

Evaluation du stock de palourdes dans l'étang de Berre

Octobre 2019 – Version 1.0

Mathilde Mahé, Nicolas Mayot et Raphaël Grisel



Ce rapport présente la première campagne d'évaluation du stock de palourdes dans l'étang de Berre. Cette étude a été réalisée sur la bordure côtière, entre 0 et 5 m. Au total, 238 stations ont été échantillonnées (avec 3 répliqués par station) entre avril et juillet 2019.

Cette étude fait suite à une crise écologique qui a eu lieu dans l'étang de Berre en 2018. Pendant l'été et l'automne 2018, une importante crise anoxique (absence d'oxygène) a entraîné des mortalités massives d'organismes et notamment des palourdes. Les premières constatations de cette crise ont montré une importante disparition du stock au-delà de 2,5 m. Ces constatations ont conduit à la fermeture de la pêche à pied professionnelle et de loisir dans l'étang de Berre le 31 août 2018 (Arrêté n°R93-2018-08-31-0004).

Cette campagne d'évaluation du stock a pour but de faire un inventaire du peuplement de palourdes actuel et, ainsi, d'avoir un état zéro du stock pour pouvoir suivre la recolonisation de l'étang de Berre.



Sommaire

1.	Contexte de l'étude.....	1
2.	Matériels et méthodes	3
2.1.	<i>Zone d'échantillonnage</i>	3
2.2.	<i>Type d'échantillonnage</i>	3
2.3.	<i>Méthode de prélèvement et traitement des échantillons</i>	4
2.4.	<i>Analyses des données</i>	5
3.	Résultats.....	6
3.1.	<i>Les strates profondes (entre 2 et 5 m) supérieures à 5 km²</i>	6
3.2.	<i>Histogramme de fréquence de taille</i>	7
3.3.	<i>Densité et biomasse moyenne</i>	8
3.4.	<i>Densité et la biomasse totale</i>	8
3.5.	<i>Evaluation de la fraction exploitable</i>	8
3.6.	<i>Evaluation du stock en juvéniles.....</i>	11
3.7.	<i>Distribution spatiale (selon les densités moyennes).....</i>	11
3.8.	<i>Distribution spatiale en lien avec la profondeur.....</i>	14
3.9.	<i>Distribution spatiale en lien avec l'environnement</i>	14
3.10.	<i>Cas de la strate Sud-Ouest Profond (SP).....</i>	14
4.	Conclusion	16
	Bibliographie.....	18
	Réglementations	19
	Annexes	20

1. Contexte de l'étude

D'une superficie de 155 km² et d'une profondeur maximale de 9,5 m, l'étang de Berre forme avec l'étang de Bolmon un des plus grand système lagunaire de Méditerranée (GIPREB, 2012 ; Figure 1). Il communique avec la mer par le canal de Caronte et reçoit de l'eau douce naturellement par l'Arc, la Touloubre, la Cadière, la Durançole et l'étang de l'Olivier, et artificiellement par l'usine hydroélectrique d'EDF de Saint Chamas (Bernard 2007; Deslous-Paoli 1996).

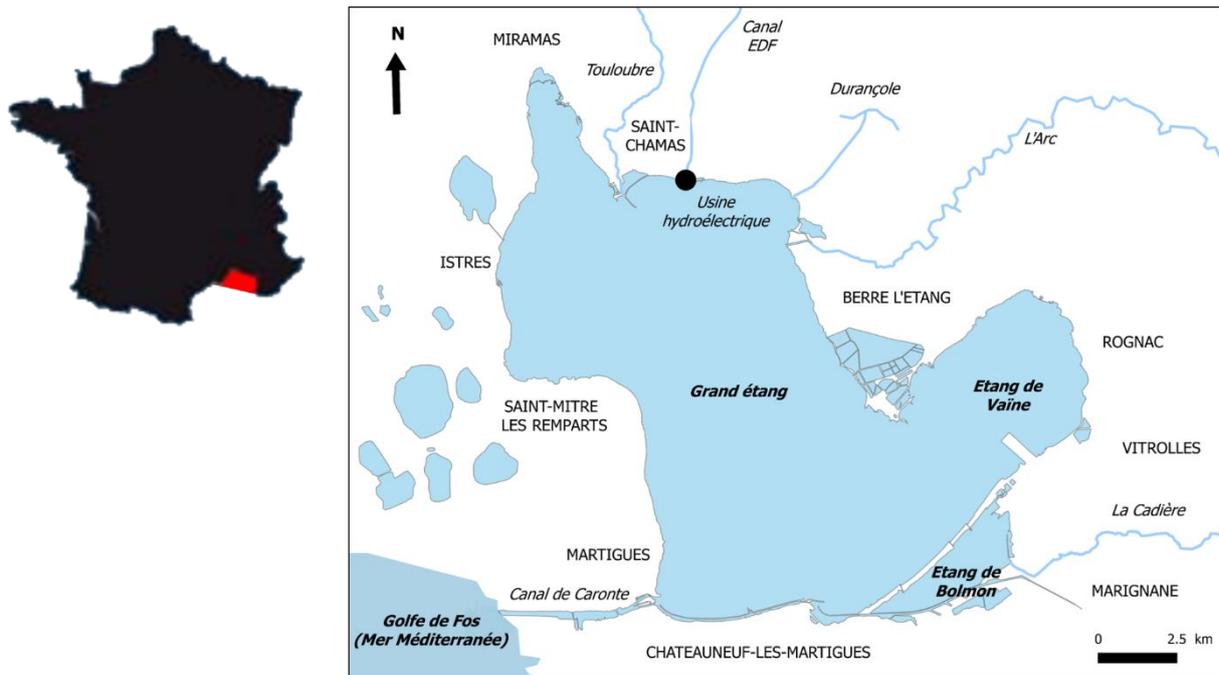


Figure 1. Carte de situation de l'étang de Berre

Depuis 1925, l'industrialisation et l'extension urbaine des villes du bassin versant de l'étang de Berre ont fortement pollué cette lagune par les rejets de l'industrie (aéronautique, métallurgie, pétrochimie), de l'agriculture (1/3 du territoire autour de l'étang de Berre) et urbains (GIPREB 2012). La source de pollution la plus importante est due à l'usine hydroélectrique d'EDF, mise en service en 1966 à Saint-Chamas (Figure 1). Cette centrale EDF rejetait alors en moyenne 450 000 tonnes de limons par an et 3 milliards de m³ d'eau douce par an dans l'étang de Berre alors que celui-ci a un volume inférieur à 1 milliard de m³ (Bernard 2007). Cet apport massif d'eau douce dans l'eau saumâtre de l'étang a eu pour conséquence une stratification de la colonne d'eau et une eutrophisation provoquant des anoxies dans les zones profondes (GIPREB 2012). Ces absences d'oxygène ainsi que l'augmentation de la turbidité et les fluctuations de la salinité ont entraîné une chute de la biodiversité (Aliaume *et al.* 2011). Par conséquent, en 2004, la France a été condamnée par l'Europe. Depuis 2006, les quotas de rejets autorisés par cette centrale hydroélectrique ont été réduits à 1,2 milliards de m³ d'eau douce et 60 000 tonnes de limons par an (Aliaume *et al.* 2011).

Depuis ces nouvelles modalités de rejets, le GIPREB observe un développement des coques et des palourdes, sur la bordure littorale de l'étang de Berre. Ces constatations confirment l'effet positif de la stabilité des conditions hydrologiques, notamment la salinité. Le retour de ces bivalves fouisseurs a entraîné l'apparition d'une pêche de loisir importante (GIPREB 2015). En 2015, la pêche à pied de loisir a été réglementée et les quotas étaient de 2 kg de palourdes par jour et par personne, sur des individus

mesurant plus de 30 mm^{1,2}. Cette même année, le GIPREB a mené une étude pour déterminer si les densités de palourdes étaient suffisantes pour l'ouverture à la pêche professionnelle. L'abondance moyenne dans l'étang de Berre est estimée à 78 ind.m⁻² (individus.m⁻²), contre 48 ind.m⁻² pour le bassin d'Arcachon et de 10 ind.m⁻² pour le golfe du Morbihan en 2014 (Audry 2015; Sanchez *et al.* 2014). Dans les zones de hotspots, des densités de palourdes de 1 500 à 2 064 ind.m⁻² ont été trouvées. Ces zones de hotspots se trouvaient au Sud du cordon dunaire du Jaï, sur la rive Est de l'étang (à l'embouchure de l'Arc, un des principaux affluents de la lagune) et au Nord (entre l'embouchure de l'Arc et l'anse de Saint-Chamas) (Audry 2015). Dans ces hotspots, 50 à 100 % des palourdes avaient la maille, c'est-à-dire que les individus mesuraient plus de 30 mm². Cette même étude a également mis en évidence que la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* représentait la quasi-totalité des stocks de palourdes de la lagune. Une étude génétique a permis de confirmer que la palourde japonaise était la seule espèce présente (Mahé *et al.*, *in prep*). L'étude d'Audry (2015) a montré que les populations de palourdes de l'étang de Berre représentent un stock suffisant et favorable pour permettre une ouverture de la pêche professionnelle.

À la suite de cette étude, le GIPREB et la DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) ont souhaité connaître l'état des milieux et évaluer les risques sanitaires de la consommation de *R. philippinarum*. Ce classement sanitaire a été établi par l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) à partir d'une analyse bactériologique (*Escherichia coli*) et chimique (métaux lourds : mercure, plomb et cadmium) : les coquillages fouisseurs de l'étang de Berre ont été classés en zone B (Mirallès et Brach-Papa, 2017), c'est-à-dire que les palourdes sont commercialisables après passage dans un bassin de purification. Pour les pêcheurs de loisir, la cuisson des palourdes est recommandée (Dérian 2015). Grâce à l'ensemble de ces résultats, la pêche à pied professionnelle a été ouverte le 1^{er} février 2018³. De février à mai, le nombre de pêcheurs ayant la licence était de 60⁴. A partir de mai, ils étaient 95 pêcheurs professionnels⁵.

Pendant l'été et l'automne 2018, l'étang de Berre a subi une importante crise anoxique qui a provoqué des mortalités massives d'organismes, notamment des palourdes (GIPREB 2018). Cette crise est due à un « effet cocktail » de plusieurs facteurs : 1) Des apports d'eaux douces et de nutriments importants en 2018 *via* les rejets de la centrale hydroélectrique d'EDF (Figure 1) et la pluviométrie entraînant une stratification verticale (avec en surface une couche d'eau douce et en profondeur une couche d'eau salée) ; 2) Un été très chaud, orageux et surtout sans vent ne permettant pas le mélange des deux masses d'eau (douce et salée) ; 3) La présence de ces deux couches d'eau a limité les échanges d'oxygène entre l'atmosphère et la couche d'eau salée en profondeur ; et 4) La forte densité en palourdes japonaises en 2018 a entraîné une demande très importante en oxygène ce qui a accéléré la propagation de l'anoxie aux zones côtières. Les premières investigations fin août ont montré un impact fort sur le gisement, avec une disparition quasi-totale du stock profond (au-delà de 2,5 m). Ces constatations ont conduit à la fermeture de la pêche à pied professionnelle et de loisir dans l'étang de Berre le 31 août 2018⁶.

L'objectif de cette présente étude est de faire un inventaire plus précis de l'état du stock après la crise et ainsi d'obtenir un état zéro permettant de suivre la recolonisation.

¹ Arrêté n°353 du 11 juin 2015

² Arrêté du 29 janvier 2013 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2012

³ Arrêté n°R93-2018-01-30-001 du 30 janvier 2018

⁴ Arrêté n° R93-2018-01-31-001 du 31 janvier 2018 et Délibération n°40/2017 du 14 décembre 2017

⁵ Arrêté n°R93-2018-05-07-001 du 7 mai 2018 et Délibération n°07/2018 du 26 avril 2018

⁶ Arrêté n° R93-2018-08-31-0004 du 31 août 2018

2. Matériels et méthodes

Le protocole utilisé dans l'étang de Berre s'inspire de celui mis en place dans le bassin d'Arcachon depuis 2001 (Bertignac *et al.* 2001).

2.1. Zone d'échantillonnage

L'étang de Berre a une superficie de 155 km² et a une profondeur maximum de 9,5 mètres. Lors de prospections préliminaires, les palourdes japonaises ont été observées en grande majorité entre 0 et 5 mètres de profondeur (GIPREB, *com. interne*). Après la crise anoxique, il est considéré qu'elles ont quasiment disparu au-delà de 5 mètres (GIPREB 2018). Pour cette étude, seule la zone entre 0 et 5 mètres de profondeur sera donc échantillonnée. Cela correspond à une superficie de 38,78 km². Cette zone a d'abord été divisée en fonction de la profondeur : les strates entre 0 et 2 m qui correspondaient au stock accessible aux pêcheurs à pied lorsque la pêche était ouverte ; et les strates entre 2 et 5 m qui étaient des zones de réserve pour permettre de renouveler le stock. Ensuite, les strates sont divisées en prenant en compte la granulométrie (Figure 2).

2.2. Type d'échantillonnage

Dans chaque strate, il a été nécessaire de définir des lieux d'échantillonnages, appelé station. Selon Bertignac *et al.* 2001, le nombre de stations par strate doit être proportionnel à la superficie de la strate. De plus, pour avoir une précision suffisante il faut au minimum 10 stations par km², avec à chaque station, 2 réplicats (soit 20 réplicats / km²).

Dans le cadre de cette étude, le taux d'échantillonnage a été différent selon les caractéristiques de la strate (profondeur et surface). Ce choix s'appuie sur la volonté d'adapter le plus finement possible la stratégie d'échantillonnage à la disposition en patch des palourdes, et notamment à leur répartition en fonction de la profondeur dans l'étang.

Les strates profondes, entre 2 et 5 m, ont une superficie de 32,80 km² (sur les 38,78 km² de l'ensemble de la zone d'échantillonnage). Afin de diminuer le nombre de stations, il a été décidé que les strates profondes auraient un taux d'échantillonnage de 7 stations / km². Avec les 3 réplicats par station, cela correspond à un échantillonnage de 21 réplicats / km².

Pour les strates du bord (entre 0 et 2 m), deux stratégies ont été adoptées en fonction de leur taille. (1) Pour les strates dont la superficie est supérieure à 1 km², le taux d'échantillonnage a été de 10 stations par km² avec 3 réplicats par station (soit 30 réplicats / km²). Cette stratégie a été appliquée pour deux strates : l'Anse de Saint-Chamas bord (CB) et la Pointe de Berre bord (PB) (Figure 2) (2) Pour les strates avec une superficie inférieure à 1 km², le taux d'échantillonnage a été de 20 stations / km² avec 3 réplicats par station (soit 60 réplicats / km²).

Le nombre de prélèvements et la stratégie adoptée en fonction des caractéristiques des strates sont résumés dans le Tableau 1. Pour chacune des strates, les stations ont été tirées aléatoirement avec une distance minimale de 200 mètres entre chaque station à l'aide du logiciel QGIS 2.18.21 (Figure 2). Chaque station est identifiée par un nom et des coordonnées géographiques dans le système RGF-93 / Lambert93.

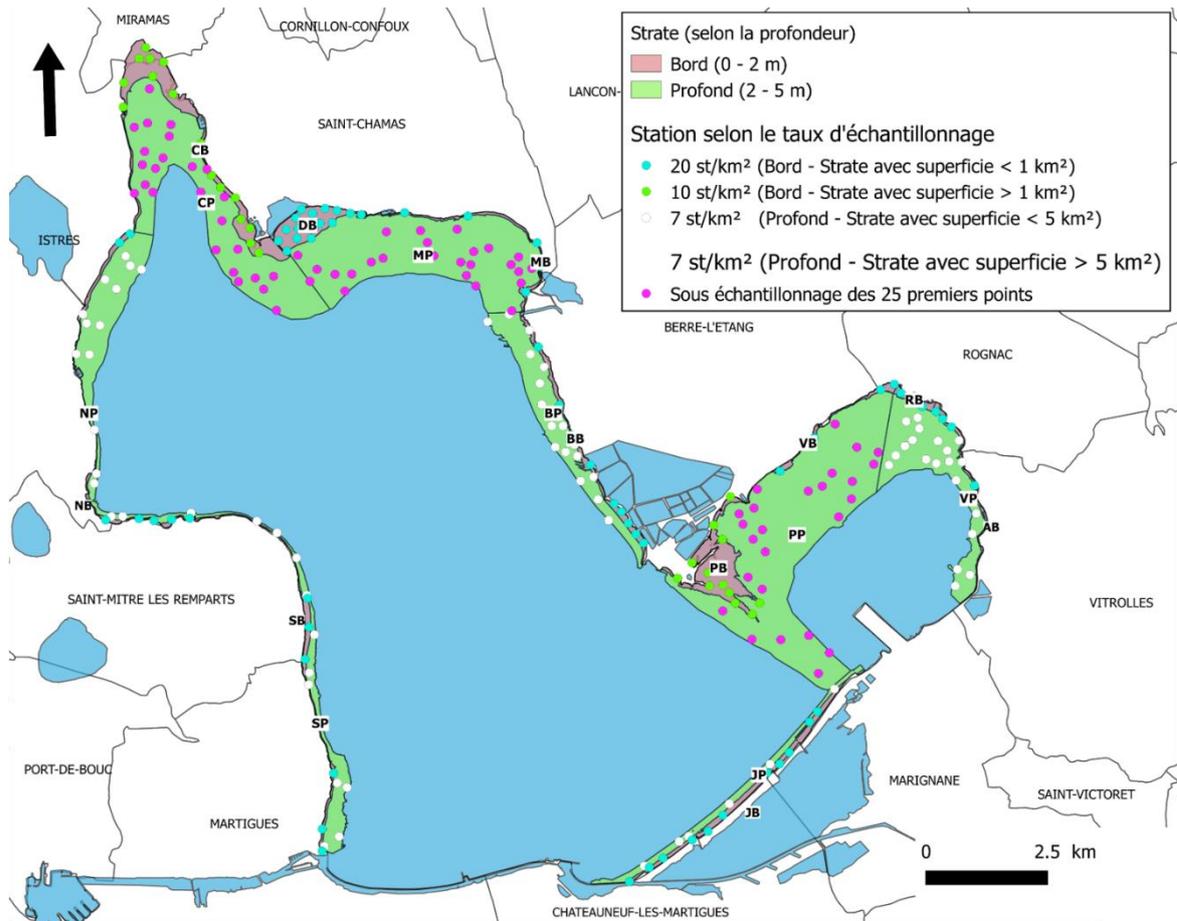


Figure 2. Carte présentant les strates pour la campagne 2019

2.3. Méthode de prélèvement et traitement des échantillons

Pour des raisons techniques, il était compliqué de mettre en place un prélèvement à la benne dans l'étang de Berre. La benne Orange Peel que possède le GIPREB n'était pas assez lourde pour pénétrer dans tous les types de sédiments (très variables) et il était difficile d'avoir une benne assez puissante aux vues des profondeurs dans l'étang.

Il a été choisi de faire les échantillonnages en plongée sous-marine à l'aide de quadrat de 0,25 m² (L : 0,5 m ; l : 0,5 m et h : 0,1 m). Les prélèvements ont été réalisés entre le 27 mars et le 27 juillet 2019. Au départ cette période d'échantillonnage devait être plus restreinte, mais à cause de conditions climatiques défavorables (notamment la présence de mistral très régulièrement), il a été impossible de réduire le délai entre le début et la fin de cette campagne. Au total 21 journées de terrain ont été nécessaires pour couvrir les 238 stations avec deux ou trois plongeurs mobilisés.

Les quadrats étaient placés aléatoirement dans un rayon de 25 m autour des coordonnées géographiques de la station. L'ensemble du sédiment contenu dans le quadrat était transféré dans des bourriches (sorte de filet avec une maille de 6 mm). Ensuite, les prélèvements étaient ramenés à bord du bateau et triés à l'aide d'un tamis ayant une maille carrée de 1 mm. Les palourdes présentes étaient comptabilisées et mesurées (longueur) à l'aide d'un pied à coulisse électronique ABSOLUTE AOS DIGIMATIC 500-161-30 de Mitutoyo précis à 0,02 mm. Les autres bivalves étaient comptabilisés.

Tableau 1. Identification des strates, leur superficie et le nombre de stations en fonction du taux d'échantillonnage choisi.

	Nom	ID	Profondeur (m)	Surface (km ²)	Nombre de station	Taux d'échantillonnage (station/km ²)
Bord - Superficie < 1 km ²	Rognac Bord	RB	0-2	0,125	3	20
	Aéroport Bord	AB	0-2	0,197	4	20
	Vaine nord est Bord	VB	0-2	0,199	4	20
	Merveille est Bord	MB	0-2	0,233	5	20
	Sud-ouest Bord	SB	0-2	0,283	6	20
	Nord-ouest Bord	NB	0-2	0,363	7	20
	Bouquet Bord	BB	0-2	0,456	9	20
	Jaï Bord	JB	0-2	0,569	11	20
	Délimonage Bord	DB	0-2	0,795	16	20
Bord - Superficie > 1 km ²	Pointe Berre Bord	PB	0-2	1,2	12	10
	Anse Saint-Chamas Bord	CB	0-2	1,563	16	10
Profond - Superficie < 5 km ²	Jaï Profond	JP	2-5	0,875	6	7
	Sud-ouest Profond	SP	2-5	1,108	8	7
	Bouquet Profond	BP	2-5	2,373	17	7
	Nord-ouest Profond	NP	2-5	2,779	19	7
	Vaine sud Profond	VP	2-5	2,914	20	7
Profond - Superficie > 5 km ²	Anse Saint-Chamas Profond	CP	2-5	5.832	41*	7
	Merveille Profond	MP	2-5	6.903	48*	7
	Pointe Berre Profond	PP	2-5	10.011	70*	7

* sur ces strates, à la vue des premières données, 25 stations ont été échantillonnées (Partie 3.1)

Au cours de la campagne, des prélèvements de sédiment ont été effectués (un flacon par station) afin d'affiner les connaissances sur la granulométrie de l'étang de Berre et les éventuelles implications dans la répartition des palourdes. La présence de macrophytes était également relevée.

2.4. Analyses des données

L'analyse des résultats a été effectuée sur Spyder (Python 2.7).

Afin de diminuer le temps sur le terrain, seule la longueur des palourdes a été mesurée *in situ*. Cette donnée permet de connaître les cohortes présentes dans l'étang de Berre, ainsi que leur abondance. Pour estimer leur biomasse, il est nécessaire d'attribuer un poids à chaque individu. La relation longueur / poids des palourdes dans l'étang de Berre a été établie en 2017 sur plus de 1 300

individus (Mahé 2017). C'est une relation de type exponentielle : $P = aL^b$ où P représente le poids frais (en g) et L la longueur des palourdes (en mm). Les coefficients a et b sont spécifiques à la palourde japonaise dans l'étang de Berre : $P = 0,0002 * L^{3,0579}$ (Figure 3).

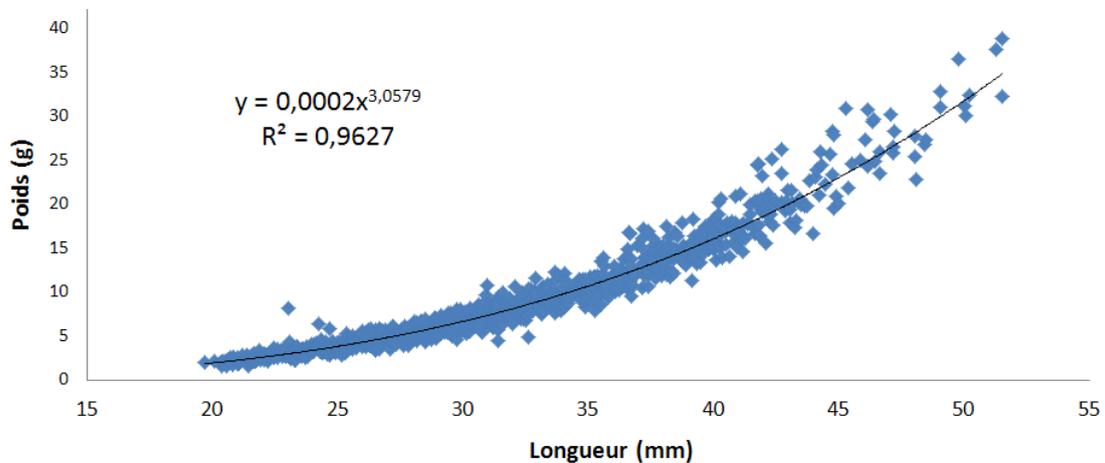


Figure 3. La relation taille – poids des palourdes de l'étang de Berre ($n = 1\ 347$) issue de Mahé (2017)

3. Résultats

3.1. Les strates profondes (entre 2 et 5 m) supérieures à 5 km²

Dans le protocole de départ, il était prévu que les strates profondes (entre 2 et 5 m de profondeur) auraient un taux d'échantillonnage de 7 stations par km² avec 3 réplicats par station. La campagne d'évaluation des stocks a commencé par les trois strates profondes dont les superficies étaient supérieures à 5 km² : Pointe Berre profonde (PP : 70 stations), Merveille profonde (MP : 48 stations) et Anse Saint-Chamas profonde (CP : 41 stations) (Figure 2 ; Tableau 1).

Cependant, devant l'effort important d'échantillonnage que cela représentait et au vu de la connaissance *a priori*, il a été émis l'hypothèse que ces strates profondes auraient des densités en palourdes japonaises très faibles voire nulles. Afin de vérifier cette hypothèse, l'échantillonnage s'est fait par étape. La stratégie a été de retirer aléatoirement 25 stations par strate (dans les stations préalablement déterminées). Après l'échantillonnage de ces stations, les tests statistiques⁷ ont montré qu'il n'y avait pas de différence entre la variabilité spatiale et locale. C'est-à-dire que la densité de chaque station individuellement était identique à la densité de la strate (la densité de la strate étant la moyenne des 25 stations). Il faut noter également le très faible nombre de palourdes observé (seulement 15 palourdes vivantes en 75 stations soit 225 réplicats ; Tableau 2).

En conséquence, l'hypothèse de faible densité dans ces strates est validée. Pour ces trois strates, l'échantillonnage s'est donc limité à 25 stations par strates.

⁷ La normalité des données a été testée (Shapiro-Wilk : H_0 = les données sont distribuées normalement ; p -value < $1e-07$). Des tests non paramétriques de Mann-Whitney-Wilcoxon ont été utilisés pour mettre en évidence les différences éventuelles entre la variabilité locale d'une station par rapport à la variabilité spatiale de la strate auxquelles appartient la station (H_0 = la distribution spatiale et locale sont identiques). Pour les strates de Pointe Berre profonde (PP) et Merveille profonde (MP), la p -value est supérieur à 0,094. Pour la strate de l'Anse Saint Chamas profonde (CP), elle est supérieure à 0,252.

3.2. Histogramme de fréquence de taille

L'histogramme de fréquence de taille pour *Ruditapes philippinarum* dans l'étang de Berre a été établi sur la base de l'ensemble des données (N = 4 059 individus ; Figure 4). Au printemps 2019, deux cohortes ont pu être observées : une prépondérante avec des individus mesurant entre 28 et 34 mm et une seconde de moindre importance avec des palourdes mesurant entre 6 et 12 mm. L'individu le plus petit retrouvé était de 3,36 mm et le plus grand de 47,56 mm. Les résultats par strates sont présentés en Annexe 1.

Il faut noter que très peu d'individus de taille inférieure à 5 mm ont été comptabilisés, soit par manque de juvéniles pendant la période d'échantillonnage, soit par rapport à la méthode d'échantillonnage (la maille de la bourriche était de 6 mm).

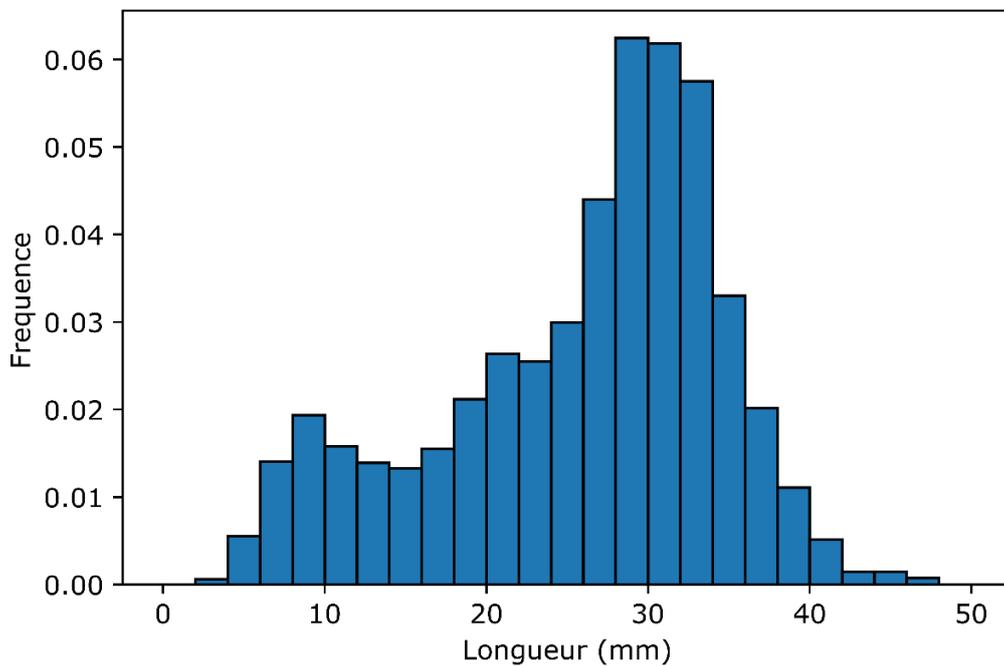


Figure 4. Histogramme de fréquence de taille de la palourde japonaise dans l'étang de Berre au printemps 2019 (N = 4 059)

Pour les paragraphes suivants (3.3 à 3.8) :

A partir des données par réplicats et par station, des indices d'effectif et de biomasse à l'échelle de chaque strate ont été estimés en suivant le protocole développé par Berthou et al. (1997) (Annexe 2).

3.3. Densité et biomasse moyenne

En 2019, les densités variaient entre 0 et 300 ind.m⁻² (individus.m⁻²) avec une moyenne de **33,59 ind.m⁻² ± 73,14** pour l'ensemble de la zone prospectée, soit 38,78 km² (Tableau 2). Dans trois strates, Rognac Bord (RB), Vaïne Bord (VB) et Merveille Bord (MB), aucune palourde n'a été observée. Les deux strates où la densité moyenne est la plus importante, sont Sud-ouest Profond (SP) et Sud-Ouest Bord (SB), deux strates proches géographiquement (Figure 2). Les biomasses moyennes les plus conséquentes ont été trouvées sur ces mêmes strates. La biomasse moyenne sur l'ensemble de la zone prospectée était de **199,54 g.m⁻² ± 441,68** (Tableau 2).

3.4. Densité et biomasse totale

L'abondance totale sur les 38,78 km² échantillonnée en 2019 était de **552,07 millions ± 75,02** de palourdes japonaises correspondant à une biomasse de **2 903,62 tonnes ± 432,68**. Le détail des résultats par strate est présenté sur les figures 5 et 6 et en Annexe 3.

Il y a une forte disparité spatiale dans la répartition des palourdes japonaises dans l'étang de Berre (Figure 7 et 8). Des patchs de densité importante sont observés au milieu de zone de densité faible voire nulle. 80 % des palourdes trouvées au cours de cette étude l'ont été sur seulement 10 stations (soit 4.23 % des 236 stations).

L'essentiel de l'abondance et de la biomasse totale, soit 332,66 millions d'individus et 1 909,56 tonnes (respectivement 60 et 66 %) sont localisés dans la strate Sud-Ouest Profond (SP ; Annexe 3). Cela confirme la disparité spatiale dans la répartition des palourdes, puisque les autres strates présentent des abondances totales inférieures à 45 millions de palourdes (Figure 5). La particularité de la strate Sud-Ouest Profond (SP) sera discutée dans la partie 3.10.

3.5. Evaluation de la fraction exploitable

Dans l'étang de Berre, la maille en vigueur au moment de l'ouverture de la pêche était de 30 mm⁸. Pour avoir une idée de la fraction exploitable présente, un sous échantillonnage de l'effectif et la biomasse par strate ont été effectués sur les palourdes japonaises de taille supérieure à 30 mm.

Au printemps 2019, l'effectif exploitable sur la zone prospectée était de **193,05 millions ± 29,63** de palourdes, ce qui correspond à **35 % du stock global**. Quant à la biomasse exploitable, elle est estimée à **1 837,69 tonnes ± 270,42** soit **63 % de la biomasse totale**. Les effectifs et les biomasses totaux des palourdes supérieures à 30 mm par strate sont présentés dans l'Annexe 4.

⁸ Arrêté du 29 janvier 2013 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2012

Tableau 2. Effectif (nombre de palourdes/m²) et biomasse (g/m²) par strate (moyenne, σ = écart-type)

	Nom	ID	Profondeur (m)	Effectif (nombre de palourdes/m ²)		Biomasse (g/m ²)	
				Moyenne	σ	Moyenne	σ
	Rognac Bord	RB	0-2	0	0	0	0
	Aéroport Bord	AB	0-2	9,67	7,36	71,68	57,15
	Vaine nord est Bord	VB	0-2	0	0	0	0
Bord	Merveille est Bord	MB	0-2	0	0	0	0
Superficie	Sud-ouest Bord	SB	0-2	136,67	117,85	984,38	844,32
< 1 km ²	Nord-ouest Bord	NB	0-2	35,05	21,14	130,14	80,95
	Bouquet Bord	BB	0-2	80,15	40,73	510,66	237,66
	Jaï Bord	JB	0-2	13,82	4,93	193,20	68,24
	Délimonage Bord	DB	0-2	7,17	3,08	10,62	3,70
Bord	Pointe Berre Bord	PB	0-2	4,00	2,46	22,88	17,08
Superficie > 1 km ²	Anse Saint-Chamas Bord	CB	0-2	23,17	14,24	63,97	45,10
	Jaï Profond	JP	2-5	2,00	0,75	25,11	15,57
Profond	Sud-ouest Profond	SP	2-5	300,33	275,86	1 724,00	1 674,48
Superficie	Bouquet Profond	BP	2-5	9,02	2,31	13,21	3,13
< 5 km ²	Nord-ouest Profond	NP	2-5	15,16	7,33	31,74	20,23
	Vaine sud Profond	VP	2-5	1,27	1,13	8,76	8,68
Profond	Anse Saint-Chamas Profond	CP	2-5	0,16	0,09	0,03	0,02
Superficie	Merveille Profond	MP	2-5	0,43	0,18	0,19	0,09
> 5 km ²	Pointe Berre Profond	PP	2-5	0,21	0,13	0,68	0,50
				Moyenne	σ	Moyenne	σ
				33,59	73,14	199,54	441,68

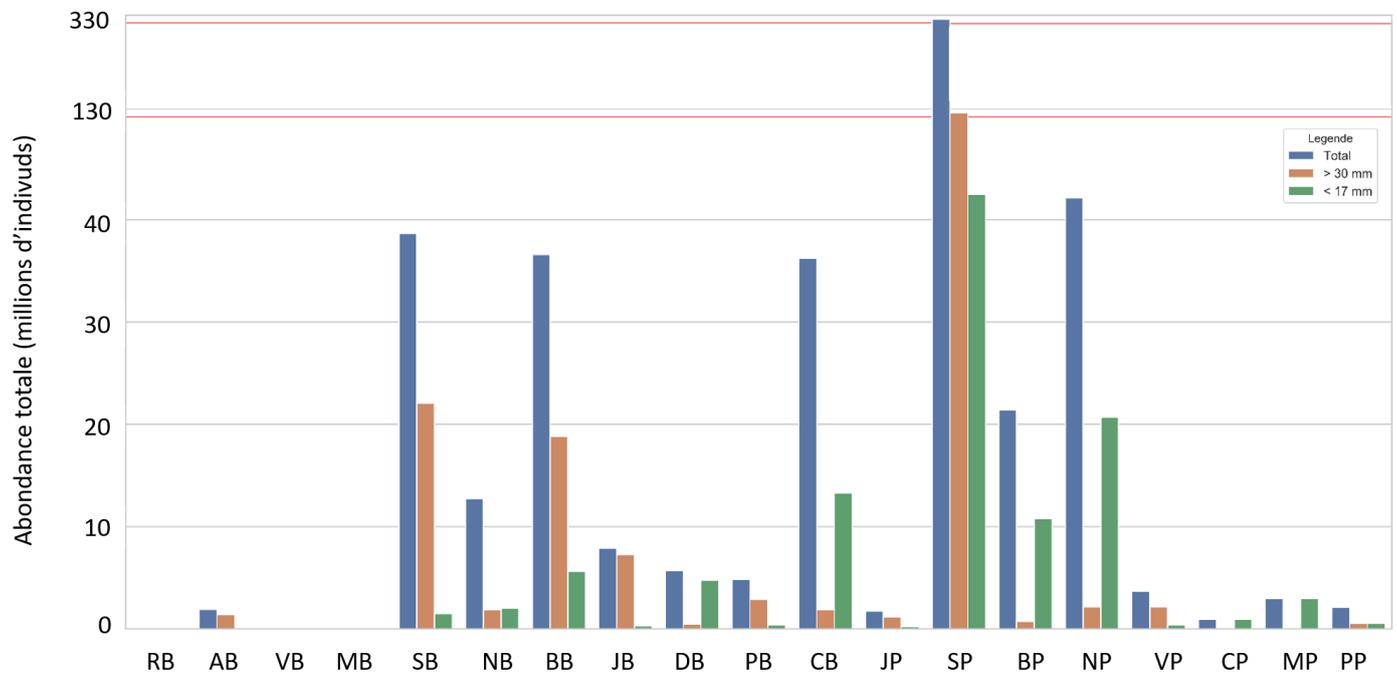


Figure 5. Abondance totale en palourdes japonaises par strate durant la campagne du printemps 2019 dans l'étang de Berre. Attention, l'échelle de l'axe des ordonnées n'est pas linéaire (les lignes rouges représentent un saut dans l'axe des ordonnées).

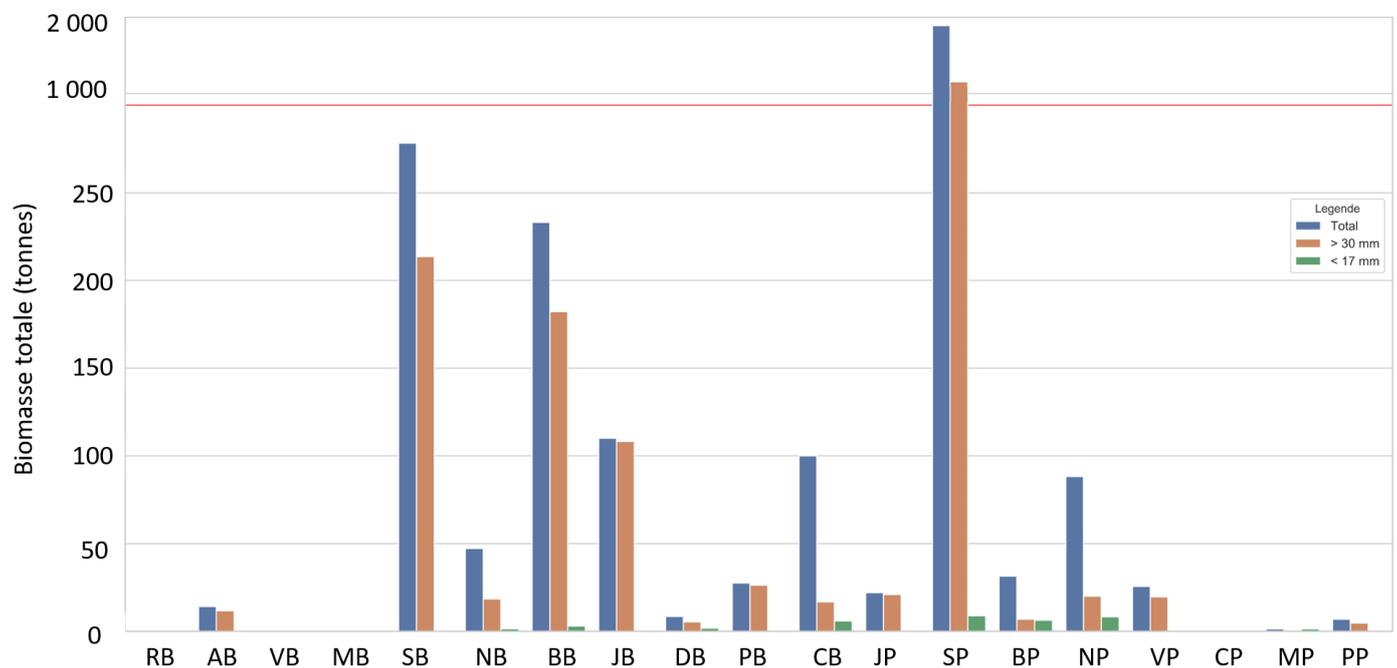


Figure 6. Biomasse totale en palourdes japonaises par strate durant la campagne du printemps 2019 dans l'étang de Berre. Attention, l'échelle de l'axe des ordonnées n'est pas linéaire (les lignes rouges représentent un saut dans l'axe des ordonnées).

3.6. Evaluation du stock en juvéniles

D'après Caill-Milly *et al.* (2003), les individus inférieurs à 17 mm, appelés juvéniles, sont une bonne indication du niveau de recrutement de l'année précédente. Dans l'étang de Berre au printemps 2019, l'effectif total en juvéniles sur la zone prospectée était de **106,78 millions ± 10,52** de palourdes, correspondant à **19 % du stock total**. En biomasse totale, elle est évaluée à **38,13 tonnes ± 2,97** soit **1 % de la biomasse totale**. Les effectifs et les biomasses totaux des palourdes juvéniles par strate sont présentés dans l'Annexe 4.

Par rapport au stock global, la proportion de juvénile est assez faible. Seules cinq strates sur les dix-neuf ont une abondance en palourdes juvéniles représentant 50 % ou plus du stock global. Les autres strates ont des proportions en juvéniles inférieures à 25 % (Figure 5).

3.7. Distribution spatiale (selon les densités moyennes)

Au printemps 2019, la plus forte densité moyenne en palourdes japonaises dans l'étang de Berre se trouvait à l'ouest dans la zone de Caderaou (au niveau de Saint-Mitre les Remparts) où elle dépassait 250 ind.m⁻² (Figure 7 et 8). Il y a quelques hotspots secondaires : dans la zone Varage / Massane (Saint-Mitre les Remparts) ; au nord au niveau de la plage de la Romaniquette (Istres) et du rejet de la Touloubre dans l'étang (Saint-Chamas) ; et à l'est au niveau des salins de Berre l'Etang. Ailleurs, les densités sont très faibles : **dans 58 % des stations, aucune palourde n'a été observée**, dans 30 % des stations la densité était comprise entre 0 et 15 ind.m⁻² et dans seulement 12 % des stations, l'abondance moyenne était supérieure à 15 ind.m⁻².

Ces zones de fortes densités sont cependant à nuancer en fonction de la taille des palourdes. Les densités moyennes en juvénile (de taille inférieure à 17 mm) les plus importantes sont localisées à l'ouest dans la zone de Caderaou (Saint-Mitre les Remparts) où elles dépassent 250 ind.m⁻². Un second hotspot, de moindre importance (entre 100 et 250 ind.m⁻²) est localisé à l'est au niveau des salins de Berre l'étang. **Dans 73 % des stations, il n'y avait aucune palourde juvénile.**

En ce qui concerne la localisation des palourdes de taille supérieure à 30 mm, les plus fortes densités (supérieure à 250 ind.m⁻²) sont observées à l'ouest dans la zone de Caderaou (Saint-Mitre-les-Remparts) et à l'est au niveau des salins de Berre l'Etang. Dans le reste de l'étang, les densités sont très faibles. **Dans 79 % des stations aucune palourde de taille supérieure à 30 mm n'a été comptabilisée.**

La répartition spatiale dans l'étang de Berre confirme les observations de Beninger et Boldina (2014) avec la présence de patch de fortes densités mais représentant des surfaces très limitées. Globalement, les densités dans l'étang de Berre sont assez faibles, avec 57 % des stations ayant des densités moyennes nulles.

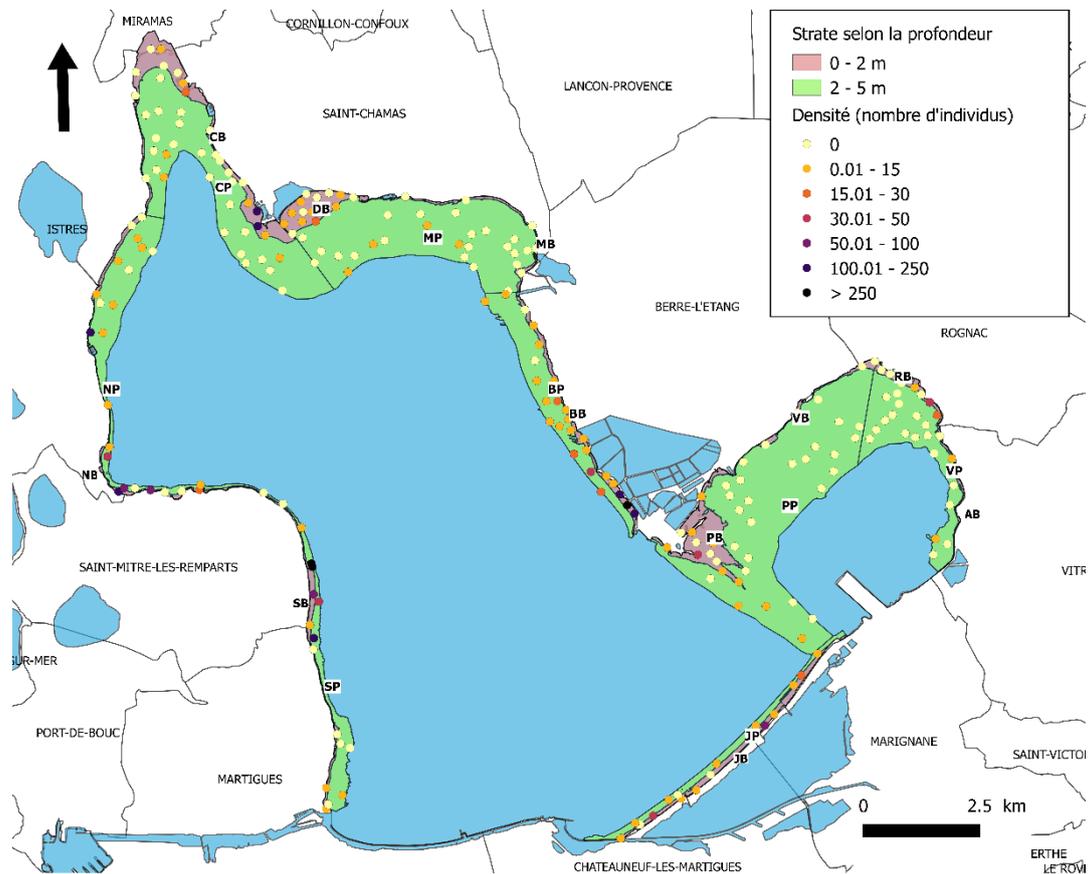


Figure 7. Carte des densités moyennes par station

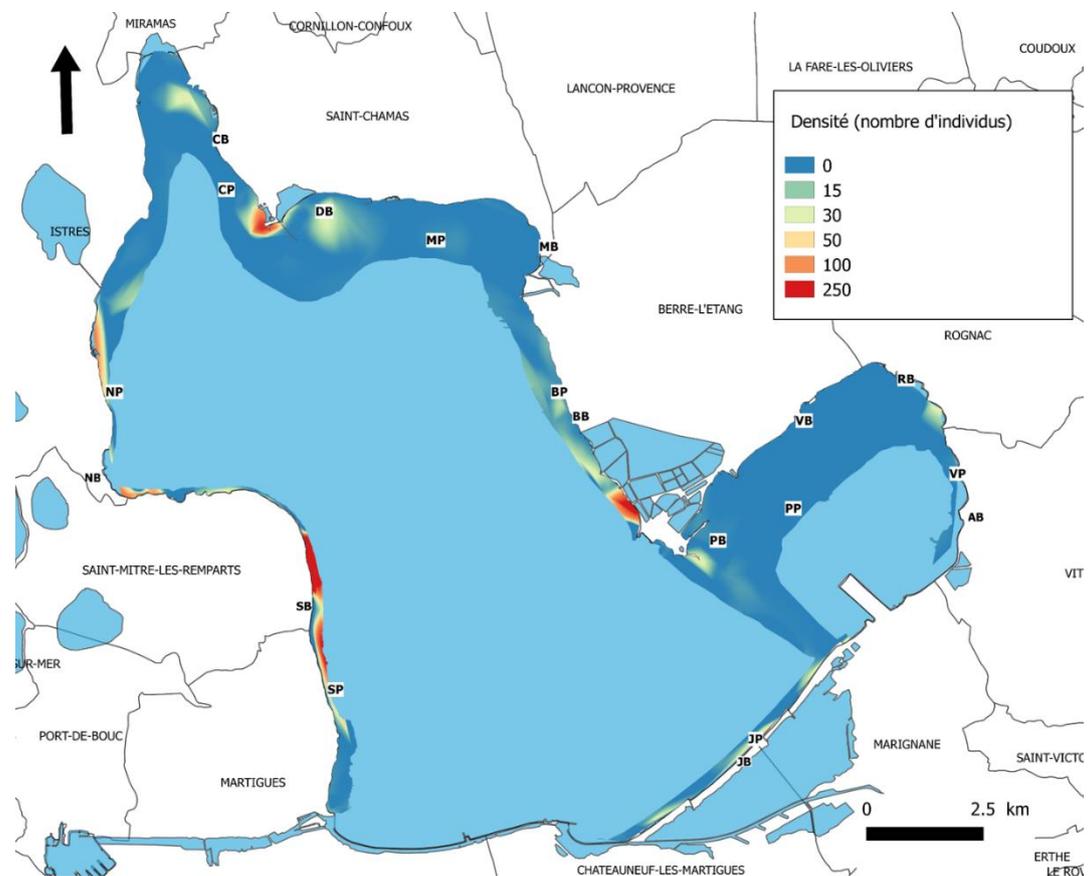


Figure 8. Carte des densités moyennes interpolées – méthode : TIN (Interpolation triangulaire) cubique- grid = 20000 x 20000

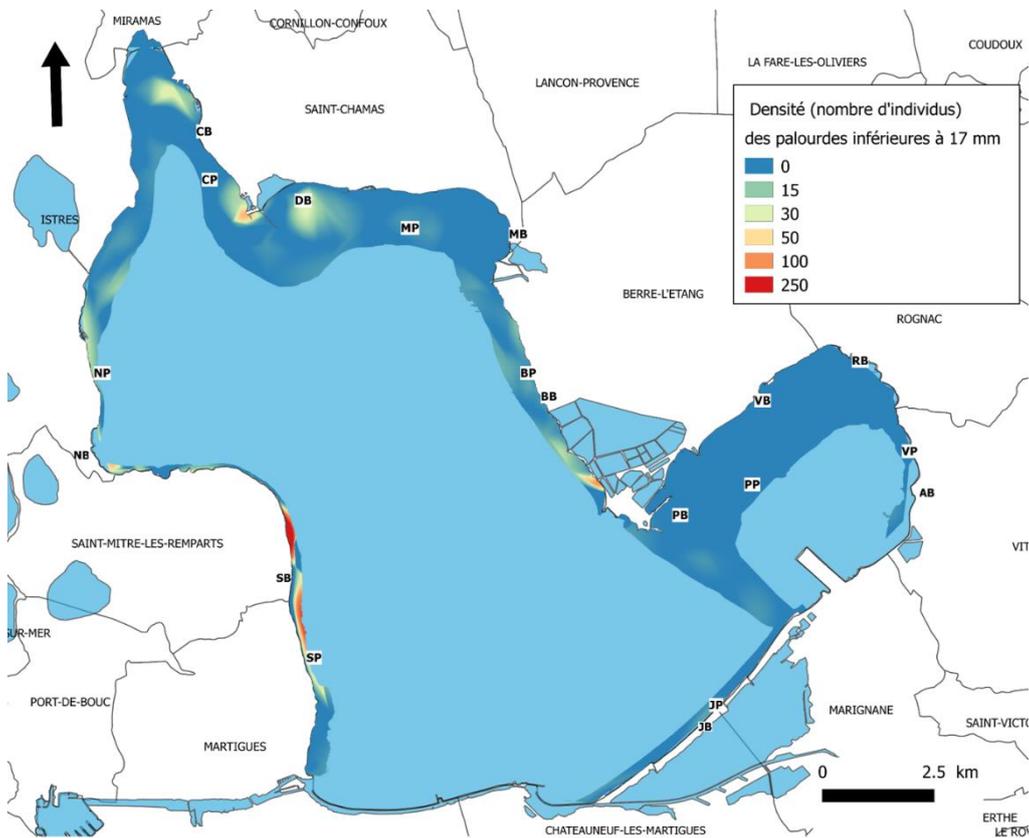


Figure 9. Carte des densités moyennes interpolées des palourdes juvéniles (de taille inférieure à 17 mm) – méthode : TIN (Interpolation triangulaire) cubique- grid = 20000 x 20000

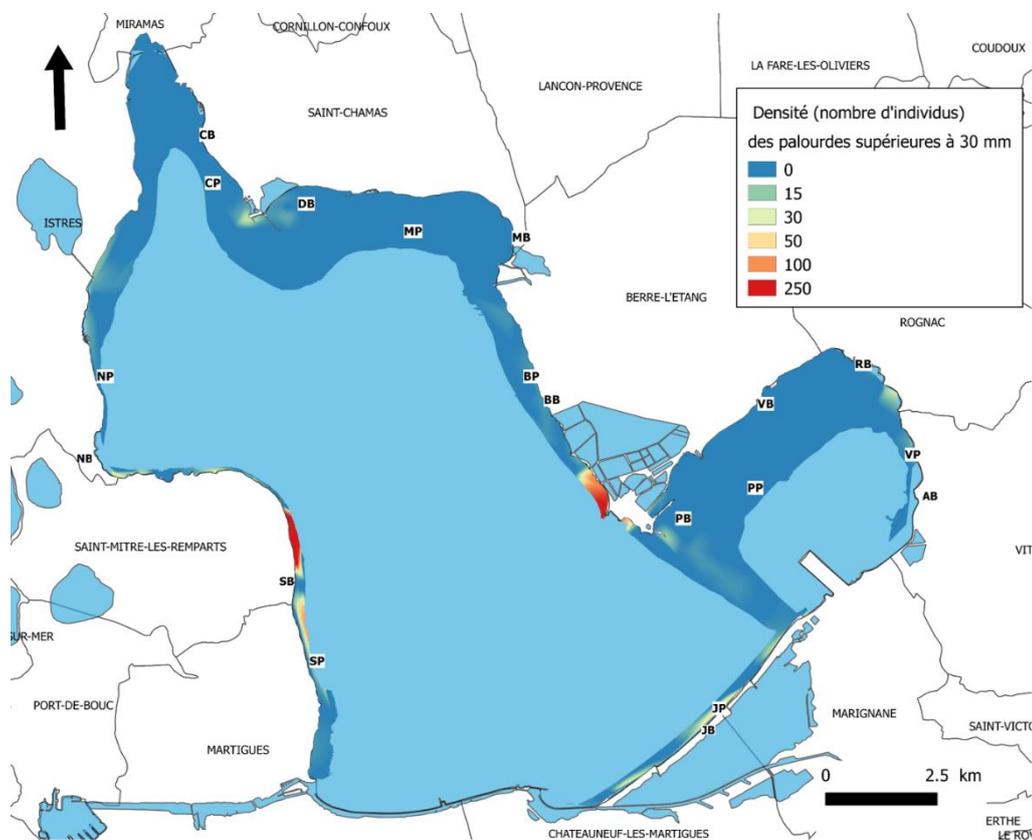


Figure 10. Carte des densités moyennes interpolées des palourdes de taille supérieure à 30 mm par station - méthode : TIN (Interpolation triangulaire) cubique- grid = 20000 x 20000

3.8. Distribution spatiale en lien avec la profondeur

L'abondance totale sur les 38,78 km² échantillonnés en 2019 était de **552,07 millions ± 75,02** de palourdes japonaises dont 26 % au bord et 74 % en profondeur (Annexe 3 et 4). Dans les individus retrouvés au bord (entre 0 et 2 m), 19 % étaient des juvéniles (individus de taille inférieure à 17 mm), 42 % mesuraient entre 17 et 30 mm et 39 % des palourdes étaient de taille supérieure à 30 mm (Figure 5, Annexe 4). Pour les strates en profondeur (entre 2 et 5 m), il y avait 19 % de juvéniles, 48 % de palourdes mesurant entre 17 et 30 mm et 33 % d'individus de taille supérieure à 30 mm.

Au printemps 2019, la biomasse totale des palourdes japonaises était de **2 903,62 tonnes ± 432,68** dont 28 % étaient localisés au bord et 72 % en profondeur (Annexe 3 et 4). La biomasse des palourdes supérieures à 30 mm représentait 71 % de la biomasse du bord et 60 % de la biomasse en profondeur (Figure 6 ; Annexe 4). Les juvéniles comptent pour seulement 2 % de la biomasse des strates du bord et 1 % des strates en profondeur.

Dans l'étang de Berre, plus de 70 % de l'abondance et de la biomasse totale sont retrouvés dans les strates profondes (entre 2 et 5 m). En ce qui concerne la répartition des palourdes en fonction de leur taille, les juvéniles sont observés dans les mêmes proportions au bord et en profondeur. Pour les palourdes de taille supérieure à 30 mm, elles sont localisées préférentiellement au bord.

3.9. Distribution spatiale en lien avec l'environnement

Paragraphe à venir dans une version 2.0

3.10. Cas de la strate Sud-Ouest Profond (SP)

Dans la partie 3.4, il est abordé la particularité de la strate Sud-Ouest Profond (SP). Cette strate contient 332,66 millions d'individus correspondant à une biomasse de 1 909,56 tonnes. Cela représente 60 % de l'abondance totale et 66 % de la biomasse totale de l'ensemble de la zone échantillonnée dans l'étang de Berre (Annexe 3). De plus, cette strate a les écarts types les plus importants pour les résultats moyens d'abondance et de biomasse, respectivement $300,33 \text{ ind.m}^{-2} \pm 275,86$ et $1 724 \text{ g.m}^{-2} \pm 1 674,48$ (Tableau 2).

Le détail des résultats de cette strate permet d'expliquer la particularité de la strate Sud-Ouest Profond (Tableau 3). Une des stations de cette strate a des densités très élevées par rapport aux autres stations, c'est la station SP2 avec des densités supérieures à 2 000 ind.m⁻². Cette station représente ainsi à elle seule **93 % de l'abondance totale** de la strate SP et **98 % de sa biomasse totale**. Pourtant, à l'échelle de la strate, la station SP2 représente seulement 0,18 % de la superficie de la strate SP.

Le phénomène observé sur la station SP2 met en évidence la répartition en patch des palourdes japonaises dans le sédiment (Beninger et Boldina 2014). De plus, cette station est la moins profonde de la strate (2,2 m) ce qui peut également expliquer ces fortes densités par rapport aux autres stations profondes de cette strate (Tableau 3).

Tableau 3. Détails des résultats d'effectifs et de biomasse de la strate SP échantillonnées le 22 mai 2019.

Site	Profondeur (m)	Réplikat	Nombre de palourdes par quadrat (0.25 m ²)	Effectif (nombre de palourdes.m ⁻²)	Biomasse (g.m ⁻²)
SP0	2,8	1	0	0	0
SP0	2,8	2	0	0	0
SP0	2,8	3	0	0	0
SP1	3,6	1	0	0	0
SP1	3,6	2	1	4	0,97
SP1	3,6	3	0	0	0
SP10	3,8	1	14	56	47,82
SP10	3,8	2	13	52	51,71
SP10	3,8	3	8	32	30,20
SP2	2,2	1	509	2 036	13 271,24
SP2	2,2	2	555	2 220	13 795,31
SP2	2,2	3	618	2 472	13 516,88
SP3	2,6	1	22	88	9,99
SP3	2,6	2	9	36	19,91
SP3	2,6	3	53	212	632,06
SP7	2,6	1	0	0	0
SP7	2,6	2	0	0	0
SP7	2,6	3	0	0	0
SP8	3,9	1	0	0	0
SP8	3,9	2	0	0	0
SP8	3,9	3	0	0	0
SP9	2,5	1	0	0	0
SP9	2,5	2	0	0	0
SP9	2,5	3	0	0	0

4. Conclusion

Pendant la campagne d'étude des stocks de 2019, la densité moyenne en palourdes japonaises était de **33,59 ind.m⁻² ± 73,14** pour la zone échantillonnée entre 0 et 5 m soit 38,78 km² (Tableau 2). L'abondance totale était de **552,07 millions d'individus ± 75,02** représentant une biomasse de **2 903,62 tonnes ± 432,68** (Annexe 3).

En comparaison, l'abondance totale en palourde japonaise en 2014 dans le golfe du Morbihan était de 61 millions d'individus pour une biomasse de 692 tonnes. La même année, dans le bassin d'Arcachon, l'abondance totale en palourdes (japonaise, européenne et jaune) était de 2 264 millions d'individus représentant 7 138 tonnes sur les 51,86 km² échantillonnés (Sanchez *et al.* 2014). Ces dernières années, ces deux sites comptent pour 80 % de la production française en palourde (De Montaudouin *et al.* 2016).

L'histogramme de fréquence de taille pour *Ruditapes philippinarum* dans l'étang de Berre montre clairement la présence de deux cohortes : une prédominante entre 28 et 34 mm et l'autre entre 6 et 12 mm (Figure 4). Cette seconde cohorte laisse supposer un événement de reproduction lors de l'année précédente appuyé par la présence d'une abondance totale en juvéniles (individus mesurant moins de 17 mm) de **106,78 millions ± 10,52** correspondant à **19 % du stock total** (Annexe 4). Dans la lagune de Venise, les palourdes japonaises mettent 8 à 10 mois pour passer de 5 - 10 mm à 25 - 40 mm, grâce à la forte concentration en nourriture (Bartoli *et al.* 2016). En supposant une croissance identique dans l'étang de Berre, cette seconde cohorte pourrait donc mesurer plus de 30 mm d'ici le printemps 2020. Cette hypothèse devra être vérifiée *via* les expériences de croissance actuellement en cours dans l'étang de Berre.

En 2019, l'abondance totale de palourdes supérieures à 30 mm (maille en vigueur lorsque la pêche était autorisée dans l'étang⁹) était de **193,05 ± 29,63 millions**. Cette fraction potentiellement exploitable représentait 39 % du stock des strates du bord (entre 0 et 2 m) et 33 % des strates profondes (entre 2 et 5 m). Les palourdes japonaises peuvent se reproduire à partir de 20 mm, et plus un individu est gros, plus sa reproduction est importante et efficace (Ivell , 1981 *in* Dang 2009 ; Holland et Chew 1974). Ce stock d'individus de taille supérieure à 30 mm permettra aux palourdes japonaises de recoloniser le milieu dans les années à venir.

D'après les relevés du GIPREB en 2017 (avant l'ouverture de la pêche à pied aux professionnels), le stock exploitable par les pêcheurs (entre 0 et 2 m) était estimé à 2 200 tonnes (GIPREB, *com. interne*) alors qu'au printemps 2019, il était de **582,26 tonnes ± 78,21** (Annexe 4). Cette **diminution de plus de 73 %** de la biomasse exploitable en deux ans peut en grande partie s'expliquer par la crise anoxique qu'a subi l'étang de Berre durant l'été et l'automne 2018 (GIPREB 2018). Cette crise est due à un « effet cocktail » de plusieurs facteurs : 1) Des apports d'eaux douces et de nutriments importants en 2018 *via* les rejets de la centrale hydroélectrique d'EDF (Figure 1) et la pluviométrie entraînant une stratification verticale (avec en surface une couche d'eau douce et en profondeur une couche d'eau salée) ; 2) Un été très chaud, orageux et surtout sans vent ne permettant pas le mélange des deux masses d'eau (douce et salée) ; 3) La présence de ces deux couches d'eau a limité les échanges d'oxygène entre l'atmosphère et la couche d'eau salée en profondeur ; et 4) La forte densité en palourdes japonaises en 2018 a entraîné une demande très importante en oxygène ce qui a accéléré

la propagation de l'anoxie aux zones côtières. Cette crise écologique a causé la fermeture de la pêche à pied dans l'étang de Berre¹⁰, due à des mortalités très importantes et à une volonté de préservation du stock ayant survécu à cette crise.

Le peuplement de palourdes entre 0 et 5 m de profondeur est globalement très faible : dans la majorité des stations (plus de 57 %), une densité nulle a été observée (Figure 7). La distribution spatiale des palourdes japonaises dans l'étang de Berre est **très contrastée** et met en évidence la répartition en patch des palourdes (Beninger et Boldina 2014). Il y a quelques zones de très fortes densités comme la zone de Caderaou, Varage/Massane, Romaniquette ou encore l'embouchure de la Touloubre (Figure 7). 80 % des palourdes trouvées au cours de cette étude l'ont été sur seulement 10 stations (soit 4.23 % des 236 stations).

Afin de suivre l'évolution du stock dans l'étang de Berre, il semble important de refaire une étude de ce type assez régulièrement. Ce protocole étant assez lourd à mettre en place, quelques strates d'intérêt vont être sélectionnées pour être suivies tous les 6 mois et ainsi suivre la recolonisation des palourdes japonaises.

⁹ Arrêté du 29 janvier 2013 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2012

¹⁰ Arrêté n° R93-2018-08-31-0004 du 31 août 2018

Bibliographie

- Aliaume, C., Fernandez, C., Forget, P., Gramaglia, C., Grillas, P., Fiandrino, A., Nerini, D., Meule, S., Radakovitch, O., Stora, G., Truilhe-Marengo, E. and Verlaque, M. 2011. *Lagun'r - Rencontres scientifiques autour de l'étang de Berre*. 14>15 mars 2011 au forum, Technopôle de l'environnement Arbois-Méditerranée.
- Audry, E. 2015. Évaluation du stock des bivalves fouisseurs sur la bordure côtière de l'étang de Berre. Mémoire de fin d'étude - Master 2. Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand).
- Bartoli, M., Castaldelli, G., Nizzoli, D., Fano, E. A. and Viaroli, P. 2016. Manila clam introduction in the Sacca di Goro Lagoon (Northern Italy): ecological implications. 42, 43–52.
- Beninger, P. G. and Boldina, I. 2014. Fine-scale spatial distribution of the temperate infaunal bivalve *Tapes (= Ruditapes) philippinarum* (Adams and Reeve) on fished and unfished intertidal mudflats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **457**, 128–34.
- Bernard, G. 2007. Changements à long terme des peuplements de magnoliophytes d'un étang sous forte influence anthropique : l'étang de Berre (Méditerranée, France). Université de Marseille (Aix-Marseille II) - Centre Océanologie de Marseille Marseille.
- Berthou, P., Huet, J., Noël, P., Jezequel, M. and Fifas, S. 1997. Etude de la pecherie de palourdes du golfe du Morbihan. IFREMER.
- Bertignac, M., Auby, I., Foucard, J., Martin, S., De Montaudouin, X. and Sauriau, P.-G. 2001. Évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon. DRVIRHIRST/2001/05. IFREMER.
- Caill-Milly, N., de Casamajor, M.-N., Lissardy, M., Sanchez, F. and Morandeau, G. 2003. Évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon. IFREMER.
- Dang, C. 2009. Dynamique des populations de palourdes japonaises (*Ruditapes philippinarum*) dans le bassin d'Arcachon : conséquences sur la gestion des populations exploitées. Bordeaux 1.
- De Montaudouin, X., Arzul, I., Caill-Milly, N., Khayati, A., Labrousse, J.-M., Lafitte, C., Paillard, C., Soudant, P. and Gouletquer, P. 2016. Asari clam (*Ruditapes philippinarum*) in France: history of an exotic species 1972 – 2015. 42, 35–42.
- Dérian, F. 2015. Palourdes européennes et japonaises : une synthèse bibliographique. Life+ Europe.
- Deslous-Paoli, J.-M. 1996. Mise en Valeur des Lagunes Méditerranéennes. ATELIER : Lagunes Méditerranéennes. Programme national d'Océanographie Côtière.
- GIPREB 2018. Crise anoxique et eutrophique de l'étang de Berre - Eté Automne 2018. Par Vincent Faure.
- GIPREB 2015. Observatoire du milieu - Bilan annuel des opérations 2015.
- GIPREB 2012. *Restaurer l'étang de Berre – Dossier définitif du contrat d'étang (tome 1)*.
- Holland, D. A. and Chew, K. K. 1974. Reproductive cycle of the Manila clam (*Venerupis japonica*) from Hood Canal, Washington. *Proceedings of the National Shellfisheries Association*, **64**, 53–58.
- Mahé, M. 2017. Les palourdes japonaises dans l'étang de Berre : amélioration des connaissances et mise en place d'indicateurs de gestion de la pêche. GIPREB.
- Mirallès, F. and Brach-Papa, C. 2017. Etudes sanitaires du cordon du Jaï et de l'Etang de Berre - Rapport provisoire. RST.ODE/UL/LER-PAC/17-01. IFREMER, Département des Bouches du Rhône.
- Sanchez, F., Caill-Milly, N., Lissardy, M. and Bru, N. 2014. Campagne d'évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon. IFREMER.

Réglementations

Par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. **Arrêté du 29 janvier 2013 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2012 déterminant la taille minimale ou le poids minimal de capture des poissons et autres organismes marins (pour une espèce donnée ou pour une zone géographique donnée) effectuée dans le cadre de la pêche maritime de loisir.** NOR : TRAM1240353A. JORF n°0045 du 22 février 2013 page 3024 texte n° 28 [en ligne] Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027093867&categorieLien=id> (consulté le 24 janvier 2017).

Par le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Préfet des Bouches du Rhône, Officier de la Légion d'Honneur, Chevalier de l'Ordre National du Mérite. **Arrêté n°353 du 11 juin 2015 portant encadrement des activités de pêche maritime de loisir des coquillages sur le littoral ainsi que dans les lagunes et étangs compris dans la limite de salure des eaux du département des Bouches-du-Rhône.** [en ligne] Disponible sur : <http://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20150612101033676.pdf> (consulté le 24 janvier 2017).

Par le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de PACA. **Délibération n°40/2017 du 14 décembre 2017 fixant la liste des titulaires de la licence de pêche à pied professionnelle de coquillages dans l'étang de Berre pour la période allant de l'ouverture de la pêche en janvier 2018 au 30 avril 2018.**

Par le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur Préfet de la zone de défense et de sécurité Sud, Préfet des Bouches du Rhône. **Arrêté n° R93-2018-01-30-001 du 30 janvier 2018 portant encadrement des activités de pêche maritime professionnelle et de loisir des bivalves fouisseurs sur le littoral de l'étang de Berre et hors des limites administratives du Grand Port Maritime de Marseille** [en ligne] Disponible sur : http://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur/content/download/41474/277786/file/Recueil-r93-2018-013_2%20f%C3%A9vrier%202018.pdf (consulté le 10 mai 2018)

Par le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur Préfet de la zone de défense et de sécurité Sud, Préfet des Bouches du Rhône. **Arrêté n° R93-2018-01-31-001 du 31 janvier 2018 rendant obligatoire une délibération du Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins de Provence-Alpes-Côte d'Azur fixant la liste des titulaires de la licence de pêche à pied professionnelle de coquillages dans l'étang de Berre jusqu' au 30 avril 2018** [en ligne] Disponible sur : http://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur/content/download/41474/277786/file/Recueil-r93-2018-013_2%20f%C3%A9vrier%202018.pdf (consulté le 10 mai 2018)

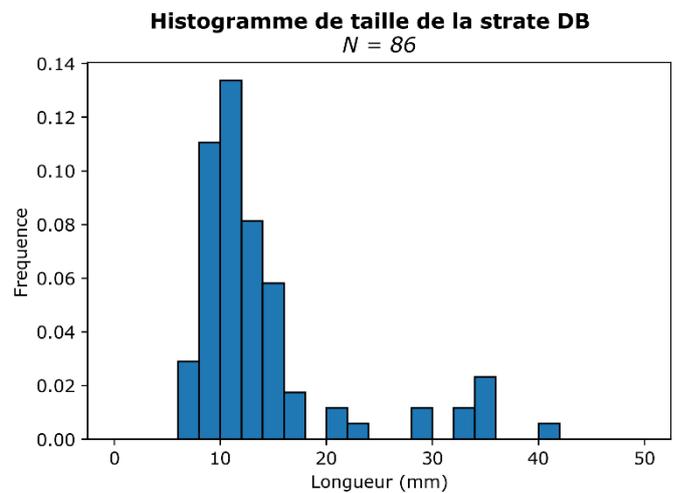
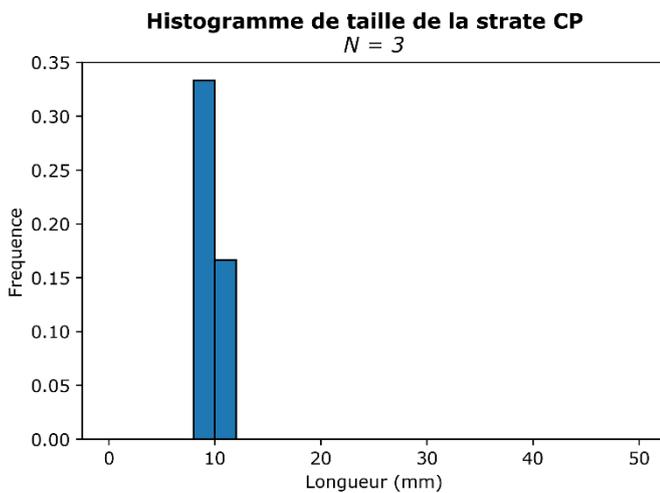
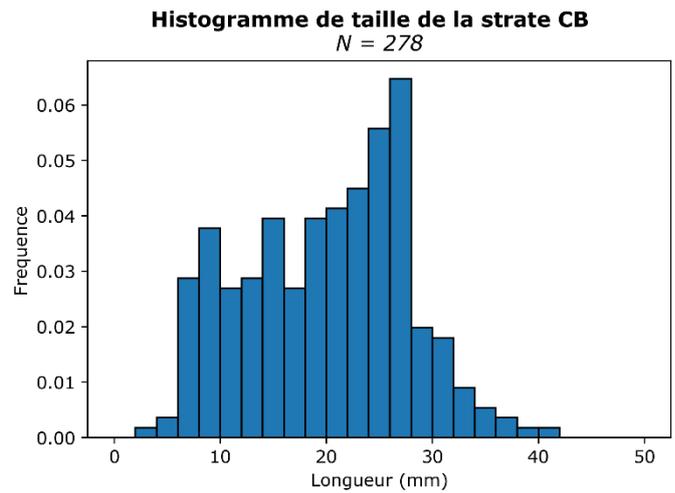
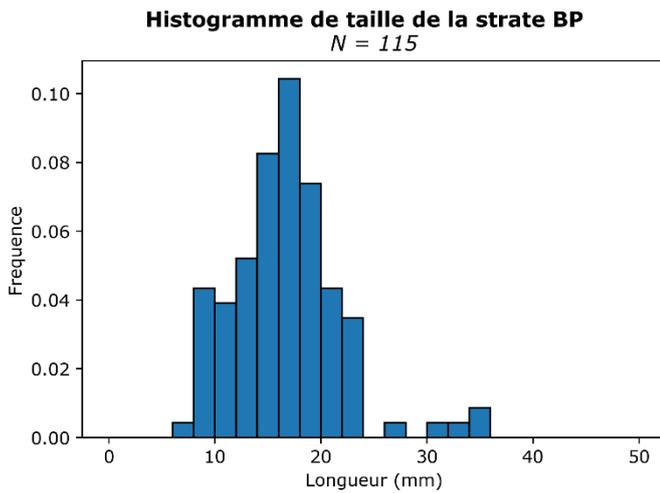
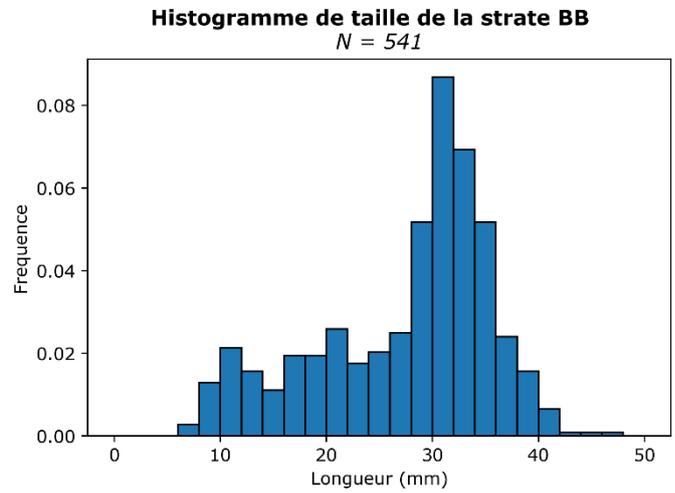
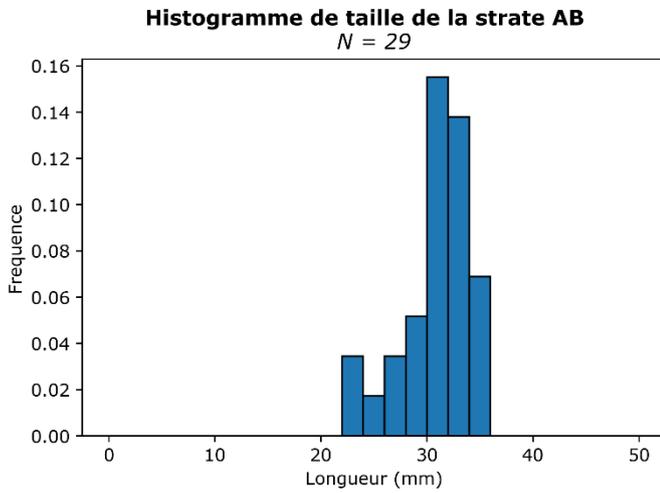
Par le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de PACA. **Délibération n°07/2018 du 26 avril 2018 fixant la liste des titulaires de la licence de pêche à pied professionnelle de coquillages dans l'étang de Berre pour la période du 1^{er} mai 2018 au 30 avril 2019.**

Par le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur Préfet de la zone de défense et de sécurité Sud, Préfet des Bouches du Rhône. **Arrêté n°R93-2018-05-07-001 du 7 mai 2018 rendant obligatoire une délibération du Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins de Provence-Alpes-Côte d'Azur fixant la liste des titulaires de la licence de pêche à pied professionnelle de coquillages dans l'étang de Berre du 1er mai 2018 jusqu'au 30 avril 2019** [en ligne] Disponible sur : http://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur/content/download/45686/304227/file/recueil-r93-2018-041_11%20mai%202018.pdf (consulté le 14 mai 2018)

Par le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur Préfet de la zone de défense et de sécurité Sud, Préfet des Bouches du Rhône. **Arrêté n° R93-2018-08-31-0004 du 31 août 2018 portant l'interdiction de la pêche maritime professionnelle et de loisir des bivalves fouisseurs sur le littoral de l'étang de Berre et hors des limites administratives du Grand Port Maritime de Marseille** [en ligne] Disponible sur : http://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur/content/download/49886/330198/file/Recueil-r93-2018-103_11%20septembre%202018.pdf (consulté le 17 septembre 2018)

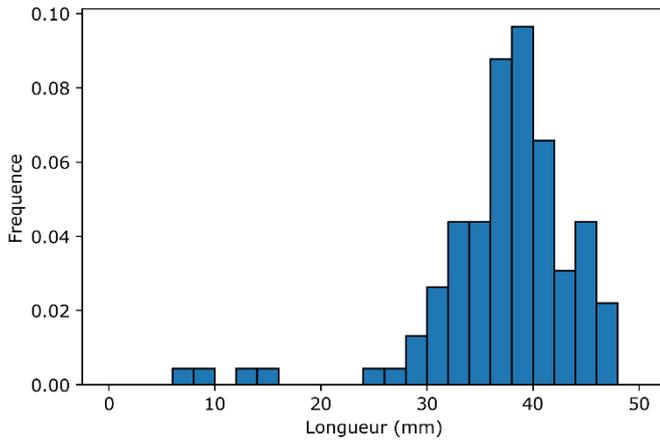
Annexes

Annexe 1. Histogramme de fréquence de taille par strate



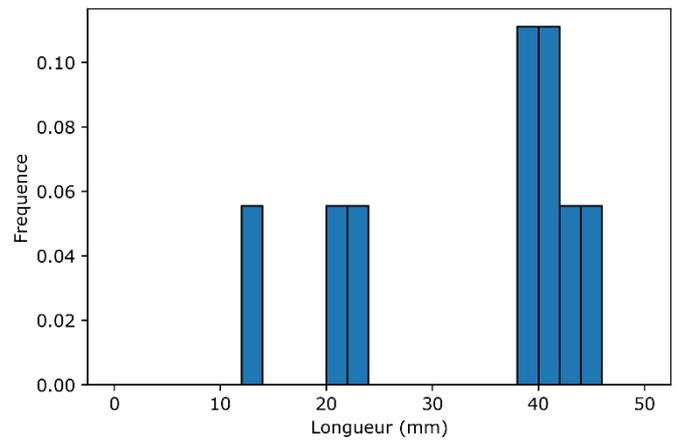
Histogramme de taille de la strate JB

N = 114



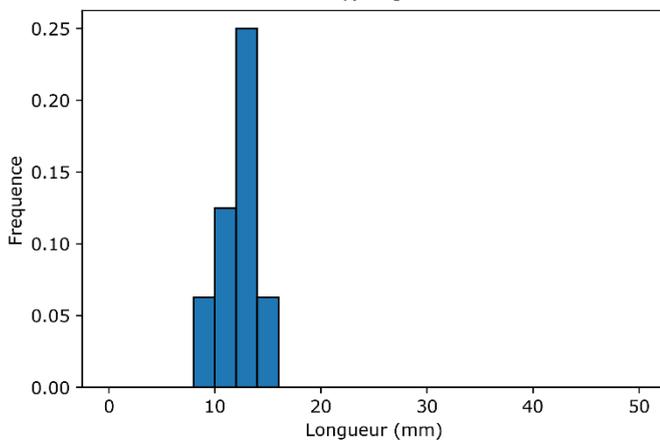
Histogramme de taille de la strate JP

N = 9



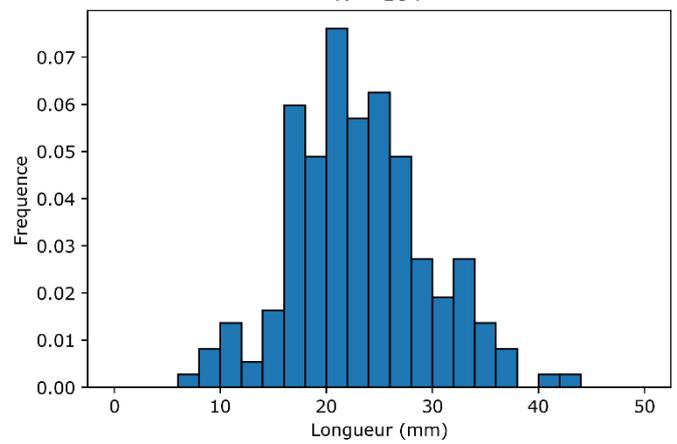
Histogramme de taille de la strate MP

N = 8



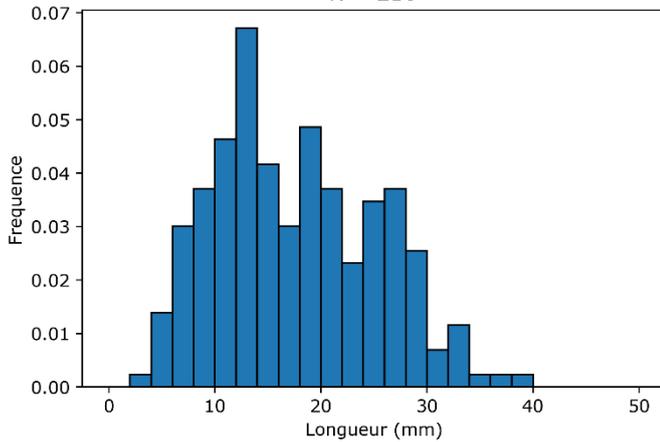
Histogramme de taille de la strate NB

N = 184



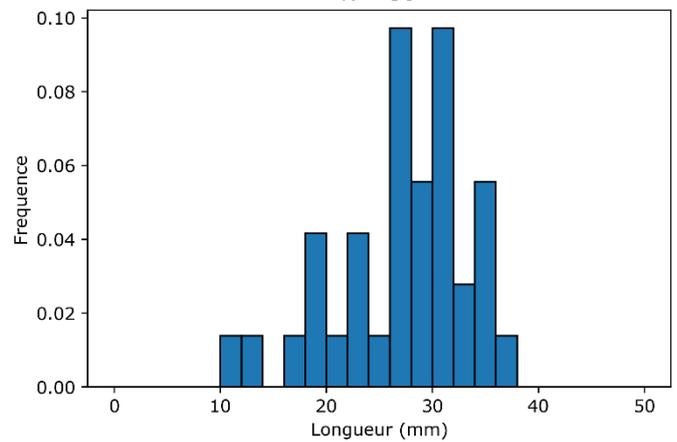
Histogramme de taille de la strate NP

N = 216



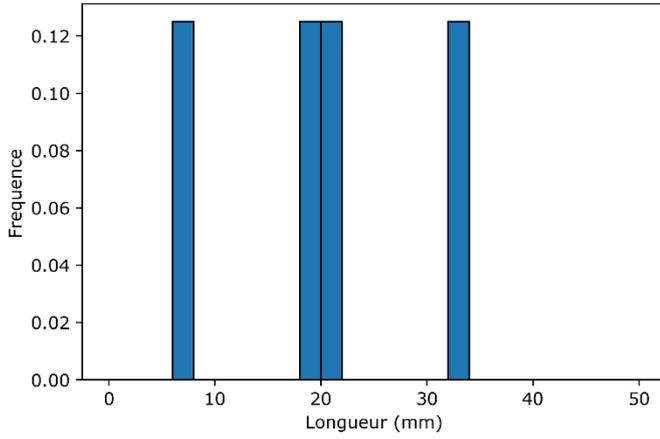
Histogramme de taille de la strate PB

N = 36



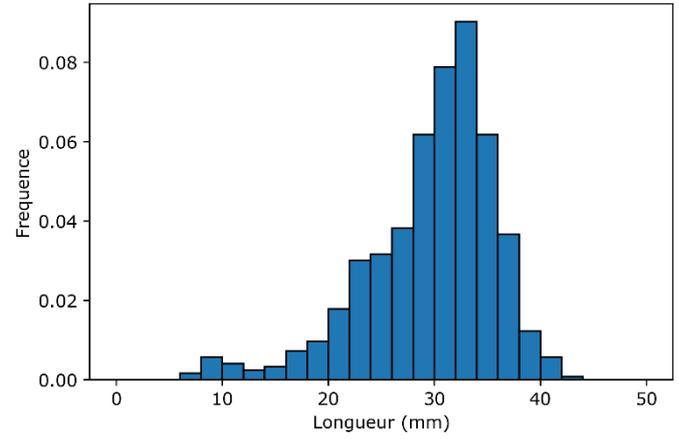
Histogramme de taille de la strate PP

N = 4



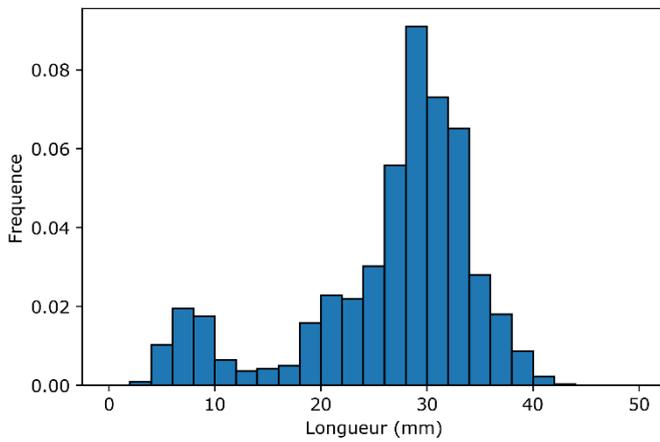
Histogramme de taille de la strate SB

N = 615



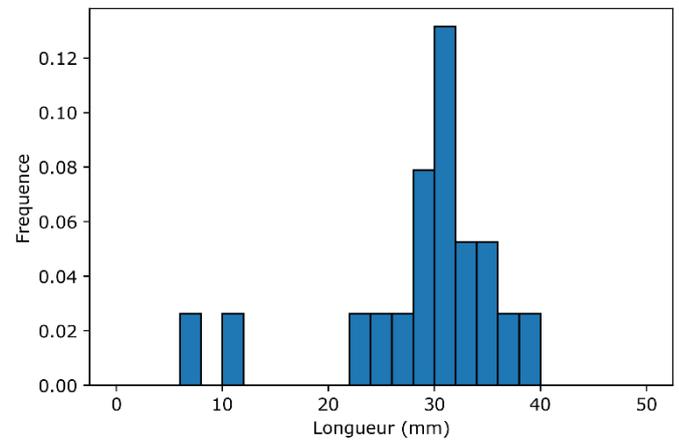
Histogramme de taille de la strate SP

N = 1802



Histogramme de taille de la strate VP

N = 19



Evaluation directe des mollusques bivalves Echantillonnage stratifié à deux niveaux

Spyros FIFAS, Patrick BERTHOU et Michèle JEZEQUEL
DRV RH Brest

L'échantillonnage est stratifié et comporte deux niveaux ; les strates sont spatiales, les unités primaires et secondaires sont de taille constante.

Taux d'échantillonnage.

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

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

avec :

n_h = nombre de points dans la strate.

S_h = surface totale de la strate.

R = rayon d'activité du bateau océanographique autour des coordonnées du point moyen demandé ("point théorique"). On suppose, en fait, que le navire travaille dans un cercle autour d'un point. Ce rayon est une fonction croissante de la longueur du bateau et de la fiabilité des moyens de navigation mis en oeuvre (GPS, SYLEDIS, etc.) ; le rôle du patron (aptitude de navigation, adaptation aux appareils, etc.) doit également intervenir, mais il est difficile à quantifier. En l'absence d'éléments précis, la valeur de ce rayon est fixée arbitrairement à 25 mètres.

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

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

avec :

k = nombre de bennes par point (ou station), fixé à 2.

Note : Ce taux d'échantillonnage n'est pas indiqué selon la strate h comme celui du premier niveau. On considère, en fait, par simplification, que la taille de l'échantillon unitaire (coup de benne ; 0,25 m²), le rayon d'activité du bateau autour du "point standard" et le nombre de coups de benne par point sont constants.

Nombre d'échantillons par niveau.

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

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

$$\text{Donc : } N_h = \frac{S_h}{\pi \cdot R^2}.$$

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

Deuxième niveau : le nombre potentiel d'unités d'échantillonnage est : $4 \cdot \pi \cdot R^2$.

Estimateurs.

Pour une strate h donnée, l'estimateur de l'effectif moyen ou de la biomasse moyenne sur 0,25 m², représenté par \bar{x}_h , est :

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

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

Pour le calcul d'une estimation de la variance associée, on fera appel aux notions d'espérance et de variance conditionnelles. La formulation générale du problème donne (E désigne l'espérance mathématique et V la variance) :

$$V(\Theta) = V_1[E_2(\Theta)] + E_1[V_2(\Theta)] \quad (5)$$

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

Le premier terme à droite de l'équation (5), $V_1[E_2(\bar{\Theta})]$, est :

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

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

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

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

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

donc :

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

Finalement, la variance de l'estimateur, $V(\bar{x}_h)$, est égale à :

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

Pour estimer cette variance à partir de l'échantillon existant, il est nécessaire de disposer d'une estimation non biaisée de s_{1h}^2 et s_{2h}^2 . On peut démontrer qu'un estimateur non biaisé de s_{1h}^2 est donné par :

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

Finalement, l'expression de la variance de l'estimateur, $V(\bar{x}_h)$, s'écrit :

$$\boxed{V(\bar{x}_h) = \left(1 - \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h}\right) \cdot \frac{s_{1h}^2}{n_h} + \frac{n_h \cdot \pi \cdot R^2}{S_h} \cdot \left(1 - \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot R^2}\right) \cdot \frac{s_{2h}^2}{k \cdot n_h}} \quad (12)$$

avec :

$$s_{1h}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (x_{ih} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1} \quad (13)$$

$$s_{2h}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^k (x_{ijh} - \bar{x}_{ih})^2}{n_h \cdot (k-1)} \quad (14)$$

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

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

La variance correspondante, $V(T)$, est égale à :

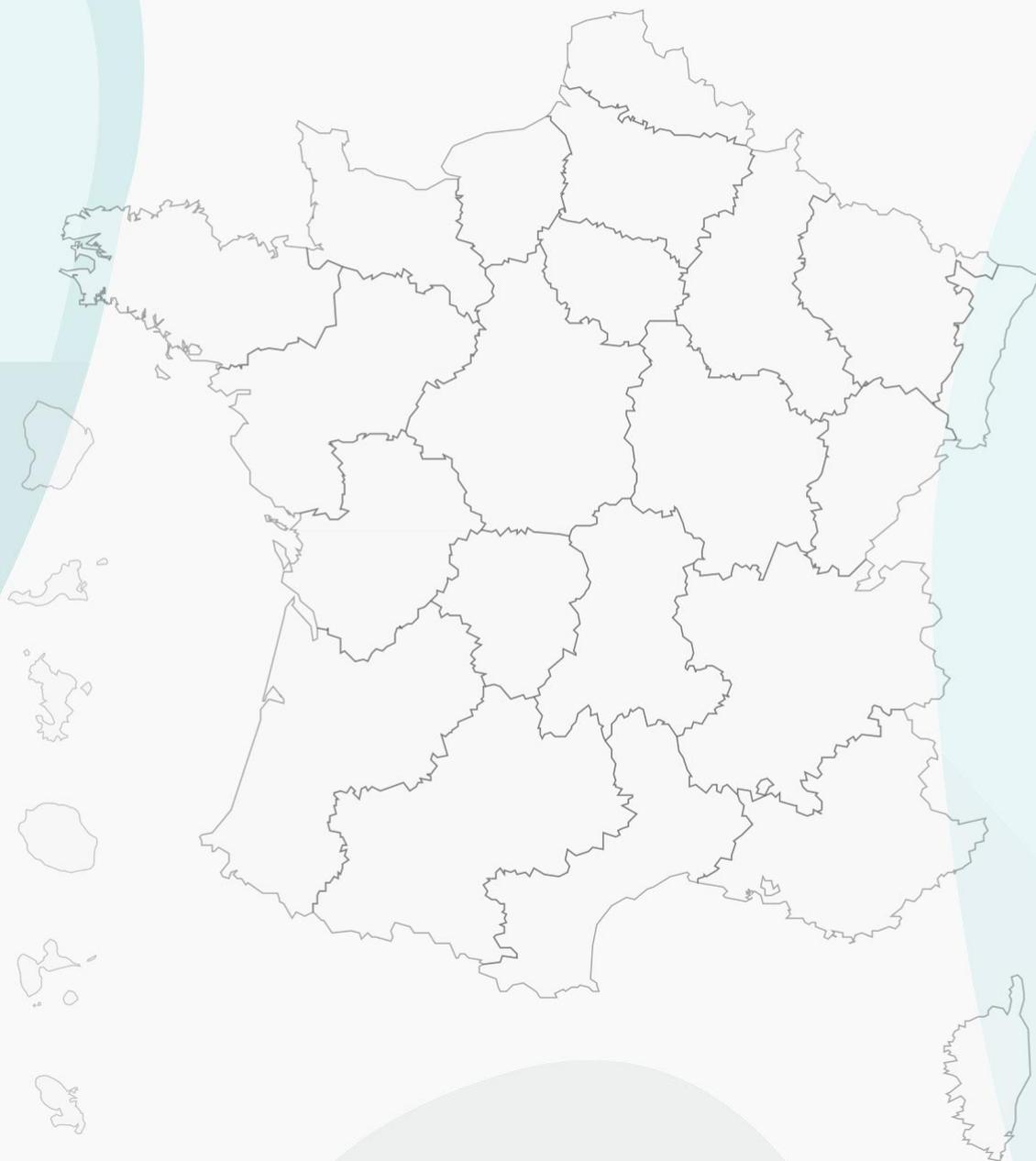
$$V(T_h) = 16 \cdot S_h^2 \cdot V(\bar{x}_h) \quad (16)$$

Annexe 3. Effectif (millions d'individus) et biomasse (tonnes) totaux par strate

	Nom	ID	Profondeur (m)	Effectif (millions d'individus)		Biomasse (tonnes)	
				Totale	σ	Totale	σ
Bord Superficie < 1 km ²	Rognac Bord	RB	0-2	0	0	0	0
	Aéroport Bord	AB	0-2	1,90	1,47	14,10	11,35
	Vaine nord est Bord	VB	0-2	0	0	0	0
	Merveille est Bord	MB	0-2	0	0	0	0
	Sud-ouest Bord	SB	0-2	38,65	33,32	278,35	238,75
	Nord-ouest Bord	NB	0-2	12,72	7,67	47,22	29,37
	Bouquet Bord	BB	0-2	36,58	18,59	233,10	108,48
	Jaï Bord	JB	0-2	7,87	2,81	110,02	38,86
	Délimonage Bord	DB	0-2	5,70	2,45	8,45	2,94
Bord Superficie > 1 km ²	Pointe Berre Bord	PB	0-2	4,80	2,95	27,45	20,50
	Anse Saint-Chamas Bord	CB	0-2	36,20	22,26	99,96	70,48
Profond Superficie < 5 km ²	Jaï Profond	JP	2-5	1,75	0,66	21,97	13,63
	Sud-ouest Profond	SP	2-5	332,66	305,56	1 909,56	1 854,71
	Bouquet Profond	BP	2-5	21,41	5,47	31,35	7,43
	Nord-ouest Profond	NP	2-5	42,13	20,36	88,22	56,22
	Vaine sud Profond	VP	2-5	3,69	3,28	25,54	25,30
Profond Superficie > 5 km ²	Anse Saint-Chamas Profond	CP	2-5	0,93	0,52	0,20	0,11
	Merveille Profond	MP	2-5	2,95	1,27	1,34	0,63
	Pointe Berre Profond	PP	2-5	2,14	1,26	6,79	5,00
				Totale	σ	Totale	σ
				552,07	75,02	2 903,62	432,68

Annexe 4. Effectif (millions d'individus) et biomasse (tonnes) totaux par strate sur les palourdes supérieures à 30 mm et inférieures à 17 mm

	Nom	ID	PALOURDES SUPERIEURES A 30 MM				PALOURDES INFERIEURES A 17 MM			
			Effectif (10 ⁶)		Biomasse (tonnes)		Effectif (10 ⁶)		Biomasse (tonnes)	
			Totale	σ	Totale	σ	Totale	σ	Totale	σ
Bord Superficie < 1 km ²	Rognac Bord	RB	0	0	0	0	0	0	0	0
	Aéroport Bord	AB	1,38	0,95	11,63	8,14	0	0	0	0
	Vaine nord est Bord	VB	0	0	0	0	0	0	0	0
	Merveille est Bord	MB	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sud-ouest Bord	SB	22,06	18,12	213,62	171,49	1,51	0,84	0,66	0,35
	Nord-ouest Bord	NB	1,87	2,29	18,40	23,64	2,00	1,69	1,46	1,32
	Bouquet Bord	BB	18,80	10,76	182,17	104,64	5,61	4,14	2,96	2,26
	Jaï Bord	JB	7,25	2,68	108,17	38,12	0,28	0,35	0,11	0,15
	Délimonage Bord	DB	0,46	0,48	5,29	5,11	4,77	2,15	1,76	0,78
Bord Superficie > 1 km ²	Pointe Berre Bord	PB	1,87	1,40	16,71	12,48	0,40	0,54	0,25	0,43
	Anse Saint-Chamas Bord	CB	2,86	2,14	26,27	20,78	13,28	6,70	5,89	3,72
Profond Superficie < 5 km ²	Jaï Profond	JP	1,17	1,22	20,91	22,20	0,19	0,60	0,09	0,27
	Sud-ouest Profond	SP	129,78	119,83	1 183,53	1 096,72	42,46	23,86	8,81	5,72
	Bouquet Profond	BP	0,74	0,91	6,81	8,29	10,80	3,26	6,25	1,99
	Nord-ouest Profond	NP	2,15	2,14	20,01	19,67	20,67	7,75	8,22	3,37
	Vaine sud Profond	VP	2,14	2,07	19,54	18,92	0,39	0,57	0,07	0,11
Profond Superficie > 5 km ²	Anse Saint-Chamas Profond	CP	0	0	0	0	0,93	1,58	0,20	0,33
	Merveille Profond	MP	0	0	0	0	2,95	2,24	1,34	1,03
	Pointe Berre Profond	PP	0,53	1,61	4,62	13,93	0,53	1,61	0,06	0,18
			Totale	σ	Totale	σ	Totale	σ	Totale	σ
			193,05	29,63	1 837,69	270,42	106,78	10,52	38,13	2,97



Pour en savoir plus

<https://etangdeberre.org/>

Contact

Gipreb Syndicat Mixte
Cours Mirabeau
13130 Berre l'étang
04 42 74 15 51
gipreb@gmail.com