 31 décembre 2022 (hydro.eaudefrance.fr). Flèche jaune → période d'échantillonnage.

III.2.2 Technique de prélèvement

Engins de prélèvements

En mer et en Loire, les stations ont été échantillonnées à l'aide des deux bennes de Bio-Littoral préconisées dans les suivis DCE qui ont une ouverture de 0,1 m² et prélèvent sur une profondeur de 20 cm. La benne Van Veen de 45 kg est plus adaptée pour les petits fonds. La benne Day pouvant être lestée jusqu'à 150 kg, est préconisée, pour les milieux grossiers ou profonds. Les bennes sont manipulées à l'aide de la grue hydraulique en poste sur la barge (Figure 8). La benne Day remplace la benne Van Veen (plus maniable), dès que celle-ci rencontre des difficultés.



Figure 8 : Benne Van Veen (à gauche), benne Day (à droite) appartenant à Bio-Littoral.

Moyens à la mer

Compte tenu des mauvaises conditions météorologiques au cours du mois de novembre et de la difficulté rencontrée concernant la disponibilité des différents navires, l'ensemble des stations ont été échantillonnées sur 3 navires appartenant à deux sociétés différentes (Figure 9). **A noter** que le navire initialement pressenti, le TZIGANE II de la société TETIS, avec lequel nous travaillons habituellement et qui s'était engagé à réaliser la prestation en septembre-octobre 2022, n'était plus disponible en novembre. Cela souligne les difficultés d'organisation sur le terrain lorsque le calendrier prévisionnel n'est pas respecté.

Les trois navires utilisés sont des barges à fond plat avec cabine à l'arrière et grue à l'avant. La grue hydraulique du bateau manipule la benne en toute sécurité et sans effort. Le large pont permet de traiter les échantillons dans de bonnes conditions.



Figure 9 : Navires utilisés : Le Didier Frederic (à gauche), le Malone (en haut à droite) et le Reborn (en bas à droite).

Le tableau suivant (Tableau 4) décrit le déroulement des opérations.

Tableau 4. Déroulement des opérations

Date	vendredi 18 novembre	samedi 19 novembre	jeudi 01 décembre	vendredi 02 décembre
Société	Atlantique Maritime Services (AMS)	Atlantique Maritime Services (AMS)	Celtic Marine Services	Celtic Marine Services
Navire	Didier Frederic	Malone	Reborn	Reborn
Equipe Prestataire	Tanguy Kohn (Pilote) et Kevin Michaud (Grutier)	Tanguy Kohn (Pilote) et Kevin Michaud (Grutier)	Guillaume Diaz (Pilote) et Tanguy Pinard (Grutier)	Guillaume Diaz (Pilote) et Tanguy Pinard (Grutier)
Equipe Bio-littoral	Anne-Laure Barillé, Maroussia Delemarre, Benoit Devienne et Raphael Bical	Anne-Laure Barillé, Nicolas Harin, Nicolas Truhaus et Raphael Bical	Nicolas Harin, Maroussia Delemarre, Zoé Colaisseau, Nicolas Truhaus et Ioanna Vlandis	Anne-Laure Barillé, Maroussia Delemarre, Nicolas Truhaus et Ioanna Vlandis
Port d'embarquement	Ponton Cordon bleu à Nantes	Saint-Nazaire	Pouliguen	Pouliguen
Stations échantillonnées	21 stations Loire C105 à C19	2 stations Loire C13 et C7 puis 11 stations Lambarde	16 stations Lambarde	8 stations Lambarde
Benne utilisée	Benne Van-Veen puis Benne Day	Benne Day	Benne Van-Veen	Benne Van-Veen
météo	Beau temps	Beau temps	Houle 1,50 m et vent Nord-Est	Léger vent Nord-Est
Remarques	Benne Van-Veen perdue sur la vasière de Donges (benne récupérée le lundi 21 novembre)			

Tout s'est bien déroulé, malgré la perte de la benne Van-Veen le premier jour en estuaire de Loire. Le reste des prélèvements de la journée ont été terminés avec la benne Day qui était à bord. La benne Van Veen a pu être récupérée par bateau 3 jours plus tard. L'équipe de Bio-Littoral l'avait préalablement attachée à une bouée en passant à pied à travers la roselière puis sur la vasière à marée basse.

III.2.2.1 Prélèvements de faune

Les 5 réplicats d'une même station sont effectués les uns après les autres après vérification du positionnement du bateau. Chaque réplicat est validé si sa composition sédimentaire est semblable à celle des 4 autres réplicats et son volume au moins égal à 10 L.

Chaque benne est photographiée avec une étiquette (numéro de station et numéro de réplicat). Les réplicats sont ensuite tamisés sur une **maille carrée de 1 mm** après lavage à l'aide d'une manche à eau avec peu de pression dans une bassine pour ne pas détériorer les organismes. Le refus de chaque tamis est conservé dans des seaux étanches avec une solution d'eau de salinité ambiante, formolée

à 5%. Chaque réplikat est identifié par un code représentant la mission, le jour, la station et le numéro du réplikat (identifiant contrôle qualité → traçabilité) (Figure 10).



Figure 10 : A gauche, le poste de tamisage et de conditionnement des échantillons. A droite, réplikat n°5 de la station C109 avec son étiquette d'identification.

III.2.2.2 Prélèvements de sédiment

A chaque station, **une benne supplémentaire** est prélevée pour l'analyse granulométrique et l'estimation du taux de matière organique du sédiment. Ce prélèvement est conservé en glacière jusqu'au laboratoire où il est congelé en attendant d'être traité.

III.2.3 Analyse des échantillons de faune benthique

III.2.3.1 Prétraitement des échantillons de la faune benthique

Les échantillons formolés sont conservés dans des seaux étanches dans le garage de Bio-Littoral. Avant traitement chaque échantillon est rincé trois fois pour éliminer le formol et l'effluent de rinçage est récupéré dans des bidons pour retraitement par la société Suez basée à Saint-Nazaire (Figure 11). Ce traitement s'effectue dans une salle aérée avec tous les EPI nécessaires (gants, masque, lunette, blouse). La faune est colorée au Rose Bengal afin de faciliter la phase de tri.



Figure 11 : Stockage des échantillons formolés en seaux hermétiques dans les locaux de Bio-Littoral.

III.2.3.2 Tri et détermination de la faune benthique

Le tri a été effectué au laboratoire par le personnel de Bio-Littoral. Les invertébrés ont été classés par embranchement et stockés dans des piluliers dans une solution d'éthanol à 70 %. Les organismes ont ensuite été déterminés jusqu'à l'espèce par les experts Bio-Littoral de chaque embranchement (Figure 12). Les déterminations font référence à la nomenclature WoRMS (World Register of Marine Species). Les ouvrages de référence pour la détermination sont régulièrement mis à jour.

- ❖ Annélides : N. TRUHAUD
- ❖ Crustacés : M. DELEMARRE
- ❖ Mollusques : M. DELEMARRE
- ❖ Echinodermes : N. HARIN
- ❖ Eponges/Bryozoaires : A. COCAUD

Les taxonomistes de Bio-Littoral suivent régulièrement des formations sur leur domaine de compétence et participent à tous les exercices d'inter-calibration entre les laboratoires (EIL) universitaires et institutionnels (Ifremer, MNHN) qui sont proposés. Ces tests portent sur des échantillons « aveugles » à déterminer dans un laps de temps donné par tous les laboratoires. Une semaine de séminaire suit la restitution des résultats avec une formation particulière sur les familles ayant posé le plus de problèmes à la détermination avec le spécialiste européen concerné.

- ❖ 2012 – EIL Aquaref/DCE intertidal rocheux (IFREMER Brest)
- ❖ 2013 – EIL Aquaref /DCE subtidal Rocheux (MMNHN Concarneau)
- ❖ 2013 – Mise à jour taxonomie spongiaires (MNHN Concarneau)
- ❖ 2014 – EIL Aquaref /DCE benthos substrat meuble (Roscoff MNHN-Ifremer)
- ❖ 2015 - Mise à jour taxonomie polychètes des milieux sédimentaires (MNHN)

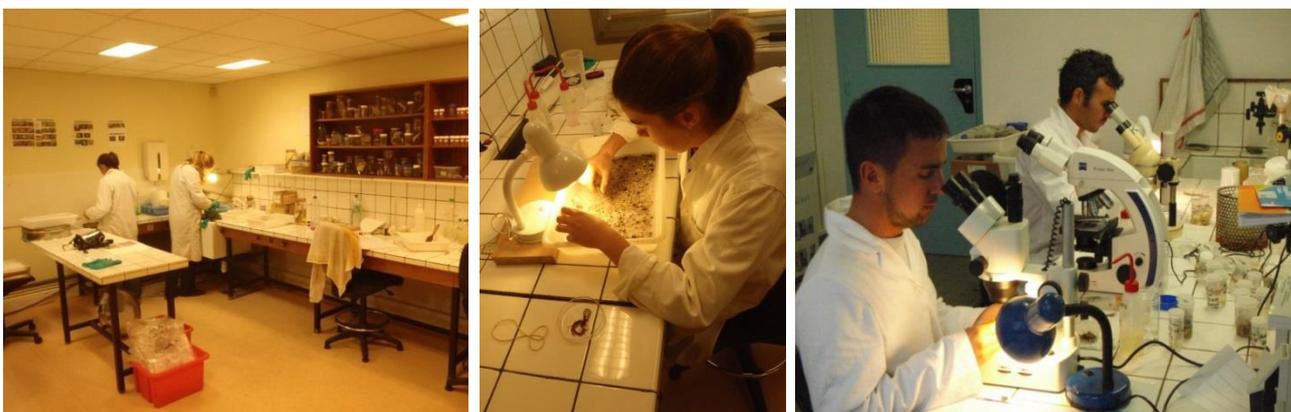


Figure 12 : Tri du sédiment puis détermination des organismes à la loupe et au microscope, par les benthologues de Bio-Littoral.

Les individus en bon état sont conservés en vue des procédures de contrôle qualité. A terme, ils viennent enrichir la collection de référence pour la faune benthique des Pays de la Loire déjà constituée par Bio-Littoral.

III.2.3.3 Estimation de la densité de la faune benthique

Pour chaque réplicat, les organismes sont identifiés à l'espèce et dénombrés. Les organismes sont séparés en fonction de leur taille, **juvéniles ou adultes**, et différentes classes de taille pour les bivalves qui peuvent atteindre plusieurs cm. Cette séparation permet de mettre en évidence le rôle de nurserie des stations pour certains invertébrés. Les résultats pour chacun des 5 réplicats sont donnés dans les fichiers Excell fournis en fin d'étude. Dans le rapport, les densités sont présentées par station (moyenne des 5 réplicats) et ramenées au m². Les écart-types ne sont pas indiqués dans le rapport pour ne pas alourdir les graphiques et le texte.

III.2.3.4 Estimation de la biomasse de la faune benthique

Les poids « frais » d'organismes conservés plus ou moins longtemps dans l'alcool et plus ou moins égouttés sont un sujet à caution, en particulier pour des individus aussi petits et dont la plupart sont constitués d'eau (comme les annélides). Il faut lui préférer le poids de matière sèche sans cendre qui est très reproductible.

La biomasse, estimée en poids sec sans cendre, permet de comparer en terme trophique ou énergétique, des organismes aussi différents que des vers, des crustacés ou des bivalves. En effet, les coquilles de bivalves et les carapaces de crustacés n'influent pas dans cette biomasse, seul le poids de la chair de l'animal est pris en compte.

La biomasse de chaque espèce pour chacun des réplicats est déterminée en gramme de matière sèche sans cendre, après séchage en étuve à 55°C pendant 24h puis passage au four à moufle à 450°C pendant 4h (Figure 13).

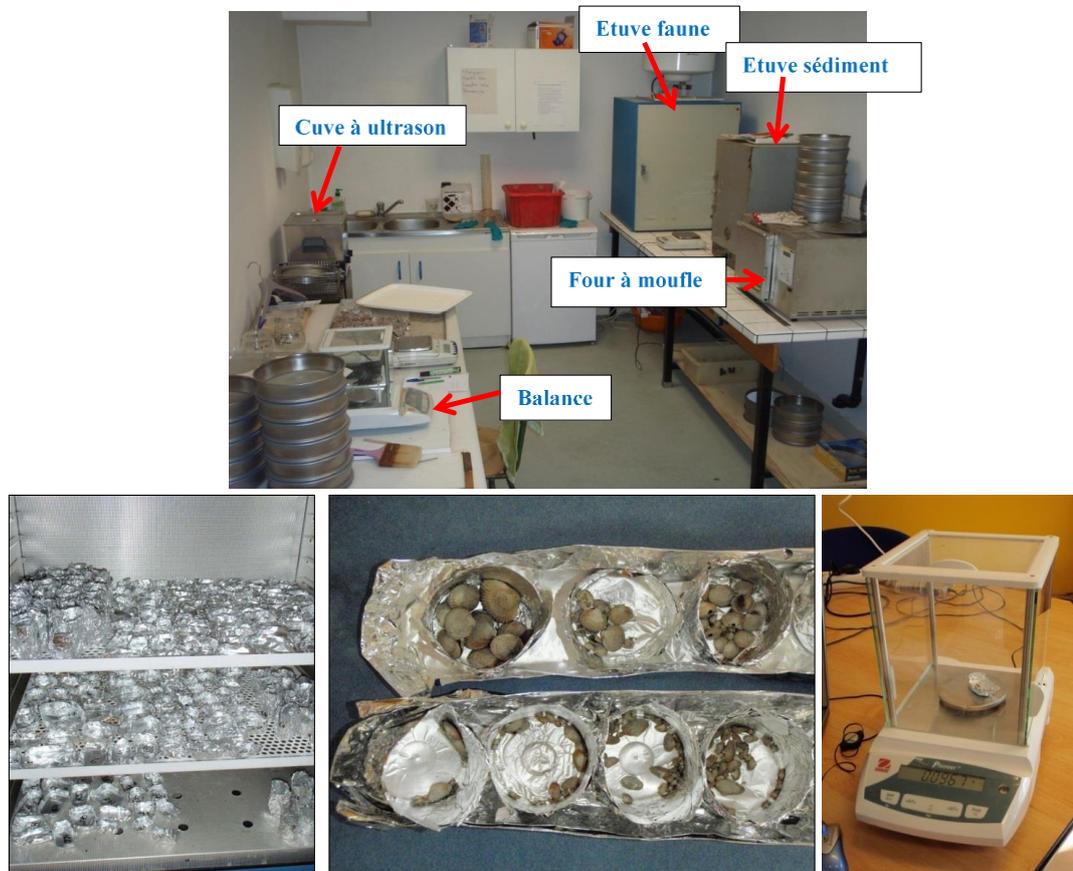


Figure 13 : Mesure de la biomasse des organismes benthiques. Séchage en étuve à 55°C (48 h minimum) puis pesée avant ignition à 450 °C pendant 4 heures.

- Pesée 1 : masse du récipient d'aluminium + biomasse séchée à 55 °C à l'étuve.
- Pesée 2 : masse du récipient d'aluminium + biomasse cramée à 450 °C au four.

Le calcul de la biomasse de matière sèche sans cendre correspond à la différence entre la pesée 1 et la pesée 2. Les pesées sont faites sur une balance Dhaus Pionner de précision 1/10000 g.

III.2.4 Analyse sédimentaire en laboratoire

Il s'agit de caractériser le milieu dans lequel vivent les organismes benthiques. L'analyse granulométrique et la mesure du taux de matière organique sont réalisées sur les échantillons de sédiments conservés au congélateur. Ces deux paramètres conditionnent les peuplements benthiques. En effet, certains organismes sont inféodés aux substrats sableux et d'autres préfèrent des sédiments plus fins. De plus, les organismes benthiques ont des niveaux de tolérance très différents vis-à-vis d'un enrichissement en matière organique.

III.2.4.1 Analyse granulométrique (norme ISO 16 665)

La masse de l'échantillon doit être suffisamment importante pour représenter la nature sédimentaire de la station dans toute son hétérogénéité, entre 100 et 200 g de poids sec (après étuve). Le tamisage se fait sur 18 tamis normés (de 2 mm à 40 µm) avec un protocole standardisé de 15 minutes de vibrations. Chaque refus de tamis est pesé à l'aide d'une balance de précision au centième de gramme (Denver Instrument).

Matériel utilisé : tamiseuse Retsch AS200 avec colonne à **18 tamis** (2 mm ; 1,6 mm ; 1,25 mm ; 1 mm ; 800 µm ; 630 µm ; 500 µm ; 400 µm ; 315 µm ; 250 µm ; 200 µm ; 160 µm ; 125 µm ; 100 µm ; 80 µm ; 63 µm ; 50 µm et 40 µm). La maille des tamis répond à la norme AFNOR 16 665, préconisée dans le protocole standardisé applicable par tous les opérateurs DCE en Manche et en Atlantique (protocole DCE 2014). Nettoyage des tamis par cuve à ultrasons BPAC.

Le protocole pour l'analyse granulométrique nécessite différentes phases :

- Homogénéisation du prélèvement
- Mise de l'échantillon à l'étuve à 60°C pendant 48 heures minimum
- Pesée N°1 : masse de l'échantillon sec
- Rinçage et tamisage humide (40 µm)
- Deuxième séchage à l'étuve 48 heures à 80°C
- Pesée N°2 : masse de l'échantillon sec moins la fraction < 40 µm
- Homogénéisation de l'échantillon
- Pesée N°3 : masse de chacun des tamis de la colonne à vide
- Tamisage de l'échantillon sur la colonne (15 minutes)
- Pesée N°4 : masse de chaque tamis de la colonne avec refus

L'analyse des résultats a été réalisée en utilisant la méthode de classification de Folk et Ward. La représentation des données en tableau permet de visualiser l'hétérogénéité des stations lorsque différents groupes sédimentaires apparaissent bien individualisés. Cette hétérogénéité sédimentaire correspond à un milieu non stabilisé, en phase de transition. Pour une meilleure visualisation spatiale de cette hétérogénéité, les granulométries sont représentées avec des camemberts représentant le pourcentage des différentes fractions sédimentaires.

III.2.4.2 Protocole pour la mesure du taux de matière organique

Le taux de matière organique dans le sédiment est obtenu par la technique de la perte au feu sur des sédiments décongelés.

- Pesée N°1 : masse du récipient vide
- Homogénéisation du prélèvement
- Mise à l'étuve pendant 48 heures à 60°C
- Pesée N°2 : masse de l'échantillon sec
- Passage au four à moufle pendant 4 heures à 450°C
- Pesée N°3 : masse des cendres de l'échantillon

La masse de matière organique est obtenue par différence entre les pesées N°2 et N°3. En effet, à 450°C, la matière organique s'est transformée en gaz CO₂ et en vapeur d'eau H₂O.

La teneur en matière organique est mesurée 3 fois sur le même échantillon. Si les valeurs obtenues sont homogènes, la valeur retenue est la moyenne des trois répliqués. Si les valeurs sont hétérogènes, la mesure est refaite.

III.3 Evolution des protocoles d'échantillonnage de 2004 à 2022

La PNSN souhaite avoir une étude comparative des résultats des différents inventaires réalisés sur la Lambarde depuis 2004. Différents opérateurs se sont succédés et les protocoles ont évolué tant en termes de surface prélevée par station que de nombres de stations échantillonnées.

III.3.1.1 Evolution des périodes d'échantillonnage

En 2004 (mai) et 2009 (mai), l'échantillonnage a eu lieu au printemps tandis qu'en 2007 (septembre), 2013 (septembre), 2015 (septembre), 2017 (octobre) ; 2019 (octobre) il a eu lieu en automne. En 2011, l'échantillonnage a été réalisé sur les deux périodes, en juin et en septembre (Figure 15). En 2022, l'échantillonnage a eu lieu entre le 18 novembre et le 2 décembre en raison d'un souci au niveau du service administratif du PNSN. Cependant, Les conditions environnementales étaient similaires à celles d'une période automnale classique.

La période d'échantillonnage a un impact important sur les densités des organismes. En effet, un échantillonnage automnal permet de prendre en compte le recrutement des juvéniles nés au printemps et qui ont eu l'été pour grandir. Cela permet de les récolter sur une maille de 1mm (limite de la « macrofaune » = maille du tamis), tandis qu'au printemps, soit les adultes ne se sont pas encore reproduits, soit les juvéniles sont encore trop petits et passent à travers la maille du tamis. Tant qu'il n'y a pas de crue, peu de différences sont attendues sur la macrofaune benthique entre les échantillonnages réalisés au mois d'octobre et ceux de fin novembre.

III.3.1.2 Evolution de la surface échantillonnée.

La surface échantillonnée n'était que de 0,3 m² en 2004 et 2007 (Figure 14). Elle est de 0,5m² par station depuis 2009. Cela a un impact non négligeable sur la richesse spécifique de la faune benthique. En effet, si les espèces caractéristiques d'un peuplement sont abondantes et généralement réparties de manière plus ou moins uniforme sur une surface de 25 m² (taille minimale des habitats retenue dans la Directive Européenne sur l'Eau), la plupart des espèces qui contribuent à la richesse spécifique sont prélevées à moins de 5 individus et dans une seule benne. Donc plus la taille d'échantillonnage est importante, plus on a de chance d'augmenter le nombre d'espèces. La surface minimale d'échantillonnage préconisée dans les protocoles DCE est de 0,5 m².



2004 et 2007	2009 et 2011	2013 et 2015	2017, 2019, 2022
Surface = 0.3 m²	Surface = 0.5 m²	Surface = 0.5 m²	Surface = 0.5 m²
3 * benne Smith 0.1m ³	2 * benne Hamon 0.25m ³	5 * benne Day 0.1m ³	5 * VanVeen/Day 0.1m ³
Profondeur 20 cm	Profondeur 20 cm	Profondeur 20 cm	Profondeur 20 cm

Figure 14 : Evolution des protocoles de prélèvements pour la faune benthique à la Lambarde de 2004 à 2019.

Le nombre de réplicats aura un impact sur l'interprétation fine des données. En effet, une espèce dont les densités présentent un écart-type faible sur les différents réplicats d'une même station est répartie de manière uniforme sur la station. Une espèce qui présente de fortes densités mais avec un écart-type important entre les différents réplicats d'une même station est répartie en « patches » et on a une plus grande probabilité de la sous-échantillonner. Les prélèvements de macrofaune benthique sont réalisés à l'aide de 5 bennes de 0,1m² par station depuis 2013.

La DCE recommande de traiter les 5 réplicats séparément pour avoir cette information sur la répartition des espèces. Dans ce rapport, les résultats 2022 sont présentés sous forme de moyenne des 5 réplicats sans indiquer les écarts-types sur les graphiques pour une plus grande lisibilité mais toutes les données fournies dans la base de données transmise au PNSN sont traitées par réplicat.

III.3.1.3 Evolution des équipes de taxonomistes

L'identification des espèces de la faune benthique a été confiée à différentes équipes au cours du temps : Lemar (2004), Centre d'Estudis Avancats de Blanes-Espagne (2007), Lemar (2009), Laboratoire de Wimereux (2011), TBM (2013) et Bio-Littoral (2015, 2017, 2019 et 2022). Les compétences taxonomiques dans certains groupes, comme les annélides qui sont les espèces les plus nombreuses peuvent avoir une influence sur l'importance de la richesse spécifique. En effet, certaines espèces peuvent être regroupées en un seul genre lorsque le taxonomiste maîtrise moins bien cet embranchement. Cela aura une influence sur les indices de biodiversité et sur les indices de qualité.

III.3.1.4 Evolution du nombre de stations échantillonnées

Le nombre de stations échantillonnées est passé de 11 à 31 stations sur le secteur de la Lambarde entre 2004 et 2013. Le nombre des stations échantillonnées a augmenté au fur et à mesure des inventaires pour répondre à des problématiques plus précises. Les stations sont devenues plus nombreuses sur les zones extérieures à la zone d'immersion pour suivre les impacts potentiels du clapage. Ces stations sont globalement réparties selon un axe OSO / ENE qui correspond à la direction des principaux courants dans ce secteur.

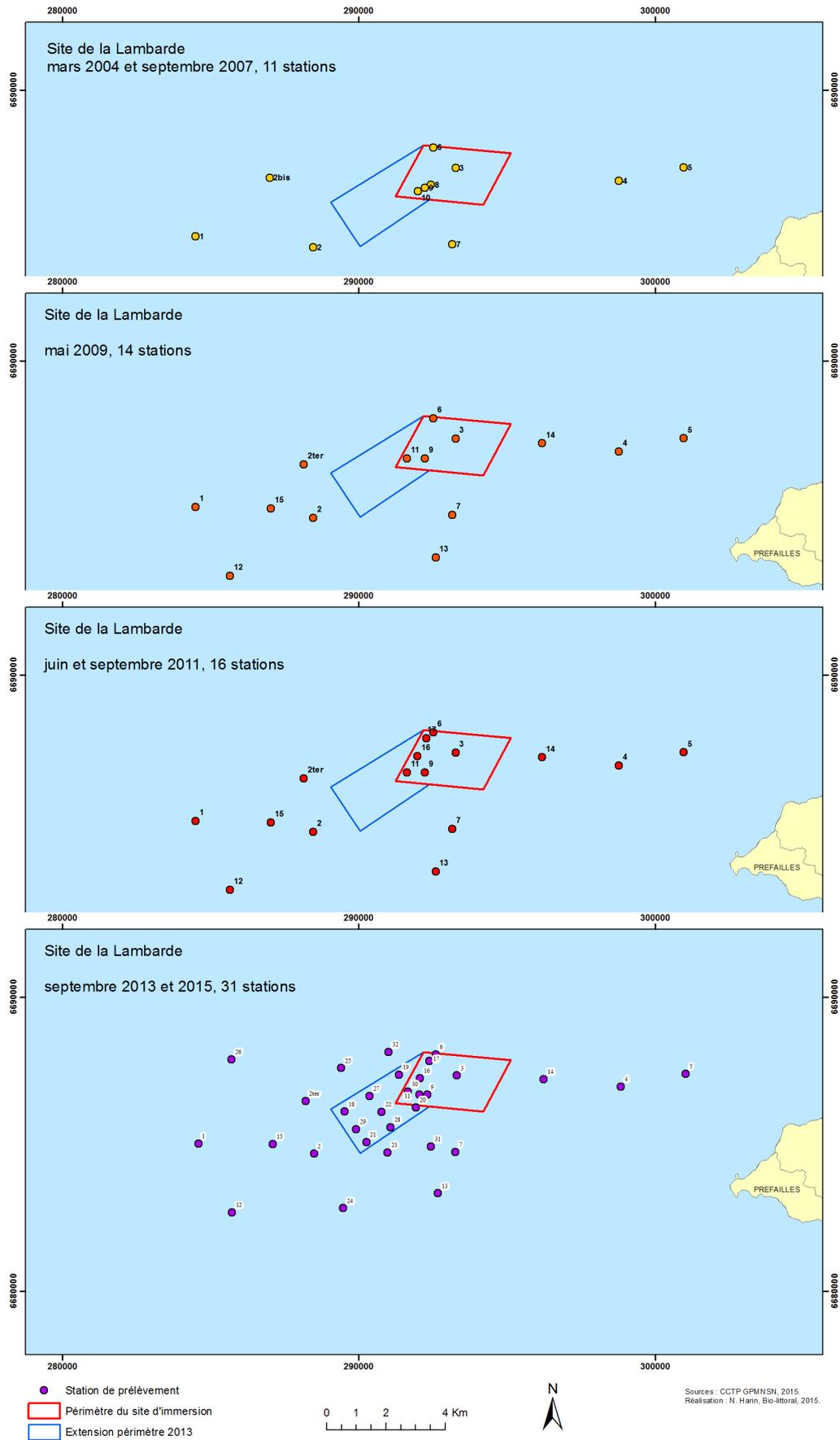


Figure 15 Evolution du nombre de stations échantillonnées entre 2004 et 2015.

En 2013, 8 stations ont été rajoutées dans la nouvelle zone d’immersion, de manière à suivre plus particulièrement son évolution, et comprends 31 stations de 2013 à 2019. Pour 2022, l’IFREPMER a demandé à rajouter 6 stations autour des zones d’immersion en activité de manière à cibler au plus près l’impact des immersions. Ces 6 stations pourront évoluer spatialement dans le temps en fonction du déplacement des zones d’immersions dont le planning est fourni par le PNSN. D’autre part, 2 stations LB11 et LB17, ont été enlevées du suivi car étant très proches d’autres stations, elles ont été jugées redondantes. Le nombre de stations aura un impact sur la biodiversité globale du secteur; c’est pourquoi il est recommandé de traiter l’évolution spatio-temporelle de la faune benthique sur les seules stations qui sont échantillonnées régulièrement depuis 2004 (Figure 16).

Les comparaisons sur du long terme de 2004 à 2019 pourront donc se faire sur 9 stations. Mais il faudra tenir compte des différences de protocole évoquées plus haut, dans l’interprétation de ces évolutions.

La station LB 26, rajoutée en 2013, indiquait des difficultés de prélèvement en raison du substrat dur constitué de galets qui bloquent en partie les mâchoires de la benne, laissant échappé le reste du sédiment. En 2015, ce substrat correspondait encore à de gros galets sur substrat rocheux, ce qui n’a pas permis de l’échantillonner correctement avec une benne. En 2017, cette station a été déplacée pour correspondre à un milieu meuble présentant un intérêt dans la problématique de suivi d’impact de l’immersion sur la Lambarde (Figure 16). Cette nouvelle station a été également échantillonnée en 2019 et 2022.

En 2022, 6 nouvelles stations ont été rajoutées autour de la zone d’immersion active. Elles ont vocation à évoluer spatialement avec le déplacement de la zone d’immersion. Donc les suivis sur du long terme ne concerneront pas ces stations. 2 anciennes stations, jugées redondantes ont été enlevées (LB11 et LB17). Les comparaisons à court terme 2013-2015-2017-2019-2022, porteront sur 29 stations avec des protocoles identiques.

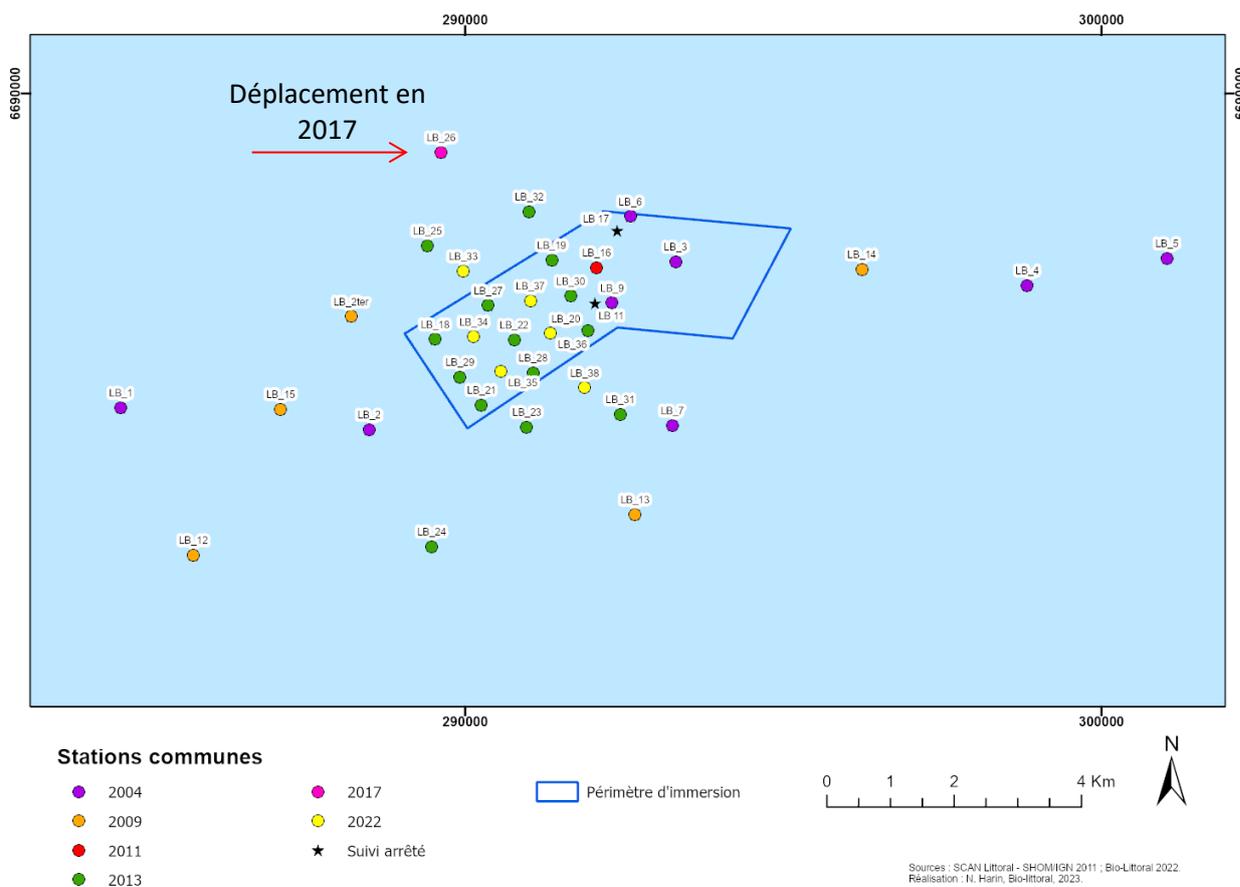


Figure 16 : Stations suivies à plus ou moins long terme.

IV Paramètres externes

IV.1 Volumes clapés et zones d'immersion de la Lambarde.

Le PNSN réalise des opérations régulières de dragage du chenal et des souilles de la Loire pour permettre aux navires l'accès des infrastructures industrielles. Les volumes immergés à la Lambarde, ne correspondent pas à la totalité du volume dragué dans l'estuaire de la Loire qui atteint 7,51 Mm³ en 2015 et 5,89 Mm³ en 2016. En effet, le dragage des souilles ne peut être réalisé par la DAS qui a un trop grand tirant d'eau. Celui-ci est effectué par les deux autres dragues qui rejettent le sédiment dans le chenal. Ce sédiment sera repris ultérieurement par la DAS pour être immergé à la Lambarde. Les volumes annuels de sédiment immergés sur la zone de la Lambarde évoluent entre 8 millions de m³ en 2004 et 1,54 millions de m³ en 2019. Depuis 2015, les volumes immergés à la Lambarde sont compris entre 1,54 et 3,2 millions de m³ (Figure 17) sauf en 2018, où les immersions atteignent 4,4 Mm³. En 2022, 1,84 Mm³ sont immergés à la Lambarde sur les 3,28 Mm³ dragués dans l'estuaire de la Loire.

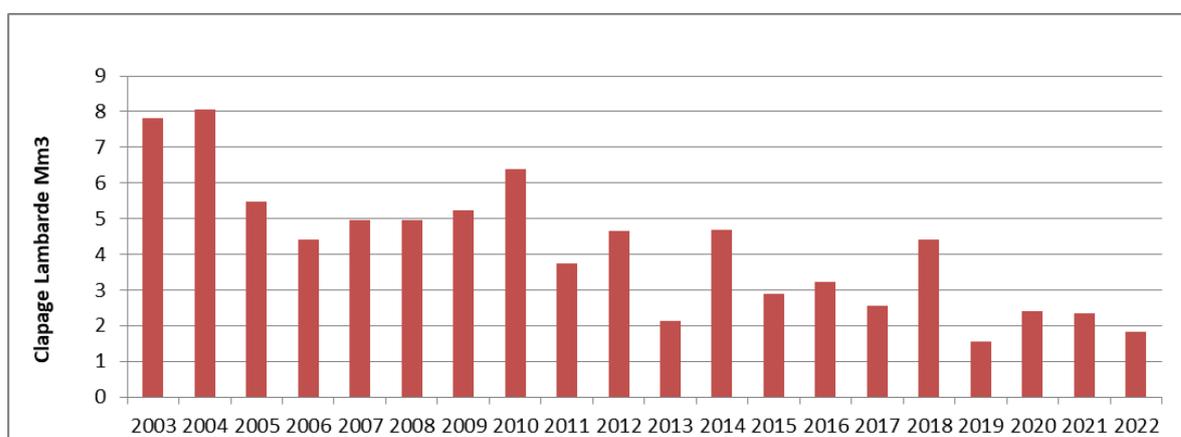


Figure 17 : Volumes annuels de sédiment immergés sur la zone de la Lambarde (données PNSN).

En 2019, la drague « Samuel de Champlain » a été re-motorisée à Dunkerque et n'a repris le dragage dans l'estuaire de la Loire que fin juin, ce qui explique le faible volume (1,5 millions de m³) immergé à la Lambarde en 2019. Pour rattraper le retard, le dragage a été entrepris de manière importante en juillet et août, contrairement aux autres années. Les immersions se sont ensuite déroulées généralement en dehors des périodes hivernales avec des maxima de 0,8 millions de m³ en juin 2020 et avril 2021. En 2022, les dragages et les immersions se déroulent essentiellement en période hivernale. Peu de sédiment ont été immergés avant la période d'échantillonnage de 2022.

Tableau 5 : Volumes mensuels immergés sur la zone de la Lambarde.

clapage m3	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	Total Mm3
2003	317 278	1 536 987	2 077 470	1 681 812	188 041	456 618	0	186 250	4 686	0	759 854	620 685	7,83
2004	627 635	812 679	747 554	248 128	367 555	723 908	1 098 425	1 463 255	84 405	684 274	728 401	473 417	8,06
2005	874 809	792 589	848 386	747 187	250 621	551 838	141 345	0	154 138	0	589 552	528 286	5,48
2006	500 133	953 113	887 429	839 689	13 339	509 920	18 407	0	0	0	551 928	138 270	4,41
2007	744 820	762 911	1 042 047	979 832	179 903	397 029	0	0	0	0	641 138	224 713	4,97
2008	803 019	843 024	838 184	988 105	130 579	0	190 603	0	0	0	549 775	620 995	4,96
2009	417 753	769 886	681 091	911 813	221 444	163 712	90 696	0	344 515	223 454	623 564	772 957	5,22
2010	753 930	785 471	1 259 696	1 088 121	262 875	0	0	380 661	551 754	519 157	7 625	792 705	6,40
2011	781 551	661 713	622 932	903 526	185 852	127 102	0	55 853	26 399	0	348 956	30 913	3,74
2012	944 562	724 433	665 208	738 937	87 379	321 177	211 909	0	0	0	716 388	240 507	4,65
2013	0	458 848	351 135	602 732	181 335	365 383	0	0	0	0	0	173 208	2,13
2014	534 751	287 611	818 371	1 065 326	315 174	484 006	144 669	0	0	295 736	78 419	652 734	4,68
2015	537 958	126 984	455 613	451 765	123 567	123 162	87 768	0	539 614	200 206	70 530	171 480	2,89
2016	540 246	320 352	667 447	565 879	264 741	189 852	0	180 815	84 458	21 045	377 637	0	3,21
2017	0	232 865	348 754	623 377	185 868	150 065	0	8 287	257 556	646 136	118 679	0	2,57
2018	749 104	356 022	447 525	699 292	498 676	58 168	0	0	393 555	125 911	497 302	594 068	4,42
2019	0	0	0	0	0	86 427	420 394	691 565	0	345 394	0	0	1,54
2020	0	265 740	190 572	0	556 482	811 472	570 918	23 206	0	0	0	0	2,42
2021	145 138	0	69 528	792 087	286 256	0	0	463 760	0	185 207	396 291	0	2,34
2022	260 385	430 317	559 327	177 912	0	0	0	364 313	0	0	50 255	0	1,84

Les zones d’immersions sont programmées par le port en fonction de l’évolution de la bathymétrie du site qui est régulièrement vérifiée. De 2004 jusqu’en 2014, les dépôts sont positionnés dans le secteur sud-ouest de l’ancienne zone d’immersion (sous-zones de 1 à 15) ce qui a généré un exhaussement des fonds dans cette zone (Figure 18). De 2015, les dépôts ont été réalisés dans l’extension de la zone d’immersion (sous-zones 16 à 29). Dans la sous-zone 18, utilisée jusqu’en 2018, un exhaussement des fonds de 3m a été observé entre janvier 2016 et mai 2017. En 2019, les dépôts ont eu lieu essentiellement sur la sous-zone 19. La sous-zone 19 étant arrivée à saturation, la sous-zone 22 est exploitée depuis août 2021.

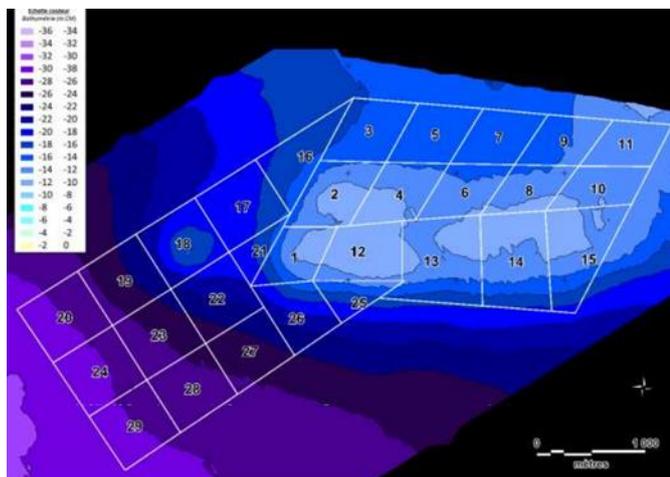


Figure 18 : Découpage en sous-zone de la zone d’immersion de la Lambarde sur carte bathymétrique de 2018 (source GPNSN).

La sous-zone d’immersion 22, actuellement en activité, est très proche des stations historiques LB22, LB27 et LB28 qui sont situées dans un rayon de moins de 400m (Figure 19). D’autre part, les nouvelles stations LB34, LB35, LB36 et LB37 complètent ce réseau d’observation proche. Ce sont donc ces 7 stations qui devraient refléter les impacts les plus importants.

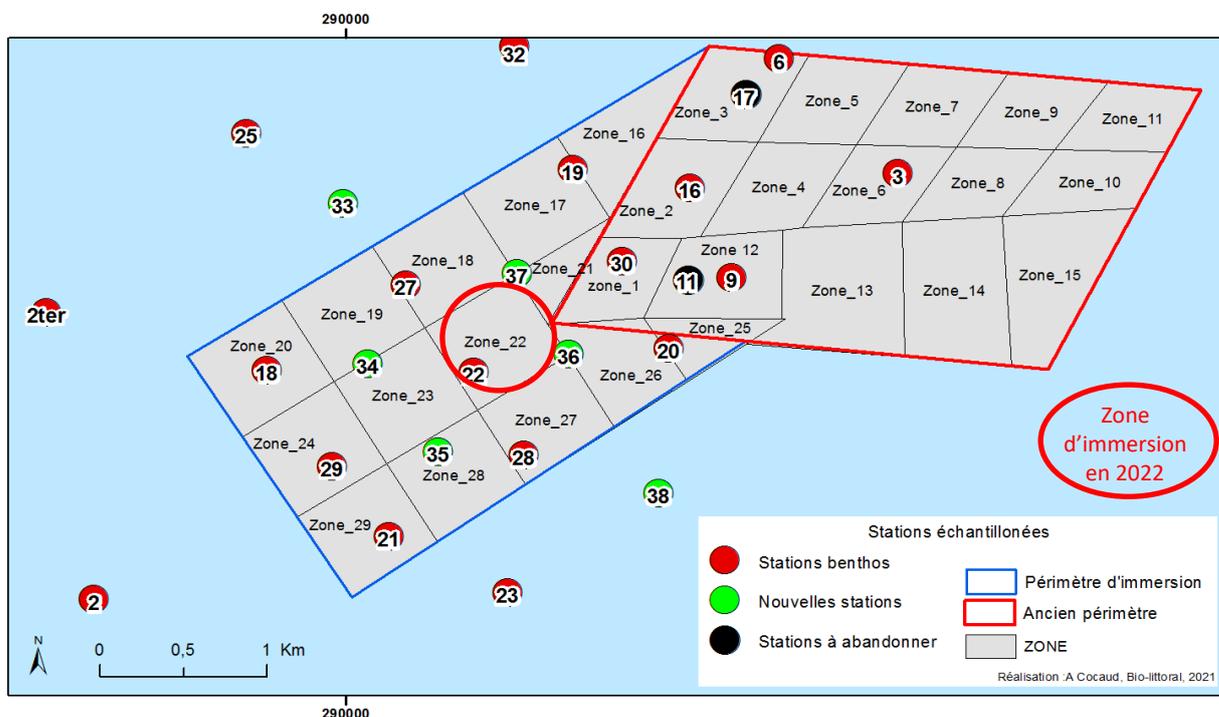


Figure 19 : Géolocalisation des sous-zones d’immersion et des stations de suivi benthique proches.

IV.2 Influence des paramètres environnementaux

IV.2.1 Débit de la Loire

Les débits de la Loire sont mesurés à la station hydrométrique de Montjean-sur-Loire, située en amont de Nantes, en dehors de l'influence de la marée. Le débit de la Loire varie entre 100 et 6400 m³/s avec une moyenne de 825 m³/s. Les années 2015, 2017, 2019 et 2022 présentent une hydraulicité nettement inférieure à l'année 2013 (Figure 20).

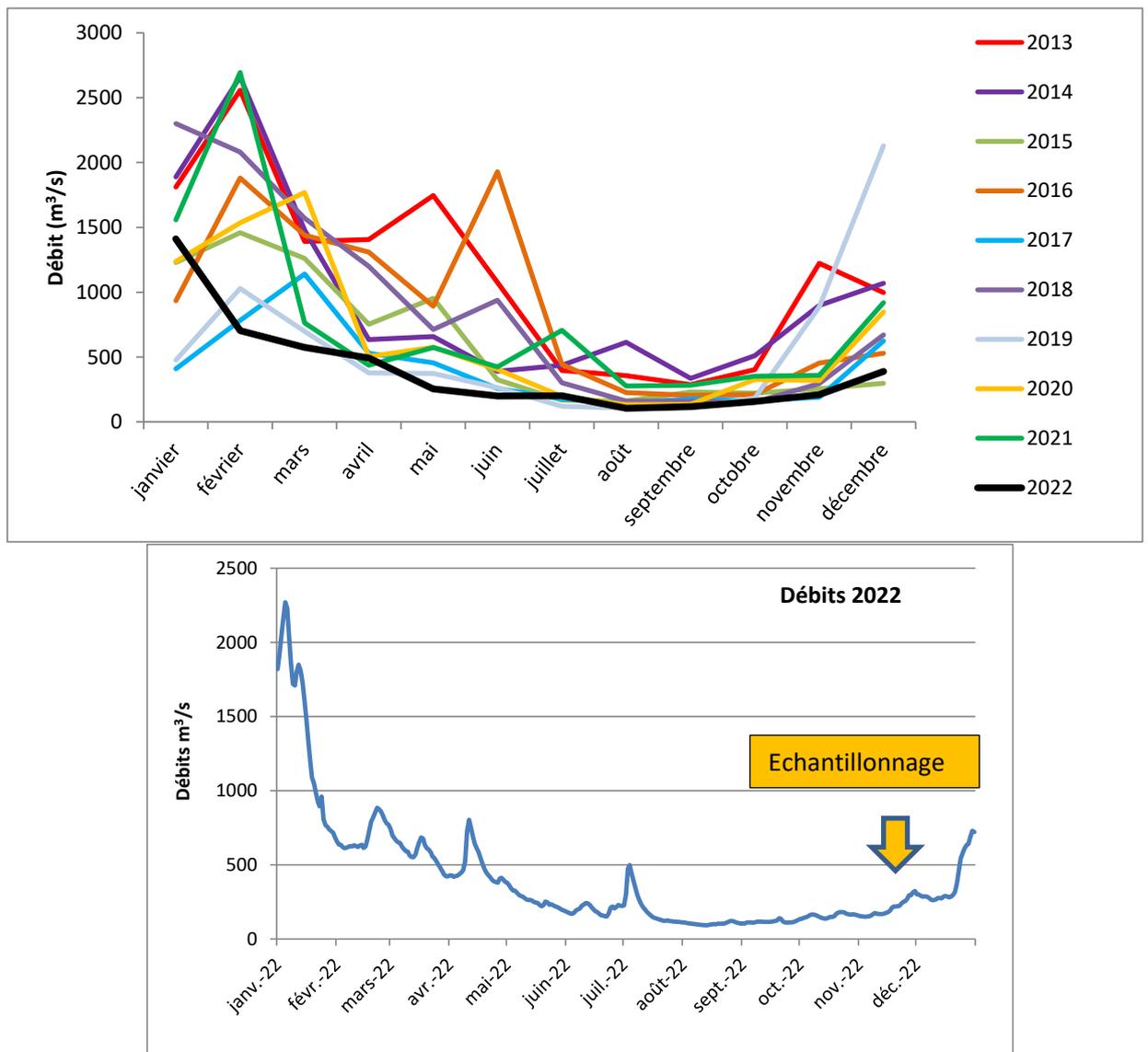


Figure 20 : a) Débits mensuels moyens de la Loire (m³/s) de 2013 à 2022 mesurés à la station de référence de Montjean sur Loire; b) Débits journaliers mesurés en 2022 à la station de référence de Montjean sur Loire. (Données : Banque Hydro).

2013 était une année à forte hydraulicité avec une crue au mois de février de 2500 m³/s et une seconde au mois de mai, supérieure à 1500m³/s.

En 2015, le débit hivernal n'excède pas 1500 m³/s et le débit printanier est inférieur à 1000 m³/s. Il faut noter la petite crue survenue du 4 au 10 mai 2015 à plus de 2000 m³/s susceptible d'avoir lessivé la couche superficielle des vasières de l'estuaire et généré un petit panache turbide.

2017, année de faible hydraulicité, le débit hivernal n'excède pas 1100m³/s et le débit printanier est inférieur à 600 m³/s. Le plus fort débit, 1950 m³/s est enregistré le 11 mars.

2019, année de très faible hydraulité, le débit hivernal n'excède pas $1100\text{m}^3/\text{s}$ et le débit printanier est inférieur à $500\text{m}^3/\text{s}$. Un très fort débit est enregistré en novembre et décembre (après la période l'échantillonnage). Le plus fort débit précédant l'étude est de $1362\text{m}^3/\text{s}$ enregistré le 13 février.

2022, l'apport en eau douce par la Loire est le plus faible jamais enregistré. Le plus fort débit est rencontré en janvier avec un maximum de $2230\text{m}^3/\text{s}$. Les débits dépassent $2000\text{m}^3/\text{s}$ du 3 au 7 janvier puis passent en dessous de $1000\text{m}^3/\text{s}$ dès le 21 janvier. Les débits de Loire restent inférieurs à $500\text{m}^3/\text{s}$ du 19 avril au 23 décembre 2022. Du 8 au 16 août, ils sont inférieurs à $100\text{m}^3/\text{s}$.

Le panache turbide de la Loire est moins concentré sur la zone de la Lambarde que sur les zones plus côtières, comme le montre les images satellites du 12 mars 2017 même après 6 jours de débit $> 1600\text{m}^3/\text{s}$ (Figure 21). Les panaches générés par les activités d'immersion et d'extraction sont également visibles sur cette image mais leur impact semble négligeable par rapport à celui du panache turbide de la Loire (Figure 21).



Figure 21 : Image satellite montrant l'emprise spatiale du panache turbide de la Loire (Sentinel 12/04/2017) et ceux des activités d'immersion de sédiment sur le site de la Lambarde et d'extraction de sédiment sur le site du Pilier.

Le débit de la Loire peut avoir également une autre influence sur le secteur d'étude. En effet, une forte stratification des masses d'eau est générée par le front thermohalin qui limite la dispersion des matières en suspension vers le large, mais cette thermocline se situerait vers les 20-40 m de fond selon Tessier (2006). On peut donc considérer que la colonne d'eau est homogène dans la zone actuelle d'immersion dont la profondeur avoisine les -20 m CM.



IV.2.2 Influence de la marée et des vents

Dans la zone de la Lambarde, les courants résiduels de marée sont faibles en surface (< 1 cm/s) et plus forts au fond (5 cm/s). En moyenne, ils sont orientés vers le large avec une direction Sud-Ouest. Cependant, les courants générés par les vents sont plus importants que ceux induits par la marée. Les houles ont plus d'influence sur la remise en suspension des petits fonds que les courants (Tessier, 2006) comme le montre l'image du 17 avril 2018 (Figure 22).



Figure 22 : Illustration de la remise en suspension des particules fines par la houle (Sentinel 17/04/2018).

V Résultats des analyses sédimentaires

L'analyse du sédiment permet de caractériser le milieu dans lequel vivent les organismes benthiques. L'analyse granulométrique et la mesure du taux de matière organique sont réalisées sur les échantillons de sédiments conservés au congélateur. Ces deux paramètres conditionnent les peuplements benthiques. En effet, certains organismes sont inféodés aux substrats sableux et d'autres préfèrent des sédiments plus fins. De plus, les organismes benthiques ont des niveaux de tolérance très différents vis-à-vis d'un enrichissement en matière organique.

V.1 Analyse granulométrique

L'analyse des fractions granulométriques du sédiment a été réalisée sur une colonne de 18 tamis (2 mm à 40 µm), dont les résultats complets sont fournis dans la base de données. Le pourcentage de la fraction fine (< 63 µm), correspondant aux pélites, est une des variables qui permet de caractériser le sédiment dans le cadre d'une étude de la macrofaune benthique. Comme dans les études précédentes, le taux de pélites est utilisé pour la classification du sédiment, dont les bornes sont définies par Grall & Glémarec (2003). Les résultats bruts sont présentés en Annexe1.

- 0-15 % de pélites = Sables, moyens ou grossiers (Sm ou Sg) selon dominance, ou Gravier si fraction graviers > 20 % (G)
- 15-30 % de pélites = Sables fins ou envasés (Sv) ;
- 30-80 % de pélites = Vases sableuses (Vs) ;
- 80-100 % de pélites = Vases (V)

V.1.1 Chenal de la Loire

Les stations du chenal de la Loire présentent un substrat très vaseux avec des taux de pélites (fraction < 63µm) supérieurs à 50 % sauf dans le cas de 6 stations sur un total de 23 (Figure 23).

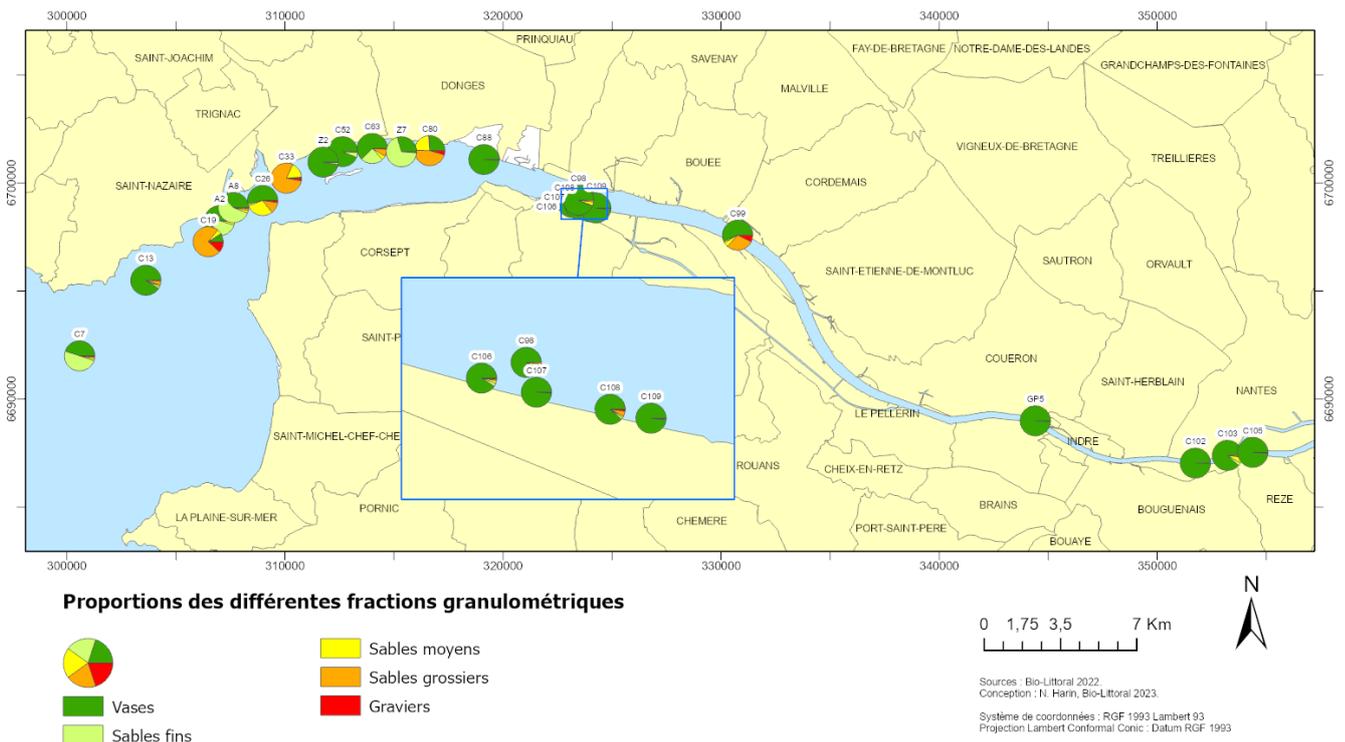


Figure 23 : Proportion des différentes fractions sédimentaires des stations échantillonnées dans le chenal de la Loire en 2022.



C106 : Vase

C80 : Sable hétérogène envasé

Figure 24 : Photographie des différents types de sédiments rencontrés dans le chenal de la Loire en 2022.

V.1.1.1 Evolution de la nature sédimentaire dans le chenal de la Loire

Toutes les stations du chenal en amont de Paimboeuf sont envasées, ce qui est cohérent compte tenu du fait que cette partie n'est plus draguée régulièrement.

L'augmentation de la fraction sableuse observée sur les stations situées en aval de Paimboeuf, entre 2017 et 2019 n'est plus observée en 2022 car 8 stations sont plus envasées qu'en 2019 (Tableau 6). 5 stations passent de vase sableuse à vase, en raison d'une légère augmentation de leur fraction de pélites. La station C26, qui a été légèrement décalée en raison de la présence d'une bouée, présente un sédiment de vase sableuse. Les stations C63 et C98 voient leur sédiment de sable grossier de 2019 devenir de la vase sableuse pour la première et de la vase pour la seconde. Seule la station C80 connaît une augmentation de sa fraction grossière avec un sédiment hétérogène envasé en 2022.

Il est important de rappeler que l'échantillonnage de la Loire se déroule dans le chenal qui est partiellement dragué selon les secteurs. L'envasement sur ces stations peut être plus important si le secteur a été dragué il y a longtemps et que les vases ont eu le temps de s'y accumuler. D'autre part compte tenu du très faible débit de la Loire en 2022, le bouchon vaseux n'a pas pu être expulsé en dehors de l'estuaire.

Tableau 6 : Evolution sédimentaire des stations du chenal de la Loire entre 2013 et 2022. S sable, (f : fin ; m : moyen ; g : grossier), V vase; G : sédiment hétérogène grossier (Exp : SMG, sable moyen grossier, Vs vase sableuse, Sv Sablo-vaseux ; SHV sable hétérogène envasé)

Secteurs	Station	2013	2015	2017	2019	2022
externe	C7	Vs	V	Vs	Vs	Vs
externe	C13	V	V	V	Vs	V
externe	C19	V	V	Sg	Sg	Sg
Intermédiaire	A2	V	V	V	Vs	Vs
Intermédiaire	A8	Vs	Vs	V	Vs	Vs
Intermédiaire	Z2	Vs	V	V	Vs	V
Intermédiaire	C33	Sg	Sg	Sg	Sg	Sg
Intermédiaire	C52	V	V	V	Vs	V
Intermédiaire	C88	V	V	V	V	V
Intermédiaire	Z7	Smg	V	Vs	Vs	Vs
Intermédiaire	C26	V	V	V	Sv	Vs
Intermédiaire	C63	V	Vs	Vs	Sg	Vs
Intermédiaire	C80	Sg	Vs	Vs	Sv	SHV
Intermédiaire	C99	V	V	V	Vs	Vs
Paimboeuf	C106	V	V	V	V	V
Paimboeuf	C107	V	V	V	V	V
Paimboeuf	C98	V	Sv	Sg	Sg	V
Paimboeuf	C108	V	V	V	V	V
Paimboeuf	C109	V	V	V	V	V
Endigué	C105	Smg	Vs	Vs	Vs	V
Endigué	C103	V	V	V	V	V
Endigué	C102	V	V	V	V	V
Endigué	GP5	Sg	V	V	Vs	V

V.1.2 Secteur Lambarde

Comme lors des années antérieures, l'analyse granulométrique des stations du secteur de la Lambarde en 2022 montre une forte zonation (Figure 25), avec une bande de sédiment grossier au sud de la zone de suivi et une bande sableuse au nord-ouest. L'ancienne zone d'immersion se différencie avec un sédiment plus grossier. La nouvelle zone d'immersion et les stations proches sont caractérisées par un sédiment vaso-sableux, que l'on retrouve également dans les stations situées vers la Loire. Les différents types sédimentaires rencontrés sur la Lambarde en 2022 sont illustrés (Figure 26).

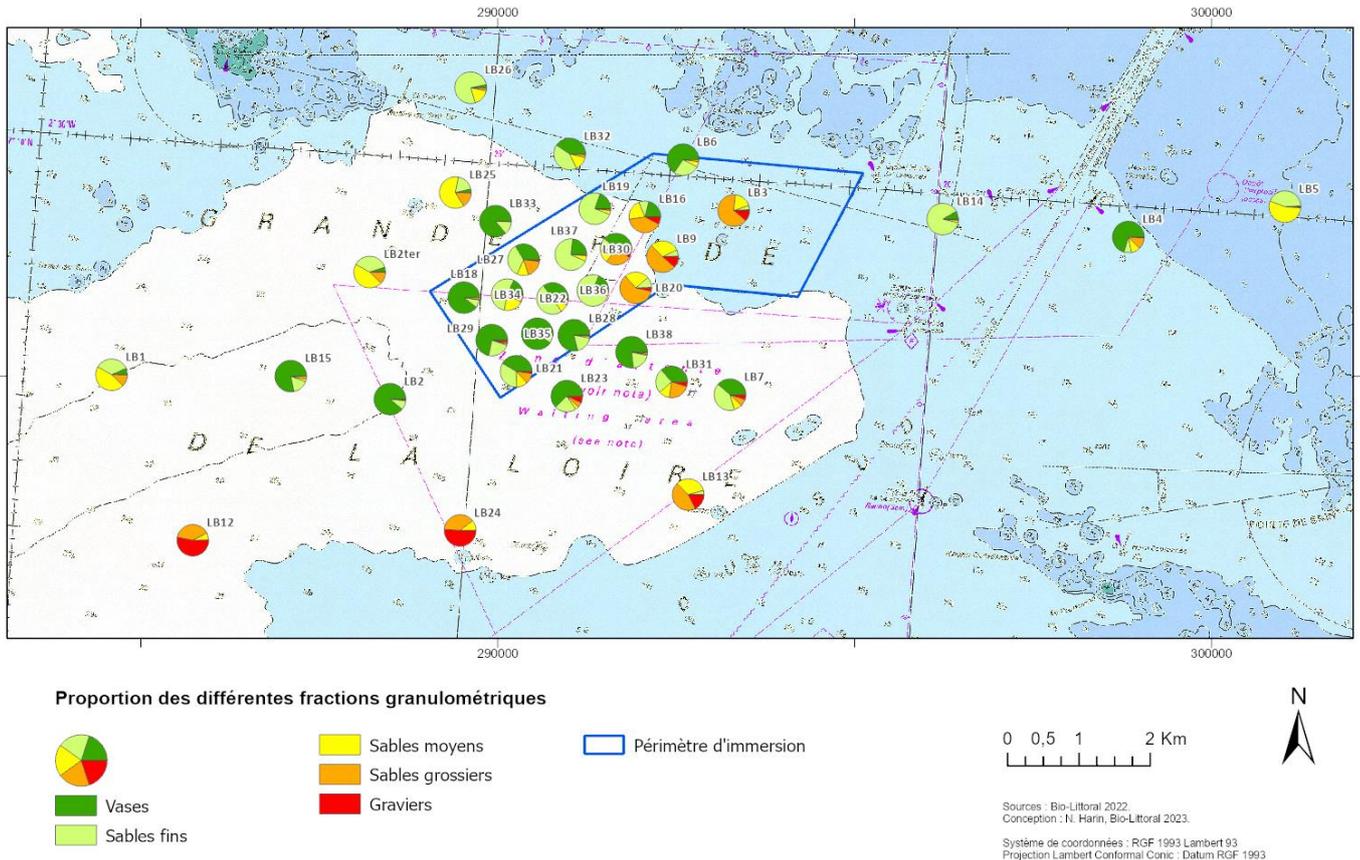


Figure 25 : Proportion des différentes fractions sédimentaires de chaque station échantillonnée dans le secteur de la Lambarde en 2019.

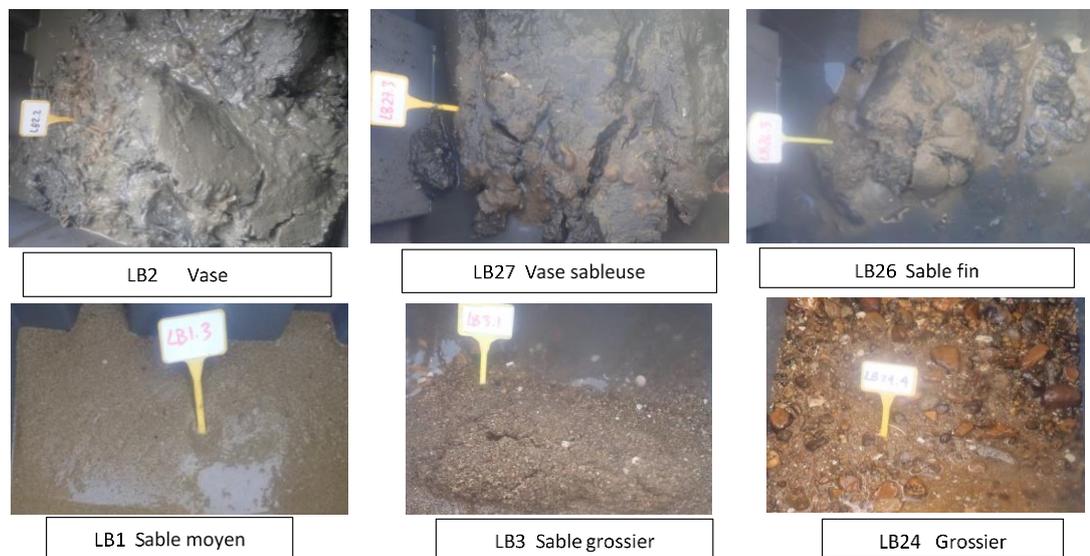


Figure 26 : Illustration des différents types sédimentaires rencontrés sur le secteur de la Lambarde en 2022.

V.1.2.1 Evolution secteur Lambarde entre 2013 et 2019

Depuis 2013, la nature sédimentaire des stations évolue peu dans les zones situées à l'est et au sud des zones d'immersion (Tableau 7). La nature sédimentaire des stations a peu varié entre 2019 et 2022 sauf pour 2 stations. La station LB30 située dans l'ancienne zone d'immersion et qui a toujours montré une forte fluctuation au cours du temps. En effet, de sable grossier en 2019 elle devient vase sableuse en 2022. La station LB16 qui de sable grossier devient un sable hétérogène envasé. Les autres changements correspondent plutôt à des seuils de fraction qui sont franchis même si les sédiments sont semblables visuellement.

Tableau 7 : Evolution sédimentaire des stations du secteur de la Lambarde entre 2013 et 2019. S sable, (f : fin ; m : moyen ; g : grossier), V vase; G : sédiment hétérogène grossier (smg : sable moyen grossier, Vs :vase sableuse, Sv : sablo-vaseux, SHV sable hétérogène envasé).

Secteurs	Station	2013	2015	2017	2019	2022
Zone d'immersion	LB 11	Sg	Sg	Sg	Sg	*
Zone d'immersion	LB 16	Sv	Sg	Sg	Sg	SHV
Zone d'immersion	LB 17	Vs	V	Vs	Vs	*
Zone d'immersion	LB 3	Sg	Sm	Sg	Sg	Sg
Zone d'immersion	LB 6	Vs	Vs	Vs	Vs	Vs
Zone d'immersion	LB 9	Smg	Sg	Sg	Sg	Sg
Zone d'immersion	LB_30	G	G	Sv	Sg	Vs
Zone d'extension	LB_18	Vs	Vs	Vs	V	V
Zone d'extension	LB_19	G	Sf	Vs	Vs	Sf
Zone d'extension	LB_20	Sv	Sf	Sv	Sg	Sg
Zone d'extension	LB_21	Vs	Sv	Vs	Vs	Vs
Zone d'extension	LB_22	G	Vs	Vs	Vs	Vs
Zone d'extension	LB_27	Vs	Vs	Sv	Sv	Vs
Zone d'extension	LB_28	Vs	Vs	Vs	V	V
Zone d'extension	LB_29	Vs	Vs	Vs	Vs	Vs
Zone d'extension	LB_34	*	*	*	*	Sf
Zone d'extension	LB_35	*	*	*	*	V
Zone d'extension	LB_36	*	*	*	*	Sf
Zone d'extension	LB_37	*	*	*	*	Sf
Est Z.immersion	LB 14	Sv	Sv	Vs	Sv	Sf
Est Z.immersion	LB 4	Vs	Vs	Vs	Vs	Vs
Est Z.immersion	LB 5	Sf	Sf	Sf	Sf	Sm
Ouest Z.immersion	LB 1	Smg	Sm	Sv	Sm	Sm
Ouest Z.immersion	LB 12	G	G	G	G	G
Ouest Z.immersion	LB 15	V	Vs	V	V	V
Ouest Z.immersion	LB 2	V	Vs	Vs	Vs	V
Nord Z.immersion	LB 2ter	G	Sm	Sv	Sm	Sm
Nord Z.immersion	LB_25	Sm	Sm	Sm	Sm	Sm
Nord Z.immersion	LB_26	*	*	Sf	Sf	Sf
Nord Z.immersion	LB_32	G	Sv	Vs	Sv	Vs
Nord Z.immersion	LB_33	*	*	*	*	V
Sud Z.immersion	LB 13	Smg	G	G	G	Sg
Sud Z.immersion	LB 7	V	Vs	Vs	Vs	Vs
Sud Z.immersion	LB_23	Vs	Sv	Vs	Vs	Vs
Sud Z.immersion	LB_24	G	G	G	G	G
Sud Z.immersion	LB_31	Vs	Vs	V	Vs	Vs
Sud Z.immersion	LB_38	*	*	*	*	V

En 2015, les premières immersions dans la nouvelle zone d'extension (LB27) ont eu un impact localisé avec une augmentation de la fraction fine sur les stations situées dans la zone d'immersion et sur celles situées juste au nord hors périmètre d'immersion. Cela correspondait au dépôt de la vase en provenance du chenal de la Loire. En 2017, la fraction de sable grossier a fortement augmenté sur cette station en raison du dépôt de sédiment plus grossier en provenance du chenal de la Loire. Ce sédiment grossier, ne se disperse pas avec les courants et reste sur place générant une forte accrétion du site, +3.6m entre janvier 2016 et mai 2017. Entre 2017 et 2019, la granulométrie augmente sur les stations situées autour de la zone en exploitation. En particulier au Nord (LB32, LB26, LB 2ter) ainsi qu'en LB1 ou le taux de pélites diminue. Entre 2019 et 2022, le phénomène s'inverse et un ensablement des stations est constaté sauf pour la station LB19 qui passe d'un sédiment vaso-sableux à du sable fin. Les stations LB14 et LB5 situées vers l'estuaire de la Loire perdent une partie de leur fraction de pélites.

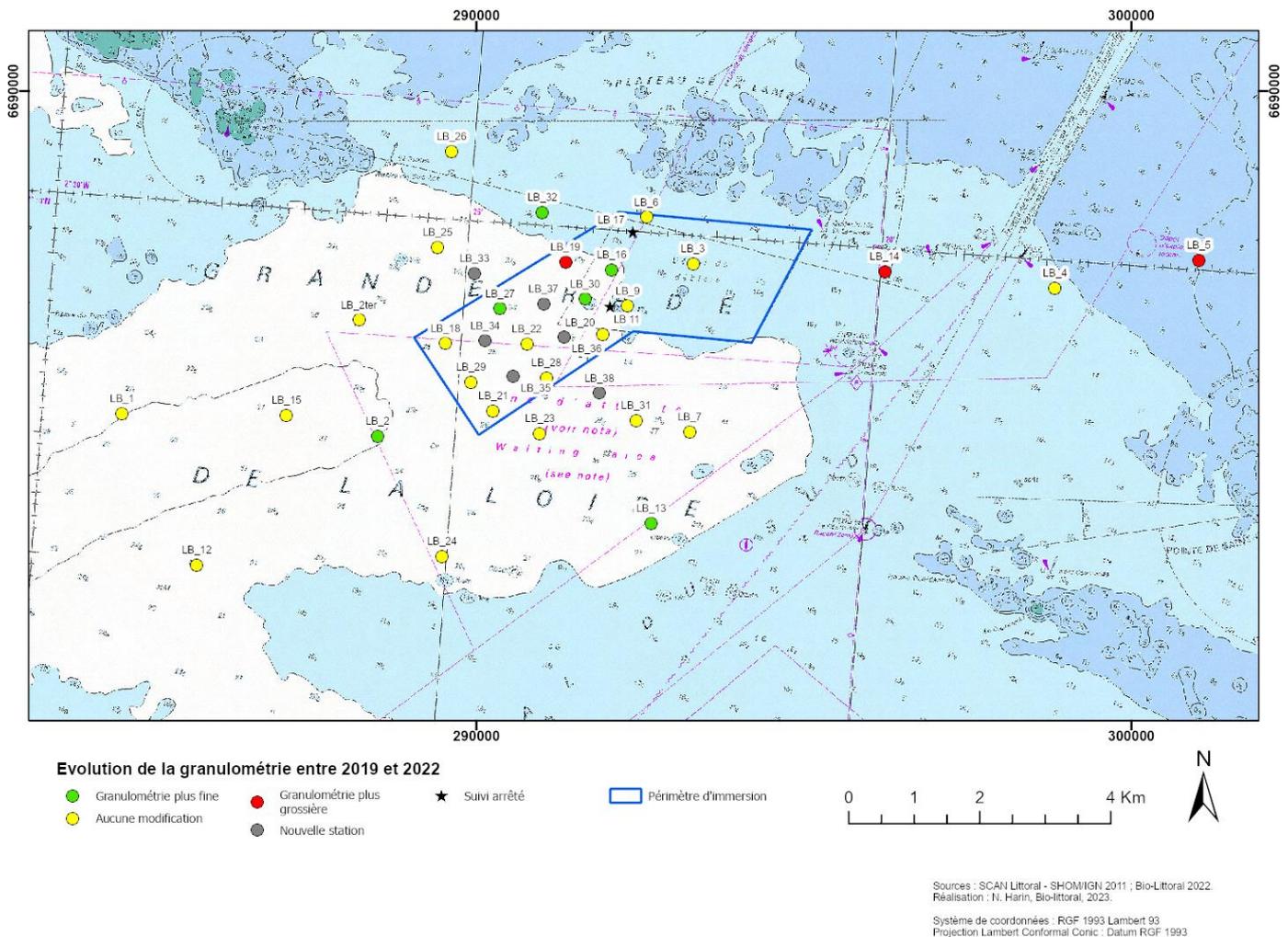


Figure 27: Evolution de la granulométrie entre 2019 et 2022

V.1.2.2 Evolution de 2004 à 2019

L'évolution de la nature sédimentaire du secteur de la Lambarde porte sur les stations échantillonnées depuis 2004 au cours des inventaires benthiques réalisés par le PNSN (Tableau 8).

Il est à noter que les différences de protocole mises en évidence dans le chapitre V.1 n'influent pas sur les analyses sédimentaires globales ; en effet, quel que soit le nombre de tamis utilisés, les seuillages entre fractions sédimentaires restent les mêmes.

Tableau 8 : Evolution de la nature sédimentaire des stations échantillonnées entre 2004 et 2019 dans le secteur de la Lambarde.

	Station	2004	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019
Ancienne zone d'immersion Nord	LB 6	VS							
	LB 17				VS	VS	V	VS	VS
Ancienne zone d'immersion Sud	LB 9	VS	VS	VS	VS	SMG	SG	SG	SG
	LB 11			VS	VS	SG	SG	SG	SG
	LB 16				VS	SV	SG	SG	SG
	LB 3	SM	SM	SM	SM	SG	SM	SG	SG
Sud de la nouvelle zone d'immersion	LB 15			V	V	V	VS	V	V
	LB 2	VS	VS	V	V	V	VS	VS	VS
	LB 7	VS	VS	VS	VS	V	VS	VS	VS
Est de la nouvelle zone d'immersion	LB 14			VS	VS	SV	SV	VS	SV
	LB 4	SG	VS	V	V	VS	VS	VS	VS
	LB 5	SMF	SM	SM	SM	SF	SF	SF	SF
Nord-ouest de la nouvelle zone d'immersion	LB 1	SMG	SME	SME	SM	SMG	SM	SV	SM
	LB 2ter	SMG	SM	SM	SM	G	SM	SV	SM
Grand Sud de la nouvelle zone d'immersion	LB 12			SG	SG	G	G	G	G
	LB 13			SG	SG	SMG	G	G	G

- Les stations (LB6 et LB17) situées au nord de l'ancienne zone d'immersion, ne montrent pas d'évolution remarquable entre 2004 et 2019. Elles ont toujours été caractérisées par un sédiment vaso-sableux, avec cependant une augmentation temporaire de la part de vase à la station LB17, en 2015.
- La zone sud-ouest de l'ancienne zone d'immersion (LB9, LB11, LB16) a fortement évolué entre 2011 et 2013. Jusqu'en 2011, c'est un sédiment vaso-sableux qui est présent, induit par le dépôt récent de vases de Loire sur ces stations. Effectivement, les campagnes de prélèvements pour la faune benthique et la granulométrie ont eu lieu pendant la période de dépôt qui se situait essentiellement dans ce secteur (cf chap. V.1). L'échantillonnage de 2013 s'est déroulé le 24 septembre, soit 3 mois après le dernier dépôt (Tableau 5). L'important hydrodynamisme de ce secteur, qui joue sur ce promontoire exhaussé, a eu le temps de disperser plus loin les particules les plus fines de cette vase non stabilisée ; ainsi, il ne reste que les particules les plus grossières et les plus lourdes. Depuis 2015 aucun nouveau dépôt n'a pu modifier la nature sédimentaire de ce secteur, car le dépôt se fait désormais dans la nouvelle zone (cf. chap. V.1).
- La station LB3, présente un sédiment plus grossier depuis 2004 car elle se situe à l'est de la zone d'immersion dans une zone où il n'y a plus de dépôt depuis longtemps.
- Les stations LB2, LB7 et LB15, situées justes au sud de la zone d'immersion n'évoluent quasiment pas et conservent un sédiment vaseux à vaso-sableux depuis 2004.
- Les stations LB12 et LB13, situées à plus de 2 km au sud de la zone d'immersion conservent leur sédiment de sable grossier à grossier tout au long des différents inventaires.

V.1.2.3 Evolution à long terme

Une synthèse cartographique de l'évolution de la nature sédimentaire entre 1965, carte de Vanney (Figure 28) et 2022 est présentée dans la Figure 29.

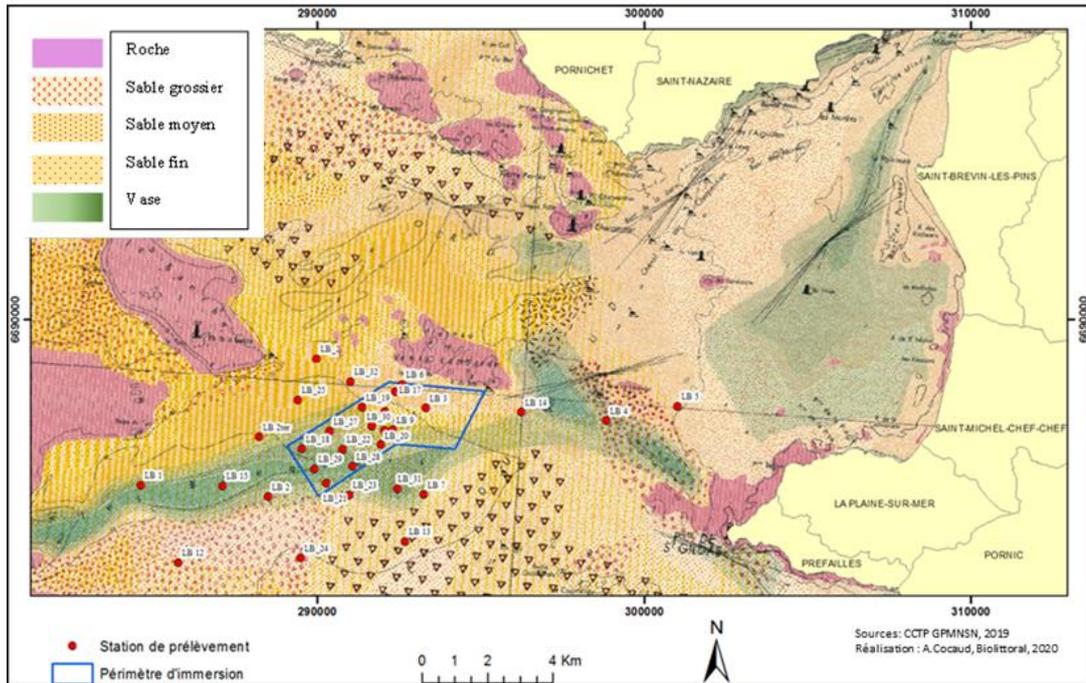


Figure 28 : Cartographie des fonds sédimentaires réalisée par Vanney, en 1965, dans le secteur de la Lambarde.

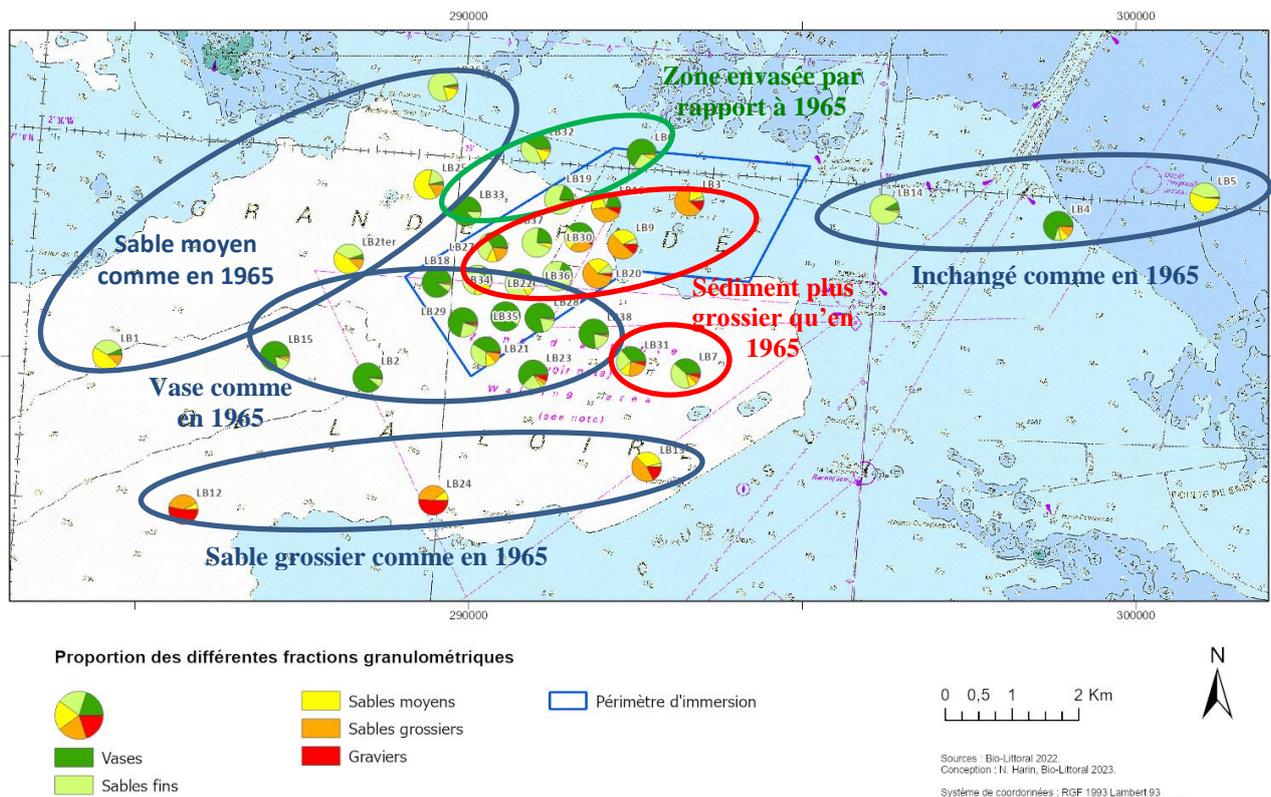


Figure 29 : Synthèse cartographique de l'évolution de la nature sédimentaire entre 1965 et 2022.

- Au nord de la zone d’immersion (LB2-Ter, LB25, LB32), la frange de sable moyen présente en 1965 s’est envasée.
- A l’ouest du périmètre de la nouvelle extension qui correspond à l’ancien chenal (période glaciaire) de la Loire, plus profond, piège les particules fines. En 2022, sa nature sédimentaire est essentiellement vaseuse, comme en 1965.
- Le sédiment de l’ancienne zone d’immersion qui était majoritairement des sables moyens en 1965, s’est envasé partiellement pendant la période de dépôt. Depuis l’arrêt (fin 2014) de l’exploitation de cette zone, le sédiment devient plus grossier. En effet, dans les sédiments dragués dans l’estuaire de la Loire qui sont clapés sur la Lambarde, il peut y avoir des éléments sableux ou même des cailloux qui ne seront pas dispersés par les courants. A terme, seuls ces éléments vont rester sur place, ce qui explique qu’on ait un sédiment plus grossier sur le site de dépôt que le sédiment initial de 1965.
- Dans le secteur récemment exploité, le sédiment formé de sable fin plus ou moins envasé, correspond à un sédiment plus grossier que celui de 1965 qui était constitué de vase. Il s’agit du sédiment immergé récemment sur la Lambarde.
- La partie la plus fine des sédiments immergés se disperse selon le régime de houle dominant SO-NE- entraînant les particules fines vers les roches de la Lambarde où une partie se fait piéger, ce qui explique le fort envasement des stations LB6, LB17, LB32 et LB33 par rapport à 1965.
- Au sud de la zone d’extension, le sédiment grossier qui s’étend vers le sud (LB12, LB24, LB13) reste inchangé depuis 1965.
- Vers la côte, les trois stations LB14, LB4, LB5 repositionnées sur la carte de 1965 sont situées sur des limites d’habitats sédimentaires, ce qui expliquerait leur importante variation au cours du temps.
- Le sédiment des deux stations LB31 et LB7, situées au sud de l’ancienne zone d’immersion, deviennent au cours du temps de plus en plus grossier.

La cartographie des fonds sédimentaires réalisée en 2022 montre (comme en 2019) une zonation sédimentaire globale similaire à celle observée en 1965, hormis la zone de sable moyen située au nord qui s’envase et la zone d’immersion en activité et passée qui gagne en sédiment plus grossier.

V.2 Teneur en matière organique

La teneur en matière organique du sédiment est un paramètre à prendre en considération pour l’étude des peuplements benthiques car de nombreux invertébrés sont des consommateurs de matière organique (MO). Cependant, un trop fort enrichissement en MO peut entraîner la mortalité des invertébrés. La MO est constituée de matières détritiques, de bactéries et de la méiofaune (organismes < 1mm). Différents niveaux de pollution caractérisés par leurs teneurs en MO, ont été définis par Schaan et Marchand (1994) pour l’estuaire de la Loire à la suite de plusieurs campagnes. En effet, les densités de macrofaune benthique maximales étaient obtenues pour une valeur proche de 6% de MO et les stations étaient azoïques pour des valeurs supérieures à 12%. Ces seuils sont confirmés par les différentes études menées ultérieurement en estuaire de Loire par Bio-Littoral.

V.2.1 Chenal de la Loire

Dans le chenal de la Loire, les sédiments sont riches en matière organique qui est piégée dans les vases. En 2022, les teneurs de MO varient de 0,74 % à 11,32 % sur les 23 stations échantillonnées dans le chenal de la Loire. Les plus fortes teneurs de MO correspondent à des sédiments vaseux, et les plus faibles à des sédiments plus grossiers qui sont régulièrement dragués (Figure 30). L’activité portuaire sur Nantes ayant fortement diminué, le chenal amont est très rarement dragué. Les vases

s’y accumulent piégeant la matière organique. Les valeurs maximales sont mesurées sur les stations C98 (11.04 % MO) et C105 (11.32 % MO).

Devant la centrale électrique de Cordemais (C99), le sédiment de sable grossier envasé contient peu de 5,60 % de MO. La station située en face de la vasière de Donges (C88) a un sédiment essentiellement vaseux qui contient 9,71% de MO. Les stations Z2 et C52 qui sont situées devant le terminal méthanier de Montoir ont des sédiments vaseux qui contiennent respectivement 9,84% et 10,37 % de MO.

Les stations C106 (8,01 % MO) à C109 (10,47 % MO) sont sous l’influence du ruisseau de l’Aumondière chargé en matière organique (Figure 30) mais la station C106 est régulièrement draguée pour permettre aux bateaux d’atteindre la grue du port à sec.

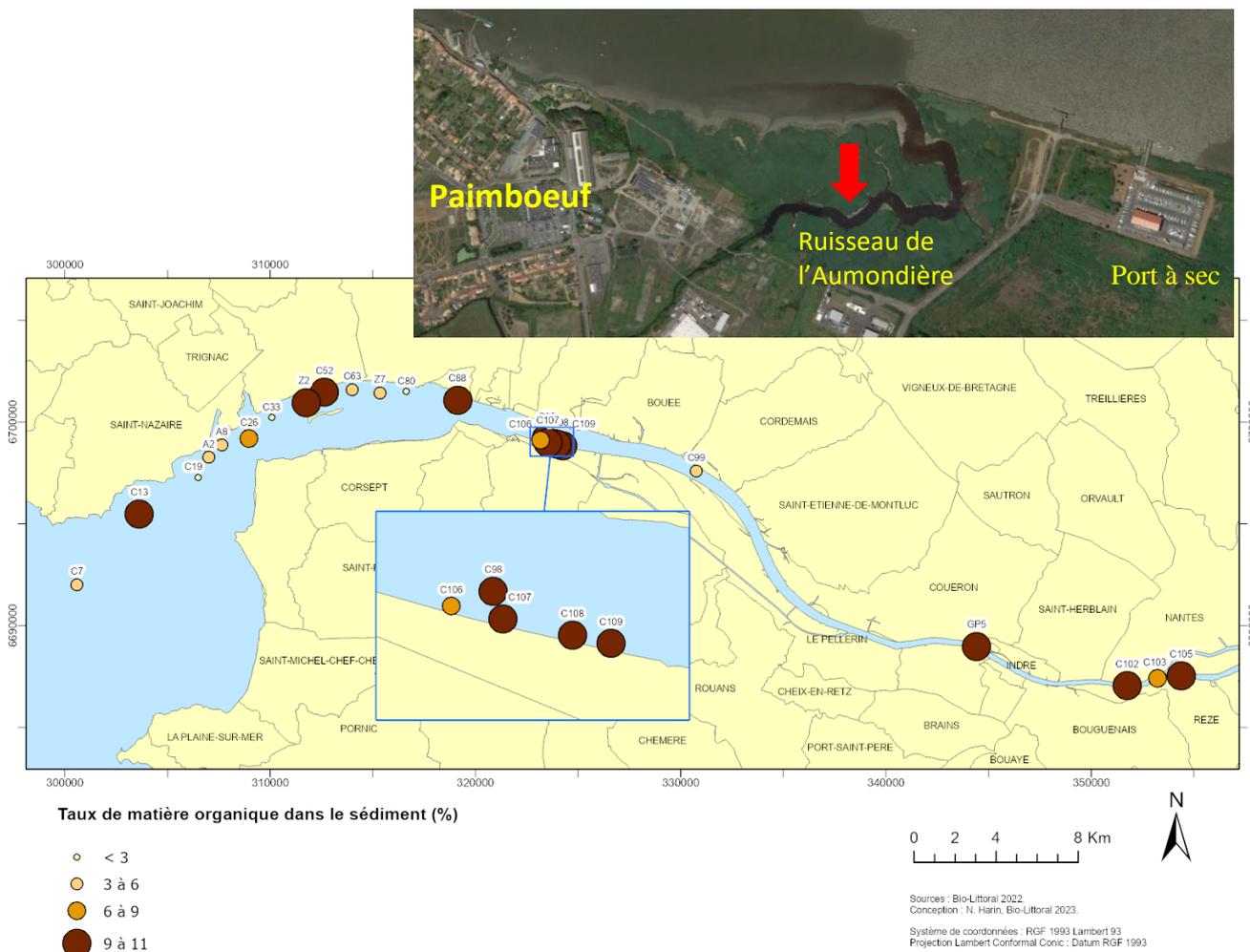


Figure 30 : Taux de matière organique dans les sédiments du chenal de la Loire en 2022.

V.2.2 Secteur Lambarde

Sur les 35 stations échantillonnées dans le secteur de la Lambarde en 2022, le taux de matière organique varie de 0,47 à 8,99 % (Figure 31). Les stations LB18 et LB35 ont des taux les plus élevés avec 8,99 et 8,98 % dans un sédiment très vaseux ce qui s’explique par la proximité de ces stations avec la zone actuelle de dépôt des vases de Loire.

Pour rappel, la méthode de la perte-au-feu-utilisée pour doser la teneur en matière organique des sédiments induit une surestimation de la MO dans les sédiments vaseux, en raison de la structure des argiles qui constituent cette vase. Bien que ce biais méthodologique soit connu depuis longtemps (Barillé-Boyer, 2003), cette méthode peu couteuse est recommandée dans les protocoles de la DCE.

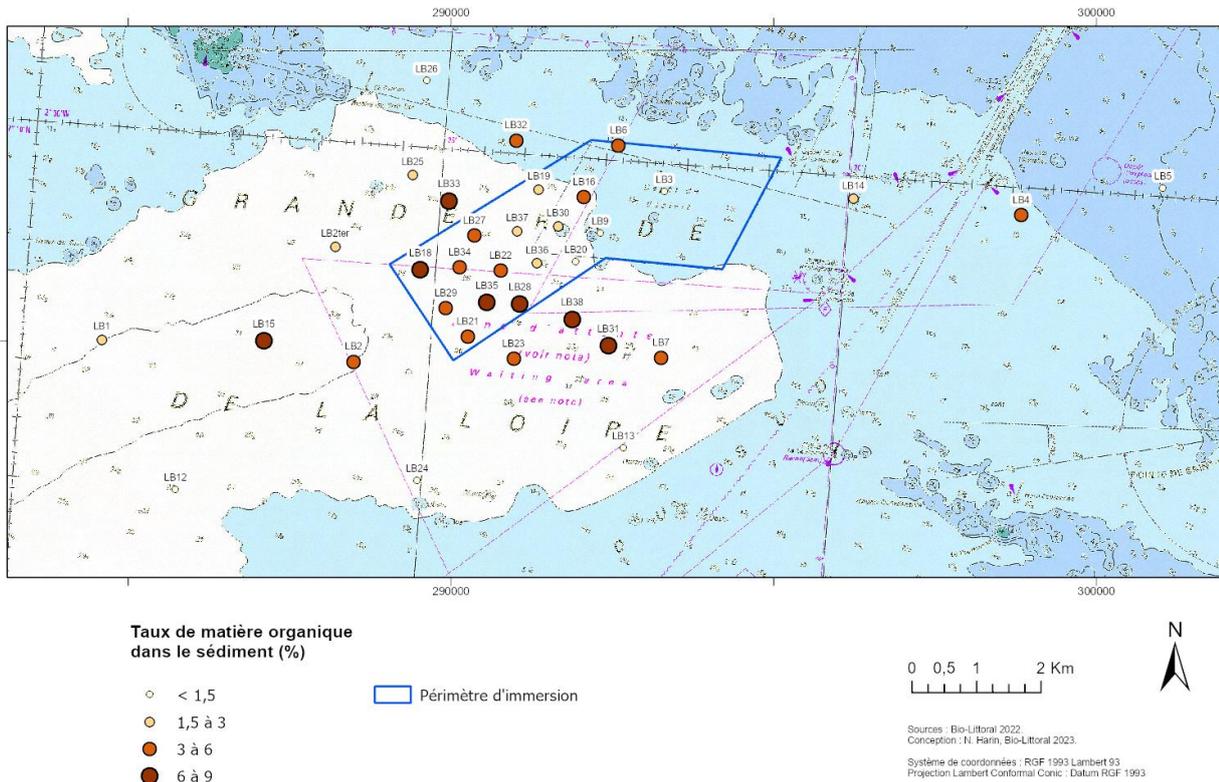


Figure 31 : Taux de matière organique dans les sédiments du secteur de la Lambarde en 2022.

V.3 Synthèse de l'analyse sédimentaire

Le chenal de la Loire est naturellement vaseux mais les dragages récents, réalisés pour permettre l'accès aux quais, mettent en évidence un substrat de sable fin à grossier, qui s'envase au cours du temps jusqu'au prochain dragage.

En 1965, le secteur de la Lambarde était constitué par une bande centrale de nature vaseuse qui s'étirait d'est en ouest, bordée au nord par une frange de sable moyen et au sud par une large zone de sable très grossier. Un sable fin s'accumulait au pied des roches de la Lambarde.

La zone d'immersion exploitée jusqu'en 2015, située au sud du plateau rocheux de la Lambarde, a connu un ensablement important pendant la période de dépôt de vase en provenance de l'estuaire (entre 2 et 8 Mm³/an), mais l'arrêt des immersions sur cette zone, fin 2014, permet une évolution rapide vers un sédiment plus grossier qui correspond à celui observé en 1965. En effet, les particules fines entraînées par les houles dominantes de SO-NE, ont été piégées au pied du plateau rocheux de la Lambarde, ce qui explique le fort ensablement observé depuis 2015 sur ce secteur (stations LB6 et LB17).

Depuis le changement de zone de d'immersion en 2015, sur une zone initialement vaseuse, des impacts localisés sont observés avec un ensablement sur les stations situées dans un rayon de 500m autour de la zone de dépôt et une augmentation de la fraction fine dans les stations situées en périphérie nord de la zone de dépôt. En 2022, cet ensablement des stations périphériques est moins important qu'en 2019, certainement en raison du faible volume de sédiment immergé en 2022 (1,8 Mm³).

Hormis l'accumulation de fraction fine au pied des roches de la Lambarde, les couvertures sédimentaires du secteur sont semblables à celles cartographiées en 1965 par Vanney sur l'ensemble de la zone de suivi.

VI Résultats faunistique

La macrofaune benthique ou macrobenthos est constituée de tous les organismes dont la taille est supérieure à 1 mm, vivant près ou dans le sédiment. Peu d'études portent sur la méiofaune (faune < 1 mm, qui vit dans les sédiments) qui est très complexe à déterminer. L'étude de la méiofaune ne sera pas abordée dans cette étude.

La macrofaune benthique est essentielle dans la chaîne alimentaire. Elle permet le transfert d'énergie entre la source d'énergie primaire et les échelons supérieurs du réseau trophique : crevettes, poissons et oiseaux. Cette source primaire varie selon les écosystèmes étudiés.

- En estuaire de la Loire, il s'agit de micro-algues (principalement microphytobenthos) et de la matière organique, véhiculées par le fleuve qui viennent s'accumuler dans les sédiments vaseux de l'estuaire.
- Dans le milieu côtier de plus de 5m de profondeur, il s'agit du phytoplancton qui se développe dans la colonne d'eau grâce aux apports de sels nutritifs par les fleuves.

VI.1 Chenal de la Loire

VI.1.1 Synthèse globale

Le tableau suivant présente une synthèse des résultats de 2022 acquis sur le chenal de la Loire (Tableau 9). Ces résultats sont ensuite détaillés dans les chapitres suivants.

Tableau 9 : Synthèse des résultats obtenus sur la faune benthique du chenal de la Loire en 2022.

	Station	2022	Densité ind/m ²	Richesse spécifique	biomasse g/m ²
externe	C7	Vs	4 663	47	3,81
	C13	V	60	11	0,19
	C19	Sg	487	12	0,09
Intermédiaire	A2	Vs	1 967	20	18,80
	A8	Vs	2 567	27	16,79
	Z2	V	70	9	0,14
	C33	Sg	230	13	0,06
	C52	V	443	8	0,28
	C88	V	2 887	5	0,30
	Z7	Vs	1 547	13	0,61
	C26	Vs	243	5	0,24
	C63	Vs	210	10	0,87
	C80	SHV	37	7	0,04
	C99	Vs	23	2	0,02
Paimboeuf	C98	V	440	5	0,14
	C106	V	2 317	7	0,32
	C107	V	5 880	7	0,58
	C108	V	1 950	3	0,18
	C109	V	453	2	0,05
Endigué	C105	V	67	2	0,01
	C103	V	47	6	0,05
	C102	V	3	1	0,0002
	GP5	V	0	0	0

VI.1.2 Richesse spécifique

La richesse spécifique correspond au nombre d'espèces trouvées, dans la totalité des réplicats d'une même station.

En 2022, sur les 23 stations échantillonnées dans le chenal de l'estuaire de la Loire, l'analyse de 7 977 organismes a permis d'identifier 98 espèces ou taxons, dont 47 annélides, 20 mollusques, 23 crustacés, 1 cnidaire, 5 échinodermes, 1 nématode et 1 némerte (Tableau 10).

En 2022, 3 espèces contribuent aux fortes densités observées en Loire : il s'agit de l'annélide *Lagis koreni* (3430 ind/m² en C7), du petit crustacé *Corophium volutator* (5837 ind/m² en C107) et des coques *Cerastoderma edule* (1700 ind/m² en A2).

Tableau 10 : Richesse spécifique et densité des organismes benthiques dans le chenal de la Loire en 2022. Les stations sont rangées de l'aval vers l'amont.

Densité ind/m ²	C7	C13	C19	A2	A8	C26	C33	Z2	C52	C63	Z7	C80	C88	C106	C107	C108	C109	C98	C99	GP5	C102	C103	C105		
<i>Alitta succinea</i>	0	0	0	3	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Ampharete</i>	10	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Boccardiella ligérica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Capitella capitata</i>	0	0	0	30	0	0	3	0	0	7	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Caulerliella alata</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Cirratulidae</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Diopatra biscayensis</i>	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Dipolydora</i>	17	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Eteone longa</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Eumida</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Glycera</i>	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Glycera tridactyla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Glycera unicornis</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Goniadella</i>	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Goniadella bobrezkii</i>	0	0	70	0	0	3	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Harmothoe</i>	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Heteromastus filiformis</i>	33	13	3	0	157	170	0	0	33	100	160	0	20	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	
<i>Lagis koreni</i>	3430	0	0	27	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Lanice conchilega</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Magelona</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Magelona alleni</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Magelona filiformis</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Magelona johnstoni</i>	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Mediomastus fragilis</i>	23	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Melinna palmata</i>	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Microphthalmus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nephtyidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nephtys</i>	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nephtys hombergii</i>	137	3	0	20	123	0	7	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Notomastus latericeus</i>	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Oligochaeta</i>	30	0	0	3	43	23	3	3	3	23	440	0	7	7	0	7	0	23	0	0	3	10	63	0	
<i>Onuphidae</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Ophelia neglecta</i>	0	0	3	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Paradoneis lyra</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Paraonidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pholoe baltica</i>	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pholoe inornata</i>	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Phyllodoce lineata</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pisione remota</i>	0	0	347	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Platynereis dumerilii</i>	3	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Podarkeopsis capensis</i>	10	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Polychaeta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	3	
<i>Polycirrus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Polygordius</i>	0	0	10	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Prionospio</i>	583	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Saccocirrus papillocercus</i>	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Sigalion mathildae</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Spio</i>	0	0	0	3	13	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Spionidae</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Spiophanes bombyx</i>	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Spirobranchus</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Spirobranchus lamarcki</i>	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Sthenelais boa</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Streblospio</i>	0	0	0	0	7	13	0	3	0	3	123	0	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Tharyx</i>	10	0	0	77	853	33	0	0	0	3	693	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
Total Annelida	4423	33	447	213	1257	243	200	23	43	143	1507	3	37	20	7	7	0	27	0	0	3	37	67	0	
<i>Chaetognatha</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Chaetognatha	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Cnidaria</i>	0	3	0	7	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cnidaria	0	3	0	7	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Densité ind/m ²	C7	C13	C19	A2	A8	C26	C33	Z2	C52	C63	Z7	C80	C88	C106	C107	C108	C109	C98	C99	GP5	C102	C103	C105
<i>Abludomelita obtusata</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ampelisca diadema</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ampelisca sarsi</i>	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ampelisca spinimana</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ampelisca tenuicornis</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bathyporeia elegans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Carcinus maenas</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Copepoda	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corophiidae	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Corophium volutator</i>	0	3	0	0	0	0	17	27	367	3	0	0	2847	2283	5833	1917	450	387	0	0	0	0	0
<i>Crangon crangon</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	7	13	0	3	13	0	0	0	0	0	0
<i>Eualus cranchii</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gammaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Idotea emarginata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Liocarcinus vernalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melita palmata</i>	0	0	3	3	103	0	7	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Mesopodopsis slabberi</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	7	17	27	0	13	0	0	0	0	0	0
<i>Neomysis integer</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
<i>Pisidia longicornis</i>	0	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pontocrates altamarinus</i>	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Schistomysis spiritus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Solidobalanus fallax</i>	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tryphosella sarsi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Crustacea	50	13	3	10	137	0	27	30	373	13	3	27	2850	2297	5873	1943	453	413	20	0	0	3	0
<i>Acrocrida brachiata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphipholis squamata</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
<i>Asterias rubens</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cucumariidae	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ophiothrix fragilis</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Echinodermata	7	7	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Abra alba</i>	17	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acanthocardia paucicostata</i>	7	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aequipecten opercularis</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calyptrea chinensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cerastoderma edule</i>	0	0	0	1700	853	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Corbicula fluminea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Crepidula fornicata</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Kurtiella bidentata</i>	10	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Macoma balthica</i>	0	3	0	13	43	0	3	17	27	50	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Macra stultorum</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mytilus edulis</i>	0	0	7	13	187	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nucula nitidosa</i>	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Philine quadripartita</i>	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ruditapes philippinarum</i>	0	0	0	3	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scrobicularia plana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spisula solida</i>	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spisula subtruncata</i>	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tritia reticulata</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tritia varicosa</i>	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Varicorbula gibba</i>	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Mollusca	177	3	27	1733	1153	0	3	17	27	50	37	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Nematoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Nemertea	3	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phoronida	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Platyhelm+A103:A118inthes	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Densité totale	4663	60	487	1967	2567	243	230	70	443	210	1547	37	2887	2317	5880	1950	453	440	23	0	3	47	67
RS	47	11	12	20	27	5	13	9	8	10	13	7	5	7	7	3	2	5	2	0	1	6	2

Dans le chenal de la Loire, un gradient de biodiversité est visible depuis l'amont vers l'aval avec les stations marines qui sont les plus riches en espèces (Figure 32).

Les stations les plus riches en termes de biodiversité sont celles du chenal externe : C7 (47 esp), A8 (27 esp.), A2 (20 esp.), Z7 et C33 (13 esp.) et C219 (12 esp.). Les autres stations abritent moins de 11 espèces et la station GP5 est azoïque.

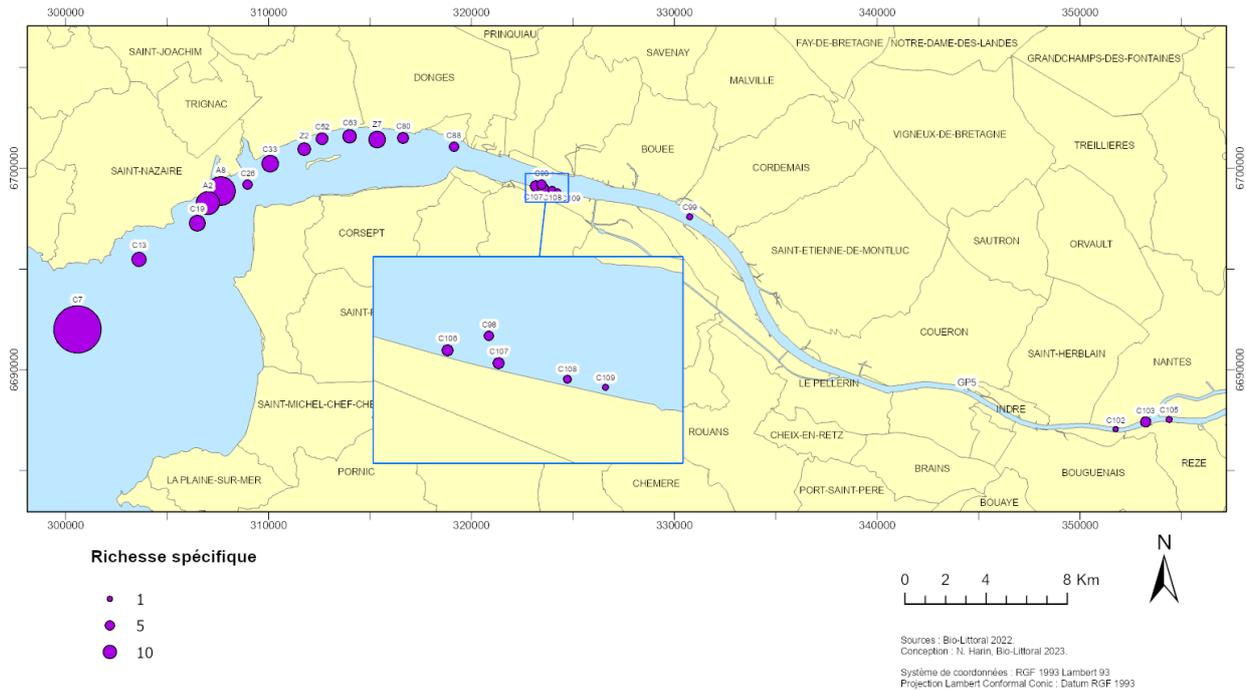


Figure 32 : Répartition spatiale des richesses spécifiques des stations du chenal de la Loire en 2022.

VI.1.3 Evolution de la richesse spécifique entre 2015 et 2022

La biodiversité a diminué entre 2017 (95 espèces) et 2019 (82 espèces). Elle revient à 98 espèces en 2022. Cette variation concernait surtout les crustacés avec 23 espèces en 2019 contre 32 en 2017. En 2015, seules 55 espèces avaient été répertoriées sur l'ensemble des groupes faunistiques. En 2017, 21 nouvelles espèces de crustacés avaient été répertoriées par rapport à 2015. Il semble donc que le groupe des crustacés montre une forte variabilité spécifique car leurs représentants, en très faible effectif ne sont pas toujours récoltés. En 2022, comme en 2019, seules 23 espèces de crustacés ont été récoltées, mais 2022 connaît une plus forte biodiversité en annélides et particulièrement sur la station la plus externe C7 (47 esp en 2022 et 37 esp d'annélides en 2019).

Bien que les richesses spécifiques montrent une certaine variabilité annuelle, les stations abritant une plus forte biodiversité restent les mêmes depuis 2015 (Figure 33). Il s'agit des stations C7, A2, A8 et Z7.

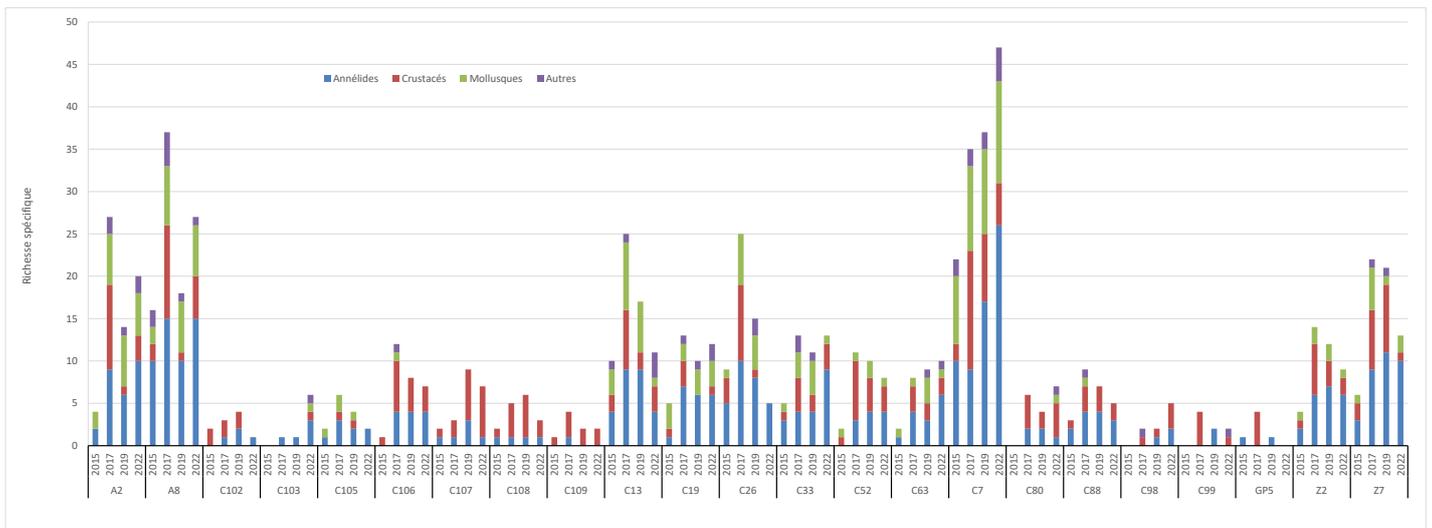


Figure 33 : Evolution de la richesse spécifique dans chaque station entre 2015 et 2022.

VI.1.4 Densité d'organismes

Les densités d'organismes du chenal de l'estuaire de la Loire sont importantes aux stations situées dans l'estuaire externe C7 (4663 ind/m²), A8 (2567 ind/m²), A2 (1967 ind/m²) et C19 (487 ind/m²) (Tableau 10).

En moyenne, la densité d'organismes diminue de l'aval vers l'amont (Figure 34). De fortes densités de *Corophium volutator* sont observées dans le secteur du port à sec de Paimboeuf en C107 (5833 ind/m²), C106 (2283 ind/m²) et C108 (1917 ind/m²) et sur la rive nord au niveau de la vasière de Donges, station C88 (2847 ind/m²).

Comme en 2017 et 2019, *Lagis koreni* colonise la station la plus externe en 2022. Il est très abondant en C7 (3430 ind/m²) mais diminue rapidement avec seulement 27 ind/m² à la station A2 et aucun en C13 ou C19.

L'annélide *Heteromastus filiformis* est observé dans les vasières intertidales de l'estuaire de la Loire avec des densités moyennes de 360 ind/m² dans le domaine externe et de 730 ind/m² dans le domaine polyhalin ; il est donc normal de le retrouver dans le chenal dans la zone intermédiaire avec des densités comprises entre 100 et 200 ind/m² sur les stations A8, C26, C63 et Z7 en 2022.

Le petit mollusque *kurtiella bidentata* qui était très abondant en 2019 sur la station C7 (8220 ind/m²), est peu présent en 2022 avec un maximum de 10 ind/m². Les stations situées sur l'avant-port de Saint-Nazaire, abritent des colonies de coques *Cerastoderma edule* (1700 ind/m²) sur A2 et (853 ind/m²) sur A8. Des moules *Mytilus edulis* sont également présentes sur cette station A8 (187 ind/m²).

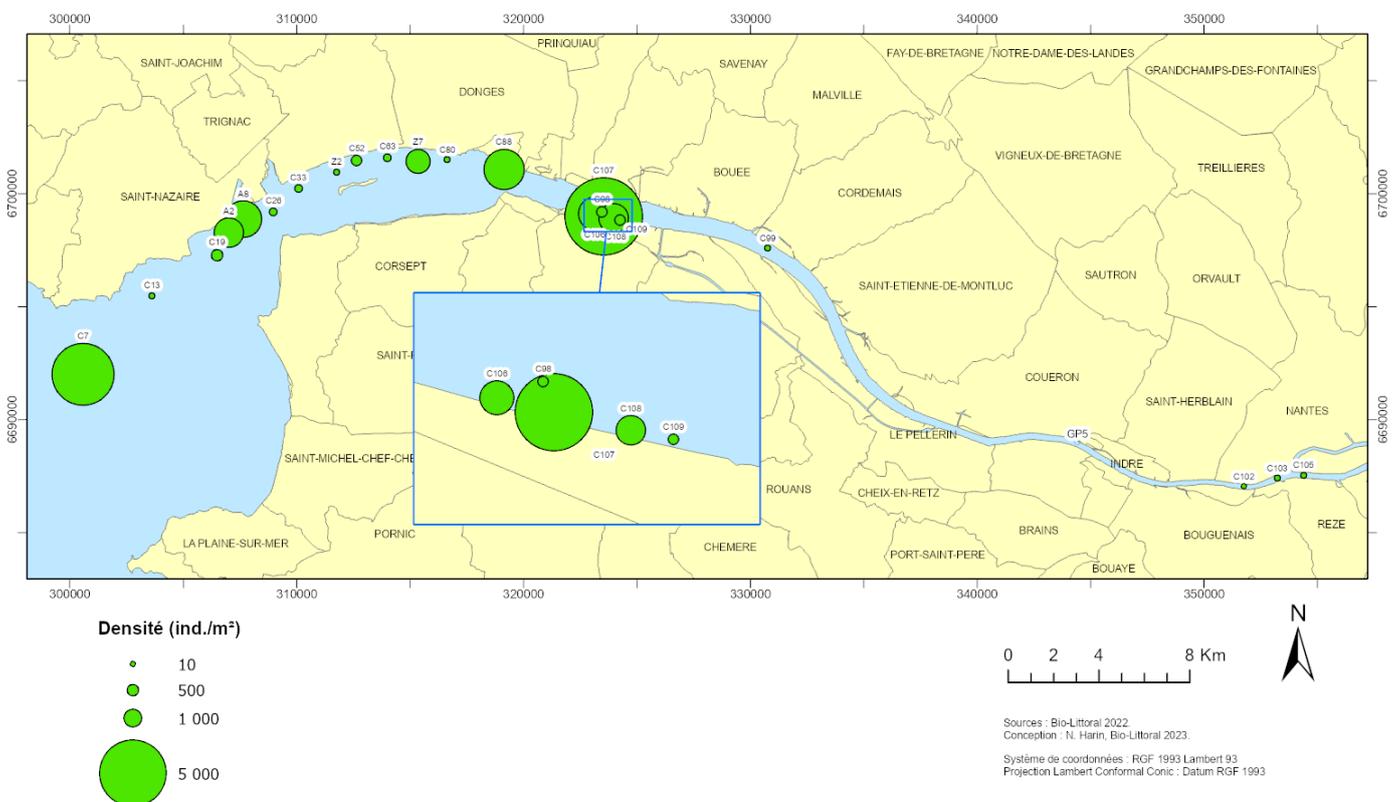


Figure 34 : Répartition spatiale des densités d'organismes des stations du chenal de la Loire en 2022.

VI.1.5 Evolution des densités d'organismes entre 2015 et 2022

En 2022, 15 espèces ont des densités supérieures à 50 ind/m² dans le chenal contre 11 en 2019, 10 en 2017 et 5 en 2015. Il s'agit du crustacé *Corophium volutator* et *Melita palmata*, des annélides, *Lagis koreni*, *Nephtys hombergii*, *Heteromastus filiformis*, *Tharyx sp.*, *Pisione remota*, *Goniadella bobrezkii*, *Oligochaeta*, *Prionospio*, *Streblospio*, et des mollusques *Cerastoderma edule*, *Mytilus edulis*, *Ruditapes philippinarum* et *Philine quadripartita*.

Les espèces sont réparties selon le domaine de salinité. La section marine (C7) est dominée par les bivalves *Abra alba*, *Kurtiella bidentata* ainsi que par les annélides *Lagis koreni* et *Nephtys hombergii*. Le secteur polyhalin en aval de Donges, est dominé par les annélides *Heteromastus filiformis*, *Allita succinea* et *Tharyx sp.* et le bivalve *Limecola baltica*. *Corophium volutator* et *Boccardiella ligerica* sont caractéristiques du domaine mésohalin. Le domaine oligohalin, pauvre en faune sont caractérisés par des oligochaetes. Cependant, ces espèces caractéristiques des vasières intertidales de l'estuaire de la Loire ne sont pas toujours récoltées dans le chenal bien que leur présence soit avérée sur les vasières intertidales.

Il est important de noter la quasi disparition du *Corophium volutator* des stations C13 et C26 en raison de la forte diminution de la fraction fine des sédiments en 2019. En effet, ce crustacé construit ses tubes avec de la vase. Malgré le retour du sédiment vaseux sur la station C13, les corophiums ne sont pas revenus sur cette station qui est très externe. *Corophium volutator* reste très présent dans les stations proches du port à sec de Paimboeuf et celle proche de la vasière de Donges.

Les *Boccardiella ligerica* sont récoltés sur la station 106 (20116 ind/m²) en 2017, seulement 12 ind/m² en 2019 et 7 ind/m² en 2022. Les *Lagis koreni* de la station C7 ont des densités de 14042 ind/m² en 2017, 4234 ind/m² en 2019 et 3430 ind/m² en 2022. La très forte diminution des effectifs de *Boccardiella ligerica* sur cette station pourrait être liée au dragage du port à sec.

L'annélide *Lagis koreni* reste cantonné dans l'estuaire externe en station C7.

L'annélide *Nephtys hombergii*, se retrouve jusqu'en Z7 mais est plus abondant sur les stations C7 et A8.

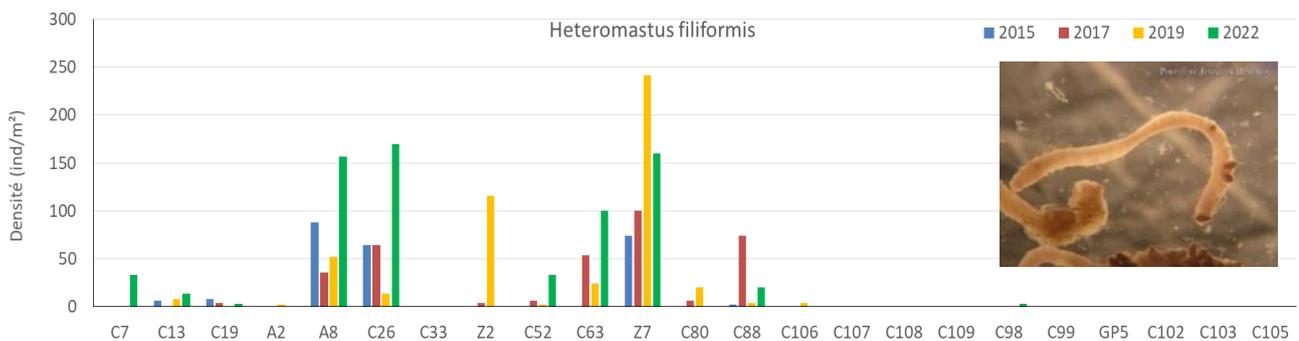
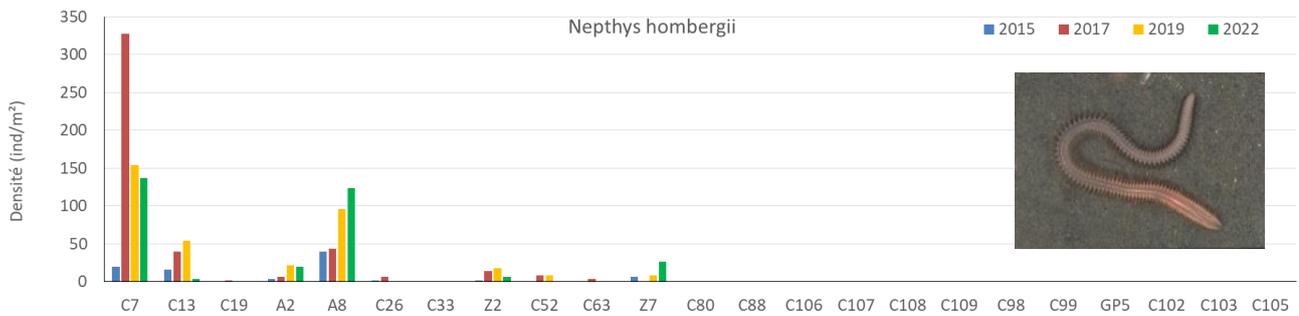
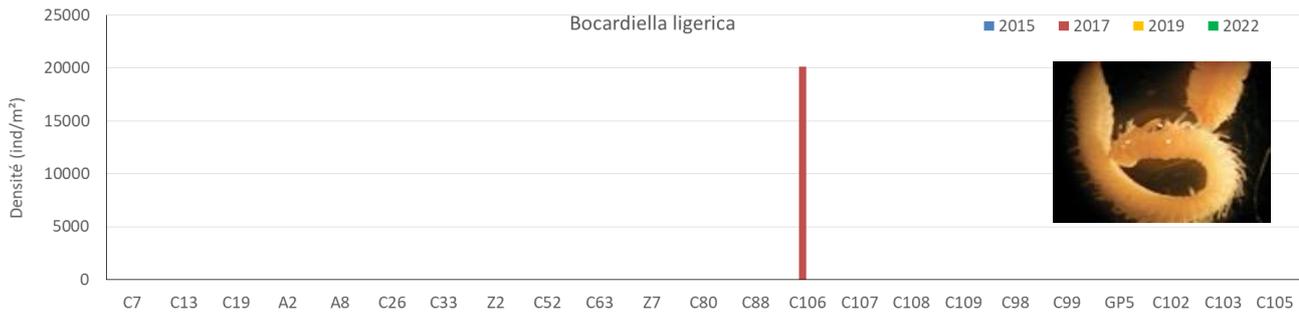
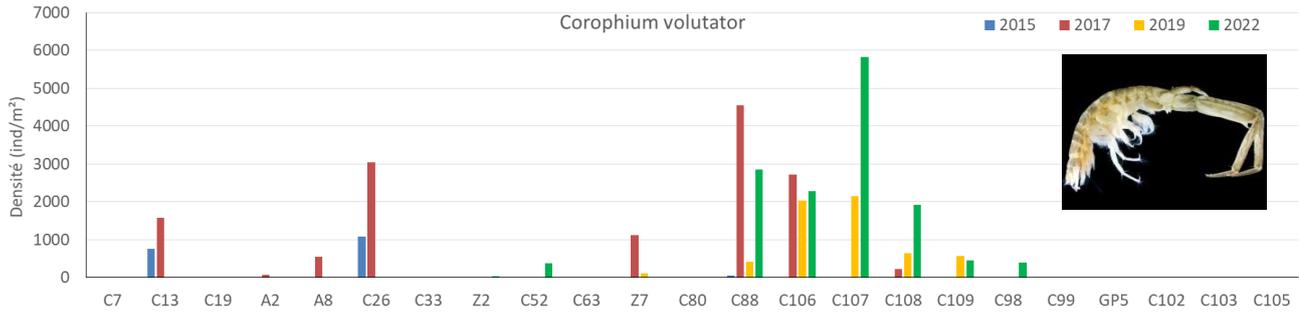
L'annélide *Heteromastus filiformis* est récolté depuis la mer jusqu'à Cordemais mais il est plus abondant sur les stations A8, C26, C63 et Z7.

En 2022, l'annélide *Tharyx sp.*, colonise les mêmes stations que les années précédentes, de A2 à Z7 mais avec des très fortes densités.

L'annélide *Allita succinea* est beaucoup moins répandu que les autres années, il n'est récolté qu'en faible densité sur les stations A2 et A8.

Les mollusques *Kurtiella bidentata* et *Abra alba* qui étaient bien représentés dans la station C7 située à l'extérieur de l'estuaire ont de très faibles densités en 2022.

Le bivalve *Macoma balthica* (*Limecola baltica*) connaît en 2022 une aire de répartition un peu plus restreinte de A2 jusqu'à Z7.



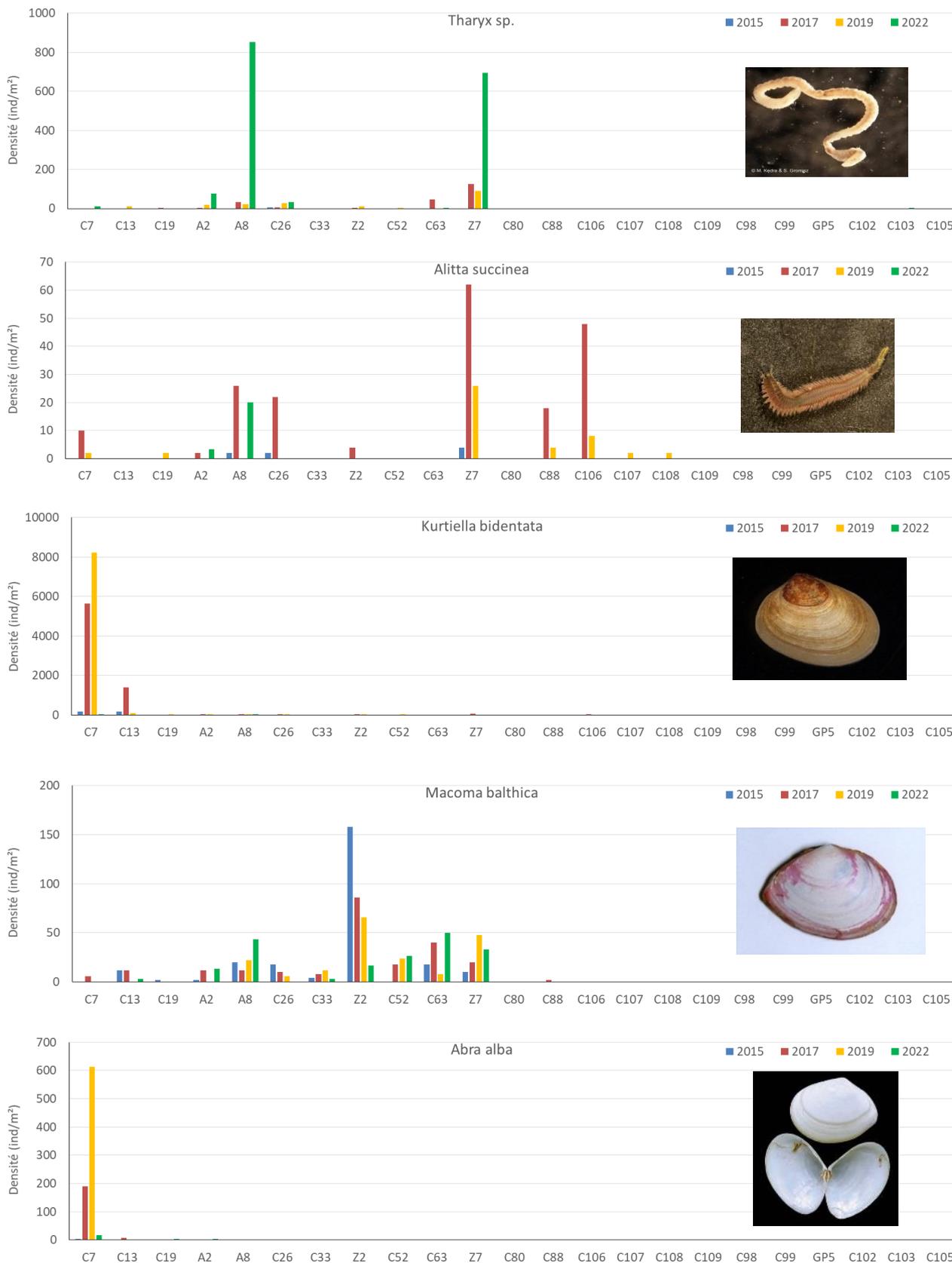


Figure 35 : Evolution des densités des principales espèces du chenal de la Loire entre 2015 et 2022.

VI.1.6 Biomasse d'organismes

La répartition spatiale des biomasses d'organismes, mesurées en poids sec sans cendre, montre des valeurs qui diminuent de l'aval vers l'amont (Figure 36). Ce gradient est plus marqué que celui des densités car les organismes marins sont généralement plus gros que les organismes d'eau douce.

Les très fortes biomasses mesurées sur les stations A2 et A8, sont liées à la présence de bivalves : coques (entre 1 et 2 cm de long), de moules (entre 2 et 3 cm) et de palourdes (entre 1 et 2 cm de long).

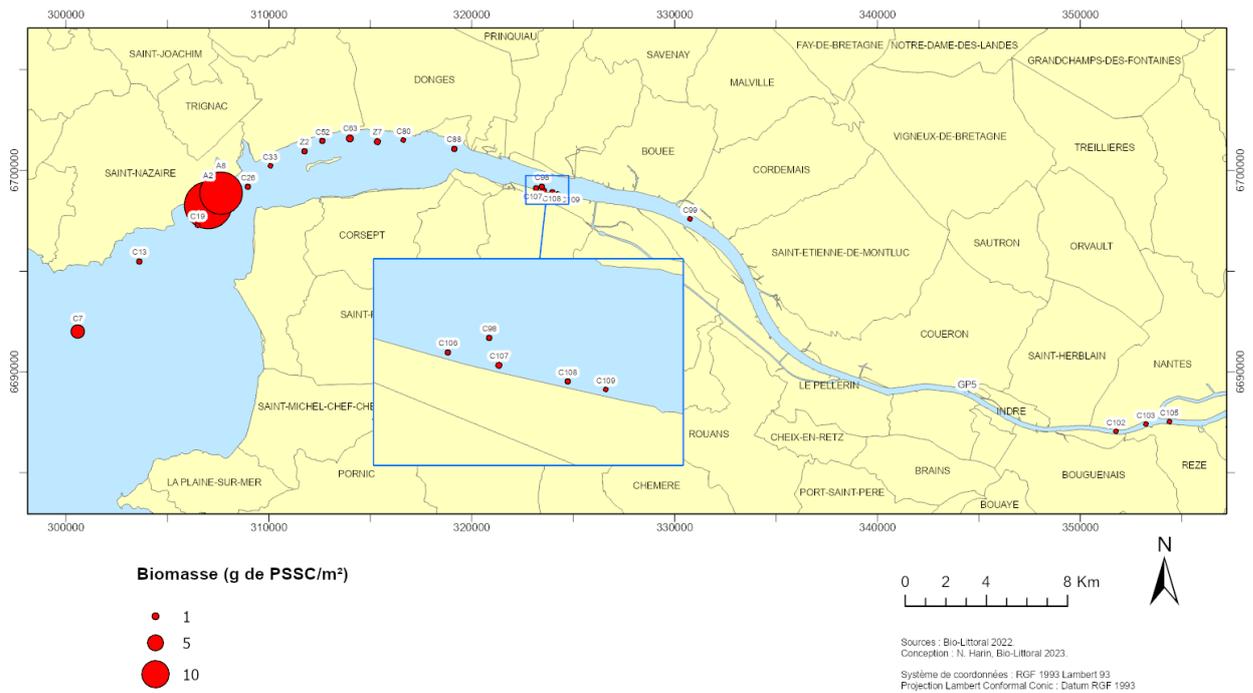


Figure 36 : Répartition spatiale des biomasses d'organismes des stations du chenal de la Loire en 2022.

VI.2 Secteur de la Lambarde

VI.2.1 Synthèse globale

L'analyse des 46 545 organismes récoltés sur les 35 stations (dans 5 bennes de 0.1m²) du secteur de la Lambarde en 2022, a permis d'identifier 351 espèces ou taxons.

Les densités par espèces et par station sont données en Annexe2.

Les stations montrent une grande hétérogénéité dans leurs paramètres faunistiques qui semblent liée à leur différente nature sédimentaire (Tableau 11). Les sédiments fins abritent une plus grande densité d'organismes.

Tableau 11 : Synthèse des résultats obtenus sur la faune benthique dans le secteur de la Lambarde en 2022.

Secteur	Station	2022	Richesse spécifique	Densité ind/m ²	Biomasse g(pssc)/m ²
	LB_11	*	*	*	
	LB_16	SHV	41	278	7,14
Ancienne	LB_17	*	*	*	
Zone d'immersion	LB_3	Sg	31	970	1,81
	LB_6	Vs	74	1524	66,26
	LB_9	Sg	22	214	1,79
	LB_30	Vs	25	322	35,57
Zone d'extension d'immersions	LB_18	V	84	5226	21,44
	LB_19	Sf	120	3212	16,48
	LB_20	Sg	32	304	0,72
	LB_21	Vs	91	3788	9,32
	LB_22	Vs	32	538	1,82
	LB_27	Vs	79	1884	6,96
	LB_28	V	38	848	2,19
	LB_29	Vs	95	4430	11,17
	LB_34	Sf	72	1546	4,66
	LB_35	V	40	1200	3,11
	LB_36	Sf	55	7192	18,26
LB_37	Sf	70	5350	14,95	
Est	LB_14	Sf	99	1930	9,12
Hors Zone.immersion	LB_4	Vs	58	608	2,37
	LB_5	Sm	26	2542	12,84
Ouest	LB_1	Sm	76	664	2,57
Hors Zone.immersion	LB_12	G	60	486	1,33
	LB_15	V	88	4236	7,04
	LB_2	V	89	5758	13,73
Nord	LB_2ter	Sm	97	2758	9,52
Hors Zone.immersion	LB_25	Sm	103	1596	9,80
	LB_26	Sf	85	1138	13,29
	LB_32	Vs	101	6058	34,11
	LB_33	V	80	2954	14,21
Sud	LB_13	Sg	67	872	1,89
Hors Zone.immersion	LB_7	Vs	107	4734	14,58
	LB_23	Vs	94	3064	10,85
	LB_24	G	66	1384	3,49
	LB_31	Vs	120	6212	18,91
	LB_38	V	100	7270	15,18

VI.2.2 Richesse spécifique

VI.2.2.1 Résultats richesse spécifique de 2022

Les plus faibles richesses spécifiques (22 à 41 espèces) sont enregistrées sur une zone qui forme un quadrilatère comprenant les stations LB35, LB22, LB28 et LB20 sur la zone en exploitation et sur les stations LB 30, LB16, LB9 et LB3 situées sur l'ancienne zone d'immersion. La plus faible biodiversité (22 espèces) est observée sur la station LB9.

Un maximum de 120 espèces ou taxons est mesuré en LB19 (Figure 37).

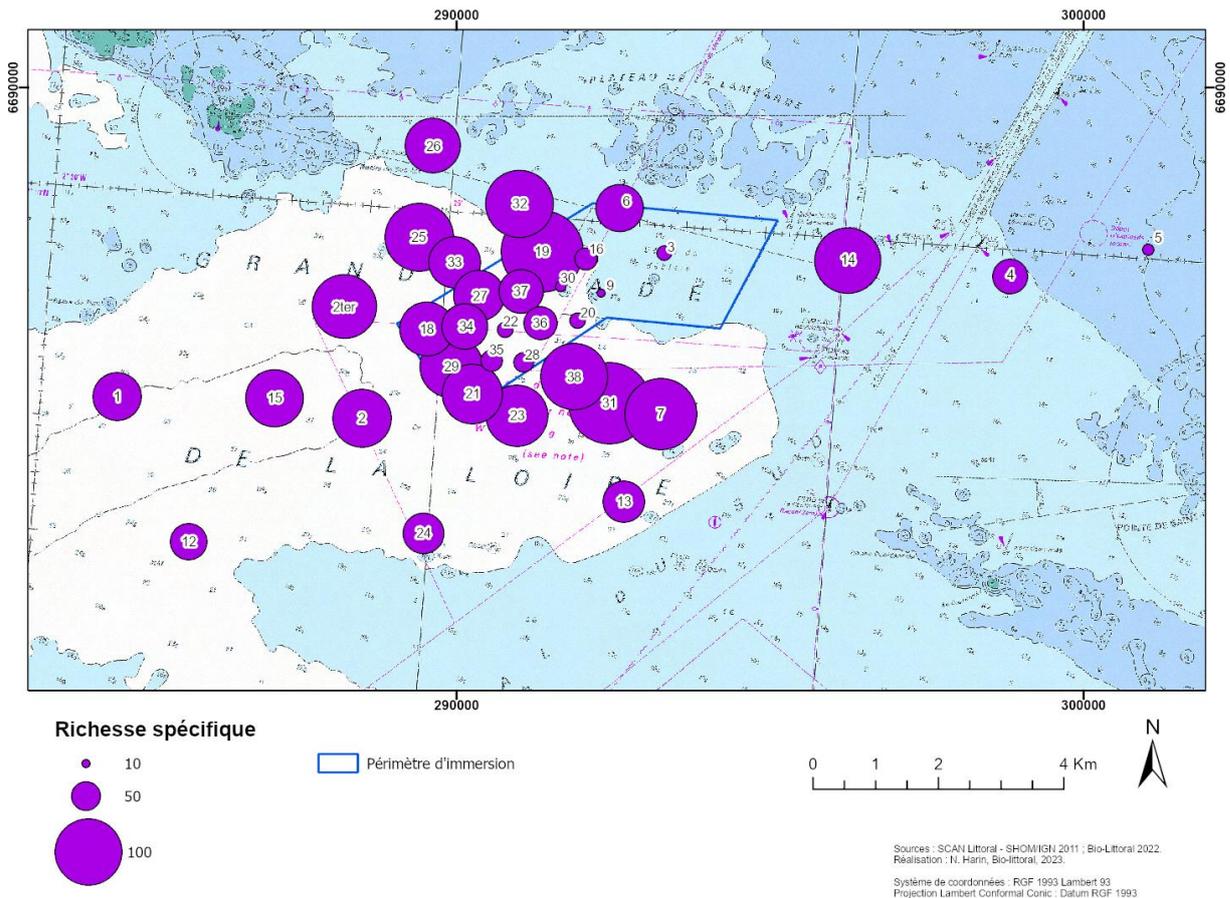


Figure 37 : Répartition spatiale des richesses spécifiques des stations du secteur de la Lambarde en 2022.

En 2022 comme en 2019, les annélides (159 taxons) et les crustacés (103 taxons) sont les espèces majoritaires. Viennent ensuite les mollusques (67 taxons) puis les échinodermes (14 taxons) et les cnidaires (2 taxons). Les autres groupes (Chordata, Chaetognathes, Nematodes, Nemertes, Platyhelminthes) sont regroupés en un seul taxon car ils n'ont pas été déterminés jusqu'à l'espèce.

Evolution de 2013 à 2022

La comparaison des richesses spécifiques sur toutes les stations entre 2013, 2015, 2017, 2019 et 2022 permet de prendre en compte l'évolution récente de la zone d'extension avec un bilan initial établi en 2013 (sans dépôt au préalable) (Figure 38).

Les stations situées dans l'ancienne zone de dépôt, ont toujours eu une biodiversité (< 40 taxons) plus faible que les autres stations sauf pour la station LB6 qui a vu sa biodiversité augmenter significativement (> 70 esp) après l'arrêt des immersions. Cette station a un sédiment sablo-vaseux alors que les autres stations de ce secteur ont un sédiment de sable grossier.

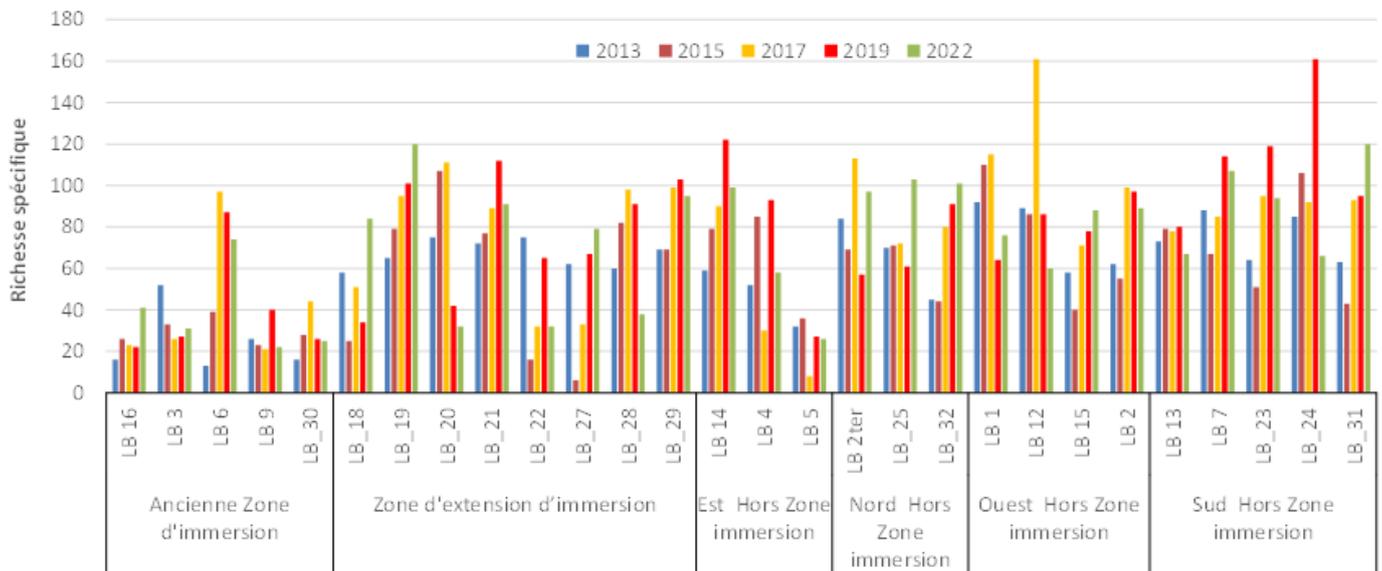


Figure 38 : Comparaison de la biodiversité en organismes entre 2013 et 2022 sur les stations de la Lambarde.

VI.2.3 Densité faunistique

Parmi les 351 espèces inventoriées en 2022 sur le secteur de la Lambarde, seules quelques espèces présentent de fortes densités capables de caractériser des peuplements benthiques (Tableau 12). Les résultats complets pour les 351 espèces sont fournis en annexe.

Tableau 12 : Principales espèces de la faune benthique inventoriée à la Lambarde en 2022 (densité ind/m²)

Phylum	Densité ind/m ²	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB9	LB12	LB13	LB14	LB15	LB16	LB18	LB19	LB20	LB21	LB22	LB23	LB24	LB25	LB26	LB27	LB28	LB29	LB30	LB31	LB32	LB33	LB34	LB35	LB36	LB37	LB38	LB2ter
Annelida	418	1356	934	484	164	784	1270	158	402	722	1222	1126	102	1068	2240	250	1842	510	1134	1182	716	652	1228	632	1622	68	1832	2156	906	1192	906	6728	4882	3908	1420	
Annelida	Lagis koreni	6	14	2	0	0	12	4	0	0	0	6	2	2	92	48	2	10	370	10	0	10	2	112	440	2	0	8	36	116	312	722	5502	3738	2	16
Annelida	Mediomastus fragilis	32	426	4	22	0	82	262	0	0	6	178	340	0	14	94	2	900	2	396	6	56	48	274	12	356	6	582	60	8	140	2	74	394	2382	122
Annelida	Ampharete	0	128	2	2	0	0	146	0	0	0	48	38	6	334	38	0	96	0	116	0	80	10	6	0	114	0	154	228	308	8	0	14	12	108	506
Annelida	Heteromastus filiformis	0	94	0	0	0	270	98	2	0	0	4	82	6	118	14	0	246	2	32	2	20	0	2	14	134	0	78	478	60	20	46	6	14	276	0
Annelida	Prionospio	0	6	0	0	0	20	4	0	0	0	44	6	0	26	32	0	6	34	4	0	10	8	128	66	16	8	2	22	26	300	34	594	224	30	18
Annelida	Paradoneis lyra	4	174	0	4	0	2	90	0	0	0	0	110	0	12	12	0	144	0	172	0	2	0	2	2	196	0	146	2	6	12	0	0	216	24	
Annelida	Magelona filiformis	0	2	0	0	10	4	0	0	0	0	70	0	2	0	698	4	0	2	0	0	0	148	186	0	0	0	0	4	0	66	0	32	102	0	0
Annelida	Pisiole remota	20	0	622	26	0	0	38	26	112	0	0	0	28	0	0	0	88	0	0	0	136	0	2	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Annelida	Pholoe baltica	2	8	0	0	0	6	0	0	0	24	10	2	72	2	0	0	0	8	0	4	2	2	2	6	0	12	538	26	12	0	62	0	28	12	
Annelida	Nephtys hombergii	0	0	0	0	10	0	0	0	0	40	0	0	4	20	0	0	10	0	0	16	0	36	58	0	0	0	62	26	106	40	236	170	0	4	
Annelida	Euclymene droebachiensis	0	32	0	0	0	134	0	0	0	0	66	0	0	0	0	24	0	100	0	0	0	0	0	168	0	138	0	2	0	0	0	0	148	0	
Annelida	Magelona minuta	0	30	0	0	0	30	0	0	0	18	22	2	22	172	0	52	0	30	0	0	0	8	12	36	0	76	36	10	12	10	36	18	50	6	
Annelida	Aponuphis bilineata	52	0	4	46	0	22	0	0	24	10	12	2	6	0	74	8	0	0	0	92	26	80	58	0	0	0	2	2	8	0	0	10	0	70	
Annelida	Notomastus laterceus	0	4	28	0	0	20	20	16	26	72	12	10	6	8	2	0	16	14	10	76	18	2	20	4	10	14	28	38	14	8	8	12	2	38	0
Annelida	Lumbrineris latreilli	18	22	0	68	0	14	16	0	4	0	42	26	0	4	22	0	14	10	10	6	6	2	0	14	0	26	8	14	0	0	0	0	92	108	
Annelida	Euclymene	0	48	0	0	0	2	52	0	0	4	16	0	6	16	0	20	0	8	0	4	4	0	2	94	0	98	14	4	0	0	0	116	2		
Annelida	Polycirrus	0	4	48	4	0	20	2	0	6	202	2	2	2	2	20	2	0	0	0	84	0	2	0	2	0	2	0	10	6	2	0	0	6	24	
Annelida	Magelona johnstoni	0	0	0	0	0	4	0	0	0	52	0	0	0	158	4	0	0	0	0	0	108	48	0	0	0	0	2	0	16	0	2	14	0	0	
Annelida	Gallardoneris nonatoi	0	56	0	0	0	0	26	0	0	0	46	0	16	0	0	38	0	32	0	0	0	0	0	0	96	0	40	0	0	0	0	0	18	6	
Annelida	Spiophanes bombyx	4	0	0	0	0	24	0	0	2	130	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	20	18	6	0	2	0	96	30	4	0	2	2	0	0	
Annelida	Nephtys cirrosa	48	0	14	8	114	16	10	12	6	12	0	6	0	0	38	0	0	6	12	20	8	4	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	18	
Annelida	Spio	2	0	10	0	0	12	2	18	6	2	46	0	4	0	22	0	0	2	0	14	0	24	10	0	0	2	0	8	0	46	0	50	72	0	0
Annelida	Magelona allenii	0	0	0	0	0	10	0	0	0	2	0	0	4	234	0	0	0	0	0	0	2	58	2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	10	0	4
Annelida	Phoronida	2	4	0	60	0	24	8	0	0	14	0	0	14	28	0	14	0	0	0	0	44	20	22	0	2	0	40	6	10	0	6	0	6	0	
Annelida	Euclymene oerstedii	0	6	0	0	0	4	0	0	0	72	6	0	26	6	0	2	0	10	0	6	2	0	0	22	0	8	30	24	2	2	0	0	74	0	
Annelida	Terebellides	2	30	0	0	0	0	26	0	0	2	36	0	2	0	2	60	0	2	60	10	0	0	0	0	28	0	52	0	20	0	0	0	10	14	
Annelida	Diplocirrus glaucus	2	0	0	0	0	2	0	0	0	72	0	0	14	74	0	0	0	2	0	10	8	6	0	0	0	0	26	2	0	0	4	6	62		
Annelida	Melinna palmata	0	0	0	0	0	4	4	0	0	12	2	0	58	4	0	20	4	0	20	2	0	0	4	0	4	8	42	28	0	2	0	2	12	46	
Annelida	Glycera tridactyla	0	0	0	0	0	6	0	0	0	66	2	0	0	20	0	0	12	0	0	0	16	40	0	0	0	0	0	12	2	32	24	4	2	0	
Annelida	Poecilochaetus serpens	10	0	0	0	0	4	0	0	0	44	0	0	0	38	0	0	0	0	0	4	4	110	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	4	
Annelida	Pista	14	0	10	120	0	2	0	4	12	0	8	0	0	0	4	0	4	0	2	16	14	4	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	8	
Annelida	Capitella capitata	0	2	0	4	52	2	0	0	0	10	2	0	0	2	0	4	36	0	0	0	2	14	0	8	0	6	2	2	34	0	4	22	4	0	
Annelida	Schistomeringos rudolphi	0	14	0	0	0	24	0	0	0	32	0	0	0	0	0	24	0	24	0	0	0	0	0	42	0	36	0	0	0	0	0	14	0		
Annelida	Nothria conchylega	28	0	0	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	16	
Annelida	Oligochaeta	10	0	6	0	0	2	0	0	10	0	2	2	2	0	2	0	4	0	4	46	6	2	2	0	0	0	2	0	8	0	10	14	0	38	
Annelida	Owenia fusiformis	12	0	0	0	2	0	0	0	0	16	0	0	16	2	0	2	0	2	0	48	0	6	0	0	0	0	4	38	4	0	0	2	2	14	
Annelida	Glycinder nordmanni	14	0	0	8	0	10	2	0	2	4	6	14	2	0	12	0	4	0	6	2	6	2	4	0	2	0	6	6	4	0	0	0	8	42	
Annelida	Caulerliella alata	2	0	0	18	0	18	2	0	4	4	6	0	0	2	30	0	2	0	2	2	2	2	0	8	0	2	0	12	2	4	0	2	2	32	
Annelida	Podarkeopsis capensis	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4	4	0	18	14	0	4	0	0	0	4	2	14	0	10	0	6	6	18	10	6	20	4	16	0	
Annelida	Spirobranchus lamarcki	0	0	0	14	0	0	0	0	34																										

Phylum	Densité ind/m ²	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB9	LB12	LB13	LB14	LB15	LB16	LB18	LB19	LB20	LB21	LB22	LB23	LB24	LB25	LB26	LB27	LB28	LB29	LB30	LB31	LB32	LB33	LB34	LB35	LB36	LB37	LB38	LB2ter	
Crustacea	Crustacea	120	4076	6	70	276	96	2994	2	20	48	178	2580	36	3320	136	18	1652	16	1572	12	250	216	66	64	2310	16	3776	146	1200	80	96	68	86	2946	574	
	Ampelisca spinipes	0	1798	0	0	0	0	584	0	0	0	72	8	20	3024	2	0	1110	0	982	0	46	0	0	6	658	0	1542	12	890	0	0	0	0	0	2032	366
	Haploos niraie	0	2180	0	0	0	0	1586	0	0	2	0	2536	0	4	0	0	374	0	420	0	0	0	0	2	1528	0	1782	0	2	0	0	0	0	0	742	2
	Pisidia longicornis	0	20	0	0	0	0	714	0	4	0	0	0	0	0	8	0	38	0	86	0	0	0	0	0	0	0	242	0	2	0	0	0	0	0	34	0
	Ampelisca spinimana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	4	128	2	0	10	2	0	0	16	0	0	38	2	0	0	18	184	4	70	6	0	0	2	0
	Photis longicaudata	24	20	2	4	0	0	38	0	0	0	22	10	0	76	2	0	46	0	40	0	0	0	0	0	42	0	16	2	52	0	0	0	0	0	34	10
	Iphinoe trispinosa	12	0	0	0	0	18	0	0	0	0	6	0	0	0	24	0	0	2	0	0	30	66	28	2	0	0	0	38	2	20	2	20	38	2	40	0
	Bathyporeia elegans	2	0	0	8	208	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Lepidopereum longicorne	12	2	0	2	0	0	2	0	0	6	0	2	0	2	0	2	0	0	0	2	46	0	0	0	6	0	18	0	0	4	0	0	0	0	0	94
	Nototropis falcatus	36	0	0	2	4	6	0	0	2	0	0	0	0	2	10	2	0	2	0	0	26	4	0	0	0	8	0	6	0	18	0	2	6	0	12	0
	Abiudomelita obtusata	0	2	0	4	0	0	6	0	0	16	6	0	0	6	30	0	2	0	0	0	10	0	0	0	2	2	2	2	26	4	2	6	2	2	2	0
	Urothoe pulchella	0	0	0	14	0	46	0	0	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	Ampelisca diadema	0	14	0	0	0	0	12	0	0	0	0	6	0	2	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	12	0
	Diastylis laevis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	18	0	6	0	0	0	0	0	0
	Nototropis guttatus	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	4	0	0	8	2	0	2	10	2	0	8	2	22	2	0
	Tryphosites longipes	20	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	6	0	2	0	0	0	6	6	6	0	0	0	0	0	0	4	0	10	4	0	4	0
	Ampelisca brevicornis	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	10	0	0	0	4	0	0	0	0	0	10	8	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	4	0	0	0
	Echinodermata	16	140	0	0	4	12	230	2	10	6	114	404	14	264	128	2	88	2	146	14	250	80	104	10	212	4	232	1410	232	36	16	88	46	108	476	
	Ophiura albida	8	106	0	0	0	0	202	0	0	4	34	384	6	120	10	0	76	0	100	4	146	0	22	10	188	0	196	28	114	14	6	4	2	82	410	
	Amphiuira filiformis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	6	130	6	0	0	2	14	0	28	0	0	0	6	0	8	828	84	2	0	6	4	10	2	0	
	Acrocoida brachiata	0	2	0	0	0	6	0	0	0	48	0	0	4	54	0	0	0	0	0	70	62	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	16	2	26	0
	Amphipholis squamata	4	28	0	0	2	4	26	0	2	0	0	2	0	4	30	2	10	0	16	8	2	6	0	0	0	28	4	0	2	2	2	6	18	8	28	
	Echinocardium cordatum	4	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	2	6	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	0	4
	Mollusca	50	100	20	32	2090	584	176	32	24	64	366	32	124	390	474	18	98	8	134	110	296	118	432	124	90	232	298	2250	492	210	146	292	284	116	168	
	Kurtiella bidentata	0	8	0	0	0	108	20	0	0	2	26	0	6	28	34	0	0	0	14	0	0	4	8	0	0	2	50	1876	52	6	0	62	8	8	0	
	Donax vittatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nucula nitidosa	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	24	0	6	144	32	0	4	0	2	0	90	0	0	10	0	0	6	164	192	10	26	36	8	2	0	
	Varicorbula gibba	0	16	2	4	0	12	30	0	24	2	8	2	14	56	8	40	2	50	10	2	0	176	4	20	2	34	12	6	2	6	0	2	38	40	0	
	Barnea candida	0	0	0	0	0	376	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Philine quadripartita	12	4	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	56	4	0	0	0	2	0	46	2	2	66	4	0	2	38	22	8	70	66	20	6	40	0	
	Tritia varicosa	0	14	0	6	0	8	0	0	2	8	4	2	40	34	0	2	0	16	0	18	2	50	18	48	0	2	8	18	44	16	34	70	24	0	0	
	Spisula subtruncata	0	0	0	4	0	0	0	0	0	28	0	2	50	16	0	0	0	2	0	4	6	26	12	0	0	0	2	78	74	14	8	74	8	2	0	
	Fabulina fabula	0	0	0	0	0	34	0	0	0	116	0	0	0	70	0	0	2	0	0	40	64	0	0	0	0	2	0	22	0	10	26	0	0	0	0	
	Phaxas pellucidus	2	0	0	0	0	20	2	0	0	80	0	2	2	56	0	0	0	0	0	54	24	14	2	0	0	4	24	46	0	0	0	2	8	34	0	
	Abra alba	8	0	0	0	0	6	12	0	0	28	0	0	2	38	0	0	0	4	0	42	14	20	2	0	0	4	18	14	26	2	48	42	0	20	0	
	Turritellina tricarinata	0	36	0	6	0	0	38	0	0	2	4	0	0	0	0	24	0	6	0	6	0	0	2	8	0	90	0	0	0	8	0	0	0	0	0	
	Thyasira flexuosa	0	6	0	0	0	0	20	0	0	2	2	0	32	2	0	18	0	8	0	12	0	0	0	6	0	22	10	24	0	0	0	0	0	14	2	
	Spisula solida	0	0	18	4	22	0	0	32	0	2	0	0	74	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	Chamelea striatula	2	0	0	4	0	2	0	0	0	4	0	0	0	84	0	0	0	0	4	2	28	0	0	0	0	4	0	4	0	2	0	8	4	0	0	
	Tritia reticulata	0	2	0	0	2	12	4	0	0	8	6	0	0	8	0	0	2	10	2	4	0	0	2	2	2	4	8	6	4	0	8	10	0	4	0	
	Cylichna cylindracea	0	2	0	0	0	0	6	0	0	4	2	0	6	2	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	10	56	6	2	0	4	4	0	0	0		
	Eulima glabra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	10	0	0	0	0	0	0	0		
	Tellimya ferruginosa	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6	0	0	0	8	0	0	0	0	0	4	22	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gari tellinella	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Bela nebula	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	12	0	0	0	0	0	6	4	10	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Asbjornsenia pygmaea	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Crepidula fornicata	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Cnidaria	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	2	0	2	0	2	0	6	0	0	0	0	2	0	4	2	2	0	4	2	0	2	0	

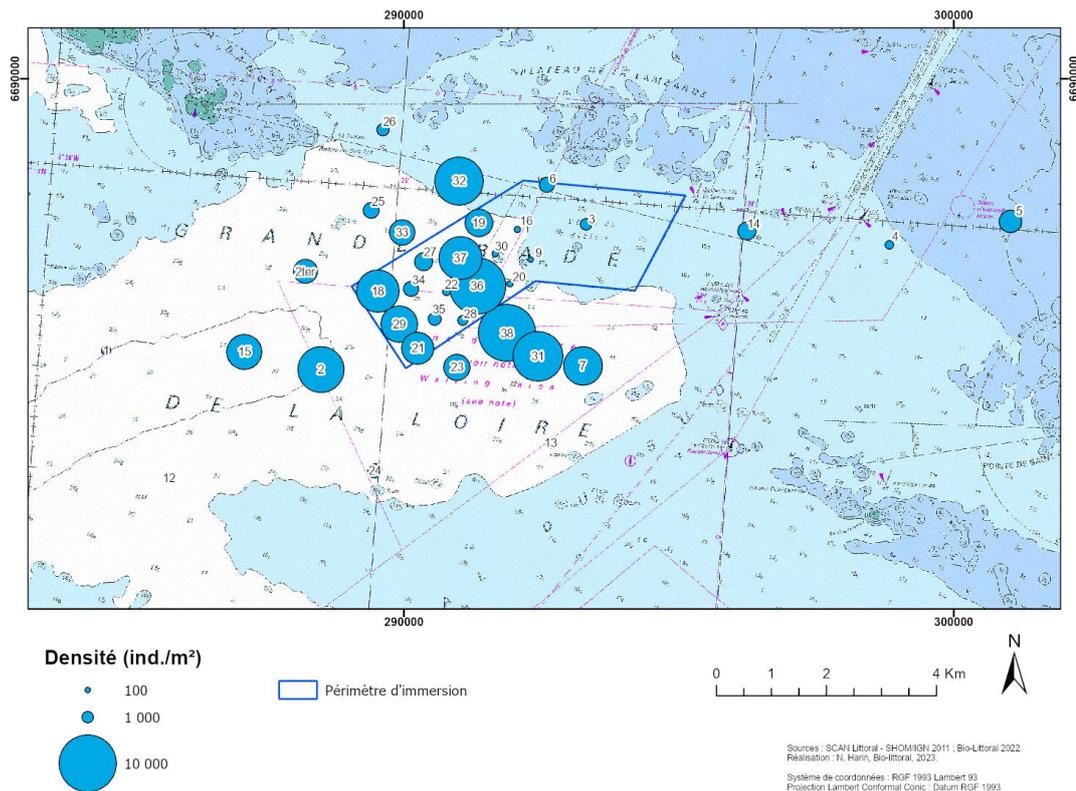


Figure 39 : Répartition spatiale des densités d'organismes des stations du secteur de la Lambarde en 2022.

Evolution de 2013 à 2022

Les stations qui sont directement dans les zones d'immersion en activité enregistrent de très faibles densités d'organismes (Figure 40). C'est le cas pour les stations LB27 en 2015 et 2017 lorsque la sous-zone 18 est exploitée. En 2018-2019 les immersions se situent sur la sous-zone 19 entre les stations LB27 et LB18. La station LB22 est la plus proche de la sous-zone 22 utilisée en 2021 et 2022.

L'évolution à court terme sur le secteur de la Lambarde, montre une forte augmentation des densités d'organismes qui dure peu d'année. Ces fortes augmentations sont souvent dues à une seule espèce par station.

- En 2019 la station LB24 abrite une forte densité de *Spirobranchus lamarcki* qui vivent dans des tubes de calcaires fixés sur la roche. En 2022, cette station reste celle où les *Spirobranchus lamarcki* sont les plus nombreux dans le secteur de la Lambarde, mais leur densité atteint seulement 100 ind/m².
- Les *Lagis koreni* qui étaient très nombreux sur la station LB32 en 2019 (3248 ind/m²) ne sont plus que 36 ind/m² en 2022.
- En 2019, augmentation des densités du crustacé tubicole *Haploops niraie* sur la station LB23 : 2502 ind/m² contre 210 ind/m² en 2017 et la station LB 21 : 3788 ind/m² en 2019 contre 150 ind/m² en 2017. En 2022, les *Haploops* ne sont plus que 420 ind/m² sur la station LB23 et 374 ind/m² sur la station LB21. Cependant en 2022, d'autres stations ont vu leur densité de crustacés tubicoles s'accroître comme la station LB18 avec 3024 ind/m² d'*Ampelisca* et la station LB31 avec 1782 ind/m² d'*Haploops* et 1542 ind/m² d'*Ampelisca*.

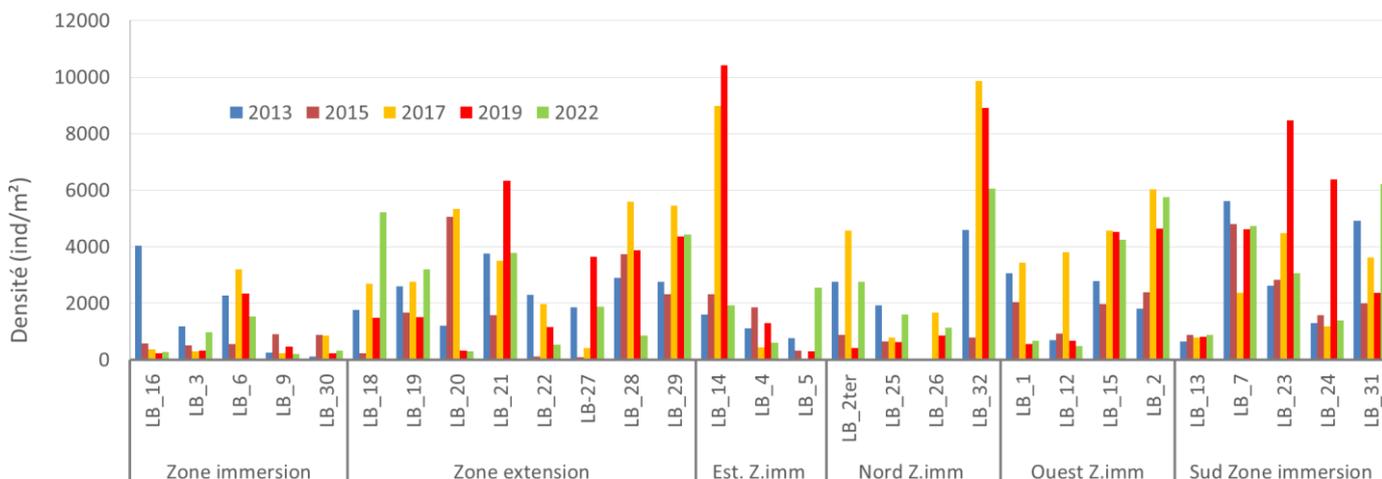


Figure 40 : Comparaison des densités d’organismes entre 2013 et 2022 sur les stations de la Lambarde.

VI.2.4 Espèces caractéristiques du secteur de la Lambarde

La répartition des groupements faunistiques qui constituent des peuplements de faune benthique sur le secteur de la Lambarde, est très semblable d’une année sur l’autre (Figure 41), même si ce ne sont pas les mêmes espèces dominantes chaque année. Les deux groupes dominants sont les annélides et les crustacés. La biodiversité est plus importante parmi les annélides tandis que les crustacés sont le plus abondants, notamment avec les *Haploops* et les *Ampelisca*.

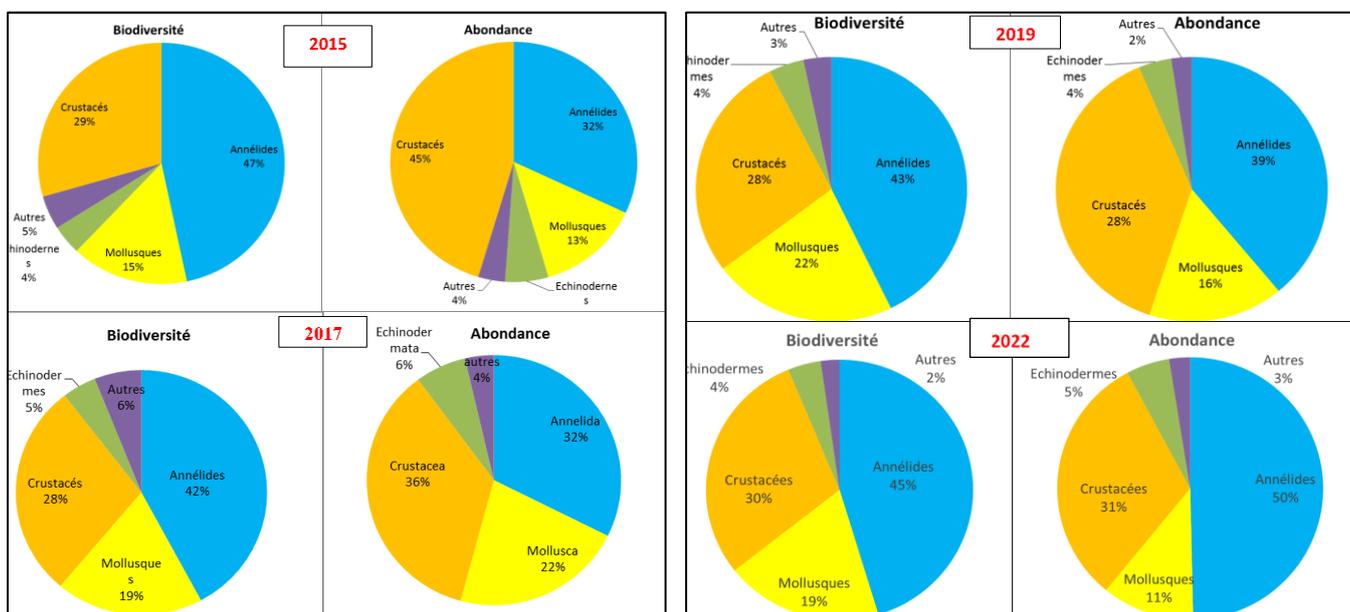


Figure 41 : Représentativité des différents groupes faunistiques au sein de la faune benthique de la Lambarde en 2015, 2017, 2019 et 2022 en termes de richesse spécifique et de densité d’organismes.

Dans les chapitres suivants, les principales espèces qui constituent les peuplements de faune benthiques de la Lambarde sont présentées selon leur groupe zoologique. Pour plus de lisibilité, la plupart des espèces d’un même genre sont regroupées ensembles sur les graphiques.

VI.2.4.1 Annélides

En 2022, 12 espèces d'annélides sont caractéristiques des peuplements benthiques du secteur de la Lambarde et forment plus de 70% des effectifs récoltés.

Les peuplements d'annélides ont fortement évolué entre 2013 (Figure 42), 2015 (Figure 43) 2017 (Figure 44), 2019 (Figure 45) et 2022 (Figure 46).

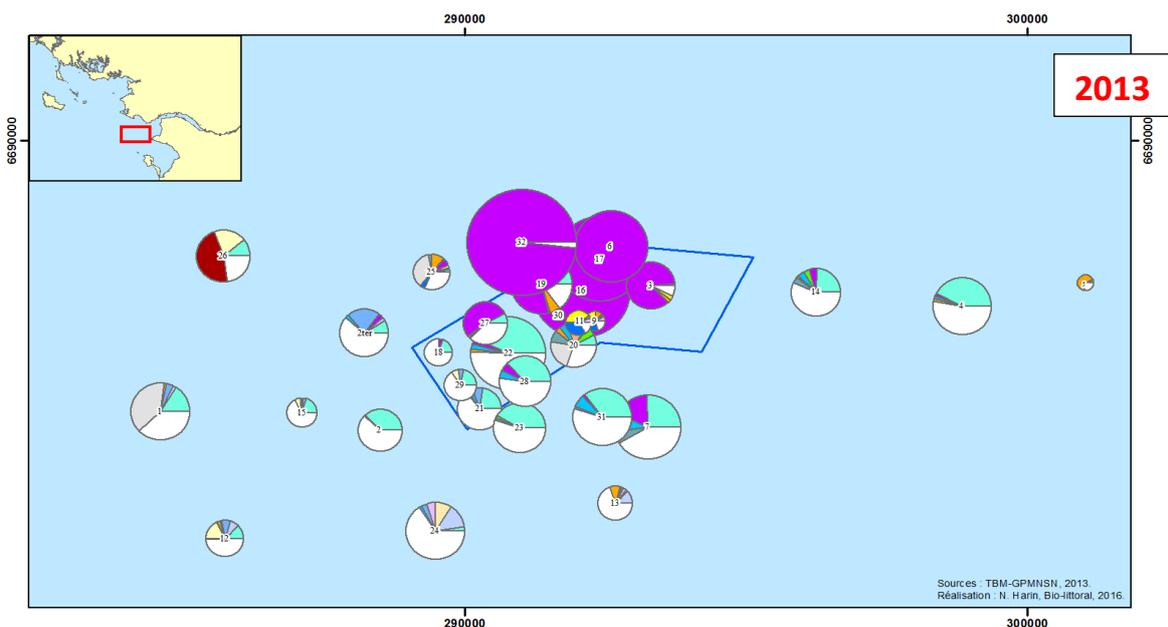
En 2013, l'ancienne zone de dépôt, était encore dominée par l'annélide opportuniste *Lagis koreni*. Ce petit vers sédentaire qui vit dans des tubes de sables coniques est un détritivore de sub-surface qui fouille les premiers millimètres du sédiment (Olivier et al., 1996). C'est une espèce qui est capable de supporter des augmentations soudaines de dépôt de sédiment et son mode de reproduction opportuniste lui permet de coloniser rapidement des substrats vierges. Depuis l'arrêt du dépôt dans l'ancienne zone, le milieu devient plus stable et d'autres espèces viennent s'installer (augmentation de la richesse spécifique) au détriment des *Lagis koreni*. L'évolution entre 2015 et 2019, montre que *Lagis koreni* s'est développé dans secteur orienté nord-ouest (direction de la houle dominante) depuis la nouvelle zone d'immersion, ce qui semblait indiquer une zone de dépôt majoritaire des particules fines lors des immersions. En 2022, les *Lagis koreni* se sont fortement développés sur la station LB36 (5502 ind/m²) et sur la station LB37 (3738 ind/m²) et d'une manière moins importante autour de la zone actuellement en activité sur les stations LB34, LB35 et LB28, témoignant de la zone de dispersion des particules fines lors de la phase d'immersion.

Avec l'arrêt des immersions en 2014, un nouveau peuplement d'annélides dominé par *Pisione remota* en association avec *Nephtys spp.* (*N. Cirrosa* et *N. Hombergii*), s'était fortement développé sur l'ancienne zone de dépôt. Depuis 2015, leur densité ne cessait de décroître (maximum en 2015, 364 ind/m² en LB9 ; maximum en 2017, 312 ind/m² en LB30 ; maximum en 2019, 86 ind./m² en LB3). En 2022, les densités de *Pisione remota* atteignent 622 ind/m² sur la station LB3.

En 2015, des populations denses de *Lanice conchilega* se trouvaient autour de l'ancienne zone de dépôt (776 ind/m² en LB20). Cet annélide filtreur qui érige des tubes de sable, se développe généralement à proximité des zones de dépôt ou d'extraction pour profiter de l'apport de nourriture généré par le panache turbide, mais il reste à l'écart car il ne supporte pas l'envasement (Ware et al., 2009, Cooper et al., 2007). Leur densité diminue en 2017 puis en 2019. En 2019, il n'est présent en forte densité qu'à la station LB14, (94 ind/m² contre 143 ind/m² en 2017). En 2022, les *Lanice conchilega* sont rares avec des densités maximales de 22 ind/m².

En 2013 *Ampharete sp.* et plus particulièrement *Ampharete acutifrons* colonisent les stations de sédiment plus fins autour du secteur de la Lambarde. En 2015, ces stations étaient dominées par l'annélide *Heteromastus filiformis*. En 2017, ces deux espèces sont en fort effectifs sur ces stations et en 2019 ils sont accompagnés de *Mediomastus fragilis*. En 2022, *Ampharete sp.* est présent sur de nombreuses stations avec des densités comprises entre 200 et 506 ind/m² sur les stations LB2ter, LB18, LB32 et LB33. En 2022, *Mediomastus fragilis* a des densités supérieures à 100 ind/m² sur plus de 12 stations, plus particulièrement les stations situées au sud de la zone d'immersion (LB15, LB2, LB21, LB23, LB38 et LB31). La densité maximale de 2382 ind/m² est atteinte sur la station LB 38.

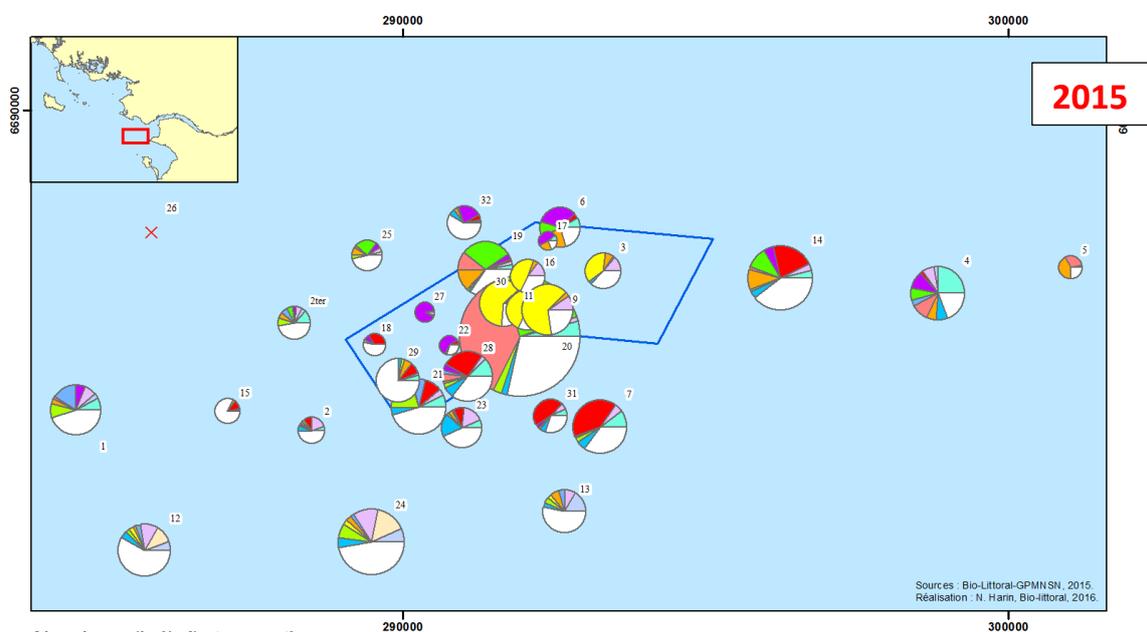
Dans la station LB12 située au sud-ouest du secteur d'étude, une population de *Sabellaria spinulosa*, déjà présente en 2013 s'est bien développée en 2017 avec 844 ind/m². Ces annélides bio-constructeurs peuvent former des récifs de plus de 50 cm de haut qui sont protégés par la convention OSPAR. Les populations identifiées en 2017 correspondent à des placages de tubes sur de gros galets (Figure 47) qui ne forment pas de structure suffisamment importante pour être qualifiés de récif et faire l'objet d'une protection particulière. En 2019 la population de cet annélide a diminué sur la station LB12 (6 ind/m²), mais s'est développée autour avec 216 ind/m² sur la station LB24 en 2019, alors qu'elle en était absente en 2017). En 2022, les densités de *Sabellaria* ne dépassent pas 45 ind/m².



Abondance (ind/m²) et proportion des principales espèces d'Annélides



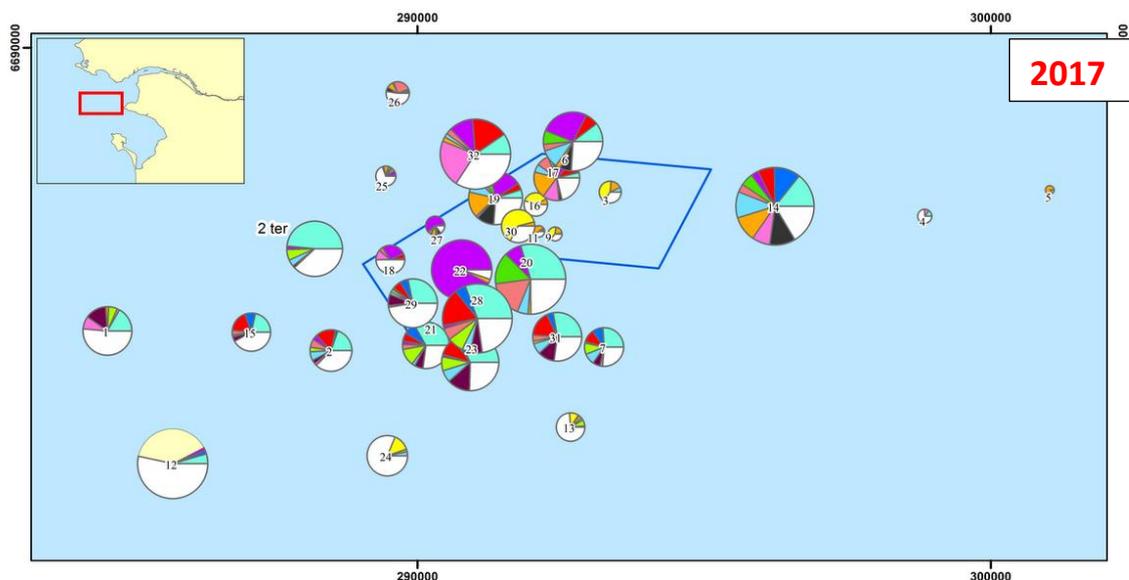
Figure 42 : Répartition spatiale des densités d'annélides des stations du secteur de la Lambarde en 2013.



Abondance (ind/m²) et proportion des principales espèces d'Annélides



Figure 43 : Répartition spatiale des densités d'annélides des stations du secteur de la Lambarde en 2015.



Densité (ind/m²) et proportion des principales espèces d'annélides

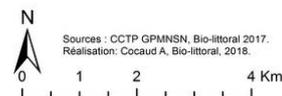
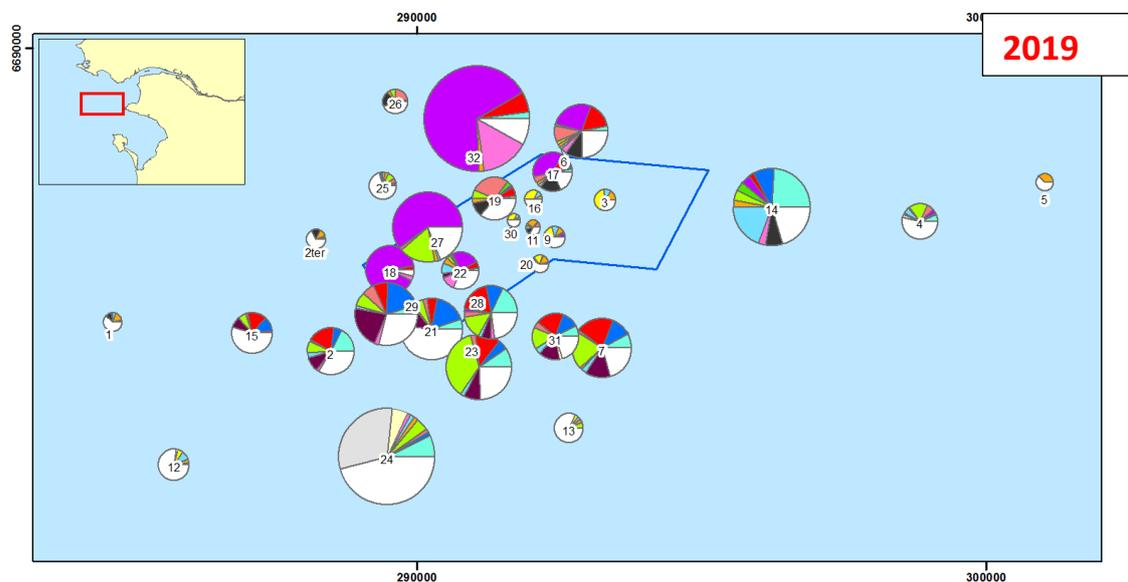


Figure 44: Répartition spatiale des densités d'annélides des stations du secteur de la Lambarde en 2017.



Densité (ind/m²) et proportion des principales espèces d'annélides

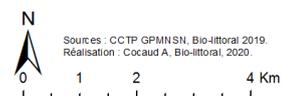
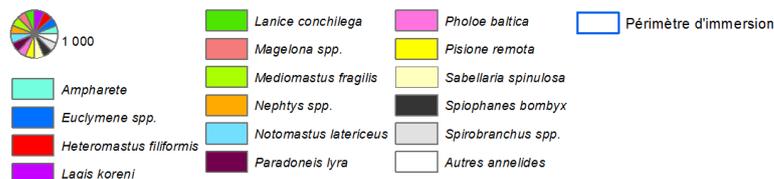


Figure 45: Répartition spatiale des densités d'annélides des stations du secteur de la Lambarde en 2019.

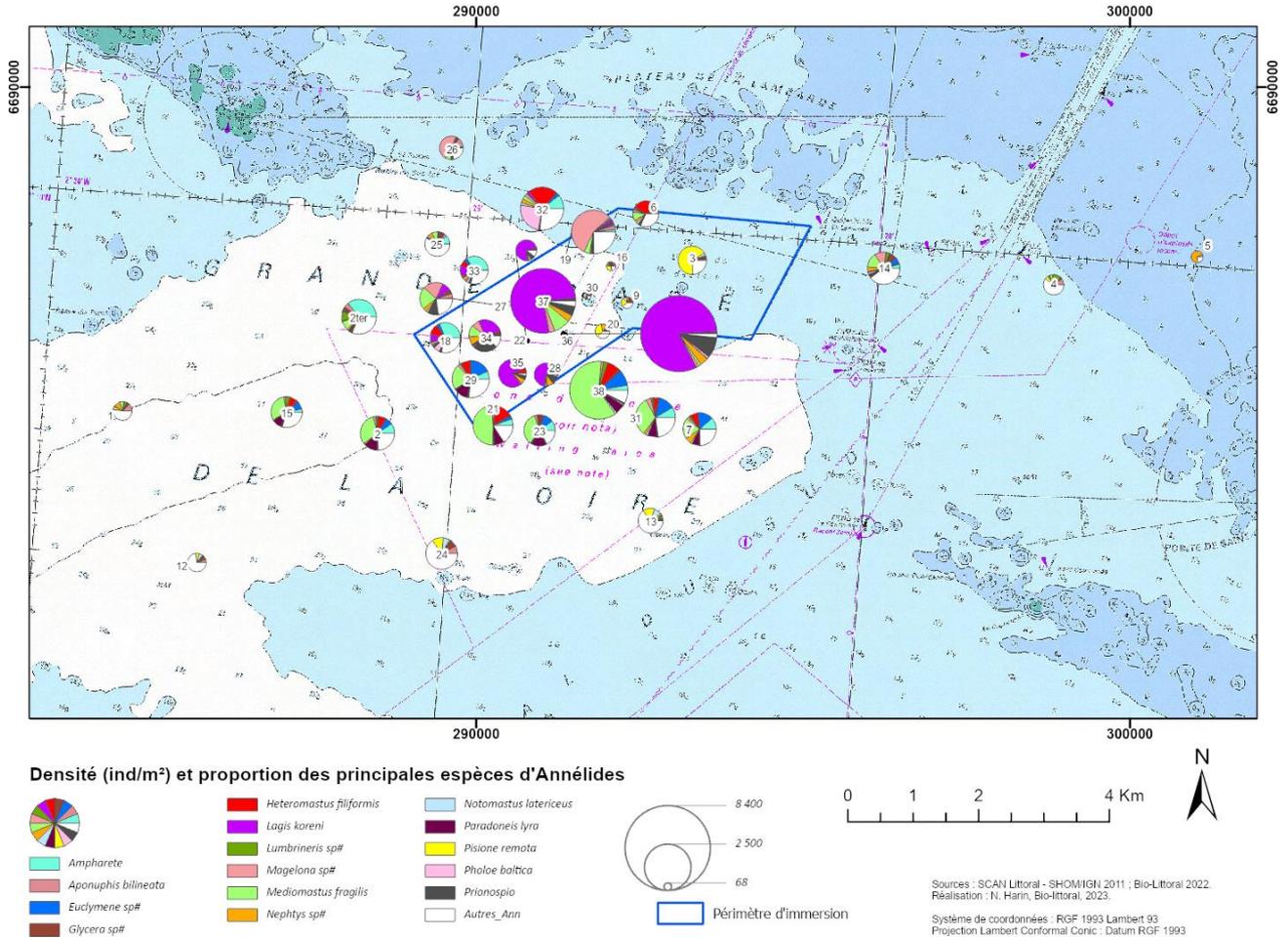


Figure 46 : Répartition spatiale des densités d'annélides des stations du secteur de la Lambarde en 2022.

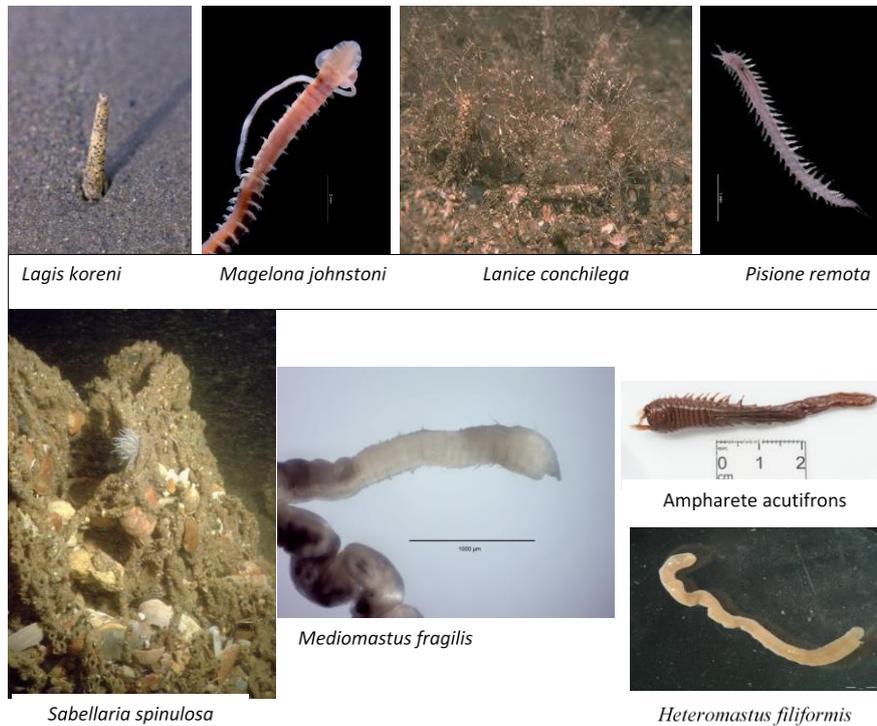


Figure 47 : Illustration des principales espèces d'annélides rencontrées dans le secteur de la Lambarde en 2022.

VI.2.4.2 Crustacés

Haploops et *Ampelisca* sont des petits crustacés, morphologiquement très semblables qui érigent des tubes de vases compactes sur de très grandes surfaces et avec de telles densités qu'ils diminuent l'hydrodynamisme du milieu et augmentent la fraction de particules fines dans le milieu. Du haut de leur tube, ils filtrent l'eau (Figure 48).

Les stations de sédiment fin situées au sud des zones d'immersion, donc en dehors de la zone d'impact du panache turbide, sont largement colonisées par les *Ampelisca spp.* Plusieurs espèces sont présentes sur ce secteur : 95% *Ampelisca spinipes*, 4% *Ampelisca spinimana*, 1% *Ampelisca diadema*, <1% *Ampelisca brevicornis*, <1% *Ampelisca sarsi* en 2022. Les *ampelisca spinipes* restent largement majoritaires comme lors des suivis antérieurs. Leurs densités maximales atteignent 3320 ind/m² en 2017, 4616 ind/m² en 2019 et 3154 ind/m² en 2022.

En 2022, les *Ampelisca* se sont fortement développer sur de nouvelles stations, situées au nord-ouest de la zone d'immersion en cours d'exploitation, sur les stations LB18 (3154 ind/m²) et sur la station LB33 (*A. spinipes* 890 ind/m² et *A. spinimana* 184 ind/m²).

Au regard des suivis historiques réalisés par le même opérateur depuis 2015, il semble que les *Ampelisca* colonisent en premier de nouvelles stations, puis les *Haploops nirae* viennent coloniser ces stations à leur tour. Il s'ensuit une lutte pour l'espace entre les deux espèces, qui petit à petit tourne en faveur des *Haploops* sans que les *Ampelisca* disparaissent complètement.

En 2022, les plus fortes densités d'*Haploops nirae* sont enregistrées sur les stations LB15 avec 2536 ind/m² ; LB2 avec 2180 ind/m² et LB31 avec 1782 ind/m².

L'évolution spatiale entre 2013 et 2019, montrait une colonisation des *Ampelisca* vers la côte avec des densités de plus en plus importantes sur la station LB14 (1720 ind/m² en 2017 et 4538 ind/m² en 2019). En 2022, les densités sont faibles avec seulement 102 ind/m² sur cette station LB14. Les 3 stations qui sont situées entre la Lambarde et la côte sont situées de part et d'autre du chenal, et sont régulièrement chalutées ce qui explique leur grande variation de faune au cours des suivis.

L'expansion de ces crustacés tubicoles (*Ampelisca* ou *Haploops*) est à surveiller, car ils modifient considérablement les habitats qu'ils colonisent et les fonctionnalités écologiques qui leur sont associées. En effet, ces organismes ont besoin de vase pour construire leur tube, ils colonisent donc généralement des vasières qui pouvaient accueillir un grand nombre de poissons plats dont la sole. Lorsque le sol est hérissé de tubes, les soles ne peuvent plus y venir. Ces fortes densités de tubes qui colmatent les chaluts, protègent la zone de ce type de pêche aux arts trainants mais ne nuit pas à la pêche au filet.

A noter qu'en 2015 une importante population d'*Ampelisca* s'est développée sur les stations LB28 et LB20 situé près du casier22 dans la zone d'immersion. En 2017, les *Ampelisca* sont toujours là et un peuplement d'*Haploops* se développe également sur la station LB28. En 2019, Les vers tubicoles (*Ampelisca* ou *Haploops*) sont encore présents sur la station LB28, mais ils ont disparu de la station LB20. En 2022, il ne reste que quelques *Ampelisca* (42 ind/m²) et *Haploops* (2 ind/m²) sur la station LB28 et toujours aucun sur la station LB20 qui est la plus proche de la zone en exploitation. Il est donc possible que ces vers tubicoles soient sensibles à l'activité d'immersion, lorsqu'ils sont proches du site en activité.

Il est étonnant de constater que le petit crabe *Pisidia longicornis* qui colonise habituellement les dessous de roche et qui étaient l'espèce dominante des sédiments grossiers situés au sud (LB12, LB13 et LB24) se retrouve en très forte densité sur les stations LB7 (714 ind/m²) et LB31 (242 ind/m²) qui ont des sédiments de vase sableuse. Il s'agit de très petits organismes dont la taille est comprise entre 2 et 5mm.

En 2022, la station LB5 se caractérise par une importante colonie de *Bathyporeira elegans* (208 ind/m²).



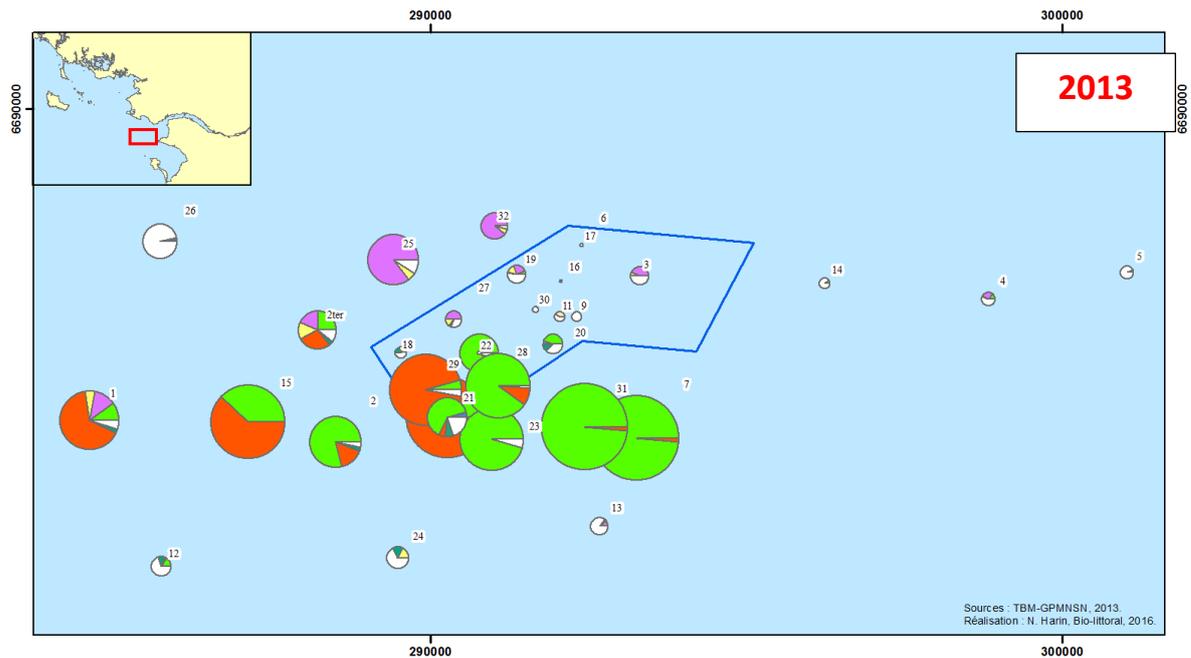
Figure 48 : Haploids filtrant l'eau, du haut de son tube. Habitats formés par les Haploids et les *Ampelisca* (photo S. Dubois).

Les peuplements d'*Ampelisca* ou d'*Haploids* sont toujours accompagnés par le petit crustacé *Photis longicaudata* (Figure 49).

Les *Bodotria* qui formaient d'importantes populations en 2013 (Figure 50), dans la zone sableuse située au nord de la zone d'immersion (LB25 et LB32) ont quasiment disparu en 2015, 2017, 2019 et 2022. La turbidité générée par la nouvelle zone de dépôt ne semble pas leur être favorable. En 2015, avec la disparition des *Bodotria*, les stations du secteur nord, abritaient très peu de crustacés (Figure 51). Depuis 2017, ces stations sont colonisées par les *Ampelisca sp.*, accompagnés par le mysidacé, *Gastrosaccus spinifer* en 2019 (Figure 52 et Figure 53). En 2022, deux espèces de *Bodotria* ont été récoltées *B. armoricana* et *B. scorpioides*, mais leur densité restent très faible sur l'ensemble des stations du suivi (< 6 ind/m²) (Figure 54).



Figure 49 : Illustration des principales espèces de crustacés récoltés sur la Lambarde.



Abondance (ind/m²) et proportion des principales espèces de Crustacés

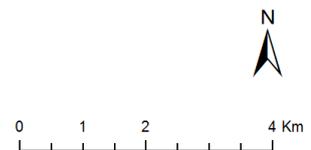
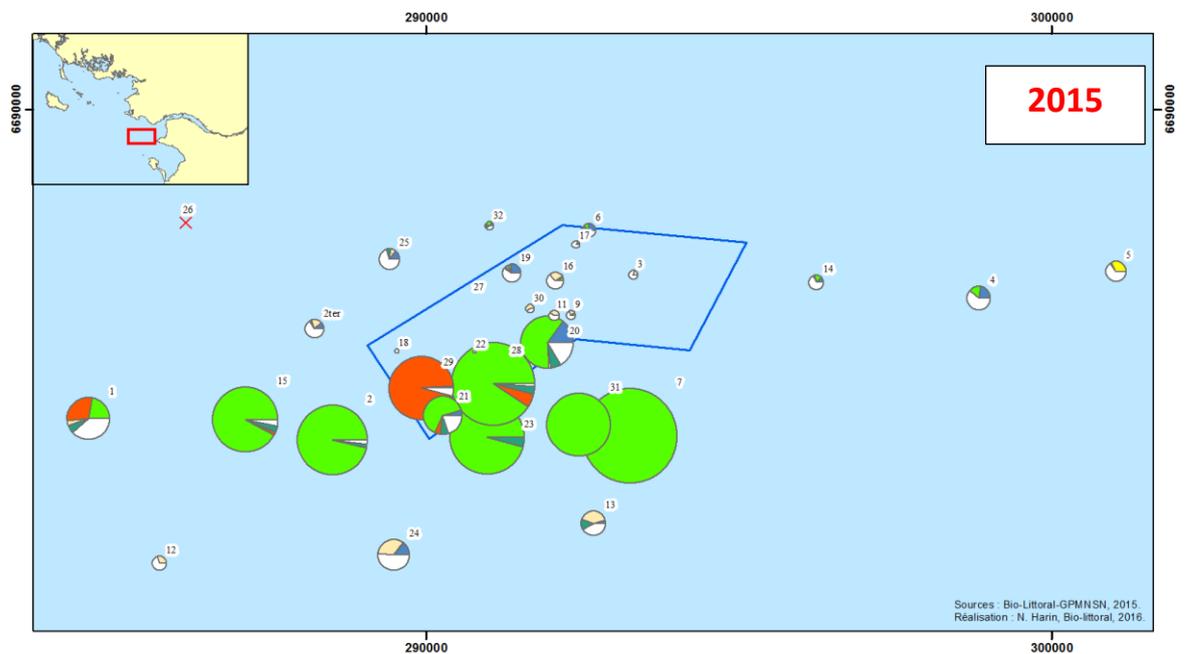


Figure 50 : Répartition spatiale des densités de crustacés des stations du secteur de la Lambarde en 2013.



Abondance (ind/m²) et proportion des principales espèces de Crustacés

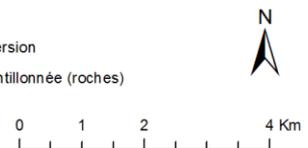
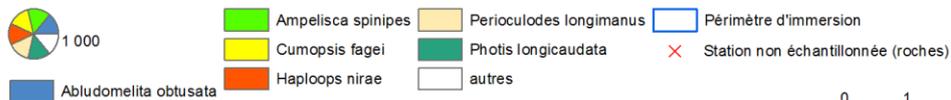


Figure 51 : Répartition spatiale des densités de crustacés des stations du secteur de la Lambarde en 2015.

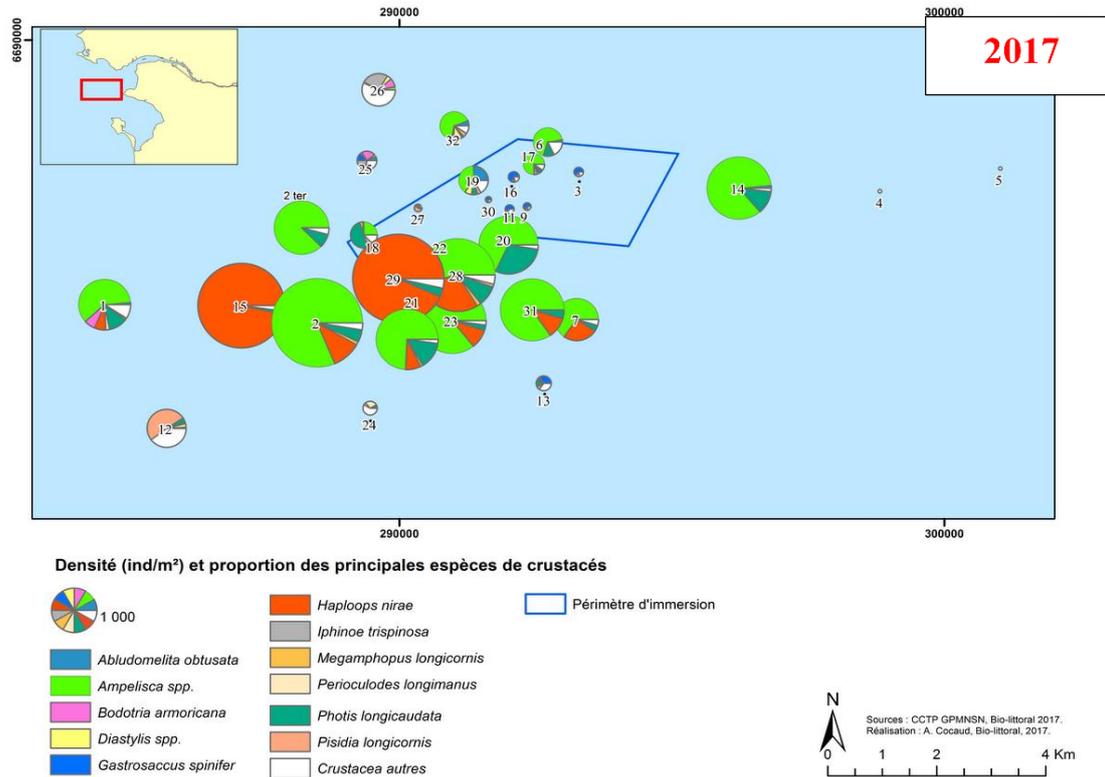


Figure 52: Répartition spatiale des densités de crustacés des stations du secteur de la Lambarde en 2017.

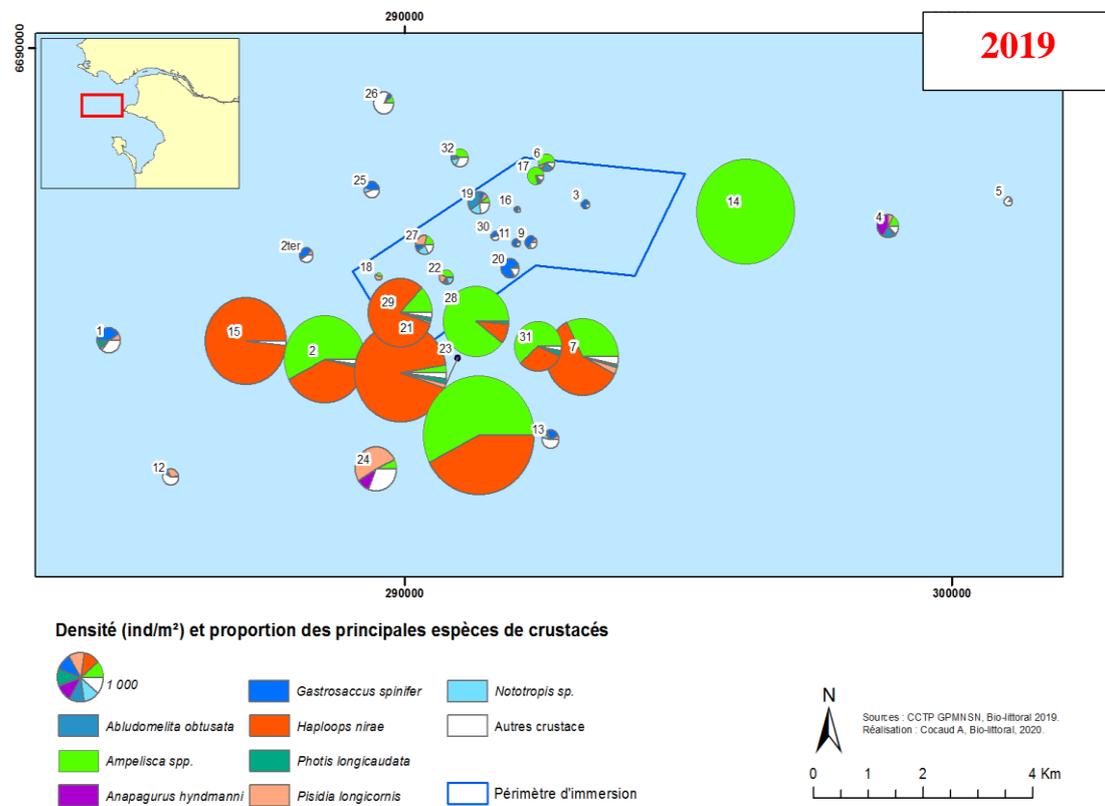


Figure 53: Répartition spatiale des densités de crustacés des stations du secteur de la Lambarde en 2019.

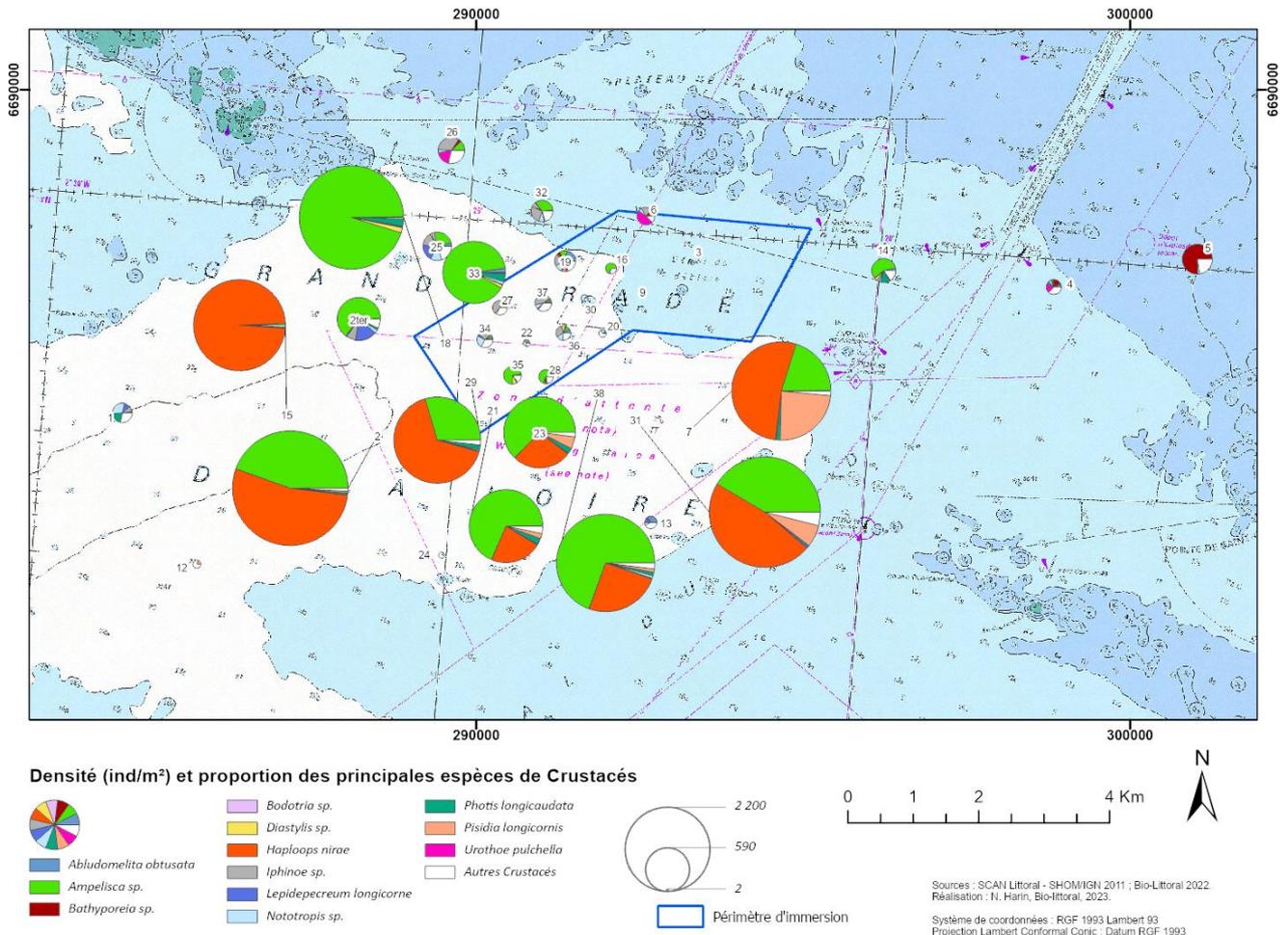


Figure 54 : Répartition spatiale des densités de crustacés des stations du secteur de la Lambarde en 2022.

VI.2.4.3 Mollusques

En 2022, comme lors des précédents suivis sur la Lambarde, de nombreux changements sont observés dans la communauté des mollusques (Figure 55, Figure 56, Figure 57, Figure 58 et Figure 59).

Lors des inventaires de Glémarec réalisés en 1969, toute la zone sableuse autour des roches de la Lambarde était définie comme un habitat à Spisules (*Spisula solida*). En 2013, elles ont quasiment disparu de cette zone en raison de l’immersion des vases issues du chenal de la Loire. En effet, les Spisules ont un système de filtration qui colmate rapidement en présence d’une trop forte quantité de particules. En 2015, l’arrêt du dépôt de vase sur l’ancienne zone d’immersion et un hydrodynamisme important ont permis de retrouver un sédiment plus grossier favorable au développement des spisules qui sont abondantes en 2015, en LB9, LB11, LB16, LB3 et LB30 (Figure 56). Cependant, cette espèce a très fortement diminué en 2017 sur ce secteur. Même si la granulométrie du sédiment ne semble pas fortement modifiée, la présence des crustacés *Ampelisca* sur cette zone traduit un envasement du milieu néfaste aux spisules (Figure 57). En 2019, elle n’est présente qu’en faible densité (2 à 182 ind/m²) mais toujours dans le même secteur (Figure 58). En 2022, *Spisula solida* se retrouve encore sur les stations LB3, LB9 et LB16 mais avec des densités encore plus faibles (18 à 74 ind/m²).

En 2022, il est étonnant de constater le développement des populations de *Barnea candida* dans les stations LB6 et LB30 (respectivement 376 et 218 ind/m²), sur des sédiments vaso-sableux. En effet ce bivalve est un organisme foreur qui creuse des galeries dans des roches tendres ou des vases indurées. La nature compacte des vases de la station LB6 est illustrée dans la Figure 60.

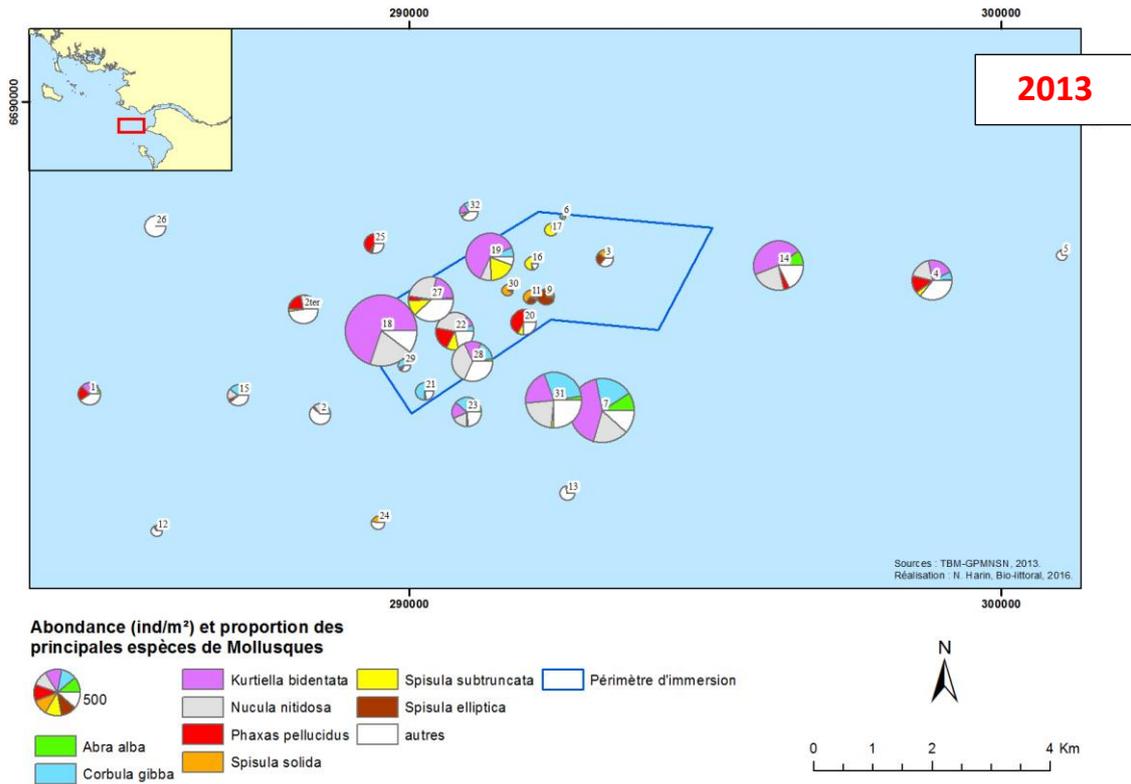


Figure 55 : Répartition spatiale des densités de mollusques des stations du secteur de la Lambarde en 2013.

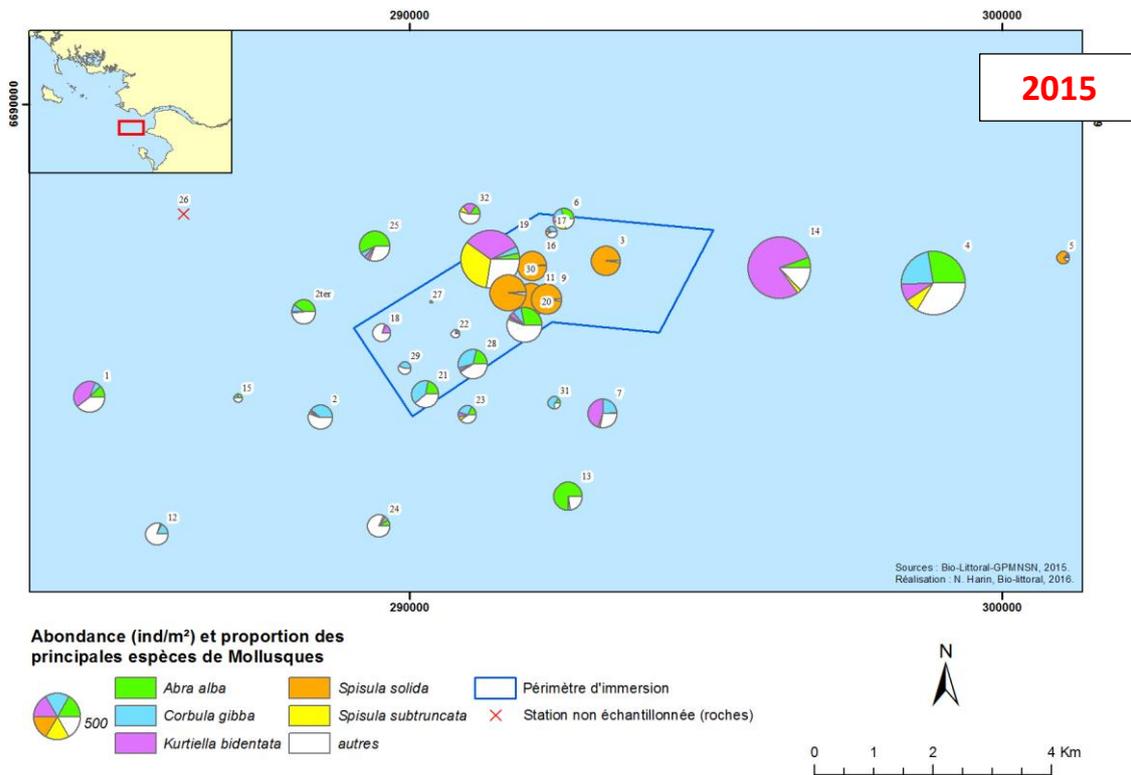


Figure 56 : Répartition spatiale des densités de mollusques des stations du secteur de la Lambarde en 2015.

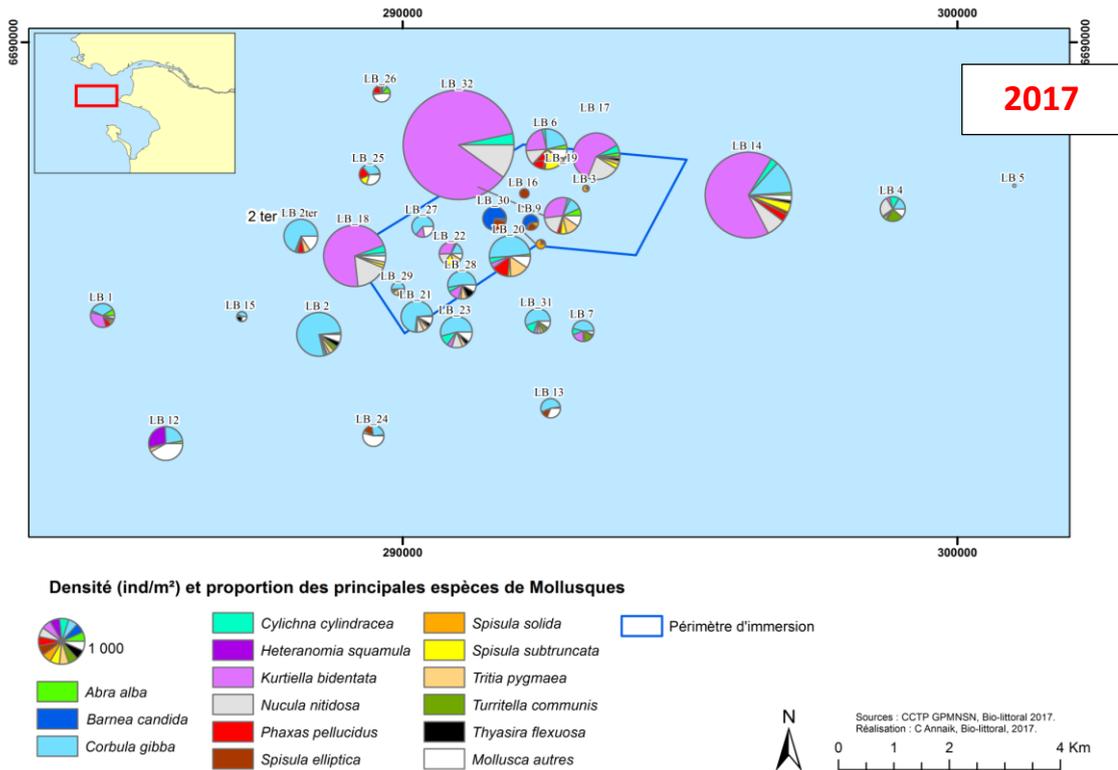


Figure 57: Répartition spatiale des densités de mollusques des stations du secteur de la Lambarde en 2017.

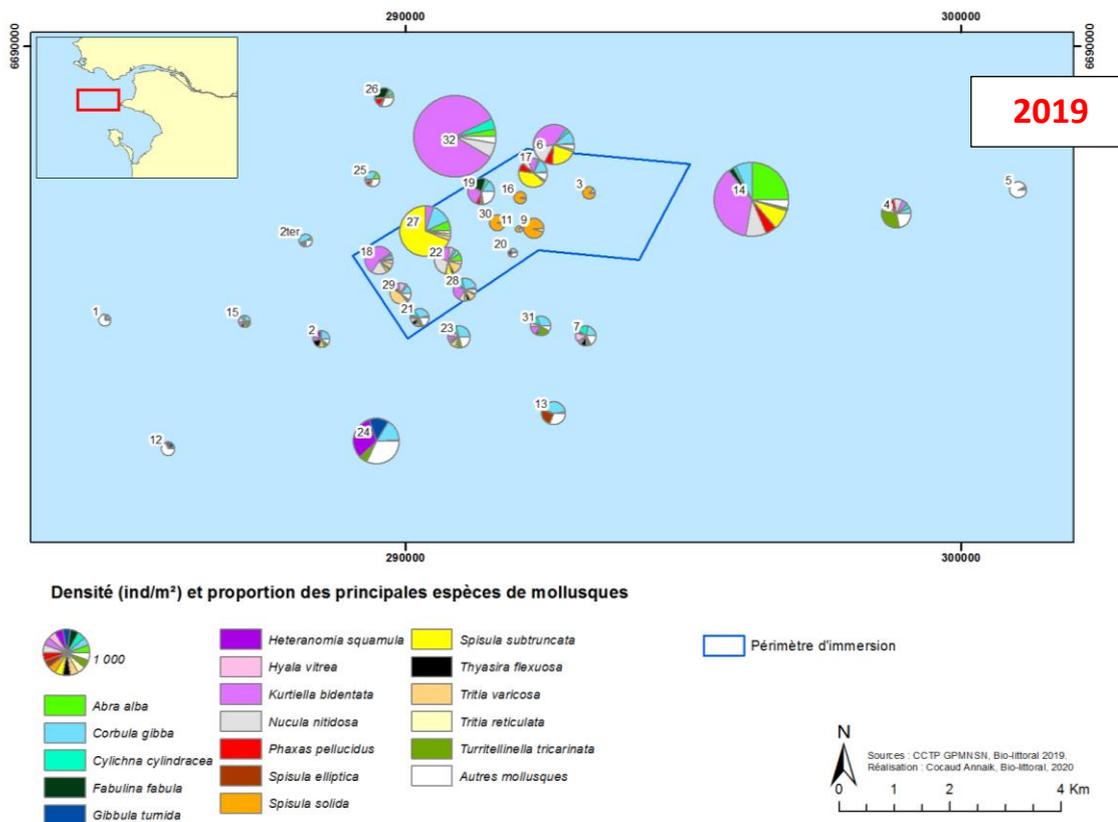


Figure 58: Répartition spatiale des densités de mollusques des stations du secteur de la Lambarde en 2019.

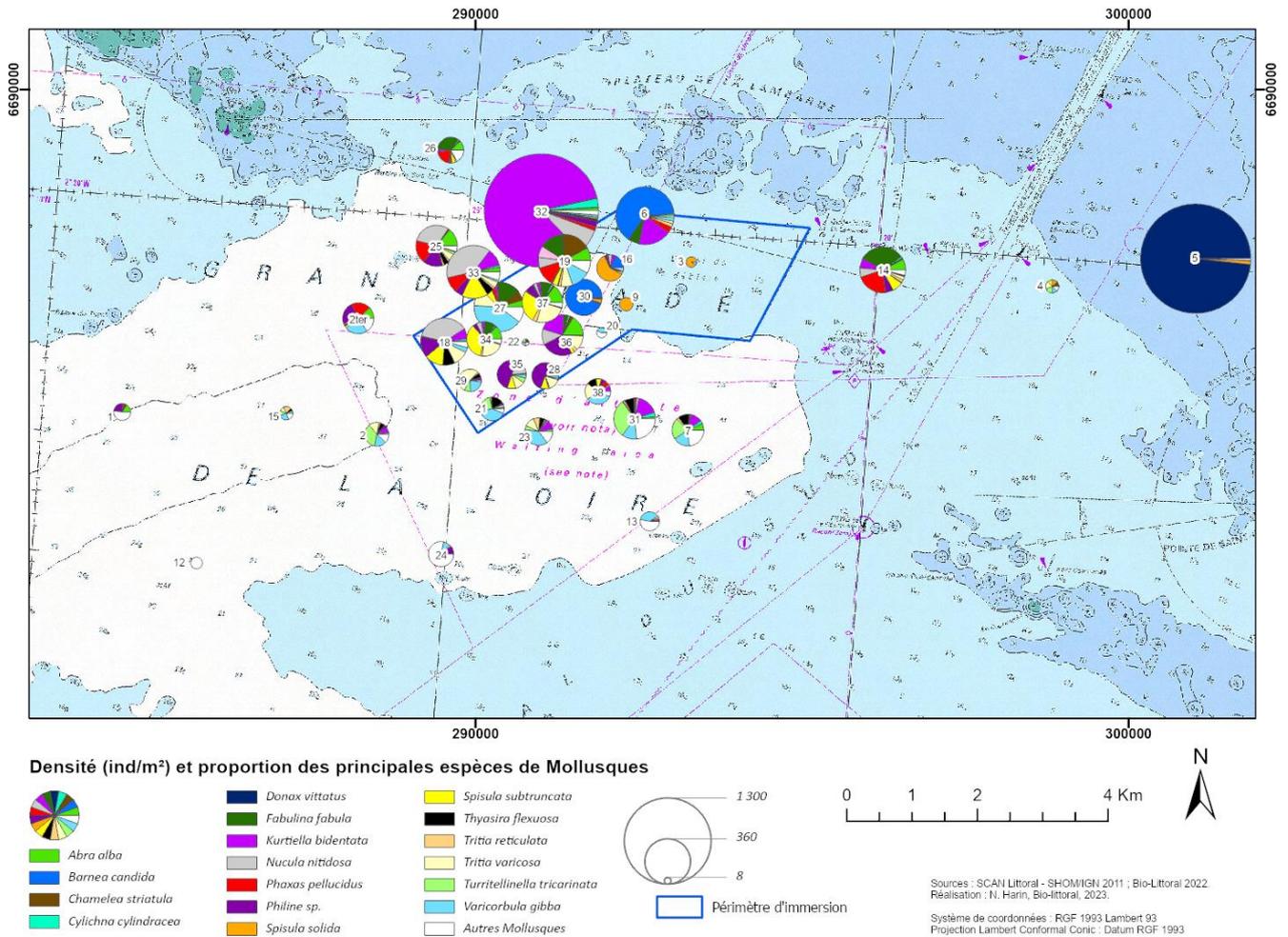


Figure 59 : Répartition spatiale des densités de mollusques des stations du secteur de la Lambarde en 2022

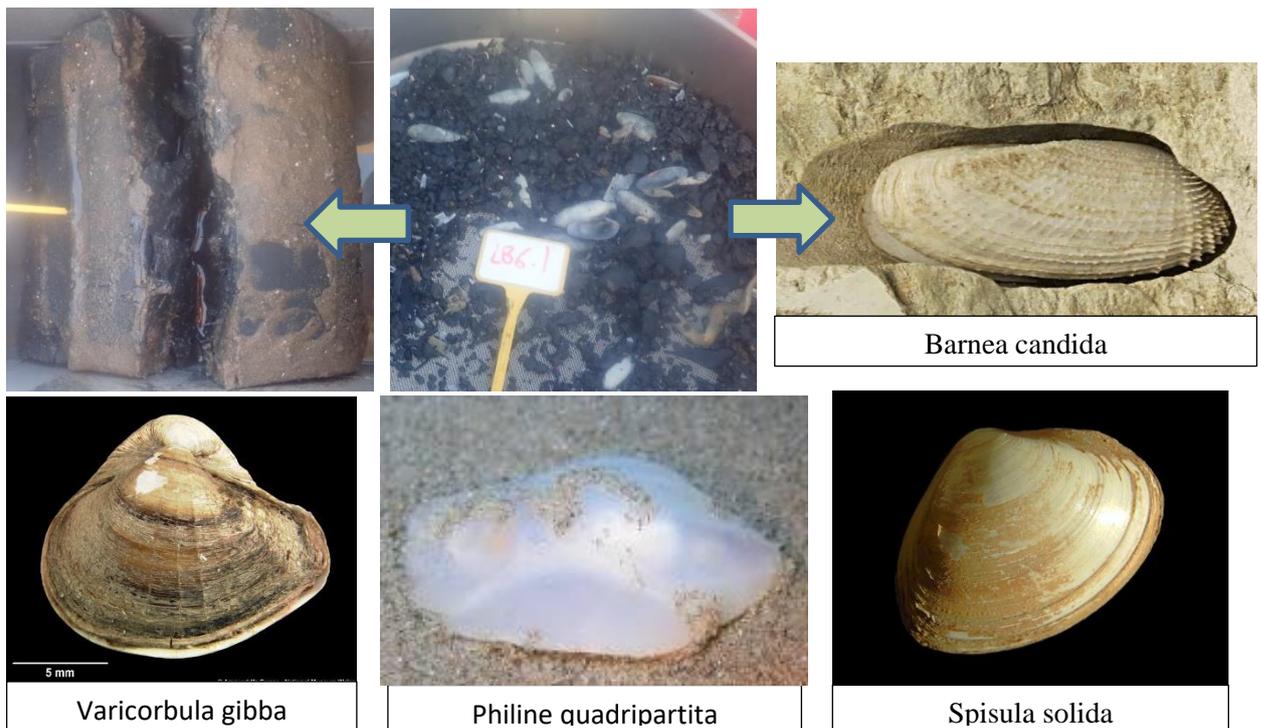


Figure 60 : Illustration des espèces de mollusques rencontrées dans le secteur de la Lambarde en 2022.

Kurtiella bidentata est un bivalve de moins de 1cm qui se reproduit rapidement et colonise les sédiments fins. En 2013, il colonisait l'ensemble des stations de sédiment fin peu profond, hormis la zone de dépôt (Figure 55). En 2015, *Kurtiella bidentata* ne se retrouve que sur les stations LB19, LB14, LB1 et LB7 (Figure 56). En 2017, 2019 et 2022 il est de nouveau abondant sur les stations (Figure 57, Figure 58, Figure 59) situées au nord de la zone d'immersion, avec un maximum en LB32 de 2634 ind/m² en 2019 et 1876 ind/m² en 2022.

Varicorbula gibba (anciennement *Corbula gibba*) est également un petit bivalve de moins de 2cm, qui peut former des peuplements très denses dans les zones eutrophisées (Pearson & Rosenberg, 1978). *Corbula gibba* vit dans le sédiment, mais il est lent à s'enfouir, ce qui en fait une proie plus facile pour les prédateurs. Les peuplements de *Varicorbula gibba*, souvent associés avec le petit gastéropode *Turritellina tricarinata*, se retrouvent dans les zones fortement colonisées par les crustacés tubicoles (*Ampelisca* ou *Haploops*) dans la zone de sédiment fin située au sud de la zone de suivi.

Les stations de sédiments plus sableux situés au nord de la concession, abrite un peuplement de mollusques dominés par les *Nucules* (*Nucula nitidosa*) et les petits couteaux (*Phaxas pellucidus*).

La station LB5 qui est située le plus à l'Est, abrite généralement une faune assez pauvre en mollusques. En 2022, une forte population de *Donax vittatus* s'y est développée (2054 ind/m²). Il s'agit essentiellement de petits individus (> 10 mm).

La station LB22 qui est au centre de la zone d'immersion en activité abrite très peu de mollusques. En effet ces organismes sont très sensibles au fort enfouissement. Tout autour s'est développé un peuplement dominé par *Spisula subtruncata* et les *Philines* sp. Il s'agit de 2 espèces de *Philines*, *P. intricata* et *P. quadripartita*, cette dernière étant très largement dominante. Les *Philines* sont des nudibranches blancs, pouvant atteindre une taille de 3cm, qui vivent à la surface des sédiments de vase sableuse ou sable vaseux. Ils sont peu sensibles à l'enfouissement ou à l'augmentation de turbidité, ce qui explique leur présence tout autour de la zone d'immersion en activité.

VI.2.4.4 Echinodermes

Comme lors des suivis antérieurs, les quatre espèces qui forment les plus fortes populations d'échinodermes sur la Lambarde en 2022 sont des ophiures :

Acrocnida brachiata et *Amphiura filiformis* sont des filtreurs qui vivent enfouis dans le sédiment de sable fin à moyen tendant leurs « bras » pour capturer les particules (détritiques ou phytoplancton) de la colonne d'eau (Figure 61). Il semble que les immersions perturbent ces espèces, car elles ont tendance à fuir les zones d'immersion en activité. En effet, si une légère turbidité favorise les filtreurs en augmentant la nourriture potentielle, une trop forte turbidité colmate leurs systèmes de filtration avec des particules minérales.

Acrocnida brachiata vit dans des sables propres entre 0 et 40m de profondeur, ce qui explique sa répartition sur les stations sableuses les moins profondes du secteur d'étude.

Amphiura filiformis vit dans des substrats sableux envasés, à des profondeurs comprises entre 15 et 100 m. Elle est donc présente sur l'ensemble du secteur sauf dans les sédiments trop grossiers (stations situées au sud et ancienne zone d'immersion). La station LB 32 a une très forte densité d'échinodermes *Amphiura filiformis* 828 ind/m² et *Acrocnida brachiata* 540 ind/m².

Ophiura albida (représentant 98% des *ophiura*) est une ophiure qui supporte différents types de sédiments, du sable fin envasé jusqu'à un sédiment plus grossier, dans des profondeurs allant de 10 à 200m. Contrairement aux précédentes ophiures, *Ophiura albida* est un charognard voire un prédateur de petits invertébrés. L'évolution de sa répartition suit celle des *Ampelisca* et *Haploops*, qui modifient fortement le substrat avec leurs tubes de vase, créant ainsi de nombreux microhabitats favorables à une importante biodiversité d'organismes. Cette prolifération de proies pourrait expliquer l'association des ophiures avec les crustacés tubicoles (Figure 62).

En 2013, un important peuplement d'*Amphipholis squamata*, occupait les stations LB19, LB25, LB27 et LB32 situées au nord-est de la zone de dépôt (Figure 62). En 2015, ces peuplements avaient disparu, à l'exception de quelques individus en LB4 et LB12, dans les stations les plus éloignées. En 2017, 2019 et 2022, cette espèce est de nouveau observée dans les secteurs situés au nord et au sud de la zone d'immersion (Figure 64, Figure 65, Figure 66). *Amphipholis squamata* est une petite ophiure donc le disque central ne dépasse pas 5mm et ses bras 20mm de long. Cette ophiure colonise les milieux rocheux, grossiers ou sableux, depuis la zone intertidale jusqu'à -250m. Elle ne s'enfouit pas dans le sédiment, mais se cache dans les anfractuosités de roche ou sous les cailloux, sous les débris coquillés et capture les particules avec ses bras enduits de mucus collant. Elle est connue pour sa robustesse, car elle est assez tolérante aux eaux polluées pour un échinoderme.



Figure 61 : Illustration des principales espèces d'échinodermes rencontrées dans le secteur de la Lambarde en 2022.

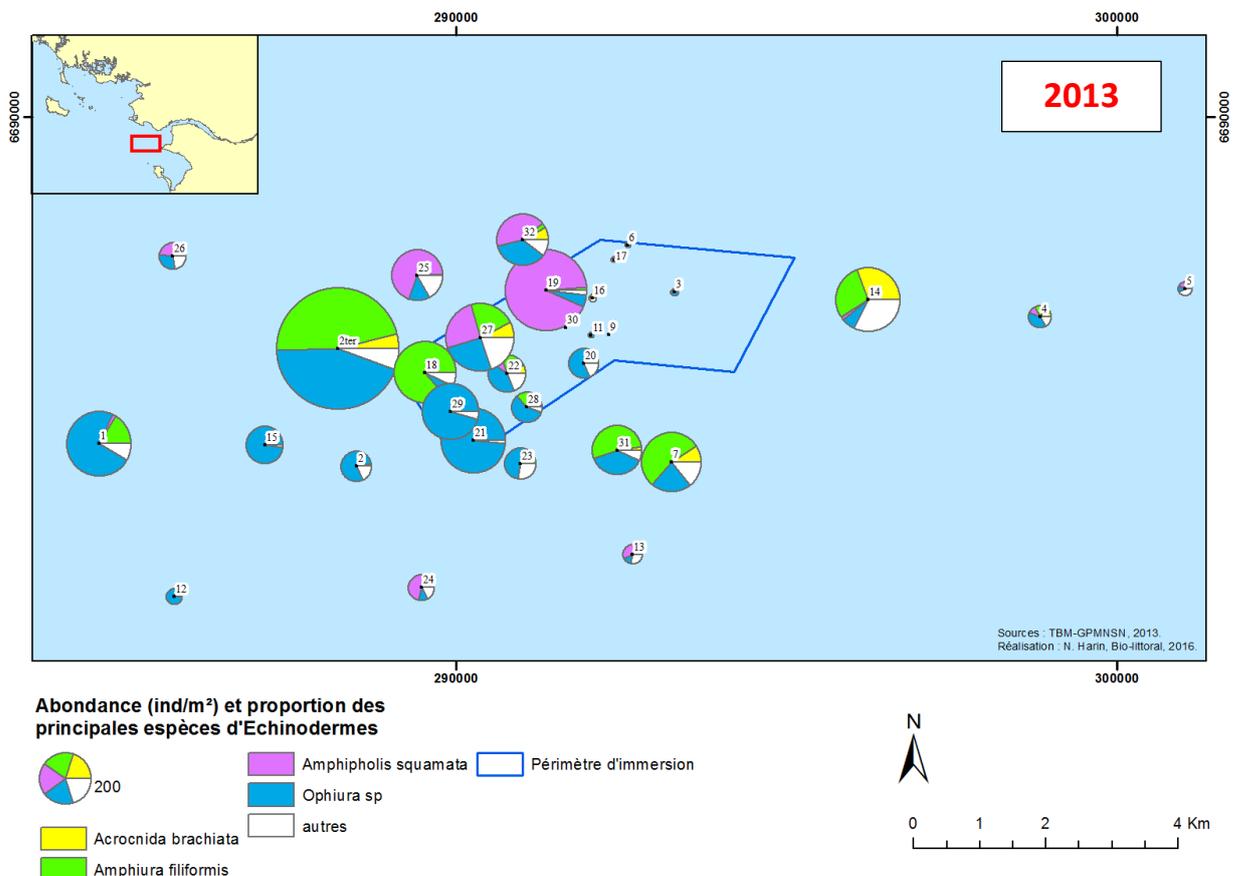


Figure 62 : Répartition spatiale des densités d'échinodermes du secteur de la Lambarde en 2013.

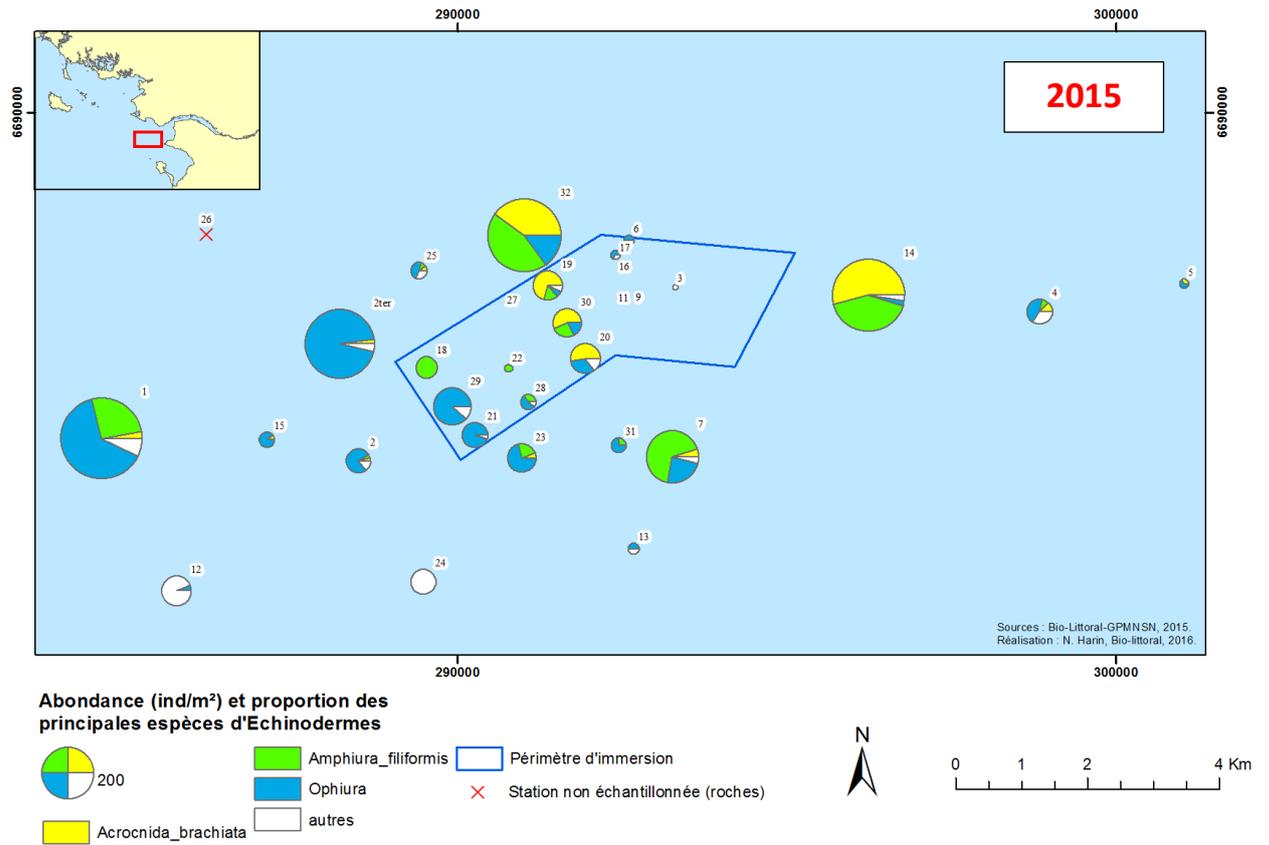


Figure 63 : Répartition spatiale des densités d'échinodermes du secteur de la Lambarde en 2015.

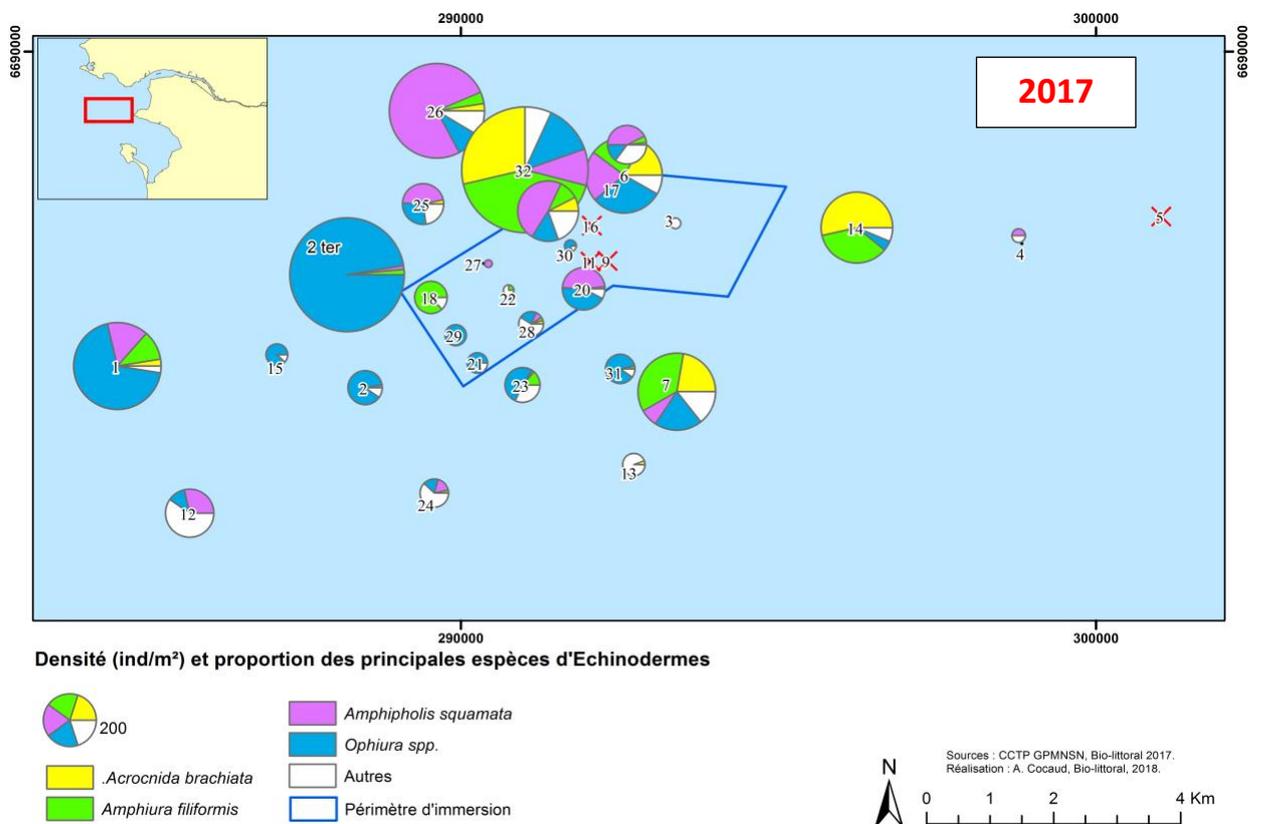


Figure 64: Répartition spatiale des densités d'échinodermes du secteur de la Lambarde en 2017.

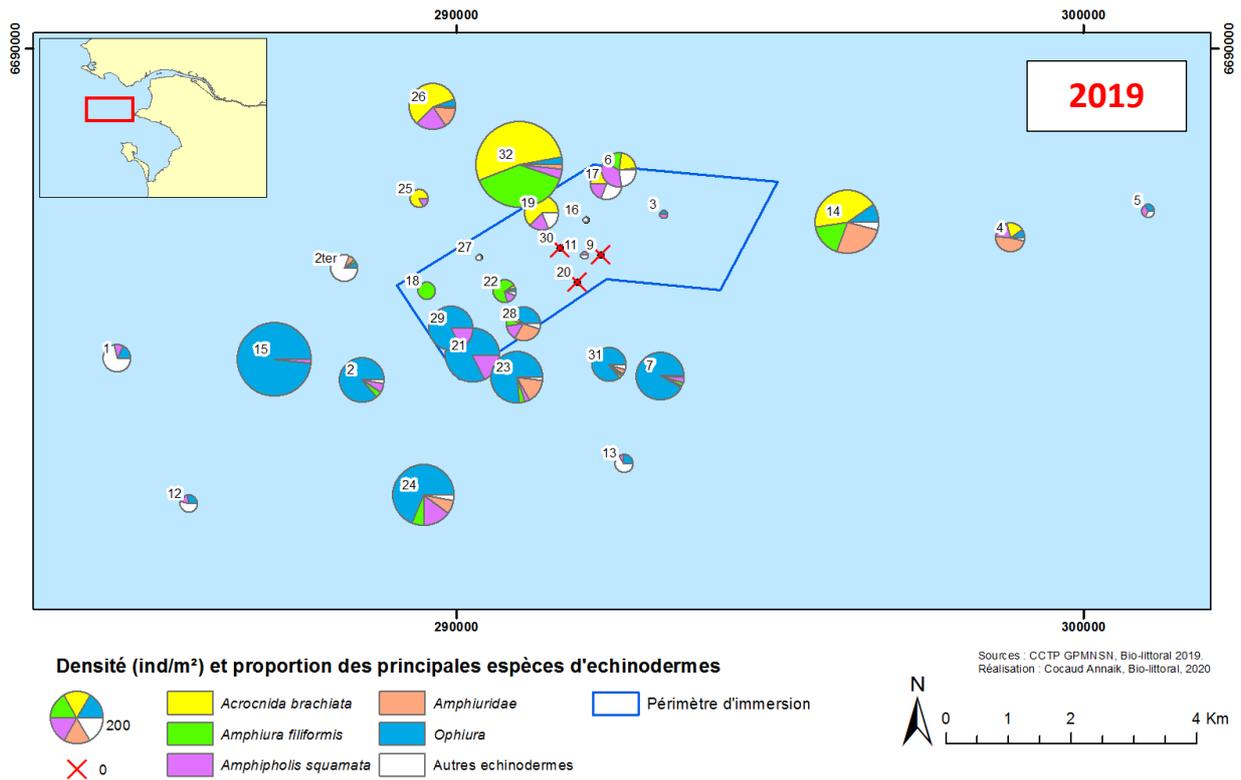


Figure 65 : Répartition spatiale des densités d'échinodermes du secteur de la Lambarde en 2019.

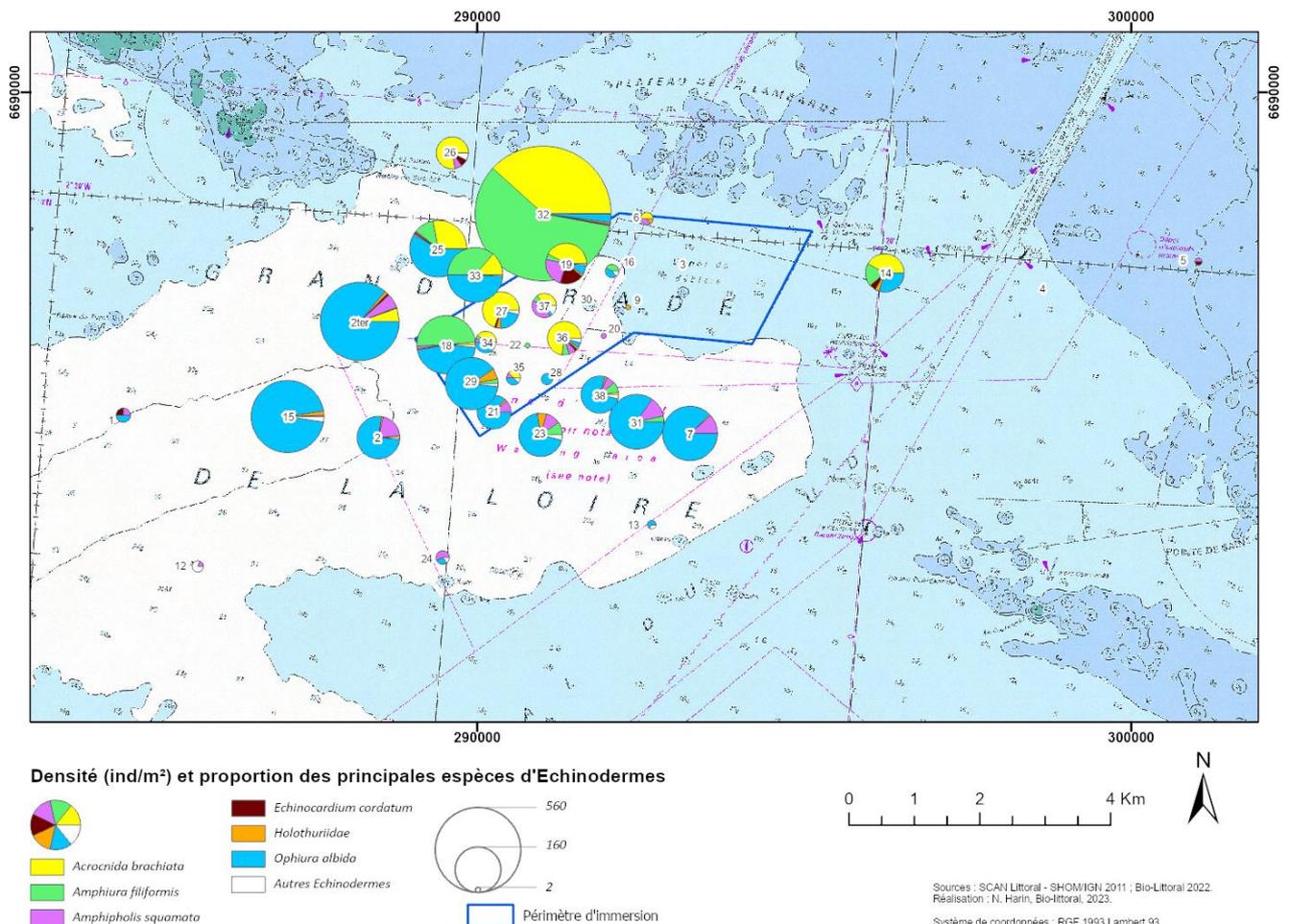


Figure 66 : Répartition spatiale des densités d'échinodermes du secteur de la Lambarde en 2022.

VI.2.5 Biomasse de la faune benthique

La biomasse de la faune benthique est exprimée en poids de matière sèche sans cendre, ce qui permet de ne prendre en compte que la masse de chair, qui joue un rôle important dans un réseau trophique et non pas le poids de coquille ou de carapace des organismes marins.

Il est important de rappeler que la biomasse de la faune benthique n'est pas une métrique très pertinente dans le cadre du fonctionnement écologique d'un secteur. En effet, les proies diffèrent selon le type de prédateurs. De gros organismes, comme de gros bivalves peuvent jouer un rôle moins important que des petits organismes qui pourront être facilement consommés par des juvéniles de poissons.

En 2017, les biomasses maximales sont atteintes en LB14 (58,2 g PSSC), LB23. (25,0 g PSSC). En 2019, LB24 (23,1 g PSSC) et 10 autres stations ont des biomasses qui excèdent 10 gPSSC. En 2022, les stations LB6 et LB30 atteignent respectivement un maximum de 66,26 gPSSC et 35,57 gPSSC en raison de la grande quantité de gros bivalves *Barnea candida* dans les vases compactes de ces stations (376 et 218 ind/m²). La station LB 32 a une biomasse de 34,11 gPSSC liée à la forte densité d'échinodermes *Amphiura filiformis* 828 ind/m² et *Acrocnida brachiata* 540 ind/m². La biomasse de la station LB5 atteint 12,82 gPSSC en raison des 2054 *Donax vittatus* /m² récoltés sur cette station.

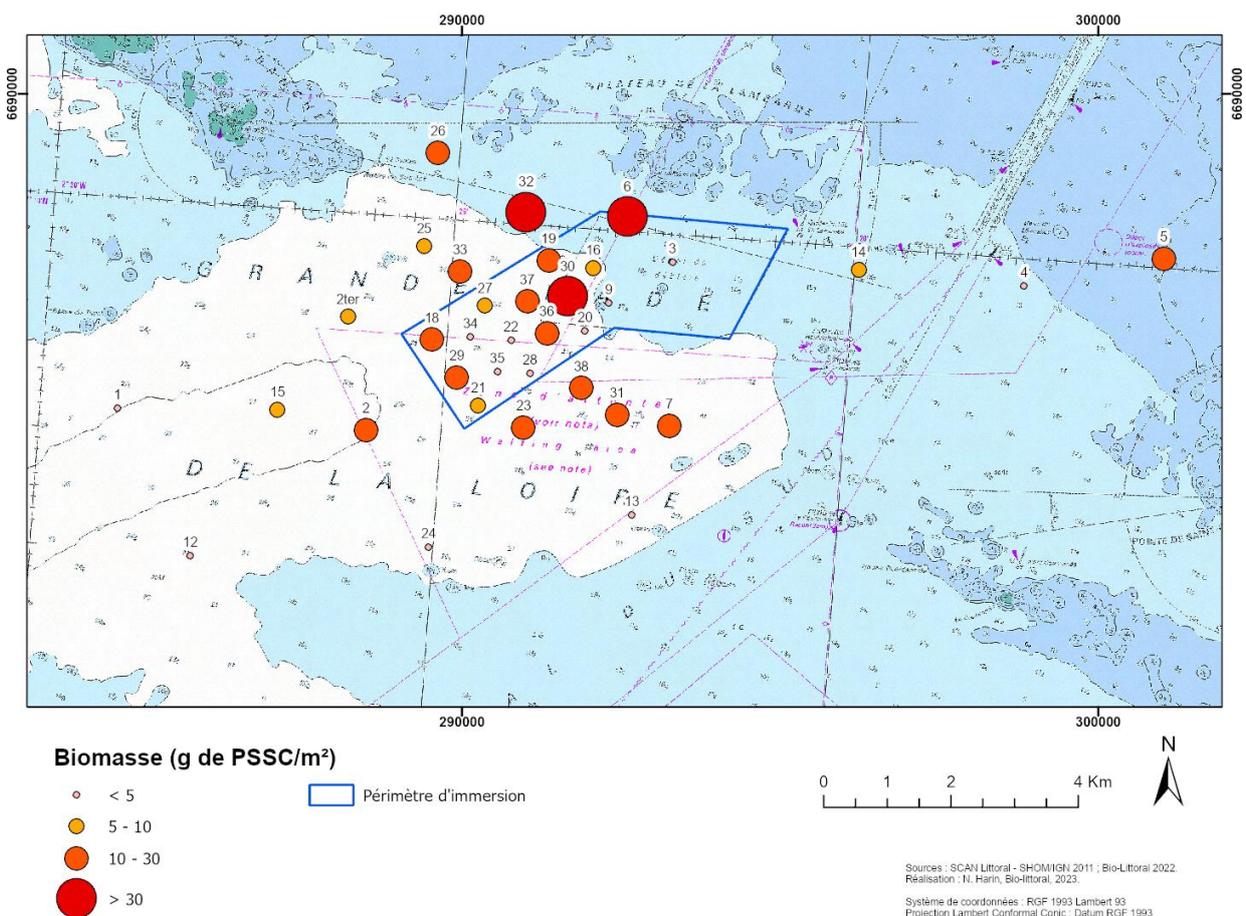


Figure 67 : Répartition spatiale des biomasses d'organismes des stations du secteur de la Lambarde en 2022.

VI.2.6 Synthèse de l'évolution de la faune benthique sur le secteur de la Lambarde

Bien que les protocoles diffèrent quelque peu sur les suivis réalisés entre 2004 et 2022, de grandes tendances se dégagent de l'analyse de la faune benthique sur le secteur de la Lambarde :

- Les zones d'immersion en activité présentent toujours une biodiversité et une densité plus faibles que les autres stations présentant des sédiments analogues, témoignant ainsi d'un impact direct des immersions sur le site. C'est le cas pour la station LB27 qui est proche de la sous-zone 18 exploitée en 2015 et 2017. De même que pour la station LB22 avec les immersions qui sont réalisées sur la sous-zone 22 en 2022.
- L'ancienne zone d'immersion ne présente toujours pas de peuplement stabilisé depuis l'arrêt des dépôts sur cette zone en 2015, en effet le retour des *Spisules*, espèce initiale, semble perturbé par le développement des crustacés tubicoles, même s'ils sont peu nombreux sur le sable grossier de ce secteur. Mis à part la station LB6 située au nord de l'ancienne zone d'exploitation, les 5 autres stations présentent toujours une faible biodiversité et de faibles densités.

Une analyse plus fine sur les cinq derniers suivis réalisés en 2013, 2015, 2017, 2019 et 2022 selon un protocole identique, permet de mieux comprendre la dynamique de la faune benthique face à une pression d'immersion de sédiments en provenance du chenal de la Loire.

2013

En 2013, le dépôt des vases estuariennes dans l'ancienne zone d'immersion est récurrent depuis de nombreuses années et les peuplements se sont installés en fonction de ce facteur. Un important peuplement de *Lagis koreni*, annélide opportuniste, occupe le secteur de la zone d'immersion avec des populations pouvant atteindre plus de 4000 ind/m². Ce détritivore de subsurface bénéficie des apports nutritifs générés par le panache turbide et recolonise très rapidement des zones ensevelies. Ce phénomène a également été observé dans la zone d'extraction de granulats marins du Charpentier (Bio-Littoral, 2011).

2015

Les immersions sur l'ancienne zone sont arrêtées depuis 9 mois, entraînant le déclin des populations de *Lagis koreni*. De plus, un fort hydrodynamisme sur ce secteur exhausé, a chassé les particules fines ne laissant sur place qu'un sédiment grossier qui va être rapidement colonisé par des *Spisules*, peuplement initial (1969) des sables du secteur de Lambarde. Ce bivalve est associé avec les annélides *Pisione remota* et *Glycera lapidum*. Il est possible de considérer cette recolonisation comme un début de résilience de la faune benthique de ce secteur après l'arrêt des dépôts sur ce site. Cependant, la biodiversité et les densités restent toujours plus faibles dans l'ancienne zone d'immersion que dans les autres stations étudiées, hormis la nouvelle zone de dépôt (Station LB27) qui est devenue presque azoïque en 2015.

2017

La nouvelle zone d'immersion est toujours très pauvre en faune avec notamment une disparition des échinodermes depuis 2015. L'impact de la nouvelle zone de clapage est assez étendu puisqu'il intervient sur l'ensemble de la nouvelle extension et plus particulièrement sur les stations situées au nord. L'annélide *Lagis koreni* domine ce peuplement, comme il l'avait fait en 2013 sur l'ancienne zone d'immersion. L'ancienne zone d'immersion qui semblait montrer un début de résilience avec le développement des peuplements à *Spisula solida* qui est le peuplement initial de cette zone, ne s'est pas confirmée en 2017. Les *Spisules* ont quasiment disparu et les échinodermes ne sont toujours pas revenus sur l'ancienne zone d'immersion. Les crustacés tubicoles tels que les *Ampelisca* et les *Haploopsis* qui colonisaient les stations situées au sud-est, se développent de plus en plus en 2015 puis en 2017, vers l'est et vers le nord, modifiant la nature du substrat et les peuplements qui y sont inféodés. Les stations de sables grossiers, situées au sud, présentent toujours une forte biodiversité en annélides.

2019

L'impact direct des immersions est visible très localement sur la station LB18 qui est la plus proche du site d'immersion (sous-zone 19 en activité en 2019) avec une faible densité et une faible biodiversité faunistique.

Le développement des *Lagis koreni* (annélide opportuniste) depuis la station LB18 (zone de dépôt) vers une direction nord-ouest (houle dominante), semble indiquer l'impact du panache de turbidité sur les habitats environnants.

L'ancienne zone d'immersion montre un début de résilience avec le développement des peuplements à *Spisula solida* qui est le peuplement initial de cette zone. Cependant les échinodermes ne sont toujours pas revenus. Et la présence d'*Ampelisca* (crustacés qui vivent dans des tubes de vase), même en faible effectif sur ce sédiment grossier traduit un engorgement fluctuant qui explique les évolutions des peuplements de spicules au cours du temps (forte densité en 2015, faible en 2017 et retour en 2019) et leur difficulté à s'implanter durablement.

Les crustacés tubicoles *Ampelisca* et les *Haploops* occupent toute la zone sud du suivi (hormis la zone de sable hétérogène grossier) et se développent vers la côte.

2022

L'impact direct des immersions est bien visible sur la station LB22 qui est la plus proche du site en activité (sous-zone 22 en 2022) avec une faible biodiversité faunistique (32 espèces) et une densité (538 ind/m²) avec une très forte contribution des *Lagis koreni* avec (370 ind/m²). Ces annélides opportunistes sont également très développés sur les stations situées tout autour LB28, LB34, LB35 et LB37 (avec notamment 3738 ind/m² sur la station LB37) illustrant encore une fois l'importance du panache turbide généré par cette activité anthropique pour cette espèce de filtreur.

Comme lors des précédents suivis, l'ancienne zone d'immersion montre un retour au peuplement initial à *Spisula solida* mais toujours avec de faibles densités et une faible biodiversité (< 42 espèces).

Le développement des crustacés tubicoles se poursuit vers le nord de la zone de concession avec un très fort développement d'*Ampelisca* sur les stations LB18 (3154 ind/m²) et LB33 (890 ind/m²) qui est apparu en 2022. A la lumière des suivis de 2015 à 2022, il semble que les *Ampelisca* soient les précurseurs pour venir coloniser de nouveaux sites et que les *Haploops* arrivent ensuite et se développent au détriment des *Ampelisca* sans toutefois parvenir à les remplacer complètement.

VI.3 Structure des peuplements benthiques

Un peuplement benthique est caractérisé par la densité de chacune des espèces qui le compose et qui permet de mettre en évidence des dominances. Ces assemblages d'espèces traduisent un biotope particulier qui intègre les paramètres physico-chimiques tels que le domaine halin, la bathymétrie, l'hydrodynamisme, la granulométrie du sédiment mais qui prend également en compte les relations entre les espèces (compétition spatiale ou trophique, ou relation de prédation entre les espèces).

Les données de faune benthique récoltées en 2022 ont été analysées statistiquement en utilisant le logiciel PRIMER 6 afin de proposer une répartition spatiale des différents peuplements benthiques dans l'estuaire de la Loire et du secteur de la Lambarde.

Traitement appliqué aux données

L'analyse statistique porte sur la densité de chacune des espèces qui compose le peuplement benthique d'une station. La transformation en racine carrée des densités (nb ind/m²) permet donner autant de poids aux petits échantillons qu'aux gros échantillons. La matrice de données ainsi obtenue a permis de générer une matrice de ressemblance de Bray-Curtis à partir de laquelle ont été réalisées des analyses statistiques multivariées (Cluster, MDS) permettant de regrouper les stations qui ont statistiquement des peuplements similaires. Cette technique a l'avantage de ne pas

prendre en compte les double-absences, c'est-à-dire que l'absence d'une espèce sur deux stations distinctes n'est pas considérée comme une ressemblance entre ces deux stations.

VI.3.1 Résultat sur le chenal de l'estuaire de la Loire

L'analyse de similarité regroupant les stations en fonction de la ressemblance de leur peuplement en termes d'espèces et de densités par espèce (Figure 68) a porté sur les 23 stations du chenal échantillonnées en 2022.

La procédure SIMPROF permet de déterminer, (représenté en pointillés rouges sur les figures), le niveau maximal de similarité permettant de regrouper les stations au sein d'un même type de peuplement benthique.

La faible similarité (< 20%) observée entre les 23 stations est probablement due aux faibles densités mesurées à chaque station. Toutefois, l'analyse regroupe les stations en 6 groupes répartis le long du chenal en fonction du gradient de salinité et deux stations seules (Figure 69).

Comme les autres années de suivi, la station **C7** se démarque car son peuplement benthique de 47 espèces, dominé par les annélides *Lagis koreni* (3430 ind/m²).

Les stations **C13 et Z2** sont des stations de vase comprennent une bonne biodiversité (9 à 11 espèces) mais avec de faibles densité (60 à 70 ind/m²). Elles sont caractérisées par l'absence de l'annélide *Tharyx* et la présence de quelques *Corophium volutator* et *Macoma balthica* qui indiquent l'influence de l'eau douce dans ce secteur.

Les stations **C19 et C33** sont les seules stations de sable grossier échantillonnées dans l'estuaire de la Loire. Elles sont caractérisées par de fortes densités de *Pisone remota* 347 et 83 ind/m² et des *Goniadella* (80 et 70 ind/m²).

Les stations **A2, A8, Z7, C26 et C63**, sont regroupées en raison de la nature sablo-vaseuse de leur sédiment et des peuplements d'annélides *Tharyx* et *Heteromastus filiformis* et du bivalve *Limecola baltica* caractéristiques de milieu polyhalin.

Les stations **C88, C98, C106 à C109 et C52** sont dominées par la présence du crustacé *Corophium volutator*, caractéristique du milieu mésohalin.

La station **C80 et C99** ont un sédiment hétérogène envasé qui n'at aucun annélide mais qui accueille des crustacés et 3 *Amphipholis squamata*.

Les stations C102, C103 et C105 sont caractérisées par la dominance des oligochaetes.

La station **GP5** est azoïque.

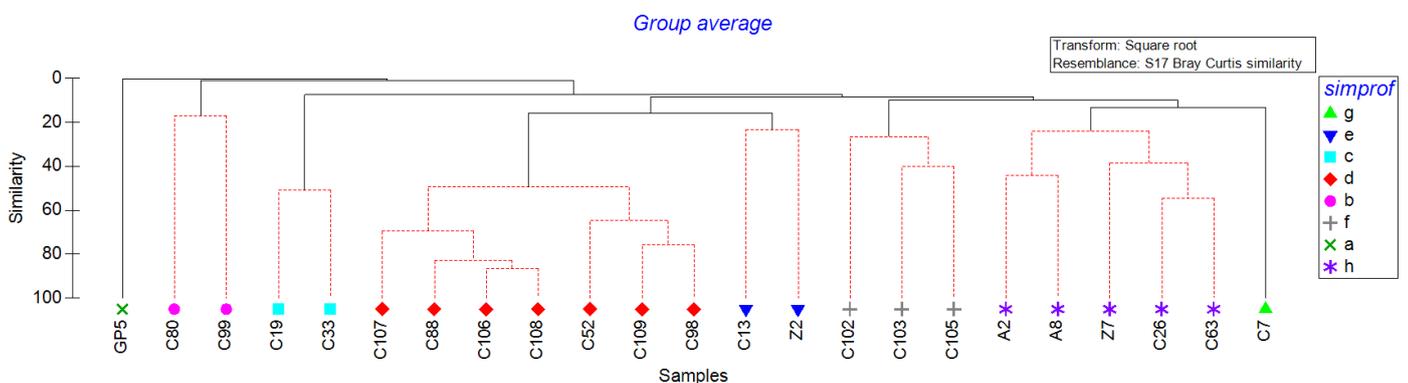


Figure 68: Analyses multivariées montrant le regroupement des stations du chenal de la Loire, en fonction des densités des espèces macrobenthiques en 2022. Seuil minimal de similarité fixé à 20 %.

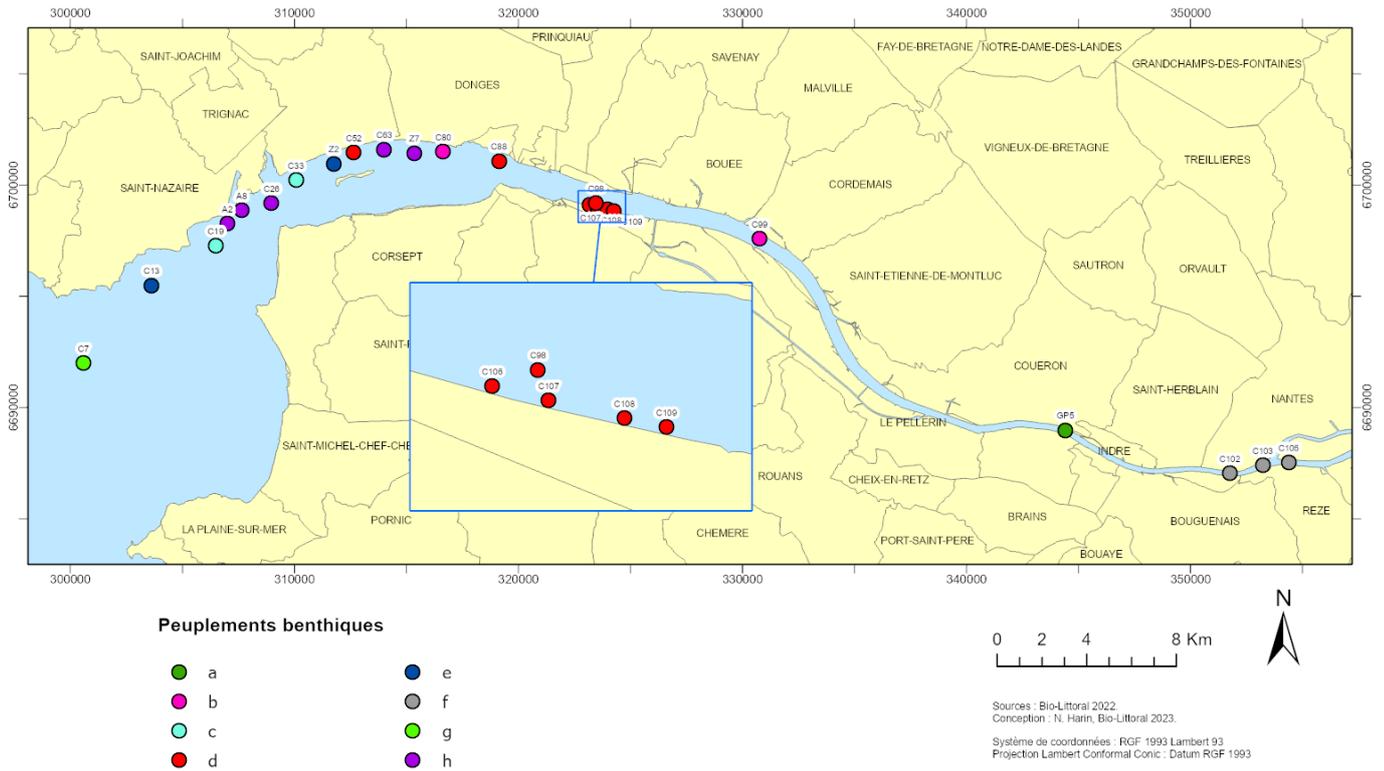


Figure 69: Représentation géographique des différents assemblages faunistiques identifiés par analyse statistique (CAH sur PRIMER) dans le chenal de l'estuaire de la Loire en 2022.

VI.3.2 Résultat sur la Lambarde

L'analyse de similarité a porté sur les densités par espèce des 35 stations de la Lambarde échantillonnées en 2022 (Figure 70). Les assemblages sont spatialisés et les principales espèces discriminantes sont indiquées. L'analyse statistique identifie neuf regroupements de faune benthique sur le secteur de la Lambarde, qui sont en adéquation avec les analyses benthiques du chapitre VI.

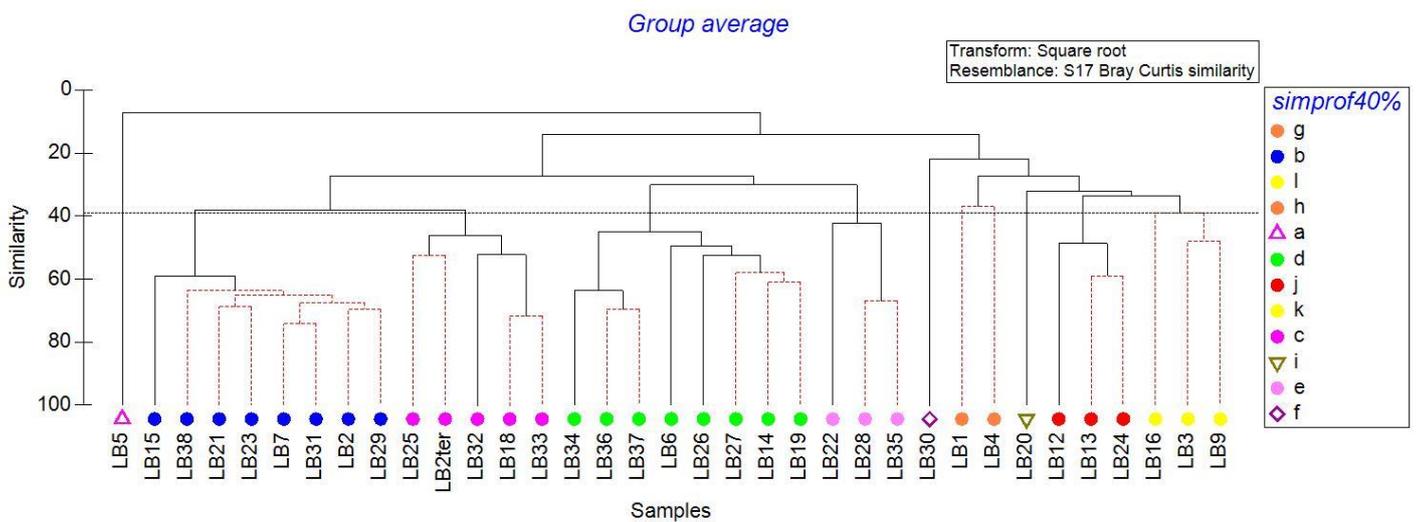
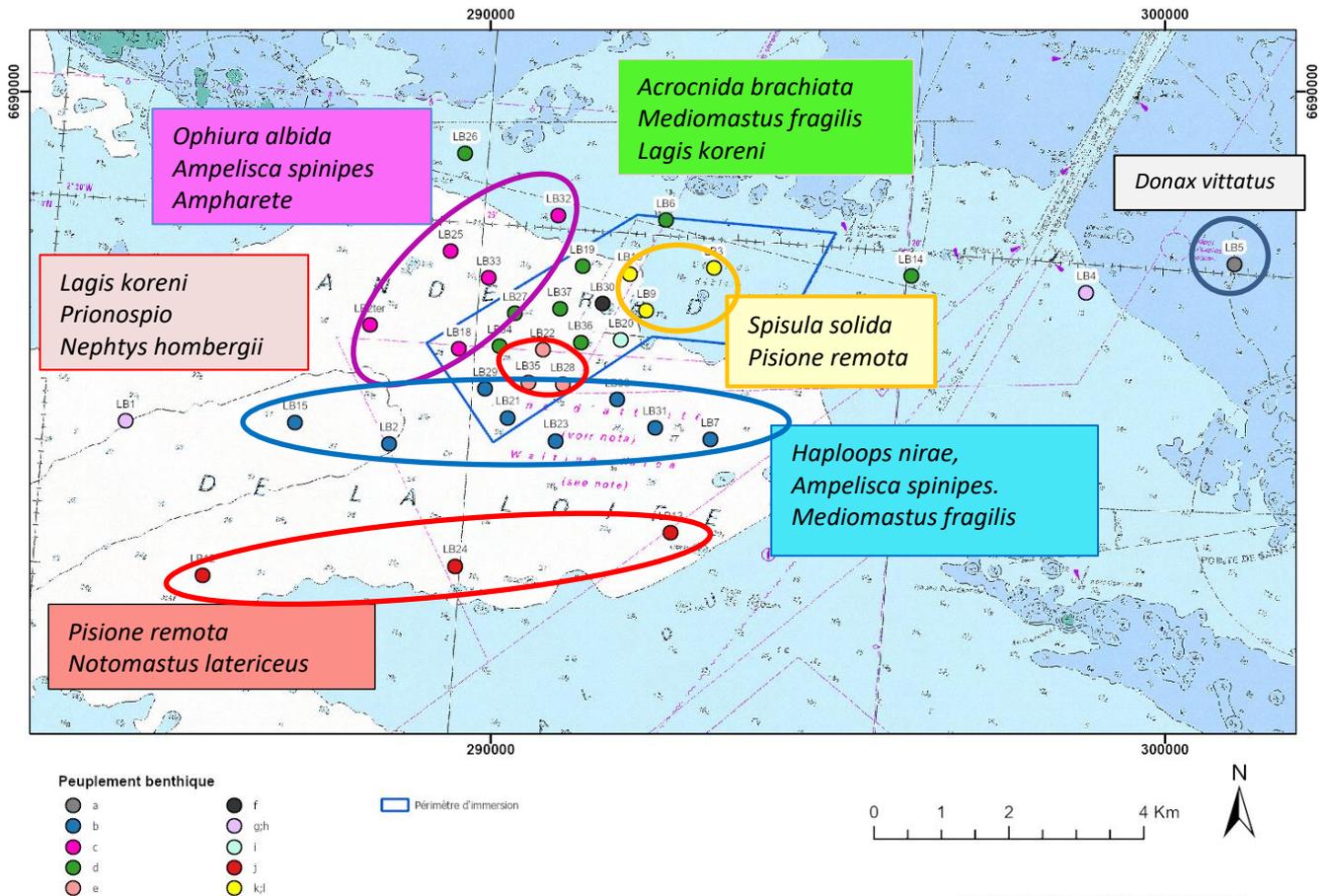


Figure 70 : Analyses multivariées montrant le regroupement des stations de la Lambarde en fonction des densités des espèces macrobenthiques en 2022. Résultat de la procédure SIMPROF 1% (pointillés rouges). Seuil minimal de similarité fixé à 40 %.



Sources : SCAN Littoral - SHOM/IGN 2011 ; Bio-Littoral 2022.
Réalisation : N. Harin, Bio-Littoral, 2023.
Système de coordonnées : RGF 1993 Lambert 93
Projection Lambert Conformal Conic : Datum RGF 1993

Figure 71 : Représentation géographique des différents assemblages faunistiques identifiés en 2022 par analyse statistique (CAH sur PRIMER). Chaque assemblage est caractérisé par une couleur et les principales espèces discriminantes sont données par la procédure SIMPER.

Habitats marins

Les habitats sont déterminés selon la typologie européenne Eunis, qui classe les habitats en fonction de leur niveau bathymétrique, de la nature du sédiment et des espèces caractéristiques des peuplements faunistiques. La correspondance avec la typologie française NatHab-Atl est indiquée.

Les stations LB12, LB13 et LB24 situées au sud de la zone d'immersion, présentent un sédiment grossier qui abrite une importante biodiversité d'annélides caractérisés par les *Pisione remota* et *Notomastus latericeus* mais avec de faibles densités d'organismes. Cet habitat correspond à l'habitat **Eunis A5.135 Sable grossiers et gravelles mobiles soumis à un fort hydrodynamisme**. Correspondance : NatHab-Atl B3-2.1 - Sédiments grossiers très mobiles infralittoraux à faune éparse.

Les stations LB2, LB7, LB15, LB21, LB23, LB29, LB31 et LB38 Situées au sud-est de la zone d'immersion, ces stations forment une bande est-ouest, qui correspond à l'ancien habitat à *Ampelisca spinipes* décrit par Glémarec en 1969 au même endroit (Figure 72). Cet habitat observé depuis 2015, est défini dans la typologie **Eunis** comme **A5.335 Sables envasés cohésifs sublittoraux** qui abritent des populations très denses d'amphipodes tubicoles (notamment des Haploops) et de polychaetes, caractérisées par une dominance des *Ampelisca spinipes* et de *Photis longicaudata*. Correspondance : NatHab-Atl B6-1.5 - Vases sableuses infralittorales à *Ampelisca* spp., *Photis longicaudata* et autres amphipodes tubicoles et polychètes.

Les stations LB6, LB14, LB19, LB26, LB27, LB34, LB36, LB37 Ces stations de sédiment fins à sablo-vaseux abritant de fortes populations d'annélides *Lagis koreni*, *Mediomastus fragilis* et les ophiures *Acrocnida brachiata* correspondent à l'habitat **Eunis A5.355 – *Lagis koreni* et *Phaxas pellucidus* dans de la vase sableuse circalittorale**. Vase sableuse stable circalittorale, hébergeant des populations denses du polychète tubicole *Lagis koreni*. Les autres espèces présentes dans cet habitat comprennent typiquement des bivalves tels que *Phaxas pellucidus* et des polychètes tels que *Mediomastus fragilis*. **Correspondance : NatHab-Atl C6-1.5 - Vases sableuses du circalittoral côtier à *Lagis koreni* et *Phaxas pellucidus*.**

Les stations LB18, LB25, LB32, LB33, LB2ter Ces stations de sables moyens à sablo-vaseux abritant de fortes populations (densité comprise entre 1600 et 6000 ind/m²) d'annélides *Ampharete*, de crustacés *Ampelisca spinipes*, d'échinoderme *Ophiura albida* et *Amphiura filiformis* et de bivalve *Nucula nitidosa*. L'habitat qui s'en rapproche le plus est **Eunis A5.261 *Abra alba* et *Nucula nitidosa* dans du sable envasé ou des sédiments légèrement hétérogènes circalittoraux**. Sable vaseux non cohésif, ou sable vaseux légèrement coquillier ou graveleux, caractérisé par les bivalves *Abra alba* et *Nucula nitidosa*. D'autres taxons importants comprennent *Nephtys* spp., *Chaetozone setosa* et *Spiophanes bombyx*, ainsi que *Tellina fabula*, également commune dans de nombreuses zones. Les échinodermes *Ophiura albida* et *Asterias rubens* peuvent également être présents. **Correspondance NatHab-Atl : C5-2.1 - Sables envasés et sédiments légèrement hétérogènes du circalittoral côtier à *Abra alba* et *Nucula nitidosa*.**

Les stations LB3, LB9 et LB16 correspondent à un peuplement peu diversifié (RS < 41 espèce) caractérisé par les bivalves *Spisula solida* et l'annélide *Pisone remota*. Il s'agit des stations situées sur la partie de la zone d'immersion qui n'est plus exploitée depuis début 2015. Le sédiment a rapidement évolué vers une granulométrie plus grossière en raison du fort hydrodynamisme qui emmène les particules fines vers les roches de la Lambarde. L'habitat qui s'en rapproche le plus est **Eunis A5.244 *Spisula subtruncata* et *Nephtys hombergii* dans du sable moyen qui contient moins de 20% de fraction fine**. Dans les milieux peu profonds, les *Spisula subtruncata* sont remplacées par *Spisula solida* lorsque le sédiment est un peu plus grossier, ce qui est le cas sur ces stations et *Nephtys hombergii* est remplacé par *Nephtys cirrosa*. **Correspondance NatHab-Atl B5-3.3 - Sables envasés infralittoraux à *Spisula subtruncata* et *Nephtys hombergii*.**

Les stations LB22, LB28 et LB35 sont caractérisées par un sédiment vaseux ou vaso-sableux qui correspond à la zone directement sous influence des immersions avec une faune pauvre (Biodiversité < 38 espèces) avec des espèces opportunistes comme les annélides *Lagis koreni*, *Capitella capitata* et des *Philines quadripartita* comme mollusques. L'habitat correspond à **Eunis A5.374 - *Capitella capitata* et *Thyasira* spp. dans de la vase ou de la vase sableuse enrichie en substances organiques du circalittoral du large**. **Correspondance NatHab-Atl D6-1.4 - Vases et vases sableuses eutrophisées du circalittoral du large à *Capitella capitata* et *Thyasira* spp.**

Les stations LB1, LB4 sont caractérisées par un sable moyen ou vase sableuse, avec une faune peu abondante (densité entre 608 et 664 ind/m²) comprenant une grande biodiversité d'annélides, *Aponuphis bilineata*, *Pisone remota*, *Mediomastus fragilis*, *Lumbrinereis latreilli*, *Nephtys cirrosa*, *Pista*. Les populations d'*Ampelisca* importantes en 2017 sur la station LB1, ont fortement régressé en 2019 et quasiment disparu en 2022. Il correspond à l'habitat **Eunis A5.231 Sable propre mobile infralittoral à faune clairsemée**. Sédiments de sables moyens à fins en eau peu profonde, formant souvent des dunes, sur des côtes exposées ou soumises aux courants de marée, contenant une endofaune très réduite en raison de la mobilité du substrat. **Correspondance NatHab-Atl B5-1.3 Sables dunaires à *Abra prismatica* et *Nephtys cirrosa*.**

La station LB5 est située près de la côte, à plus de 2 km au sud du prolongement du chenal de navigation. Cette station qui se caractérisait par un sable fin lors des précédents suivis, a un sable

moyen en 2022. Sa position en sortie de chenal sur des petits fonds, génère une importante mobilité qui explique la très faible biodiversité rencontrée à chaque suivi (26 espèces en 2022). Les densités sur cette station sont généralement faibles mais en 2022, la densité atteint 2542 ind/m² en raison du nombre important de petits bivalves *Donax vittatus* (2054 ind/m²). Cette station correspond à l'habitat **Eunis A5.23 - Sable fin infralittoral** **Correspondance NatHab-Atl** B5-1.3 - Sables dunaires à *Abra prismatica* - *Nephtys cirrosa* qui se caractérise par une faune robuste, peu diversifiée, composée de polychètes comme *Nephtys cirrosa*, *Ophelia sp*, *Travisia forbesii*, de bivalves comme *Spisula spp.*, *Macomangulus tenuis* et *Donax vittatus*, et de crustacés *Bathyporeia spp.*

La station LB30 est située au centre de la concession, a un sédiment qui change énormément au cours des suivis passant de très grossier en 2013 et 2015 à sablo-vaseux en 2017, puis sable grossier en 2019 pour devenir une vase sableuse en 2022. En 2022 elle abrite peu d'espèces (25 espèces) avec une faible densité d'organismes (322 ind/m²) constitué essentiellement par le bivalve *Barnea candida* (218 ind/m²) qui fore son terrier dans la vase compacte. **Correspondance NatHab-Atl** B1-6.6 - Roches tendres (calcaire, tourbe ou argile consolidés) infralittorales à bivalves foreurs et cryptofaune associée.

La station LB20 située au sud de la station LB30, est également une station qui a connu de grand changement sédimentaire au cours des suivis et une forte variation de peuplements benthiques. En 2022, la station LB20 est caractérisée par un sédiment grossier avec peu d'espèces (32 espèces) et une faible densité d'organismes (304 ind/m²) dominé par les annélides *Pisione remota* (88 ind/m²) et *Nephtys cirrosa* (38 ind/m²). **Correspondance NatHab-Atl** B3-2.4 - Sables grossiers mobiles infralittoraux à *Hesionura elongata* et *Microphthalmus similis* avec d'autres polychètes interstitiels. Il est possible que cette station se situe dans une zone très pentue en limite de la zone d'accumulation de l'ancienne concession. Ce qui expliquerait la faible biodiversité rencontrée. Cependant, il nous manque le dernier relevé bathymétrique pour pouvoir conclure sur cette hypothèse.

A noter que tous les grandes surfaces d'habitats étaient déjà décrites en 1965 (Figure 72).

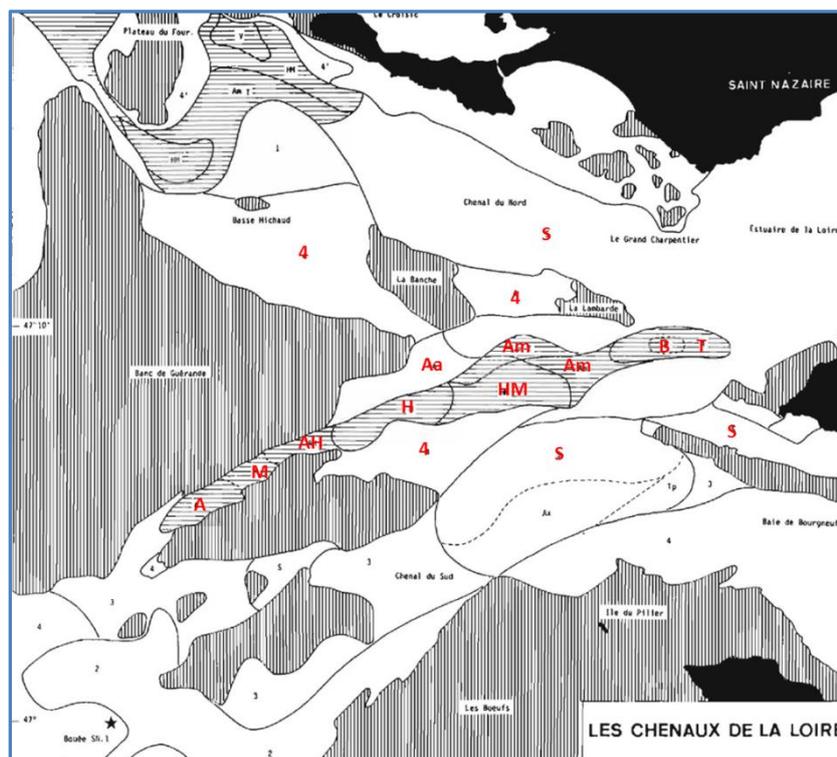


Figure 72 : Cartographie des habitats marins dressée par Glemarec en 1969

VI.4 Indices de qualité biologiques sur le secteur de la Lambarde

Les pressions exercées par l'homme sur l'environnement marin sont nombreuses. A cela, il faut ajouter les effets encore peu connus du changement climatique. Les mesures de gestion entreprises pour protéger cet environnement visent à maintenir le « bon état écologique » qui passe, notamment, par le maintien de la biodiversité écologique. Etant donné la complexité des peuplements benthiques, il est courant d'utiliser des indicateurs permettant de réduire le nombre de paramètres à mesurer, tout en maintenant une information pertinente sur la structure et le fonctionnement de l'écosystème. Un indice représente une mesure agrégée ou un calcul dérivé de plusieurs paramètres.

La plupart des indices repose sur le modèle développé par Pearson et Rosenberg (1978) qui associe une structure du peuplement en fonction du degré de pollution calculé selon le taux d'enrichissement en matière organique.

1. Lorsque le milieu est très perturbé, le peuplement est caractérisé par un pic d'espèces opportunistes (petits organismes ayant une vie courte), avec un petit nombre d'espèces mais de fortes densités.
2. La perturbation se réduisant, l'abondance diminue tandis que la richesse spécifique augmente.
3. Lorsque le milieu n'est plus perturbé, le peuplement se stabilise petit à petit et est caractérisé par des espèces peu abondantes mais avec des tailles d'organismes plus importantes ayant des durées de vie plus longues.

Plusieurs indices ont été définis pour la faune benthique de milieu meuble. Dans l'étude de Bio-Littoral réalisée sur les résultats de 2015 de la Lambarde, une analyse comparative et critique avait été faite sur les indices les plus utilisés : ITI Infaunal Trophic Index ; I2EC, Ambi, MAmbi. Ces indicateurs appliqués aux résultats obtenus en 2015 sur les 30 stations étudiées à la Lambarde, ont montré que l'indice M-Ambi donnait les résultats les plus cohérents, même si il reste inadapté pour les stations de substrat grossier.

L'indicateur M-Ambi adopté pour la Directive Cadre Eau (DCE marine) sur tout le littoral européen, a été calculé pour les 31 peuplements de la Lambarde en 2022 comme en 2017 et 2019.

VI.4.1 M-Ambi

L'AMBI (AZTI Marine Biotic Index) est un indice biotique développé dans le cadre de la DCE pour permettre d'évaluer la qualité des eaux côtières à partir de la macrofaune benthique (Borja *et al.*, 2003 ; Muxika *et al.*, 2007).

Pour le calcul de l'AMBI, les espèces macrobenthiques sont réparties dans cinq groupes écologiques (GI, GII, GIII, GIV, GV) en fonction de leur sensibilité aux perturbations (essentiellement basée sur leur sensibilité à l'enrichissement en matière organique), les espèces du groupe I étant les plus sensibles et les espèces du groupe V étant très opportunistes et peu sensibles à ce facteur.

Pour chaque station, le pourcentage de chaque groupe écologique est ensuite pondéré par le poids de sa contribution dans la représentation du niveau de perturbation

$$AMBI = ((0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)) / 100$$

Étant fortement influencé par la sensibilité des espèces à la concentration en matière organique, l'AMBI est peu performant dans les milieux sous influence estuarienne. Le M-AMBI repose sur une analyse factorielle en fonction de l'AMBI, de l'indice de biodiversité de Shannon (H') et de la richesse

spécifique. Le M-AMBI est plus performant que l'AMBI pour détecter les perturbations dans les zones côtières, excepté celles affectant les sédiments grossiers non envasés.

- **Indice de Shannon** : l'indice de Shannon (H') permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité au sein d'un peuplement en tenant compte du nombre d'espèces et de leur abondance. Il se calcule avec la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S ((N_i / N) \times \log_2 (N_i / N))$$

dans laquelle N est l'effectif total de l'échantillon et N_i l'effectif de l'espèce i dans l'échantillon. L'indice de Shannon varie entre 0, valeur obtenue si tous les individus du peuplement appartiennent à la même espèce, et $\log_2 S$ ($= H'_{\max}$), valeur obtenue lorsque tous les individus sont répartis de façon égale au sein des différentes espèces.

L'indice M-Ambi permet d'avoir un gradient continu de valeurs. Les seuils définissant les états écologiques des habitats sont donnés dans le tableau suivant. Pour chaque station, cet indice est calculé en utilisant le logiciel AMBI 5.0 développé par AZTI-Tecalia.

Cette formule permet d'avoir un gradient continu de valeurs. Les seuils définissant les états écologiques des habitats sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 13 : Valeurs de référence de l'indice biotique M-AMBI permettant de définir l'état écologique des habitats benthiques.

État écologique	M-AMBI
Très bon	0,83 – 1
Bon	0,62 – 0,82
Moyen	0,4 – 0,61
Médiocre	0,2 – 0,4
Très mauvais	0 – 0,2

L'évolution de l'indice M-Ambi sur le secteur de la Lambarde est présentée de 2015 à 2019 (Figure 73) et 2022 (Figure 74).

En 2015, l'indice M-AMBI montrait une bonne discrimination des stations sur le secteur de la Lambarde avec la station LB27, site d'immersion utilisé depuis 2015, en « très mauvais état » avec les stations proches de LB27, qui subissent l'influence du panache turbide classées en « état moyen ». L'ancienne zone d'immersion était également classée en état moyen (Figure 73).

En 2017, la station LB27, s'améliore et devient un « état moyen », car cette station passe de 6 espèces en 2015 à 30 espèces en 2017, mais l'impact est plus important sur la station LB22 située au sud de la zone de dépôt. Les 4 stations situées autour de la zone d'immersion restent en état moyen ou mauvais ce qui traduit une bonne sensibilité de l'indicateur M-Ambi. L'ancienne zone d'immersion abandonnée depuis 2015, donne des stations en bon état ce qui paraît cohérent. La station LB5 vers le chenal, est indiquée en mauvais état car elle offre une faune pauvre (8 espèces seulement). La station LB15 est classée en état moyen en raison des très fortes densités du petit crustacé tubicole, *Haploops nirae* (3576 ind/m²) qui constitue plus des ¾ du peuplement de cette station (total de 4580 ind/m²), même si la biodiversité est de 71 espèces.

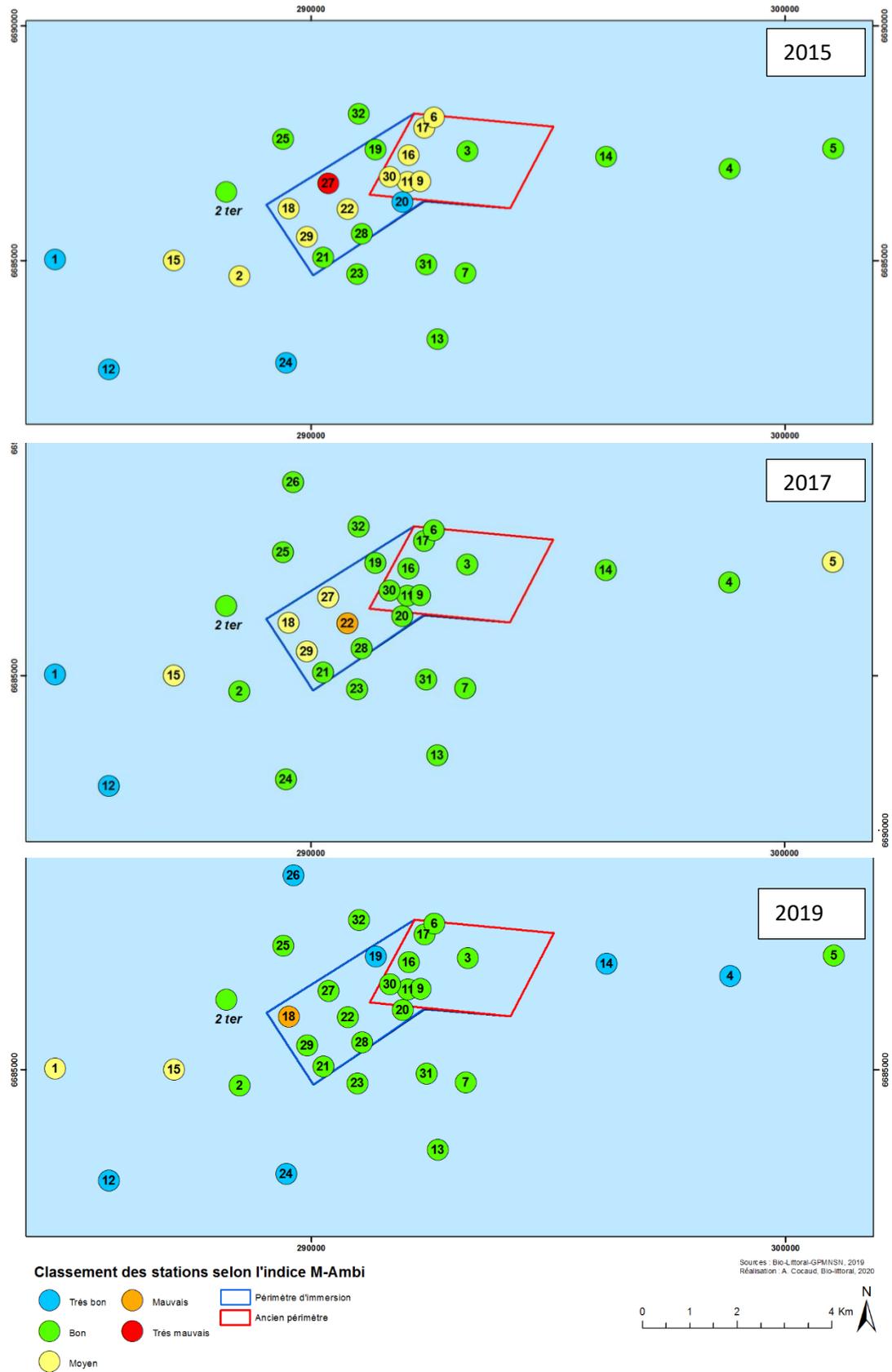


Figure 73 : Classification des stations du secteur de la Lambarde selon l'indice (M-AMBI) en 2015, 2017 et 2019.

En 2019, dans la concession, seule la station LB18 est identifiée en mauvais état, ce qui paraît cohérent étant donné que la zone de dépôt s'est rapprochée de cette station. Les faibles volumes immergés en 2019 (1,5 millions de m³) peuvent expliquer que seule cette station soit impactée. À noter que l'indice M-Ambi ne traduit pas l'impact potentiel du panache turbide qui peut être identifié grâce au développement du vers opportuniste *Lagis koreni* sur les stations situées dans un axe nord-ouest à partir de la zone de dépôt. En 2019, la station LB15 est encore classée en état moyen en raison des très fortes densités du petit crustacé tubicole, *Haploops nirae* (3132 ind/m²) qui constitue plus des ¾ du peuplement de cette station (total de 4526 ind/m²), même si la biodiversité est de 78 espèces. La station LB1 est également décrite en état moyen en raison de la prédominance des *Gastrosaccus spinifer* 108 ind/m² sur les 564 du peuplement qui comprend pourtant 64 espèces. La pertinence de cette classification semble discutable.

En 2022, la station LB36 est indiquée comme étant en mauvais état de conservation en raison de la très forte abondance (5502 ind/m²) de *Lagis koreni* qui est un annélide opportuniste classé en IV dans les groupes écologiques. La station LB37 est donnée en état de conservation médiocre en raison de la densité de *Lagis koreni* (3738 ind/m²). La station LB22, qui est au centre de la zone d'immersion en activité et les stations proches LB28 et LB35, ont une faible biodiversité et de faibles densités d'organismes dominées par les *Lagis koreni* (370, 440 et 722 ind/m²) qui leur confèrent un état médiocre. L'indice M-AMBI semble donc bien traduire une zone d'impact ayant un rayon d'environ 1 km. Cependant cet indice à ses limites quant à la cause du mauvais état. En effet, la station LB5 est considérée en état médiocre en raison de la forte dominance d'une espèce (*Donax vittatus* 2054 ind/m²) et de la faible biodiversité du site (26 espèces). Ce peu de faune correspond à un fort hydrodynamisme qui perturbe la faune benthique réduisant le nombre d'espèce capable de s'y développer.

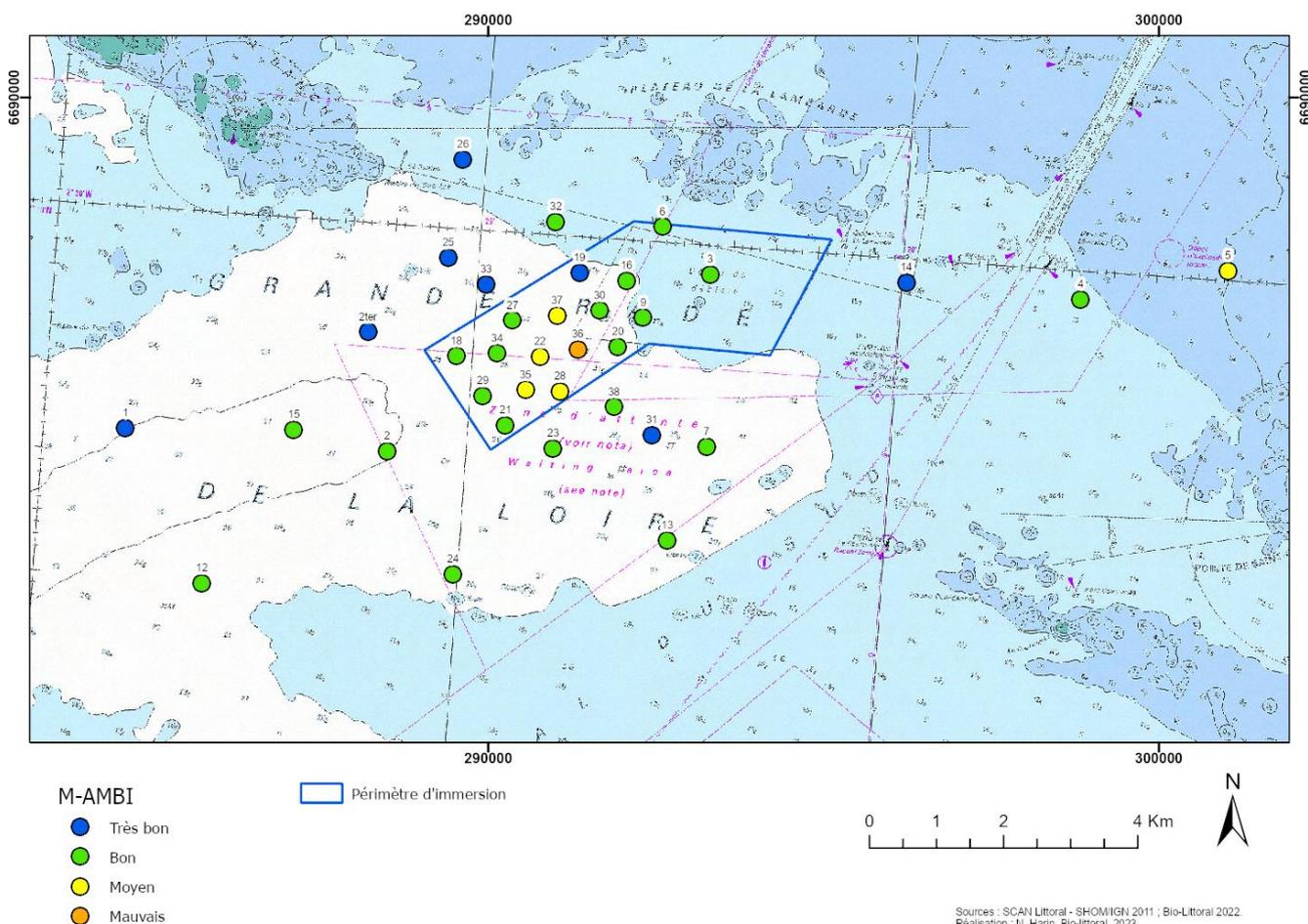


Figure 74 : Classification des stations du secteur de la Lambarde selon l'indice (M-AMBI) en 2022.

Les autres stations sont indiquées en bon ou très bon état de conservation, y compris les stations qui connaissent un fort développement des crustacés tubicoles (Ampelisca ou Haploops), car ces espèces ingénieurs génèrent de nombreux micro-habitats riches en biodiversité.

L'indice M-Ambi, ne présente pas de résultats incohérents, puisque la zone présentant les plus fortes perturbations correspond à la zone en activité, cependant il ne permet pas une analyse fine du processus d'impact des immersions sur la faune benthique. D'autre part, cet indice peut mettre en exergue des stations qui ne sont pas sous influence du phénomène étudié et il pourrait y avoir des confusions (exemple station LB5).

L'évolution globale de l'indice M-Ambi au cours des suivis, montre un impact majeur sur la zone en exploitation avec une zone d'impact élargie à 1km tout autour. Cet indice met en évidence une restauration de la qualité des habitats marins lorsque les immersions ont cessé, comme le montre l'évolution de la station LB27, qui passe de très mauvais en 2017 (zone d'immersion), à moyen en 2017 puis en bon état à partir de 2019 lorsque l'immersion se réalise plus au sud à cote de la station LB22. Cependant, l'amélioration de l'indice ne correspond pas forcément à la restauration de l'habitat initial. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'analyser l'évolution bathymétrique, sédimentaire et faunistique des différentes stations. De plus l'analyse des stations sur une échelle spatiale plus large permet la prise en compte de phénomènes globaux indépendants de l'activité étudiée.

VII Conclusions

Le suivi mené entre 2004 et 2022 sur la faune benthique du chenal de la Loire et du secteur de la Lambarde permet de suivre l'évolution conjointe de ces deux secteurs afin de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu dans ces évolutions qu'elles soient globales ou liées à l'activité anthropique étudiée.

Au niveau méthodologie

Il est toujours pertinent de reprendre les conclusions énoncées dans le rapport d'étude de 2015, dans lequel avait été faite une étude comparative sur les différentes techniques employées pour le suivi de la Lambarde et du chenal de l'estuaire de la Loire depuis 2004.

Il est indispensable de **traiter le chenal de la Loire et la zone de clapage de la Lambarde simultanément** car il y a une continuité géographique, qui permet de prendre en compte un éventuel gradient comme l'ont montré les analyses statistiques réalisées sur les données de 2015 entre l'estuaire et la zone de la Lambarde. Avec notamment la station C7 la plus aval qui est caractérisée par un peuplement marin.

La **stratégie d'échantillonnage adoptée depuis 2013 est pertinente** et il est nécessaire de la conserver car elle permet de prendre en compte les phénomènes importants :

- les stations situées dans le chenal de la Loire permettent de suivre le gradient d'appauvrissement de la faune benthique de l'aval vers l'amont ;
- les 31 stations du secteur de la Lambarde ont permis de mettre en évidence un gradient d'impacts de l'activité d'immersion que ce soit sur l'ancienne zone d'immersion ou sur la nouvelle zone en activité depuis le début 2015. La densité des stations permet une analyse fine et une meilleure compréhension des phénomènes écologiques. Il est impératif de suivre toutes ces stations. La station LB26 qui était située sur du substrat rocheux en 2015

a été déplacée vers un substrat meuble au nord de la zone. Elle a été correctement échantillonnée en 2017 et en 2019.

Cependant à la demande de l'IFREMER, 6 stations ont été rajoutées autour de la zone en activité afin de mieux évaluer la surface impactée par les immersions (stations LB33 à LB38). Parallèlement, 2 stations LB11 et LB17 qui étaient proches d'autres stations ont été supprimées du suivi en 2022.

Le pas de temps de **2 années entre les suivis est pertinent** car il permet de prendre en compte les évolutions des communautés benthiques, depuis la phase d'impact initial, puis lors de la phase de transition qui voit un peuplement d'espèces opportunistes se développer jusqu'à une phase de stabilisation du peuplement en prenant en compte l'importance des volumes immergés sur la Lambarde. En raison de problèmes administratifs, le GPNSN, n'a pas pu engager les suivis en 2021, comme cela était prévu. Le suivi c'est donc déroulé en 2022 et sera reconduit en 2023 pour re nouer avec le calendrier initial prévu par l'arrêté préfectoral.

Afin de pouvoir suivre ces évolutions, avec le moins de biais possible, il est **impératif de respecter le protocole d'échantillonnage** mis en œuvre en 2013, 2015, 2017 et 2019 à savoir 29 stations + 6 nouvelles stations en 2022, échantillonnées en octobre avec 5 réplicats de 0.1m² tamisés sur une maille de 1mm à chaque station. De plus il est important que les compétences des taxonomistes restent au même niveau. En effet, les différences de protocoles observées entre 2004 et 2015, n'ont pas permis une analyse fine de l'évolution de la faune benthique sur du long terme car la surface échantillonnée et la période d'échantillonnage jouent un rôle déterminant sur les paramètres de la faune benthique (biodiversité, et densité des organismes). Pour rappel, les prélèvements initialement prévus en octobre ont été réalisés entre le 18 novembre et le 2 décembre 2022 en raison d'un retard administratif de la part du GPNSN. Les débits de la Loire étant toujours en étiage et les conditions météorologiques étant semblables à celle d'un mois d'octobre, les données récoltées en 2022 ont pu être comparées avec celles des autres suivis avec pertinence.

Le traitement des données à l'aide d'indices biotiques reste inadapté dans une problématique aussi fine que celle des impacts des immersions de sédiment sur le milieu marin, à petite échelle géographique. D'une part, les indices ne donnent pas les mêmes résultats et d'autre part, une analyse basée sur les résultats des indices conduit à un constat erroné. En effet, il est possible que certaines stations soient indiquées en « mauvais état » alors que leur peuplement faunistique correspond tout à fait au biotope (nature du sédiment, bathymétrie et hydrodynamisme) de la station. Tous ces indices ont été construits pour répondre à une problématique d'enrichissement en matière organique qui ne correspond pas à la problématique d'immersion où l'impact majeur est lié

- à l'enfouissement direct de la faune sous le sédiment immergé ;
- à la modification de la nature du substrat, généralement par envasement;
- à l'augmentation de la turbidité qui va modifier les capacités trophiques des organismes par colmatage des organes de nutrition.

A ces modifications, les organismes vont réagir différemment, soit en s'adaptant, soit en se déplaçant, soit en mourant, laissant ainsi la place à d'autres espèces. C'est pourquoi il est important de bien identifier les espèces en place et de comprendre pourquoi elles sont là.

Afin de suivre l'évolution des peuplements benthiques, **il ne faut pas raisonner en regroupement des stations par secteurs géographiques**, (interne, externe nord, externe sud... etc.), car les facteurs environnementaux, (bathymétrie, nature du sédiment, hydrodynamisme et position par rapport à la zone de clapage), conditionnent des biotopes particuliers qui ne tiennent pas compte de ces limites arbitraires. Cette erreur conduit à un jugement non pertinent et on peut ainsi voir écrit « *aucun regroupement par zone n'est visible, reflétant la grande variabilité spatiale des peuplements* » (rapport 2013, p49).

Une bonne **compréhension de l'impact du dragage et des immersions en mer**, passe par une analyse qui tient compte des différents habitats marins rencontrés et de **l'écologie des principales espèces**. Il existe beaucoup de similitudes dans les réponses apportées par les peuplements benthiques à la problématique du dépôt sur la Lambarde ou d'extraction de granulats sur les Charpentiers (Bio-Littoral, 2011).

Activité de dragage

L'année 2019 se caractérisait par une faible activité en estuaire de Loire en raison de l'entretien de la drague Samuel de Champlain qui n'a repris ses dragages qu'en juin 2019 ce qui explique le faible volume (1,5 millions de m³) de sédiment immergé à la Lambarde en 2019. Depuis le dernier suivi, les volumes immergés sur le site de la Lambarde concernaient 2,42 Mm³ en 2020 et 2,34 Mm³ en 2021. En 2022, 1,84 Mm³ sont immergés à la Lambarde sur les 3,28 Mm³ dragués dans l'estuaire de la Loire.

La sous-zone 18 exploitée (proche de la station LB27) depuis 2015 ayant atteint un certain seuil bathymétrique en 2018, le GPNSN a décalé la zone d'immersion sur la sous-zone 19 (proche de la station LB18) qui est en activité en 2019. La sous-zone 19 étant arrivée à saturation, la sous-zone 22 proche de la station LB22 est exploitée depuis août 2021.

Evolution sédimentaire

Chenal de la Loire

En 2022 comme en 2017 et 2019, l'hydraulicité de la Loire reste faible toute l'année avec un débit inférieur à 500 m³/s dès le mois d'avril. Aucune crue n'est venue emporter les fractions fines hors de l'estuaire. Ce régime est favorable au dépôt de vase dans le chenal, pourtant l'analyse sédimentaire de 2017 montre une augmentation générale de la fraction sableuse sur l'ensemble des stations du chenal même si la plupart restent avec une dominante vaseuse. Cette tendance était confirmée par l'évolution de la granulométrie des stations de Loire observée en 2019. Cette évolution va dans le sens des observations du PNSN, qui constate qu'il y a de plus en plus de sable qui arrive par l'amont, mais ce sable ne ferait que transiter au niveau de Nantes (D. Lehay, comm. pers.). En 2022, la tendance générale est plutôt à une augmentation de la fraction fine dans les sédiments de Loire. Entre 2019 et 2022, 50% des stations de vase sableuse deviennent des vases et les sédiments sableux des stations C26 et C63 deviennent des vases sableuses. La station C98 qui était un sédiment grossier en 2019 devient une vase en 2022.

Le suivi réalisé en 2015 sur 85 stations échantillonnées sur les vasières de l'estuaire de la Loire indique que les teneurs en matière organique excèdent très rarement les 9% (étude Bio-littoral pour le PNSN et GIP LE). En général, la matière organique est moins importante sur les stations situées au niveau des terminaux portuaires qui sont dragués plus régulièrement. Comme en 2017 et 2019, la matière organique mesurée en 2022 est généralement inférieure à 9% sur l'ensemble de l'estuaire sauf dans le secteur de Paimboeuf. Les stations situées vers le port à sec de Paimboeuf ont un taux de matière organique entre 9 et 11%. Cette accumulation de matière organique pourrait être liée au ruisseau de l'Aumondière. Ces taux de matière organique ne semblent pas perturber les populations de *Corophium volutator* qui sont observées en C106 et C107 avec des densités (> 2000 ind/m²).

Secteur de La Lambarde

Les conclusions sont semblables à celles des suivis antérieurs si l'on tient compte du changement de zone d'immersion au cours des suivis.

Sur une **large échelle spatiale**, il n’y a pas de différences majeures entre la cartographie sédimentaire réalisée en 1965 par Vanney et les derniers relevés réalisés en 2015, 2017, 2019 et 2022. Le secteur d’étude est bordé, au nord, par une frange de sable moyen et, au sud, par une large zone de sable très grossier, comme en 1965. Au centre, est présente une zone d’accumulation de sédiments plus fins (vaso-sableux) qui correspond au paléo-lit de l’estuaire de la Loire.

L’ancienne zone d’immersion, exploitée jusqu’en 2014, a connu un envasement important pendant la période d’immersion des dépôts en provenance de l’estuaire (entre 2 et 8 Mm³/an), mais l’arrêt des dépôts depuis fin 2014 sur cette zone, conduit à une évolution rapide vers un sédiment plus grossier qui correspond à celui observé en 1965. En effet l’exhaussement de ce secteur le rend sensible aux houles générées par les vents d’ouest et les particules les plus fines sont entraînées vers l’est. Ces dernières se retrouvent bloquées par les roches de la Lambarde, et s’accumulent au pied de ces roches. Ce mécanisme explique le fort envasement observé sur les stations LB6 et LB17 en 2015, et le fait que les stations situées non loin des roches de la Lambarde LB17 et LB3 aient un sédiment plus grossier en 2017, toujours en place en 2019. Ce secteur a subi un impact important dans la modification de son substrat et la station LB6 a vu se développer un important peuplement de *Barnea candida* qui sont des bivalves aux coquilles fragiles, qui se protègent en creusant des terriers dans de la vase compacte.

Au cours des suivi les résultats sont semblables et évoluent spatialement avec le changement des caissons en exploitation. Les **immersions** ont un **fort impact localisé**, avec une diminution de la granulométrie et le développement d’espèces opportunistes sur les stations situées tout autour dans un **rayon de 1km**. En 2022, cet impact se fait ressentir sur les stations LB22, LB27, LB28, LB34, LB35 et LB37, la station LB22 étant située dans le caisson en exploitation. En 2019, la zone de dépôt est déplacée vers la station LB18, toutes les stations situées autour connaissent une légère augmentation de leur fraction fine.

Bien que cette étude ne prenne pas en compte les évolutions bathymétriques qui sont traitées dans une étude plus spécifique, soulignons l’important accroissement généré par ces immersions de matériel plus grossier qui a donc tendance à rester sur site (+3.5m sur LB27 en 1 an). De plus l’évolution des pentes sous-marines pourrait avoir un impact sur les peuplements en déstabilisant le sédiment. Cette hypothèse est avancée pour expliquer le peu de faune rencontrée sur la station LB20 qui est relativement éloignée des zones d’immersion.

Evolution de la faune benthique

Chenal de la Loire

Comme en 2015 2017 et 2019, le chenal en 2022, présente un gradient de biodiversité depuis l’aval vers l’amont. Les stations du chenal externe présentent une bonne biodiversité (maximum 47 espèces en C7) et les plus fortes densités rencontrées (4663 ind/m²) tandis que les stations amont du secteur endigué ne dépassent pas 6 espèces avec des densités faibles (< 70 ind/m²). Comme lors des précédents suivis, les stations situées autour de, Paimboeuf ne suivent pas ce gradient en raison d’un important peuplement de *Corophium volutator* (2283 ind/m² en C106 et 5833 ind/m² en C107).

Pour rappel, la comparaison des caractéristiques de la faune benthique (richesse spécifique, densité et biomasse de PSSC) entre les prélèvements réalisés dans le chenal et ceux réalisés sur les vasières en automne 2015, montrait que pour un même secteur géographique, la biodiversité et les densités observées dans le chenal étaient très nettement inférieures à celles mesurées sur les vasières intertidales (Bio-Littoral, 2016).

Au cours du suivi la richesse spécifique du chenal de la Loire reste entre 82 et 98 espèces sur l'ensemble des stations. La faune est très abondante en 2017 (29880 organismes récoltés) en raison d'un pic de *Boccardiella ligerica* à 20 000 ind/m² sur la station C106 qui n'a plus été observé par la suite à ces bathymétries. En 2019, la biodiversité est encore de 82 espèces sur 10986 organismes identifiés. En 2022, 98 espèces ont été identifiées sur les 7977 organismes récoltés. Ce résultat semble confirmer l'hypothèse émise en 2015 sur l'influence de la crue survenue en mai 2015 avec plus de 2000m³/s qui aurait lessivé une partie de la faune de l'estuaire de la Loire. La très faible hydraulité de 2017, 2019 et 2022, permet aux différents peuplements de faune benthique de se développer sans être emporté par les courants.

En 2019, la station C7 très au large et les stations C106 et C107 situées sur les vasières de Paimboeuf, sont les seules stations à présenter faune benthique suffisamment abondante pour jouer un rôle trophique potentiel dans le fonctionnement écologique de l'estuaire de la Loire. En 2022, ces fortes densités d'organismes concernent les stations C88, C106, C107, C108 avec de forte densité de *Corophium volutator* et les stations A2 et A8 avec une forte population de juvéniles de coques *Cerastoderma edule*.

Secteur de La Lambarde

En 2022, 46 545 organismes ont été récoltés sur les 35 stations (29 anciennes + 6 nouvelles) de la Lambarde. En 2019, 41 841 organismes avaient été récoltés sur les 31 stations (dans 5 bennes de 0.1m²) du secteur de la Lambarde. En 2017, c'étaient 42 462 organismes récoltés sur les 31 stations soit 2 fois plus qu'en 2015 (22 631 organismes). Cependant, la richesse spécifique est sensiblement la même sur les suivis avec 377 espèces en 2015, 367 espèces en 2017, 362 espèces en 2019 et 351 espèces en 2022. La répartition entre les groupes faunistique est également semblable sur les quatre années : les annélides présentent la plus grande biodiversité tandis que les crustacés, et particulièrement les Ampelisca et les Haploops forment le groupe le plus abondant.

Sur une large échelle spatiale, les **peuplements benthiques décrits en 1969 par Glémarec qui étaient encore présents en 2015 subissent une évolution rapide en 2017 qui se poursuit en 2019 et 2022** avec :

- un ancien peuplement à *Abra alba* et *Phaxas pellucidus* dans la bande de sable moyen qui borde le nord de la zone d'immersion qui se fait coloniser petit à petit par des peuplements de crustacés tubicoles Ampelisca associé à des petits bivalves tels que *Varicorbula gibba*.
- au centre, une partie de sable très envasé qui accueille de très fortes densités de crustacés tubicoles *Ampelisca spinipes* ou *Haploops*, dont les proportions varient en fonction des années. déjà présente en 1965, elle a tendance à se développer vers la cote en favorisant plutôt les *Ampelisca* comme espèce précurseur.
- L'ancienne zone d'immersion (initialement des sables grossiers à Spisules en 1965) qui a été exploitée jusqu'en 2014, est passé d'un sédiment envasé pendant son activité à un sable grossier qui a accueilli un peuplement bien développé à *Spisula solida* en 2015. Ce peuplement fortement régressé en 2017 en raison de l'envasement léger car ce bivalve a des branchies qui colmatent très rapidement et il lui faut un sable propre. En 2019, le peuplement à Spisules est revenu aux densités de 2015, certainement en raison du faible tonnage de sédiment immergé à la Lambarde. Les *Spisula solida* ont des densité similaires en 2022.
- Dans la partie sud qui subit un hydrodynamisme important, les sables grossiers accueillent un peuplement riche en biodiversité. Les vers bio-constructeurs *Sabellaria spinulosa* apparus en 2017 ont été peu récoltés en 2019, mais cette espèce se développant en patch cela ne signifie pas la disparition de cette espèce. Ce peuplement est à suivre en particulier car si actuellement les colonies sont sous forme de placages sur des galets ou de grosses coquilles, il est possible qu'avec le temps, ces annélides arrivent à construire des récifs. Les récifs de *Sabellaria* sont des habitats protégés par la directive OSPAR et répertoriés comme habitat prioritaire dans la réglementation française. 2019 voit une colonisation de ce

secteur sud par les *Ampelisca*, des petits crustacés qui construisent des tubes de vase et modifient considérablement leur environnement. Cette expansion est à surveiller. En 2022 seuls 34 individus de *Sabellaria spinulosa* ont été récoltés sur l'ensemble des stations de la Lambarde.

Un impact localisé de l'immersion des sédiments sur les peuplements benthiques.

Bien que les protocoles diffèrent quelque peu, de grandes tendances se dégagent de l'analyse des suivis de la faune benthique réalisés sur le secteur de la Lambarde entre 2004 et 2019.

Les zones sur lesquelles des dépôts de sédiment sont réalisés présentent toujours une biodiversité et une densité plus faibles que les autres stations présentant le même type de substrat, témoignant ainsi d'un impact direct des immersions sur le site.

Une analyse plus fine sur les quatre suivis réalisés selon un protocole identique en 2013, 2015, 2017, 2019 et 2022 permet de mieux comprendre la dynamique de la faune benthique face à une pression de dépôt de sédiment.

2013

En 2013, le clapage dans l'ancienne zone d'immersion est récurrent depuis de nombreuses années et les peuplements se sont installés en fonction de ce facteur. Un important peuplement de *Lagis koreni*, annélide opportuniste, occupe le secteur de clapage avec des populations pouvant atteindre plus de 4000 ind/m². Ce détritivore de subsurface bénéficie des apports nutritifs générés par le panache turbide et recolonise très rapidement des zones ensevelies. Ce phénomène a également été observé dans la zone d'extraction de granulats des Charpentiers (Bio-Littoral, 2011).

2015

En 2015, le clapage sur l'ancienne zone s'est arrêté depuis 9 mois, entraînant le déclin des populations de *Lagis koreni* dans ce secteur. De plus, un fort hydrodynamisme sur ce secteur exhausé, a chassé les particules fines, ne laissant sur place qu'un sédiment grossier qui va être rapidement colonisé par des *Spisules*, peuplement initial (1969) des sables du secteur de La Lambarde. Ce bivalve est associé avec les annélides *Pisione remota* et *Glycera lapidum*. Il est possible de considérer cette recolonisation comme un début de résilience de la faune benthique de ce secteur après l'arrêt du clapage sur ce site. Cependant, la biodiversité et les densités restent toujours plus faibles dans l'ancienne zone d'immersion que dans les autres stations étudiées, hormis la nouvelle zone de clapage qui est devenue presque azoïque en 2015.

Les immersions nouvelles sur cette zone, perturbent les populations qui s'étaient installées depuis de nombreuses années et plus particulièrement les échinodermes qui sont des organismes sensibles. Ce groupe a perdu plus de 50% de ses individus et certaines espèces qui étaient abondantes en 2013 ont quasiment disparu en 2015, comme les *Amphipholis squamata*.

De même, les populations de petits bivalves *Kurtiella bidentata* et *Nucula nitidosa*, qui étaient dominants en 2013, ont fortement régressé sur tout le secteur en 2015. Seules les stations vers la côte sont épargnées.

L'impact de la nouvelle zone de clapage est donc assez étendu puisqu'il intervient sur l'ensemble de la nouvelle extension et sur les stations situées au nord témoignant la direction résiduelle du transport sédimentaire dans ce secteur. L'année 2015 montre des peuplements perturbés. Cette année reste une phase de transition en attente d'un nouvel équilibre.

Concernant les peuplements à crustacés situés en limite sud de la zone d'extension, ils ne semblent pas affectés par le changement de zone d'immersion. En effet, leurs densités restent sensiblement les mêmes entre 2013 et 2015, mais il semble que les *Ampelisca* tendent à remplacer les *Haploops*.

Les stations de sable grossier situées au sud de la zone de suivi, présentent toujours une forte biodiversité en annélides mais sans espèce dominante ni forte densité, ce qui est caractéristique de ce biotope. La zone sud ne semble donc pas être perturbée par la nouvelle zone d'immersion.

2017

La nouvelle zone d'immersion (station LB27) et les stations proches (LB19 et LB22) qui subissent son influence montrent encore de très faible abondance et une faible biodiversité. Les échinodermes, qui forment un groupe d'espèces sensibles, en sont absents. L'espèce dominante est l'annélide opportuniste *Lagis koreni* qui occupait l'ancienne zone d'immersion lorsqu'elle était encore en activité, ce qui démontre encore une fois la relation entre zone d'immersion et cette espèce.

L'impact des immersions sur la faune benthique est occulté par un autre phénomène qui vient perturber l'écologie en place. Il s'agit de l'expansion des crustacés tubicoles *Ampelisca* et *Haploops* qui viennent coloniser des stations sous influence du clapage comme la station LB18.

2019

Les résultats du suivi de 2019 confirment les tendances déjà observées.

Les immersions ont un impact fort très localisé dans un rayon de 500m autour de la zone de dépôt car cela n'affecte fortement qu'une seule station : la station LB27 en 2017 lorsque les dépôts sont sur la sous-zone 18 et la station LB18 en 2019 lorsque les dépôts se font sur la sous-zone 19. Les impacts sont liés à l'ensevelissement des espèces sous les sédiments avec une importante régression de la biodiversité et de la densité de la faune benthique.

Les stations situées dans un rayon de 1km autour de la zone d'immersion subissent également des diminutions de faune notamment avec la quasi absence des échinodermes qui sont sensibles aux perturbations.

Le peuplement d'espèces opportunistes dominé par les annélides *Lagis koreni* qui avait déjà commencé à se développer en 2017 sur la zone d'immersion et sur un secteur nord-ouest à partir de la zone de dépôt, s'est accru en 2019, confortant l'attrait de cette espèce pour les panaches réguliers de particules fines. L'axe nord-ouest des houles dominantes, indique l'impact du transport des particules fines sur la faune benthique.

Parallèlement le peuplement des crustacés tubicoles (*Haploops* et *Ampelisca*) continue de se développer vers la côte sans occuper la zone d'immersion ni celui du secteur nord-est. Cette expansion sera à surveiller car cela entraîne une modification durable des habitats marins et des fonctionnalités écologiques qui leur sont associées.

La recolonisation par les spicules (peuplement initial de 1965) noté en 2015 sur les sables grossiers de l'ancienne zone d'immersion est à nouveau observé en 2019, alors qu'en 2017, ces peuplements avaient fortement régressé. Le processus de résilience est donc engagé mais il a du mal à se stabiliser. Il est possible que lorsque le volume de dépôt est très important, une partie de la fraction fine qui est transportée par le courant, viennent perturber les spicules qui sont très sensibles à ce facteur, car leur système de filtration colmate rapidement.

2022

Les résultats de 2022 confirment les mécanismes préalablement décrits dans les suivis antérieurs.

Les immersions ont un impact fort très localisé dans un rayon de 1km autour de la zone de dépôt car cela affecte les stations qui sont situées autour de la zone en activité. Les impacts sont liés à l'ensevelissement des espèces sous les sédiments avec une importante régression de la biodiversité et de la densité de la faune benthique mais également le développement d'espèce opportuniste favorisée telle que l'annélide *Lagis koreni* qui est connu pour se développer dans les secteurs sous emprise d'un panache turbide.

L'expansion des crustacés tubicoles dans le secteur de la Lambarde se poursuit en 2022 avec de nouvelles stations colonisées par les *Ampelisca* au nord de la concession sur les stations LB18 et LB33. Au regard de l'évolution de cette colonisation, il semblerait que les *Ampelisca* soit des organismes précurseurs et qu'ensuite les *Haploops* viennent se développer au détriment des *Ampelisca*, sans que ceux-ci disparaissent complètement.

L'ancienne zone exploitée a retrouvé en partie son sédiment initial avec un sable moyen à grossier et un peuplement de bivalves à *Spisules*, mais la biodiversité reste faible sur ce secteur. A noter

l'accumulation des vases au pied des roches de la Lambarde (station LB6) qui se sont consolidée suffisamment pour accueillir des peuplements de bivalves foreurs comme les *Barnea candida*.

Au-delà de l'aspect réglementaire de ce suivi, l'importance de la stratégie d'échantillonnage a permis de mieux comprendre les mécanismes d'impact de dépôt de dragage sur les peuplements benthiques.

Cette étude vient compléter les connaissances acquises sur l'évolution des habitats marins dans la région des Pays de la Loire, et présente un intérêt scientifique certain pour l'étude de l'impact des activités anthropiques sur le milieu marin, sur leur capacité de résilience et sur l'évolution plus globale du secteur à plus grande échelle géographique. .

VIII Annexes
Annexe 1 : Analyses sédimentaires 2022.

Loire

Station	4 mm	2 mm	1,6 mm	1,25 mm	1 mm	800 µm	630 µm	500 µm	400 µm	315 µm	250 µm	200 µm	160 µm	125 µm	100 µm	80 µm	63 µm	Recepta cle	Gravie s	Sables grossier s	Sables moyens	Sables fins	Vases	MO
A2	0,02%	0,12%	0,14%	0,08%	0,10%	0,18%	0,25%	0,39%	0,68%	0,56%	2,28%	4,13%	6,07%	10,92%	6,11%	3,41%	1,85%	63,47%	0,14%	1,14%	3,52%	32,49%	63,47%	5,33%
A8	0,49%	0,23%	0,26%	0,28%	0,37%	0,48%	0,46%	0,41%	0,40%	0,43%	2,32%	18,41%	18,50%	12,74%	3,50%	2,78%	1,67%	36,94%	0,72%	2,26%	3,15%	57,60%	36,94%	3,82%
Z2	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,12%	0,08%	0,18%	0,30%	0,28%	0,18%	0,28%	0,26%	0,50%	0,50%	97,21%	0,00%	0,16%	0,56%	2,00%	97,21%	9,84%
C7	0,60%	0,22%	0,11%	0,13%	0,21%	0,27%	0,38%	0,65%	0,61%	0,60%	1,14%	1,74%	3,16%	24,23%	10,02%	7,24%	3,16%	44,55%	0,82%	1,75%	2,35%	49,55%	44,55%	5,07%
C13	0,00%	0,66%	0,82%	0,85%	0,74%	0,82%	0,72%	0,66%	0,66%	0,41%	0,33%	0,16%	0,08%	0,25%	0,33%	0,66%	0,82%	90,17%	0,66%	4,61%	1,40%	2,30%	90,17%	9,07%
C19	2,55%	9,31%	8,14%	12,06%	14,09%	15,51%	15,35%	9,23%	3,93%	1,06%	0,33%	0,08%	0,05%	0,10%	0,10%	0,08%	0,09%	8,61%	11,86%	74,38%	5,32%	0,50%	8,61%	2,55%
C33	0,44%	2,34%	4,46%	7,75%	10,90%	16,20%	20,83%	19,39%	12,67%	3,58%	0,62%	0,06%	0,02%	0,03%	0,01%	0,01%	0,02%	1,03%	2,78%	79,53%	16,87%	0,15%	1,03%	0,74%
C52	0,00%	0,00%	0,03%	0,03%	0,11%	0,08%	0,05%	0,11%	0,11%	0,22%	0,16%	0,41%	0,36%	0,66%	0,87%	1,53%	1,61%	94,51%	0,00%	0,41%	0,49%	5,44%	94,51%	10,37%
C88	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,11%	0,02%	0,16%	0,20%	0,16%	0,13%	0,18%	98,88%	0,00%	0,04%	0,11%	0,85%	98,88%	9,71%
C106	0,29%	1,04%	0,38%	0,20%	0,14%	0,13%	0,27%	0,41%	0,92%	0,83%	1,08%	0,92%	0,54%	0,63%	0,36%	0,40%	0,59%	91,38%	1,33%	1,53%	2,83%	3,44%	91,38%	8,01%
Z7	0,05%	0,03%	0,02%	0,03%	0,01%	0,05%	0,08%	0,07%	0,16%	0,16%	0,48%	0,84%	2,19%	26,62%	22,18%	13,26%	4,92%	29,71%	0,08%	0,26%	0,80%	70,01%	29,71%	3,49%
C26	0,40%	1,89%	1,60%	1,86%	1,67%	2,11%	2,35%	2,60%	4,55%	14,30%	10,82%	0,93%	0,23%	0,22%	0,13%	0,19%	0,28%	53,67%	2,29%	12,19%	29,67%	1,98%	53,67%	7,12%
C63	0,19%	0,77%	1,01%	1,39%	1,37%	1,37%	1,45%	1,33%	1,36%	1,04%	1,91%	3,35%	3,96%	5,63%	4,02%	4,49%	2,84%	62,81%	0,96%	7,92%	4,31%	24,29%	62,81%	4,96%
C80	0,90%	3,68%	2,71%	3,04%	3,65%	5,31%	11,74%	19,16%	13,85%	6,79%	2,69%	0,50%	0,14%	0,10%	0,06%	0,09%	0,09%	25,15%	4,58%	45,61%	23,33%	0,98%	25,15%	1,43%
C98	0,00%	0,12%	0,16%	0,24%	0,26%	0,28%	0,44%	0,52%	1,03%	1,62%	1,17%	0,32%	0,08%	0,10%	0,04%	0,06%	0,10%	93,42%	0,12%	1,90%	3,82%	0,70%	93,42%	11,04%
C99	0,64%	6,63%	5,05%	6,65%	6,23%	5,10%	3,96%	2,39%	2,20%	1,75%	1,19%	0,45%	0,21%	0,13%	0,09%	0,19%	0,36%	56,62%	7,27%	29,38%	5,14%	1,43%	56,62%	5,60%
C103	0,00%	0,00%	0,04%	0,09%	0,07%	0,22%	0,48%	1,17%	2,25%	2,21%	2,00%	0,62%	0,25%	0,33%	0,30%	0,50%	1,28%	88,70%	0,00%	2,07%	6,46%	3,28%	88,70%	7,06%
C105	0,00%	0,02%	0,02%	0,05%	0,02%	0,02%	0,07%	0,07%	0,05%	0,07%	0,19%	0,07%	0,02%	0,09%	0,02%	0,09%	0,09%	99,30%	0,02%	0,25%	0,31%	0,38%	99,30%	11,32%
C108	1,64%	0,49%	0,76%	0,88%	1,06%	1,03%	1,13%	0,71%	0,69%	0,42%	0,69%	0,52%	0,29%	0,25%	0,17%	0,34%	0,47%	88,98%	2,13%	5,57%	1,80%	2,04%	88,98%	9,08%
C109	0,00%	0,02%	0,02%	0,05%	0,05%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,24%	0,10%	0,07%	0,10%	0,12%	0,27%	0,44%	98,31%	0,02%	0,42%	0,44%	1,10%	98,31%	10,47%
C102	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,04%	0,00%	0,04%	0,14%	99,60%	0,00%	0,00%	0,06%	0,26%	99,60%	9,07%
C107	0,00%	0,02%	0,00%	0,02%	0,00%	0,02%	0,00%	0,06%	0,08%	0,15%	0,00%	0,11%	0,04%	0,06%	0,08%	0,08%	0,08%	99,11%	0,02%	0,10%	0,29%	0,45%	99,11%	9,07%
GP5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,02%	0,02%	0,06%	0,04%	0,06%	0,23%	99,51%	0,00%	0,00%	0,08%	0,43%	99,51%	9,76%

Lambarde

Station	4 mm	2 mm	1,6 mm	1,25 mm	1 mm	800 µm	630 µm	500 µm	400 µm	315 µm	250 µm	200 µm	160 µm	125 µm	100 µm	80 µm	63 µm	Recepta cle	Gravier	Sable grossier	Sable moyen	Sable fin	Vase	MO
LB_1	0,00%	0,13%	0,21%	0,45%	0,69%	1,52%	3,35%	5,82%	12,79%	13,85%	19,63%	16,16%	9,10%	6,75%	1,50%	0,91%	0,69%	0,13%	12,04%	46,27%	35,11%	6,63%	1,67%	
LB_2	0,00%	0,33%	0,20%	0,16%	0,11%	0,09%	0,13%	0,13%	0,19%	0,11%	0,18%	0,19%	0,32%	2,38%	1,90%	2,58%	2,10%	0,33%	0,80%	0,48%	0,47%	0,47%	89,39%	3,86%
LB_2ter	0,00%	0,19%	0,18%	0,61%	1,06%	1,55%	3,04%	5,65%	11,26%	13,15%	21,55%	16,84%	10,03%	7,16%	1,04%	1,04%	0,82%	5,15%	12,09%	45,96%	36,93%	5,15%	1,95%	
LB_3	1,31%	9,81%	11,22%	13,52%	11,06%	10,19%	10,45%	9,22%	6,91%	5,81%	5,53%	2,30%	1,01%	0,72%	0,15%	0,08%	0,05%	0,96%	11,12%	65,66%	18,25%	4,31%	0,96%	0,79%
LB_4	0,47%	0,48%	0,26%	0,76%	1,17%	2,06%	3,30%	3,91%	3,33%	2,73%	3,38%	1,55%	1,44%	1,15%	1,34%	1,34%	1,24%	70,58%	0,95%	11,46%	9,43%	7,61%	70,58%	4,65%
LB_5	0,04%	0,08%	0,04%	0,06%	0,06%	0,09%	0,23%	0,64%	3,70%	16,24%	34,58%	27,67%	10,07%	5,22%	4,46%	0,15%	0,06%	0,80%	0,12%	1,12%	54,52%	43,63%	0,80%	1,05%
LB_6	0,00%	0,11%	0,19%	0,22%	0,22%	0,44%	0,50%	0,61%	0,89%	1,28%	3,22%	3,62%	4,27%	5,43%	4,27%	6,43%	3,83%	65,62%	2,18%	2,18%	5,39%	26,80%	65,62%	5,40%
LB_7	1,79%	3,27%	0,93%	0,85%	0,76%	1,12%	1,37%	2,02%	2,59%	2,31%	3,74%	5,08%	9,78%	16,71%	2,92%	3,83%	2,80%	38,95%	5,06%	7,05%	8,64%	41,12%	38,95%	4,35%
LB_9	2,94%	8,59%	6,43%	7,42%	7,22%	7,59%	10,71%	12,05%	11,88%	9,13%	9,43%	3,43%	1,32%	1,03%	0,34%	0,23%	0,13%	0,52%	11,53%	51,42%	30,44%	6,48%	0,52%	0,87%
LB_12	29,99%	23,14%	10,89%	7,16%	6,44%	6,40%	4,69%	3,52%	3,81%	2,31%	1,16%	0,27%	0,07%	0,05%	0,02%	0,01%	0,02%	0,06%	53,13%	39,10%	7,28%	0,44%	0,06%	0,55%
LB_13	8,26%	9,49%	3,63%	3,04%	3,29%	5,84%	12,49%	17,01%	14,10%	11,61%	7,70%	2,48%	1,16%	0,60%	0,07%	0,03%	0,01%	0,06%	17,75%	45,30%	33,41%	4,35%	0,06%	1,28%
LB_14	0,07%	0,29%	0,09%	0,18%	0,15%	0,16%	0,25%	0,26%	0,46%	0,53%	1,38%	2,73%	8,85%	53,07%	13,02%	8,41%	2,59%	8,30%	0,36%	1,09%	2,37%	88,67%	8,30%	1,88%
LB_15	0,12%	0,00%	0,12%	0,12%	0,12%	0,46%	0,87%	1,39%	0,93%	0,87%	0,93%	0,70%	1,16%	3,53%	4,29%	4,05%	2,32%	78,84%	0,12%	3,08%	2,73%	16,05%	78,84%	6,65%
LB_16	1,34%	6,52%	5,78%	5,81%	5,74%	6,46%	7,85%	8,05%	7,95%	6,18%	7,05%	3,85%	1,97%	1,74%	0,88%	1,02%	0,84%	21,04%	7,86%	39,69%	21,18%	10,30%	21,04%	4,49%
LB_18	0,00%	0,00%	0,06%	0,12%	0,05%	0,19%	0,12%	1,42%	0,12%	0,19%	0,25%	0,12%	0,49%	1,17%	1,97%	2,04%	2,22%	90,03%	0,00%	1,96%	0,56%	8,01%	90,03%	8,99%
LB_19	0,29%	0,31%	0,12%	0,09%	0,12%	0,16%	0,33%	0,53%	0,38%	0,80%	2,76%	4,64%	8,84%	28,80%	16,38%	10,72%	5,08%	19,57%	0,60%	1,35%	3,94%	74,46%	19,57%	2,93%
LB_20	0,42%	3,09%	6,25%	11,12%	12,85%	10,44%	10,66%	8,52%	8,22%	7,83%	9,00%	4,88%	2,44%	2,34%	0,59%	0,36%	0,23%	0,53%	3,51%	59,84%	25,05%	10,84%	0,53%	0,73%
LB_21	0,68%	1,55%	1,07%	1,10%	1,49%	2,00%	2,46%	2,78%	2,46%	3,13%	5,69%	6,04%	4,39%	7,46%	5,65%	6,30%	4,26%	41,63%	2,23%	10,90%	11,28%	34,10%	41,63%	4,44%
LB_22	0,65%	0,82%	0,46%	0,68%	0,72%	0,94%	1,24%	1,50%	1,70%	2,09%	4,89%	5,47%	6,84%	17,03%	7,69%	8,20%	4,28%	35,08%	1,47%	5,54%	8,68%	49,51%	35,08%	3,65%
LB_23	5,44%	1,52%	0,82%	0,72%	0,58%	0,82%	1,29%	1,29%	1,29%	0,88%	1,52%	1,70%	2,50%	8,54%	2,50%	4,15%	2,51%	62,30%	6,96%	5,05%	3,69%	21,90%	62,30%	5,85%
LB_24	37,63%	13,43%	3,24%	3,92%	3,92%	7,07%	9,04%	9,76%	6,99%	2,46%	0,86%	0,16%	0,06%	0,04%	0,01%	0,01%	0,01%	0,05%	51,06%	38,27%	10,31%	0,29%	0,05%	0,47%
LB_25	0,10%	0,21%	0,17%	0,35%	0,49%	1,23%	4,19%	9,22%	17,58%	21,41%	23,14%	7,85%	3,93%	4,19%	0,84%	0,73%	0,63%	3,73%	0,31%	15,65%	62,13%	18,17%	3,73%	1,80%
LB_26	0,31%	0,11%	0,13%	0,17%	0,20%	0,34%	0,57%	1,32%	2,53%	4,35%	10,14%	14,25%	19,62%	37,05%	3,59%	1,22%	0,46%	3,16%	0,42%	2,73%	17,02%	76,19%	3,16%	1,40%
LB_27	0,46%	1,23%	1,44%	1,86%	2,49%	3,42%	4,39%	4,51%	3,97%	3,24%	4,60%	3,92%	3,41%	9,72%	6,84%	6,80%	4,06%	33,50%	1,69%	18,11%	11,81%	34,75%	33,50%	3,75%
LB_28	0,17%	0,10%	0,07%	0,07%	0,07%	0,15%	0,17%	0,26%	0,50%	0,43%	0,79%	0,75%	0,99%	1,79%	2,78%	7,60%	4,41%	78,71%	0,27%	0,79%	1,72%	18,32%	78,71%	6,38%
LB_29	0,89%	1,45%	0,02%	0,23%	0,23%	0,32%	0,42%	0,26%	0,40%	0,25%	0,72%	0,91%	1,06%	3,12%	4,04%	7,94%	5,75%	71,28%	2,34%	1,48%	1,37%	22,82%	71,28%	5,61%
LB_30	1,87%	7,01%	3,92%	4,06%	4,07%	4,62%	5,33%	4,88%	3,87%	3,80%	5,54%	3,38%	2,04%	3,06%	1,80%	1,84%	1,23%	38,58%	8,88%	26,88%	13,21%	13,35%	38,58%	2,61%
LB_31	1,97%	2,70%	2,32%	2,78%	3,32%	3,97%	4,89%	5,33%	4,32%	2,97%	3,82%	2,62%	3,24%	9,49%	3,01%	4,32%	2,43%	36,15%	4,67%	22,61%	11,11%	25,11%	36,15%	8,31%
LB_32	0,23%	0,12%	0,12%	0,14%	0,14%	0,27%	0,68%	1,70%	2,17%	3,89%	8,52%	6,85%	7,73%	13,38%	3,70%	6,21%	3,63%	40,61%	0,35%	3,05%	14,58%	41,50%	40,61%	3,54%
LB_33	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,17%	0,00%	0,17%	0,17%	0,08%	0,10%	0,17%	0,22%	1,01%	1,84%	5,95%	4,19%	86,12%	0,08%	0,34%	0,35%	13,38%	86,12%	7,41%
LB_34	0,29%	0,50%	0,56%	0,80%	1,01%	1,27%	1,58%	1,86%	2,46%	5,00%	12,88%	10,49%	8,64%	17,67%	8,92%	5,62%	2,39%	18,36%	0,79%	7,08%	20,34%	53,73%	18,36%	4,11%
LB_35	0,05%	0,10%	0,00%	0,10%	0,10%	0,23%	0,31%	0,25%	0,20%	0,25%	0,31%	0,31%	0,41%	0,76%	1,32%	3,66%	1,47%	89,95%	0,15%	0,99%	0,76%	7,93%	89,95%	8,98%
LB_36	0,00%	0,23%	0,11%	0,16%	0,15%	0,19%	0,31%	0,44%	0,68%	0,77%	2,62%	3,96%	5,80%	21,66%	16,90%	18,17%	8,88%	19,06%	0,23%	1,36%	4,07%	75,37%	19,06%	2,65%
LB_37	0,00%	0,02%	0,03%	0,03%	0,13%	0,10%	0,30%	0,48%	0,69%	1,18%	3,88%	4,78%	6,17%	25,23%	14,54%	13,82%	5,51%	23,14%	0,02%	1,07%	5,75%	70,05%	23,14%	1,74%
LB_38	0,14%	0,24%	0,20%	0,16%	0,19%	0,35%	0,40%	0,40%	0,37%	0,38%	0,96%	0,96%	1,12%	4,96%	4,48%	5,36%	2,96%	76,81%	0,38%	1,64%	1,31%	19,84%	76,81%	7,33%

Annexe 2 : Faune Lambarde 2022

Phylum	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB9	LB12	LB13	LB14	LB15	LB16	LB18	LB19	LB20	LB21	LB22	LB23	LB24	LB25	LB26	LB27	LB28	LB29	LB30	LB31	LB32	LB33	LB34	LB35	LB36	LB37	LB38	LB24r			
Annelida	6	14	2	0	0	12	4	0	0	0	6	2	2	92	48	2	10	370	10	0	10	2	112	440	2	0	8	36	116	312	722	5502	3738	2	16			
Annelida	32	426	4	22	0	82	262	0	0	6	178	340	0	14	94	2	900	2	396	6	56	48	274	12	356	6	582	60	8	140	2	74	394	2382	122			
Annelida	0	128	2	2	0	0	146	0	0	48	38	6	334	38	0	96	0	116	0	80	10	6	0	0	0	114	0	154	228	308	8	0	14	12	108	506		
Annelida	0	94	0	0	0	270	98	2	0	0	4	82	6	118	14	0	246	2	32	2	20	0	2	14	134	0	78	478	60	20	46	6	14	276	0			
Annelida	0	6	0	0	0	20	4	0	0	0	44	6	0	26	32	0	6	34	4	0	10	8	128	66	16	8	2	22	26	300	34	594	224	30	18	0		
Annelida	4	174	0	4	0	10	4	0	0	0	110	0	12	0	12	0	144	0	172	0	2	2	2	196	0	2	0	4	6	12	0	0	216	24	0	0		
Annelida	20	0	622	26	0	0	0	38	26	112	0	0	28	0	0	88	0	0	0	136	0	0	0	0	0	0	6	0	66	0	0	0	32	102	0	0		
Annelida	2	8	0	0	0	0	6	0	0	24	10	2	72	2	0	0	0	8	0	4	2	2	2	2	6	0	12	538	26	12	0	62	0	28	12	0		
Annelida	0	0	0	0	0	10	0	0	0	40	0	0	4	20	0	0	0	10	0	0	16	0	36	58	0	0	0	62	26	106	40	236	170	0	4	0		
Annelida	0	32	0	0	0	0	134	0	0	0	0	66	0	0	0	0	24	0	100	0	0	0	0	0	0	0	168	0	2	0	0	0	0	148	0	0		
Annelida	0	30	0	0	0	8	30	0	0	18	22	2	22	172	0	0	52	0	30	0	0	8	12	36	0	136	0	76	36	10	12	10	36	18	50	6	0	
Annelida	52	0	4	46	0	22	0	0	24	10	12	2	6	0	74	8	0	0	0	92	26	80	58	0	0	0	2	2	8	0	0	0	10	0	70	0		
Annelida	0	4	28	0	0	20	20	16	2	12	10	6	8	2	0	0	16	14	10	76	18	2	20	4	10	14	28	38	14	8	8	12	2	38	0	0		
Annelida	18	22	0	68	0	14	16	0	4	0	42	26	0	4	22	0	14	0	10	0	6	6	2	0	14	0	26	8	0	0	0	0	0	92	108	0		
Annelida	0	48	0	0	0	2	52	0	0	4	16	0	6	16	0	20	0	8	0	0	4	4	0	2	94	0	98	14	4	0	0	0	0	116	2	0		
Annelida	0	4	48	4	0	20	2	0	6	202	2	0	2	2	0	84	0	0	0	84	0	0	0	0	0	2	0	10	6	2	0	0	0	0	6	24	0	
Annelida	0	56	0	0	0	4	0	0	0	52	0	0	0	16	0	0	0	0	32	0	0	0	108	48	0	0	0	2	0	0	0	0	2	14	0	0	0	
Annelida	0	0	0	0	0	24	0	0	0	2	130	0	0	0	24	0	0	0	0	0	20	18	6	0	0	2	0	96	30	4	0	0	2	2	0	0	0	
Annelida	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	
Annelida	48	0	14	8	114	16	10	12	6	12	0	0	6	0	0	38	0	0	6	12	20	8	4	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	50	72	0	0	
Annelida	2	0	10	0	0	12	2	18	6	2	46	0	4	0	22	0	0	2	0	14	0	24	10	0	0	2	0	8	0	46	0	46	0	50	72	0	0	
Annelida	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	2	0	0	4	234	0	0	0	0	0	2	58	2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	10	0	4	0	
Annelida	2	4	0	60	0	24	8	0	0	0	14	28	0	14	28	0	14	0	0	0	44	20	22	0	2	0	0	40	6	10	0	0	0	6	0	6	0	
Annelida	0	6	0	0	0	0	4	0	0	0	72	6	0	26	6	0	2	0	10	0	6	2	0	0	0	22	0	8	30	24	2	2	0	0	74	0		
Annelida	2	30	0	0	0	0	26	0	0	0	2	36	0	2	0	2	60	0	10	0	0	0	0	0	0	28	0	52	0	20	0	0	0	0	10	14	0	
Annelida	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	72	0	0	0	14	74	0	0	2	0	10	8	6	0	0	0	0	26	2	0	0	0	0	4	6	62	0	
Annelida	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	2	0	0	58	4	0	20	0	4	0	20	2	0	0	4	0	8	42	28	0	2	0	2	12	46	2	
Annelida	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	66	2	0	0	20	0	0	12	0	0	0	16	40	0	0	0	0	0	0	12	2	32	24	4	2	0	0	
Annelida	10	0	0	0	0	4	0	0	0	0	44	0	0	0	38	0	0	0	0	0	4	4	110	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	4	0	
Annelida	14	0	10	120	0	0	2	0	4	12	0	8	0	0	0	4	0	0	2	16	14	4	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Annelida	0	14	0	0	0	0	24	0	0	0	0	32	0	0	0	0	24	0	24	0	0	0	0	0	0	42	0	36	0	0	0	0	0	0	14	0	0	
Annelida	28	0	0	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	16	0
Annelida	10	0	6	0	0	2	0	0	0	10	0	2	2	0	2	0	0	4	4	46	6	2	2	2	2	0	0	2	0	8	0	10	14	0	38	0	38	
Annelida	14	0	0	8	0	10	2	0	0	0	16	0	0	16	2	0	2	0	2	0	48	0	6	0	0	0	0	4	38	4	0	0	0	2	2	14	0	
Annelida	2	0	0	18	0	18	2	0	4	4	6	0	0	2	30	0	2	0	2	2	2	2	4	0	8	0	2	6	6	4	0	0	0	0	8	42	0	
Annelida	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	4	0	4	4	0	4	0	0	0	4	2	14	0	10	0	6	6	18	10	6	20	4	16	0	0		
Annelida	0	0	14	0	0	0	0	0	34	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	100	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Annelida	4	0	18	8	0	2	2	4	12	12	0	2	2	0	0	16	0	0	66	2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0		
Annelida	12	0	40	0	0	0	14	0	0	14	12	0	6	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Annelida	12	0	22	0	0	0	0	4	4	34	0	0	2	0	0	18	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Annelida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	2	2	0	0	0	0	0			
Annelida	4	0	2	4	0	0	8	0	12	8	0	2	4	2	4	2	0	0	30	2	0	0	0	0	0	0	2	18	10	0	0							

Phylum	Densité ind/m ²	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB9	LB12	LB13	LB14	LB15	LB16	LB18	LB19	LB20	LB21	LB22	LB23	LB24	LB25	LB26	LB27	LB28	LB29	LB30	LB31	LB32	LB33	LB34	LB35	LB36	LB37	LB38	LB2zet	
Crustacea	Maerella tenuimana	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Sirielia jaltensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Abdulmelita gladiosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Ampelisca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Aoridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Corophium volutator	0	0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Leptocheirus pectinatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Othoacera othonis	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Verruca stroemia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Granulidae	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Erichonius punctatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Loarcinus navigator	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Macropodia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Phlocheras trispinosus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Urothoe brevicornis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Xantho pilipes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Actostoma neglectum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Arcturidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Athanas nitescens	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Bathyporeia guilliamsonian	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Caridea	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Cumopsis fagei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Gnathia oxyurata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Haplostylus normani	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Hippolyte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Iphinoe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Leptocheirus hirsutimanus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Macropodia rostrata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Nototropis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Pandalina brevirostris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Photis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Sirielia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Syncheildium haplocheles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Tanaopsis graciloides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Tryphosa nana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Unciola crenatipalma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Acanthomyia longicornis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Apherusa bispinosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Bathyporeia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Bobotria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Bototria scorpioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Campylaspis legendrei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Phylum	Densté ind/m ²	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB9	LB12	LB13	LB14	LB15	LB16	LB18	LB19	LB20	LB21	LB22	LB23	LB24	LB25	LB26	LB27	LB28	LB29	LB30	LB31	LB32	LB33	LB34	LB35	LB36	LB37	LB38	LB2ter	
Crustacea	Conifera cylindracea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Corystes cassivelunus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Dialystis rugosa	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Eurydice spinigera	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Eurydome aspera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Haplostylus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Crustacea	Heteromysis (Heteromysis)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Hippolytidae	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Hippomedon denticulatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Iphimedia minuta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Leucothoe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Crustacea	Liocarcinus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Megaluropus agilis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Mesopodopsis sabberi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Microdeutopus armatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Monoculodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Nebalia reboredae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Nebalia truncosoi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Paguroidea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Pagurus cuanensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Philocheles bispinosus	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Philocheles sculptus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Sirella armata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Sirella clausii	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Socarnes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Syncheilidium maculatum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Tryphosidae	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Upogebia deltaura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustacea	Total Crustacea	120	4076	6	70	276	96	2994	2	20	48	178	2580	36	3320	136	18	1652	16	1572	12	250	216	66	64	2310	16	3776	146	1200	80	96	68	86	2946	574	
Echinodermata	Ophiura albida	8	106	0	0	0	0	202	0	0	4	34	384	6	120	0	0	76	0	100	4	146	0	22	10	188	0	196	28	114	14	6	4	2	82	410	
Echinodermata	Amphiura filiformis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Acrocnida brachiata	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Amphipholis squamata	4	28	0	0	2	4	26	0	2	0	0	2	0	4	30	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Echinocardium cordatum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Oostregenia digitata	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Leptosynapia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Amphiuridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Ophiura ophiura	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Ophiothrix fragilis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Asterias rubens	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Paraleptopentacta elongata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Amphiura chiajei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Echinocardium pennatifidum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Echinocyamus pusillus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Holothuridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Total échinoderme	16	140	0	0	0	4	12	230	2	10	6	114	404	14	264	128	2	88	2	146	14	250	80	104	10	212	4	232	1410	232	36	16	88	46	108	476



Annexe 3 : Résultats de la procédure SIMPER pour le calcul des espèces discriminantes en 2022.

SIMPER	Factor Groups						
Similarity Percentages - species contributi	Sample	simprof40%					
One-Way Analysis	LB2	b		LB6	d		
	LB7	b		LB14	d		
				LB19	d		
Data worksheet	LB15	b		LB26	d		
Name: Data2	LB21	b		LB27	d		
Data type: Abundance	LB23	b		LB34	d		
Sample selection: All	LB29	b		LB36	d		
Variable selection: All	LB31	b		LB37	d		
	LB38	b					
Parameters				LB12	j		
Resemblance: S17 Bray Curtis similarity	LB3	l		LB13	j		
	LB9	l		LB24	j		
	LB16	k					
				LB18	c		
	LB22	e		LB25	c		
	LB28	e		LB32	c		
	LB35	e		LB33	c		
				LB2ter	c		
	LB4	h					
	LB1	g		LB20	i		
	LB5	a		LB30	f		
Group b	LB2	LB7	LB15	LB21	LB23	LB29	LB31
Average similarity: 64,10							
Species	Av.Abunc	Av.Sim	Contrib%	Cum.%			
Haploops niraе	25,21	7,03	10,97	10,97			
Ampelisca spinipes	21,57	5,51	8,6	19,56			
Mediomastus fragilis	17,41	4,75	7,41	26,98			
Paradoneis lyra	8,76	2,81	4,38	31,36			
Ophiura albida	8,8	2,56	3,99	35,35			
Ampharete	7,39	2,31	3,6	38,95			
Heteromastus filiformis	7,69	2,15	3,36	42,32			
Nemertea	7,08	2,14	3,33	45,65			
Euclymene droebachiensis	6,82	1,91	2,98	48,63			
Gallardonерis nonatoi	4,56	1,37	2,13	50,76			
Magelona minuta	4,43	1,36	2,12	52,88			
Group l	LB3	LB9	LB16				
Average similarity: 47,75							
Species	Av.Abunc	Av.Sim	Contrib%	Cum.%			
Pisione remota	11	6,84	14,33	14,33			
Spisula solida	3,5	4,71	9,86	24,2			
Notomastus latericeus	3,29	4,44	9,3	33,5			
Polygordius appendiculatus	3,56	4,15	8,7	42,2			
Nephtys cirrosa	2,55	3,85	8,05	50,25			
Glycera lapidum	2,7	3,51	7,35	57,61			
Spio	2,62	3,51	7,35	64,96			
Nemertea	2,32	3,14	6,58	71,53			
Glycera oxycephala	2,21	2,22	4,65	76,18			
Hesionura elongata	2,37	2,22	4,65	80,83			
Polygordius	3,11	2,22	4,65	85,49			
Protodorvillea kefersteini	2,21	2,22	4,65	90,14			

Group d	LB6	LB14	LB19	LB26	LB27	LB34	LB36	LB37
Average similarity: 50,04								
Species	Av.Abunc	Av.Sim	Contrib%	Cum.%				
Mediomastus fragilis	8,47	3,07	6,13	6,13				
Lagis koreni	15,72	2,35	4,69	10,81				
Magelona filiformis	7,64	2,18	4,35	15,17				
Prionospio	7,74	2,16	4,31	19,48				
Nemertea	5,3	1,86	3,72	23,2				
Fabulina fabula	4,62	1,65	3,29	26,49				
Acrocrida brachiata	4,32	1,52	3,05	29,54				
Spio	4,01	1,49	2,97	32,51				
Nephtys hombergii	5,18	1,36	2,73	35,23				
Iphinoe trispinosa	3,55	1,35	2,71	37,94				
Abra alba	3,59	1,35	2,69	40,63				
Glycera tridactyla	3,48	1,25	2,49	43,12				
Tritia varicosa	3,61	1,18	2,36	45,48				
Magelona johnstoni	4,27	1,16	2,32	47,8				
Kurtiella bidentata	3,47	1,02	2,04	49,83				
Aponuphis bilineata	3,47	0,97	1,94	51,78				
Group j	LB12	LB13	LB24					
Average similarity: 52,03								
Species	Av.Abunc	Av.Sim	Contrib%	Cum.%				
Pisione remota	6,45	3,29	6,32	6,32				
Notomastus latericeus	5,26	2,98	5,73	12,06				
Caulerliella bioculata	3,91	2,36	4,53	16,59				
Nemertea	3,77	2,23	4,28	20,86				
Polycirrus	6,09	2,17	4,18	25,04				
Psamathe fusca	3,67	2,13	4,09	29,13				
Eulalia mustela	3,32	1,99	3,82	32,95				
Aponuphis bilineata	4,16	1,82	3,49	36,44				
Protodorvillea kefersteini	3,55	1,69	3,25	39,69				
Hesionura elongata	3,26	1,53	2,95	42,64				
Hydroides norvegica	3,05	1,52	2,92	45,57				
Syllidae	2,77	1,48	2,85	48,41				
Spirobranchus lamarcki	4,06	1,38	2,66	51,07				
Nephtys cirrosa	2,21	1,34	2,58	53,65				
Glycera oxycephala	2,62	1,25	2,41	56,06				
Glycera lapidum	2,89	1,21	2,32	58,38				
Pista	2,23	1,19	2,29	60,66				
Polygordius appendiculatus	3,14	1,19	2,29	62,95				
Group c	LB18	LB25	LB32	LB33	LB2ter			
Average similarity: 50,43								
Species	Av.Abunc	Av.Sim	Contrib%	Cum.%				
Ampharete	11,65	3,51	6,95	6,95				
Ampelisca spinipes	16,15	2,76	5,48	12,43				
Nemertea	7,53	2,51	4,98	17,41				
Ophiura albida	8,38	2,35	4,66	22,07				
Nucula nitidosa	6,81	1,69	3,35	25,42				
Philine quadripartita	4,45	1,49	2,95	28,37				
Melinna palmata	4,33	1,39	2,77	31,13				
Amphiura filiformis	7,93	1,32	2,61	33,75				
Lagis koreni	4,74	1,21	2,39	36,14				
Mediomastus fragilis	4,64	1,18	2,33	38,47				
Acrocrida brachiata	6,27	1,13	2,23	40,71				
Prionospio	3,15	1,04	2,06	42,77				
Phaxas pellucidus	3,72	1,03	2,05	44,82				
Heteromastus filiformis	6,36	1,02	2,01	46,83				
Ampelisca spinimana	4,88	0,99	1,96	48,79				
Group e	LB22	LB28	LB35					
Average similarity: 50,31								
Species	Av.Abunc	Av.Sim	Contrib%	Cum.%				
Lagis koreni	15,81	17,09	33,96	33,96				
Prionospio	4,66	5,05	10,03	44				
Nephtys hombergii	4,03	3,53	7,01	51,01				
Ampelisca spinimana	3,76	2,41	4,79	55,79				
Philine quadripartita	3,89	2,02	4,02	59,82				
Notomastus latericeus	2,02	1,98	3,93	63,75				
Nemertea	2,69	1,87	3,71	67,46				
Heteromastus filiformis	2,81	1,8	3,59	71,05				
Varicorbula gibba	1,38	1,37	2,72	73,77				
Iphinoe trispinosa	1	1,22	2,43	76,21				
Mediomastus fragilis	1,48	1,22	2,43	78,64				
Nephtys	1	1,22	2,43	81,07				
Tritia varicosa	1,94	1	1,98	83,06				
Spisula subtruncata	1,7	0,86	1,72	84,77				
Magelona minuta	1,56	0,79	1,57	86,34				
Nucula nitidosa	1,95	0,79	1,57	87,9				
Ophiura albida	1,32	0,61	1,21	89,12				
Cirratulidae	0,94	0,5	0,99	90,11				