

Evaluation de l'état du peuplement de palourdes dans l'étang de Berre

Campagne intermédiaire 2019 – 2020

Décembre 2020 – Version 1.0

Mathilde Mahé, Nicolas Mayot et Raphaël Grisel



Ce rapport présente les campagnes intermédiaire d'évaluation de l'état du peuplement de palourdes, qui font suite à la première évaluation du peuplement de palourdes japonaises dans l'étang de Berre réalisé au printemps 2020. Quelques strates d'intérêts ont été sélectionnées afin d'être échantillonnées régulièrement pour permettre de suivre la recolonisation des palourdes japonaises.

Ces strates sont les strates Jaï Bord (JB), Jaï Profond (JP), Sud-Ouest Bord (SB) et Sud-Ouest Profond (SP) qui représentaient 69 % de l'abondance totale, soit 381 millions d'individus (sur 552) et 80 % de la biomasse totale, soit 2 320 tonnes (sur 2 904) lors de la campagne d'évaluation de l'état du peuplement de palourdes du printemps 2019.

Ces strates ont été suivies de manière régulière en décembre 2019, juin 2020 et septembre 2020. Ces échantillonnages ont permis de suivre l'évolution des cohortes au sein de ces strates. De plus, une estimation de l'évolution du peuplement de palourdes au sein de l'étang a pu être calculé à partir de ces strates d'intérêt.



Citation

Mahé, M., Mayot, N. and Grisel, R. 2020. Evaluation de l'état du peuplement de palourdes dans l'étang de Berre. Campagne intermédiaire 2019 – 2020. Version 1.0 (décembre 2020) - GIPREB.

Sommaire

1.	Contexte de l'étude.....	1
2.	Matériels et méthodes	3
2.1.	<i>Choix des strates d'intérêt.....</i>	3
2.2.	<i>Période de prélèvement.....</i>	4
3.	Résultats.....	6
3.1.	<i>Remarques générales</i>	6
3.2.	<i>Histogramme des fréquences de taille</i>	7
3.3.	<i>Densité et biomasse moyenne.....</i>	7
3.4.	<i>Abondance et biomasse totale.....</i>	10
3.5.	<i>Evolution du peuplement en fonction de la classe de taille.....</i>	12
3.6.	<i>Estimation du peuplement à l'échelle de l'étang</i>	13
3.7.	<i>Cas de la strate Bouquet Bord (BB)</i>	16
4.	Conclusion	17
	Références bibliographiques.....	19
	Réglementations	20
	Annexes	23

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 grands systèmes lagunaires 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).

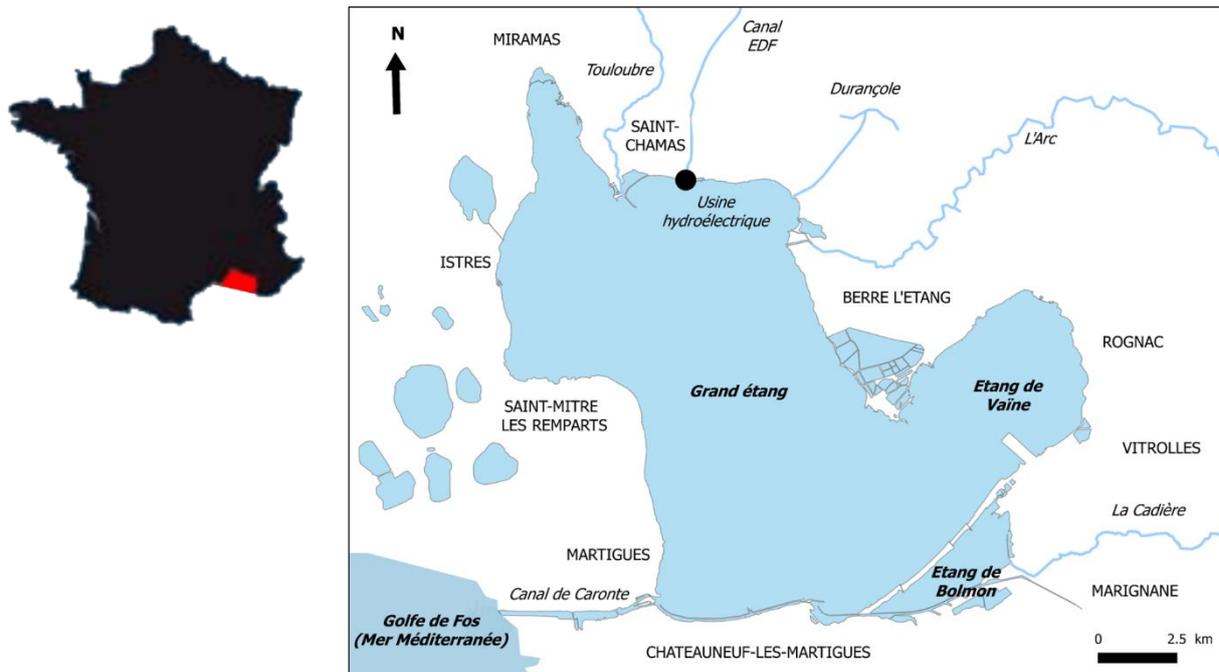


Figure 1. Carte de situation de l'étang de Berre

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). Depuis 1966, le fonctionnement de l'écosystème de l'étang est fortement dégradé par une usine hydroélectrique d'EDF, localisée 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, suite à un contentieux avec l'Union Européenne, la France a été contrainte à imposer à l'usine hydroélectrique d'EDF de nouveaux quotas de rejets. Depuis 2006, ces rejets ont donc 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 ces nouvelles normes, avec notamment l'augmentation moyenne de la salinité sur la bordure

côtière. 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 alors 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 mm ^[2]. Cette même étude a également mis en évidence que la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* représentait la quasi-totalité du peuplement de palourdes de la lagune. A notre connaissance, aucune autre espèce de palourde n'a été observée dans l'étang depuis.

Audry (2015) a montré que les populations de palourdes de l'étang de Berre représentent un stock ^[3] suffisant et favorable pour permettre une ouverture de la pêche professionnelle. À la suite de ces études et sur demande des pêcheurs professionnels du pourtour de l'étang de Berre, le GIPREB et la DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) se sont engagés dans l'étude des 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'analyses bactériologiques (*Escherichia coli*) et chimiques (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 2018 ^[4]. De février à mai, le nombre de pêcheurs ayant la licence était de 60 ^[5]. A partir de mai, ils étaient 95 pêcheurs professionnels ^[6].

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 ; 2) un été très chaud, orageux et surtout sans vent ne permettant pas le mélange des deux masses d'eau ; 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 mortalité de la macrofaune, notamment des palourdes japonaises, a entraîné une demande très importante en oxygène pour dégrader cette matière organique, ce qui a accéléré la propagation de l'anoxie aux zones côtières. Les premières investigations fin août ont montré un impact fort sur le peuplement, avec une disparition quasi-totale des palourdes en profondeur (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 ^[7].

¹ Arrêté n°353 du 11 juin 2015

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

³ Le stock représente « la partie exploitable de la population d'une espèce dans une zone donnée. Le stock ne comprend ni les œufs, ni les larves, ni les juvéniles n'ayant pas atteint une taille suffisante pour être capturés » (IFREMER 2018)

⁴ Arrêté n°R93-2018-01-30-001 du 30 janvier 2018

⁵ Arrêté n° R93-2018-01-31-001 du 31 janvier 2018 et Délibération n°40/2017 du 14 décembre 2017

⁶ Arrêté n°R93-2018-05-07-001 du 7 mai 2018 et Délibération n°07/2018 du 26 avril 2018

⁷ Arrêté n° R93-2018-08-31-0004 du 31 août 2018

Au printemps 2019, le GIPREB a mené une campagne d'évaluation du peuplement de palourdes de grande envergure : 238 stations ont été suivies entre 0 et 5 m de profondeur correspondant à 38,78 km² (Mahé *et al.* 2019). Au-delà de 5 m de profondeur, le peuplement de palourdes japonaises étaient considéré comme décimé, suite à la crise écologique de 2018 (GIPREB 2018). Le but était de faire un inventaire de l'état des populations sur la bordure côtière après la crise, et également d'avoir un état zéro permettant de suivre la recolonisation. La densité moyenne en palourdes japonaises était de 34 ind.m⁻² ± 73 ^[8]. L'abondance totale était de 552 millions d'individus ± 75 représentant une biomasse de 2 904 tonnes ± 433 sur la bordure côtière entre 0 et 5 m de profondeur.

A la suite de cette première évaluation du peuplement, il semblait important de refaire des campagnes de ce type régulièrement. Le premier protocole étant assez lourd à mettre en place, quelques strates d'intérêt ont été sélectionnées pour être suivies tous les 6 mois.

L'objectif de cette présente étude est de suivre la recolonisation des palourdes japonaises dans l'étang de Berre à partir de quelques strates d'intérêt et représentative du peuplement global.

2. Matériels et méthodes

Le protocole utilisé lors de cette étude est le même que pour la campagne de l'évaluation de l'état du peuplement de palourdes du printemps 2019 (Mahé *et al.* 2019 ; Annexe 1)

2.1. Choix des strates d'intérêt

Lors de la campagne précédente, 19 strates ont été échantillonnées (Annexe 1) pour un total de 21 jours de terrain (Mahé *et al.* 2019). Pour la présente étude, plusieurs strates ont été sélectionnées pour des critères de proximité des agglomérations urbaines et de la pression de la pêche (loisir et professionnelle) lorsque celle-ci était ouverte.

La strate Jaï Bord (JB) a été échantillonnée afin de suivre l'évolution du peuplement de palourdes et notamment l'effet de la pêche à pied. C'est sur cette strate que la pression de pêche était la plus forte, autant par les pêcheurs de loisir que les professionnels (GIPREB, *com. interne*). Située entre les villes de Marignane et de Châteauneuf-Les-Martigues, cette zone est une des plus facilement accessible par la population et très fréquentée par les vacanciers et les pêcheurs. Cette plage a un dénivelé très faible, ce qui laisse une zone de pêche très large (environ 0,6 km²).

Par extension, la strate de Jaï Profond (JP) a également été choisie. Lors de l'ouverture de la pêche, les zones profondes (entre 2 et 5 m) étaient considérées comme des zones réserves. En effet, dans l'étang de Berre, la pêche à la palourde était seulement de la pêche à pied ^[9]. Les zones au-delà de 2 m étaient considérées comme inaccessibles pour les pêcheurs.

La strate Sud-Ouest Profond (SP) a été sélectionnée puisque lors de l'échantillonnage du printemps 2019 (Mahé *et al.* 2019), elle représentait 60 % de l'abondance totale et 66 % de la biomasse totale de l'ensemble de la zone échantillonnée dans l'étang de Berre. Ces résultats étaient

⁸ Pour faciliter la lecture de ce rapport, le choix a été fait de simplifier les résultats et de ne présenter que des nombres entiers (moyenne ± écart-type). Les chiffres exacts sont dans les tableaux de données. La plupart des écarts-types ont également été supprimés dans le texte pour cette même raison, et sont disponible dans les tableaux de données.

⁹ Arrêté n°R93-2018-01-30-001 du 30 janvier 2018

particulièrement dus à une station qui avait des densités supérieures à 2 000 ind.m⁻². Cette station représentait ainsi à elle seule 93 % de l'abondance totale de la strate SP et 98 % de sa biomasse totale.

Par proximité avec la strate SP, la strate Sud-Ouest Bord (SB) a aussi été échantillonnée. Lors de l'ouverture de la pêche, cette zone n'avait pas une pression de pêche importante en raison de sa faible accessibilité au littoral malgré sa proximité avec les villes de Saint-Mitre Les Remparts et Martigues (GIPREB, *com. interne*).

Lors de la campagne du printemps 2019, ces quatre strates représentaient **69 % de l'abondance totale**, soit 381 millions d'individus (sur 552 millions) et **80 % de la biomasse**, soit 2 320 tonnes (sur 2 904 tonnes) (Mahé *et al.* 2019). Suivre ces quatre strates permet d'observer l'évolution du peuplement de palourdes en termes d'abondance et de biomasse sur la quasi-totalité de l'étang avec un effort d'échantillonnage réduit : 2 jours de terrain au lieu des 21 jours de terrain pour échantillonner l'ensemble de l'étang entre 0 et 5 mètres.

Le taux d'échantillonnage et l'emplacement des stations de ces strates pour cette étude ont été les mêmes que lors de la campagne d'évaluation de l'état du peuplement de palourdes menée au printemps 2019 (Tableau 1, Figure 2 ; Mahé *et al.* 2019)

2.2. Période de prélèvement

Ces quatre strates (JB, JP, SB et SP) ont été suivies régulièrement afin d'avoir une idée de l'évolution du peuplement de palourdes japonaises dans l'étang de Berre. Le premier échantillonnage est celui de la campagne du printemps 2019 (Mahé *et al.* 2019), il date de **mai 2019** (date précise des prélèvements dans le Tableau 2). Le deuxième échantillonnage a été fait en **décembre 2019**, 6 mois après le premier prélèvement.

Les pêcheurs professionnels ont souhaité, à la vue de l'augmentation de l'abondance entre mai 2019 et décembre 2019, la réouverture de la pêche à pied. Les nouvelles modalités de pêche stipulent une réouverture entre le 15 mars et le 31 mai, ainsi qu'entre le 15 octobre et le 31 décembre ^[10]. Ainsi, un échantillonnage début mars était prévu pour avoir une idée du peuplement de palourdes avant la réouverture de la pêche ; mais le contexte (épidémie de covid-19 et confinement) n'a pas permis de le réaliser. Un troisième échantillonnage a été réalisé après la première période de pêche, en **juin 2020**. Début **septembre 2020**, un quatrième échantillonnage a été effectué pour estimer l'évolution du peuplement après la période estivale, où la pêche professionnelle et de loisir étaient interdites, et avant la deuxième période de pêche, qui a débuté le 15 octobre 2020.

¹⁰ Arrêté n° R93-2020-04-06-001 du 6 avril 2020

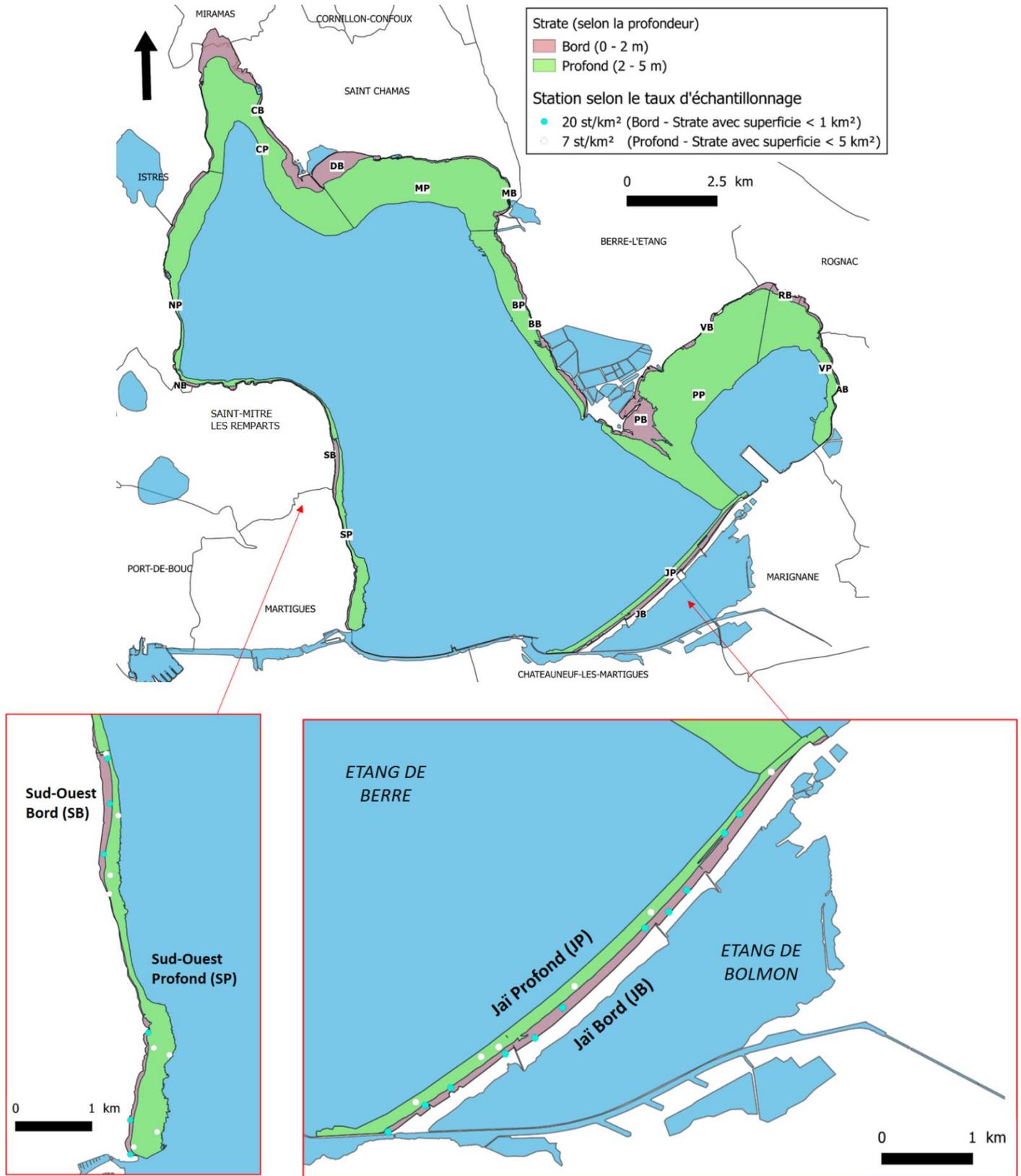


Figure 2. Carte présentant les strates pour la campagne 2019, et les strates d'intérêt suivis tous les 6 mois

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	Sud-ouest Bord	SB	0-2	0,283	6	20
	Jaï Bord	JB	0-2	0,569	11	20
Profond - Superficie < 5 km ²	Jaï Profond	JP	2-5	0,875	6	7
	Sud-ouest Profond	SP	2-5	1,108	8	7

Tableau 2. Date précise des journées de prélèvement en fonction des périodes d'échantillonnage et des strates.

Strate	Mai 2019	Décembre 2019	Juin 2020*	Septembre 2020
Jaï Bord (JB)	24/05/2019	03/12/2019	23/06/2020	14/09/2020
Jaï Profond (JP)	24/05/2019	03/12/2019	23/06/2020	14/09/2020
Sud-ouest Bord (SB)	22/05/2019	06/12/2019	02/06/2020	15/09/2020
Sud-ouest Profond (SP)	22/05/2019	06/12/2019	02/06/2020	15/09/2020

* Juin 2020 : décalage de date entre JB/JP et SB/SP dû à une période de vent importante

3. Résultats

3.1. Remarques générales

Pour avoir une idée de l'état du peuplement dans l'étang de Berre, trois catégories en fonction de la taille des palourdes vont être observées : (1) le **peuplement global** contient l'ensemble des palourdes présentes lors de l'échantillonnage. Il a été estimée seulement sur la bordure côtière entre 0 et 5 m de profondeur ; En effet, au-delà de 5 m de profondeur, le peuplement de palourdes japonaises étaient considérés comme décimés, suite à la crise écologique de 2018 (GIPREB 2018) (2) la **fraction exploitable ou stock** est un sous-échantillonnage des palourdes japonaises de taille supérieure à la maille. D'après l'IFREMER (2018), le stock représente « la partie exploitable de la population d'une espèce dans une zone donnée. Le stock ne comprend ni les œufs, ni les larves, ni les juvéniles n'ayant pas atteint une taille suffisante pour être capturés ». Dans l'étang de Berre, la maille en vigueur au moment de l'ouverture de la pêche était de 30 mm ^[11]. Ce sous-échantillonnage permet de suivre le stock disponible pour la pêche de loisir et professionnel ; (3) les **juvéniles** sont les individus inférieurs à 17 mm et sont une bonne indication du niveau de recrutement de l'année précédente (Caill-Milly *et al.* 2003). Ils permettent d'estimer l'efficacité de la reproduction dans l'étang de Berre.

¹¹ Arrêté du 29 janvier 2013 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2012

Cependant, 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).

3.2. Histogramme des fréquences de taille

L'évolution de l'histogramme des fréquences de taille montre deux tendances en fonction des strates, d'un côté les strates Jaï Bord (JB - Figure 3) et Profond (JP - Figure 4) qui montrent une évolution des cohortes et de l'autre, les strates Sud-Ouest Bord (SB - Figure 5) et Profond (SP - Figure 6) où une structure stationnaire en taille est observée au cours de l'étude.

Pour les strates Jaï Bord (JB) et Profond (JP), en mai 2019, la cohorte principale était supérieure à 30 mm : entre 36 et 40 mm pour JB (Figure 3) et 38 et 42 mm pour JP (Figure 4). En décembre 2019, les individus étaient plutôt de petites tailles, entre 10 et 20 mm de longueur. Pour la strate JB, la cohorte principale mesurait entre 20 et 24 mm en juin 2020, puis entre 22 et 26 mm en septembre 2020. La cohorte principale de la strate JP suit le même schéma, avec une majorité de palourde mesurant entre 22 et 26 mm en juin 2020 et entre 24 et 30 mm en septembre 2020. Ces histogrammes montrent bien l'évolution en taille de la population en fonction du cycle de vie.

En ce qui concerne les strates Sud-Ouest Bord (SB - Figure 5) et Profond (SP - Figure 6), quelques soit la période d'échantillonnage, l'histogramme de taille montre une structure en taille stationnaire.

3.3. Densité et biomasse moyenne

Au printemps 2019, lors de la campagne d'évaluation de l'état du peuplement, la densité moyenne était de $34 \text{ ind.m}^{-2} \pm 73$ pour l'ensemble de la zone prospectée entre 0 et 5 m, soit $38,78 \text{ km}^2$ (Mahé *et al.* 2019). Les deux strates avec les densités moyennes les plus importantes étaient les strates Sud-ouest Profond (SP) et Sud-Ouest Bord (SB), avec respectivement 300 ind.m^{-2} et 137 ind.m^{-2} (Tableau 3). Ensuite, pour ces deux strates, une diminution de la densité moyenne est observée au fil des prélèvements. En septembre 2020, la densité moyenne à SB était de 26 ind.m^{-2} et à SP de 20 ind.m^{-2} . Pour la strate Jaï Bord (JB), une augmentation progressive de la densité moyenne est constatée : elle passe de 14 ind.m^{-2} en mai 2019 à 227 ind.m^{-2} en septembre 2020 (Tableau 3). Une augmentation plus importante est notée pour la strate Jaï Profond (JP) entre mai et décembre 2019, puis une légère diminution est observée depuis décembre 2019. Au final, la densité moyenne passe de 2 ind.m^{-2} en mai 2019 pour atteindre 196 ind.m^{-2} en septembre 2020 (Tableau 3).

La biomasse moyenne lors de la campagne du printemps 2019 était de $200 \text{ g.m}^{-2} \pm 442$ (Mahé *et al.* 2019). De même que pour la densité, les strates SP et SB affichaient les densités moyennes les plus élevées : 1724 g.m^{-2} et 984 g.m^{-2} (Tableau 4). Pour ces strates, le même schéma que pour la densité est observée, soit une diminution progressive de la biomasse moyenne jusqu'à atteindre 151 g.m^{-2} à SP et 170 g.m^{-2} à SB. Les strates JB et JP montrent une structure inverse, avec une augmentation progressive de la biomasse moyenne dans ces deux strates. A JB, elle passe de 193 g.m^{-2} en mai 2019 à 864 g.m^{-2} en septembre 2020 et à JP, elle passe de 25 g.m^{-2} à 958 g.m^{-2} (Tableau 4).

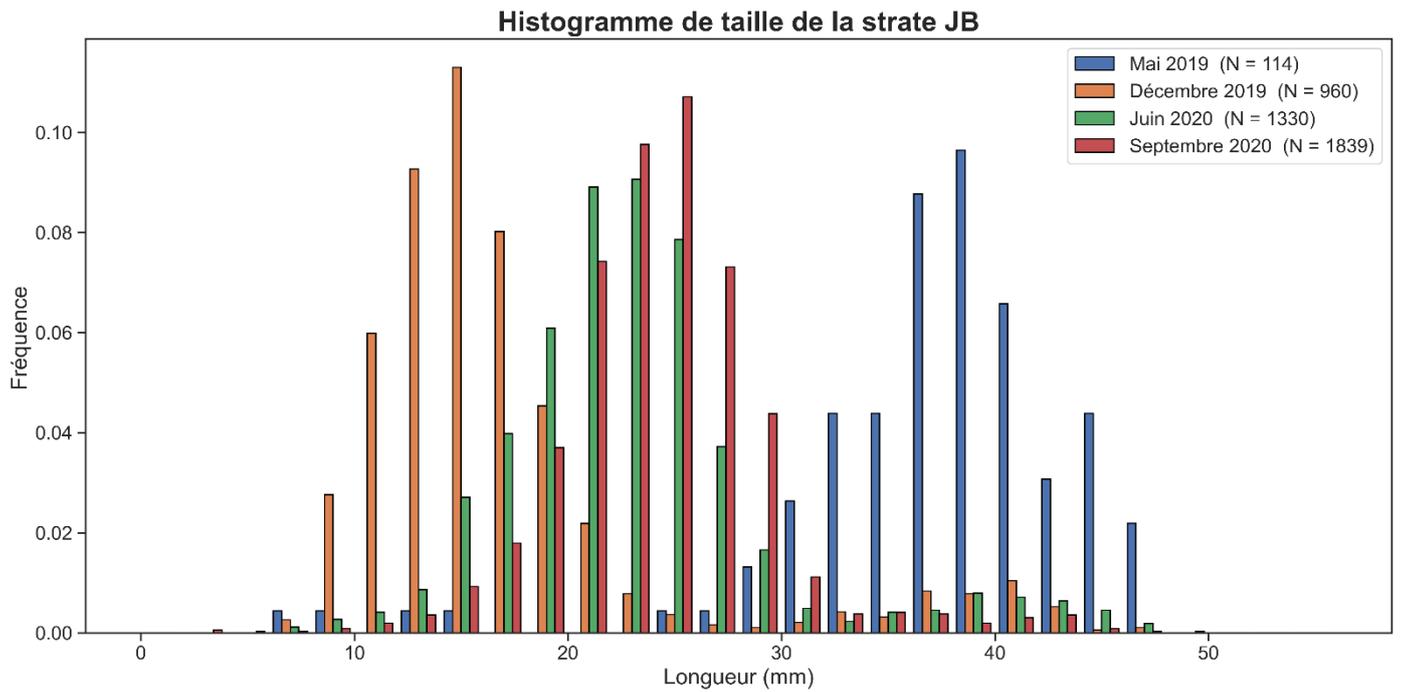


Figure 3. Histogramme de taille de la palourde japonaise dans l'étang de Berre pour la strate Jai Bord (JB) à quatre périodes différentes : Mai 2019, Décembre 2019, Juin 2020 et Septembre 2020.

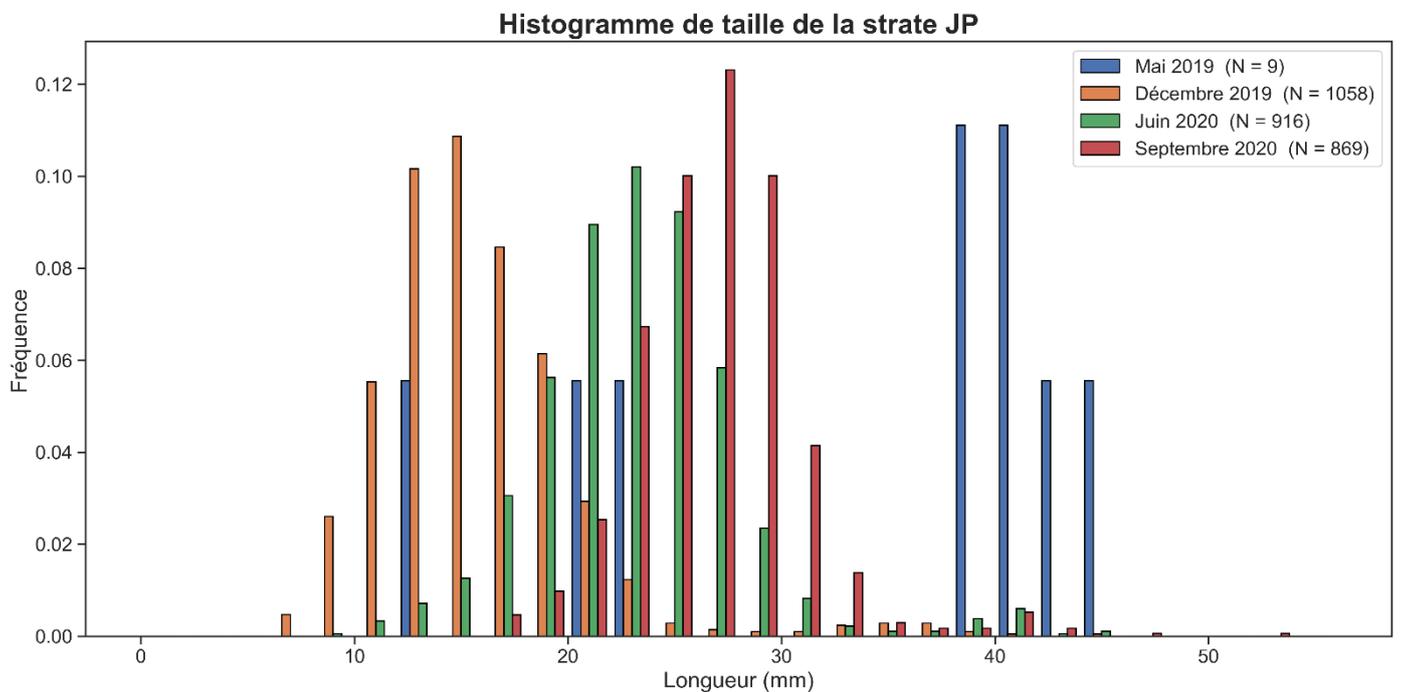


Figure 4. Histogramme de taille de la palourde japonaise dans l'étang de Berre pour la strate Jai Profond (JP) à quatre périodes différentes : Mai 2019, Décembre 2019, Juin 2020 et Septembre 2020.

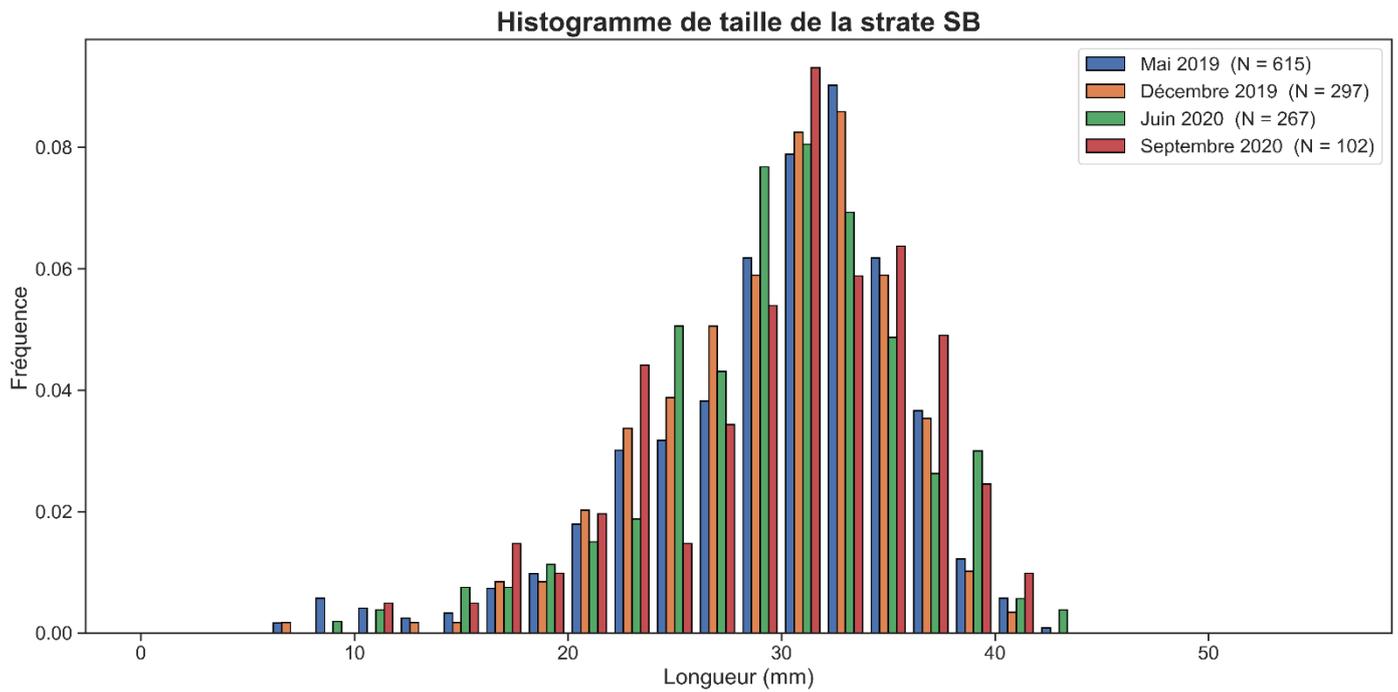


Figure 5. Histogramme de taille de la palourde japonaise dans l'étang de Berre pour la strate Sud-Ouest Bord (SB) à quatre périodes différentes : Mai 2019, Décembre 2019, Juin 2020 et Septembre 2020.

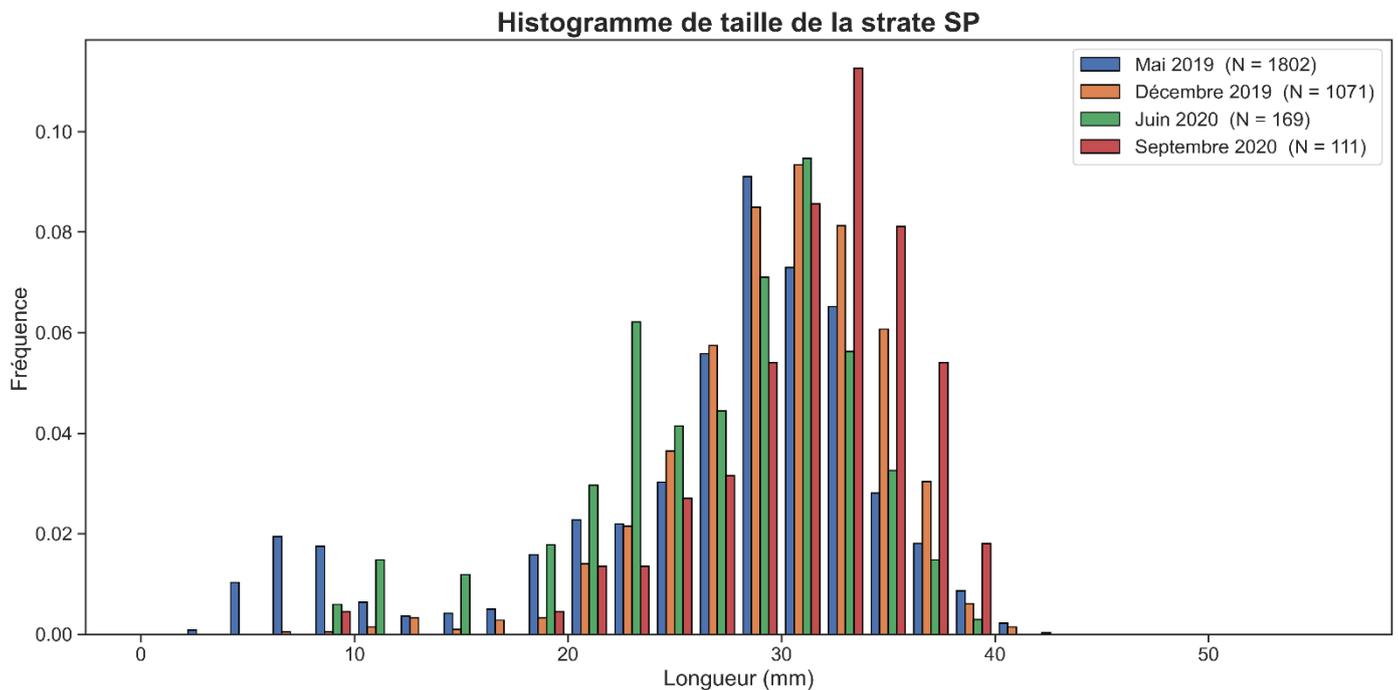


Figure 6. Histogramme de taille de la palourde japonaise dans l'étang de Berre pour la strate Sud-Ouest Profond (SP) à quatre périodes différentes : Mai 2019, Décembre 2019, Juin 2020 et Septembre 2020.

Tableau 3. Densité moyenne (nombre de palourdes/m²) par strate (moyenne ± écart-type). Les flèches noires représentent l'évolution du peuplement entre chaque pas de temps (↗ : augmentation et ↘ : diminution). Les flèches rouges décrivent l'évolution entre le premier suivi (mai 2019) et le dernier (septembre 2020).

Strate	Mai 2019	Décembre 2019	Juin 2020	Septembre 2020	Synthèse
Jaï Bord (JB)	13,82 ± 4,93	116,36 ± 30,72	164,97 ± 56,39	226,55 ± 77,61	↗↗↗ - ↗
Jaï Profond (JP)	2,00 ± 0,75	235,11 ± 63,21	206,86 ± 70,54	196,44 ± 78,40	↗↘↘ - ↗
Sud-ouest Bord (SB)	136,67 ± 117,85	66,00 ± 58,00	62,22 ± 32,14	26,00 ± 8,74	↘↘↘ - ↘
Sud-ouest Profond (SP)	300,33 ± 275,86	178,50 ± 173,29	29,83 ± 18,56	19,83 ± 17,09	↘↘↘ - ↘

Tableau 4. Biomasse moyenne (g/m²) par strate (moyenne ± écart-type). Les flèches noires représentent l'évolution du peuplement entre chaque pas de temps (↗ : augmentation et ↘ : diminution). Les flèches rouges décrivent l'évolution entre le premier suivi (mai 2019) et le dernier (septembre 2020).

Strate	Mai 2019	Décembre 2019	Juin 2020	Septembre 2020	Synthèse
Jaï Bord (JB)	193,20 ± 68,24	243,80 ± 100,61	603,77 ± 190,13	864,32 ± 270,70	↗↗↗ - ↗
Jaï Profond (JP)	25,11 ± 15,57	283,37 ± 81,11	691,27 ± 237,48	958,20 ± 426,69	↗↗↗ - ↗
Sud-ouest Bord (SB)	984,38 ± 844,32	465,87 ± 419,42	428,45 ± 241,93	170,14 ± 66,40	↘↘↘ - ↘
Sud-ouest Profond (SP)	1 724,00 ± 1 674,48	1 265,09 ± 1 243,92	161,09 ± 125,03	150,60 ± 143,71	↘↘↘ - ↘

Pour les paragraphes suivants (3.4. et 3.5.) :

A partir des données par réplicats et par station (JB, JP, SB et SP), des indices d'abondance et de biomasse à l'échelle des strates ont été estimés en utilisant le protocole développé par (Berthou et al. 1997) (Annexe 1).

3.4. Abondance et biomasse totale

Le détail des résultats sur l'abondance et la biomasse totale par strate et par période d'échantillonnage sont dans le Tableau 5.

Lors de la campagne d'évaluation de l'état du peuplement du printemps 2019 (Mahé et al. 2019), l'essentiel de l'abondance et de la biomasse totale, soit 333 millions d'individus et 1 910 tonnes (respectivement 60 et 66 %) étaient localisés dans la strate Sud-Ouest Profond (SP). Ces chiffres ont fortement diminué au fur et à mesure des prélèvements jusqu'à atteindre 20 millions d'individus et 167 tonnes en septembre 2020.

Pour la strate Sud-Ouest Bord (SB), une diminution est également notée. L'abondance passe de 39 millions d'individus en mai 2019 à 6 millions d'individus en septembre 2020. La biomasse, alors de 278 tonnes en mai 2019, atteint les 48 tonnes en septembre 2020.

Le phénomène inverse se produit dans les strates du Jaï. Dans la strate Jaï Bord (JB), une augmentation progressive de l'abondance totale est observée : elle passe de 8 millions d'individus en mai 2019 à 127 millions d'individus en septembre 2020. La biomasse augmente également, passant de 110 tonnes en mai 2019 à 492 tonnes en septembre 2020.

Pour la strate Jaï Profond (JP), c'est également une augmentation progressive de l'abondance et de la biomasse totale qui est constatée. En mai 2019, l'abondance totale était de 2 millions d'individus et en septembre 2020, elle atteignait 169 millions d'individus. Quant à la biomasse totale, en mai 2019 elle était de 22 tonnes et de 838 tonnes en septembre 2020.

Globalement, sur l'ensemble de ces quatre strates, lors de la campagne du printemps 2019, elles représentaient 69 % de l'abondance totale, soit 381 millions d'individus (sur 552 millions) et 80 % de la biomasse, soit 2 320 tonnes (sur 2 904 tonnes) (Mahé *et al.* 2019). En septembre 2020, l'abondance de ces quatre strates atteignait **323 millions d'individus**, soit une **diminution de 15 %** par rapport aux résultats de mai 2019. Pour la biomasse, une diminution est également observée en septembre 2020 : elle était de **1 546 tonnes** en septembre 2020, soit **33 % de diminution**.

Tableau 5. Effectif (millions d'individus) et biomasse (tonnes) totaux par strate (σ = écart-type). Les flèches noires représentent l'évolution du peuplement entre chaque pas de temps (\nearrow : augmentation et \searrow : diminution). Les flèches rouges décrivent l'évolution entre le premier suivi (mai 2019) et le dernier (septembre 2020).

Strate	Date	Effectif (millions d'individus)		Biomasse (tonnes)	
		Totale	σ	Totale	σ
Jaï Bord (JB)	Mai 2019	7,87	2,81	110,02	38,86
	Décembre 2019	66,27	17,50	138,84	57,30
	Juin 2020	100,64	33,60	387,88	124,41
	Septembre 2020	126,94	44,14	492,21	154,16
	Synthèse	$\nearrow \nearrow \nearrow - \nearrow$		$\nearrow \nearrow \nearrow - \nearrow$	
Jaï Profond (JP)	Mai 2019	1,75	0,66	21,97	13,63
	Décembre 2019	205,73	55,31	247,96	70,98
	Juin 2020	153,23	52,22	480,84	172,48
	Septembre 2020	168,98	68,31	838,48	373,37
	Synthèse	$\nearrow \searrow \searrow - \nearrow$		$\nearrow \nearrow \nearrow - \nearrow$	
Sud-ouest Bord (SB)	Mai 2019	38,65	33,32	278,35	238,75
	Décembre 2019	18,60	16,10	131,70	116,26
	Juin 2020	16,78	8,98	121,15	68,41
	Septembre 2020	6,41	2,39	48,11	18,78
	Synthèse	$\searrow \searrow \searrow - \searrow$		$\searrow \searrow \searrow - \searrow$	
Sud-ouest Profond (SP)	Mai 2019	332,66	305,56	1909,56	1854,71
	Décembre 2019	197,90	191,91	1401,36	1377,80
	Juin 2020	31,20	19,99	178,43	138,49
	Septembre 2020	20,49	18,48	166,81	159,18
	Synthèse	$\searrow \searrow \searrow - \searrow$		$\searrow \searrow \searrow - \searrow$	

3.5. Evolution du peuplement en fonction de la classe de taille

L'abondance totale de chaque strate est disponible dans la Figure 7 en fonction de chaque classe de taille. Le détail des résultats est disponible en Annexe 2.

Dans la strate **Jaï Bord (JB)**, entre mai 2019 et septembre 2020, une augmentation de 1 513 % de l'abondance totale est observée. L'abondance passe de 8 millions d'individus en mai 2019 à 127 millions d'individus en septembre 2020 (Tableau 5). Cette augmentation de l'abondance totale s'accompagne d'une évolution des classes de taille au sein de cette strate : en mai 2019, la fraction exploitable était majoritaire (92 % de l'abondance totale), alors qu'en décembre 2019, les juvéniles représentaient 68 % de l'abondance totale de cette strate (Figure 7). En juin 2020 puis en septembre 2020, ce sont les individus de la classe de taille 17 - 30 mm qui deviennent prépondérants avec respectivement 79 % puis 89 % de l'abondance totale. Cette évolution est également visible sur l'histogramme de taille (Figure 3).

Les mêmes tendances sont constatées dans la strate **Jaï Profond (JP)** : une abondance totale de 2 millions d'individus en mai 2019 avec 67 % de fraction exploitable, puis en décembre 2019 une explosion des juvéniles (139 millions d'individus représentant 68 % de l'abondance totale). En juin et en septembre 2020, une recrudescence des individus de la classe de taille 17 - 30 mm est observée : ils représentaient 89 % puis 86 % de l'abondance totale de la strate JP. L'évolution en classe de taille de la strate JP est donc la même que pour la strate JB. Cette succession de cohorte est également visible sur l'histogramme de taille de cette strate (Figure 4).

Un évènement de reproduction entre mai 2019 et décembre 2019 pourrait expliquer cette dominance de juvénile en décembre 2019 dans les strates JB et JP. Ces juvéniles ont ensuite grandi pour atteindre une taille entre 17 et 30 mm en juin 2020 et en septembre 2020.

Pour les strates Sud-Ouest Bord et Profond, c'est un autre pattern qui est observable. Dans ces deux strates, une diminution de l'abondance totale est notée. Dans la strate Sud-Ouest Bord (SB), en mai 2019 ce sont les palourdes supérieures à 30 mm (fraction exploitable ou stock) qui sont majoritaire à 57 % (Figure 7). Ce stock est également prépondérant lors des autres échantillonnages en décembre 2019 (55 % de l'abondance totale), en juin 2020 (53 %) et en septembre 2020 (60 %). Néanmoins, comme l'abondance totale de cette strate a fortement diminué entre mai 2019 et septembre 2020 (Tableau 5), c'est également le cas pour la fraction exploitable qui passe de 22 millions d'individus en mai 2019 à 4 millions d'individus en septembre 2020.

Quant à la strate Sud-Ouest Profond (SP), la classe de taille majoritaire oscille entre les individus de taille 17 - 30 mm et la fraction exploitable (de taille supérieure à 30 mm). En mai 2019, c'est la fraction 17 - 30 mm qui est prépondérante, correspondant à 48 % de l'abondance totale, alors que la fraction exploitable représentait 39 % de l'abondance totale (Figure 7). En décembre 2019, la fraction exploitable comptait pour 55 % de l'abondance totale et la fraction 17 - 30 mm pour 44 %. En juin 2020, c'est à nouveau la fraction 17 - 30 mm qui domine et représente 53 % de l'abondance totale. Et en septembre 2020, la fraction exploitable était majoritaire, avec 14 millions d'individus, soit 70 % de l'abondance totale de la strate SP.

Pour la strate Sud-Ouest Bord (SB), une diminution de 83 % de l'abondance totale et de la biomasse totale est observée entre mai 2019 et septembre 2020. Pour la strate Sud-Ouest Profond (SP), cette réduction est encore plus importante : - 94 % de l'abondance totale et - 91 % de la biomasse totale en septembre 2020 par rapport à mai 2019. L'hypothèse principale, pour expliquer ces fortes diminutions

en 16 mois, est un épisode de pêche illégale dans cette zone. Une pratique de pêche illégale importante pourrait également expliquer la faible présence en juvénile dans cette zone. Avec cette hypothèse, les individus reproducteurs, soit les palourdes de taille supérieure à 20 mm (Holland and Chew 1974), ont été prélevées massivement ce qui a fortement limité leur reproduction en 2019 et en 2020. Cette hypothèse est soutenue par la transformation du fond (le substrat a été fortement remanié entre décembre 2019 et juin 2020) et l'absence de coquilles de palourdes mortes qui auraient été retrouvées en cas d'un autre facteur de mortalité (comme une nouvelle crise anoxique ou une maladie).

Pour la biomasse de chaque strate en fonction des classes de taille, les patterns observés sont les mêmes que pour l'abondance. Le détail des résultats est disponible en Annexe 2 et les histogrammes sont présentés en Figure 8.

3.6. Estimation du peuplement à l'échelle de l'étang

Les campagnes d'évaluation de l'état du peuplement intermédiaire (décembre 2019, juin 2020 et septembre 2020) présentées dans ce rapport ont permis d'avoir une idée de l'évolution du peuplement dans les strates Jaï Bord (JB), Jaï Profond (JP), Sud-Ouest Bord (SB) et Sud-Ouest Profond (SP). En septembre 2020, ces quatre strates avaient une abondance totale de 323 millions d'individus et une biomasse totale de 1 546 tonnes.

Lors de la campagne du printemps 2019, ces quatre strates représentaient 69 % de l'abondance totale, soit 381 millions d'individus (sur 552 millions) et 80 % de la biomasse, soit 2 320 tonnes (sur 2 904 tonnes) (Mahé *et al.* 2019). Ainsi, il est possible d'estimer l'évolution du peuplement en abondance et en biomasse, sur l'ensemble de l'étang à partir de ces quatre strates. L'hypothèse prise est que le peuplement à l'échelle de l'étang a suivi les mêmes évolutions que les strates JB, JP, SB et SP. Bien sûr, les chiffres présentés ci-dessous sont une estimation mais ils permettent d'avoir une idée du peuplement global de l'étang à partir de ces quatre strates.

A l'échelle de l'étang entre 0 et 5 m de profondeur (soit 38,78 km²), l'estimation de l'abondance totale de décembre 2019 était de 852 millions d'individus et de 449 millions d'individus pour juin 2020 (Figure 9). Pour septembre 2020, l'abondance est estimée à **457 millions d'individus**, avec un stock exploitable de 60 millions d'individus et un peuplement en juvénile de 16 millions d'individus. La biomasse est estimée à 2 684 tonnes en décembre 2019, puis à 1 541 tonnes en juin 2020 et à **1 987 tonnes** en septembre 2020 (Figure 9).

Globalement, l'abondance totale a diminué de 17 % entre mai 2019 et septembre 2020, avec une diminution de 85 % de la fraction en juvénile et de 69 % de la fraction exploitable (ou stock). La biomasse totale a été réduite de 32 % entre mai 2019 et septembre 2020.

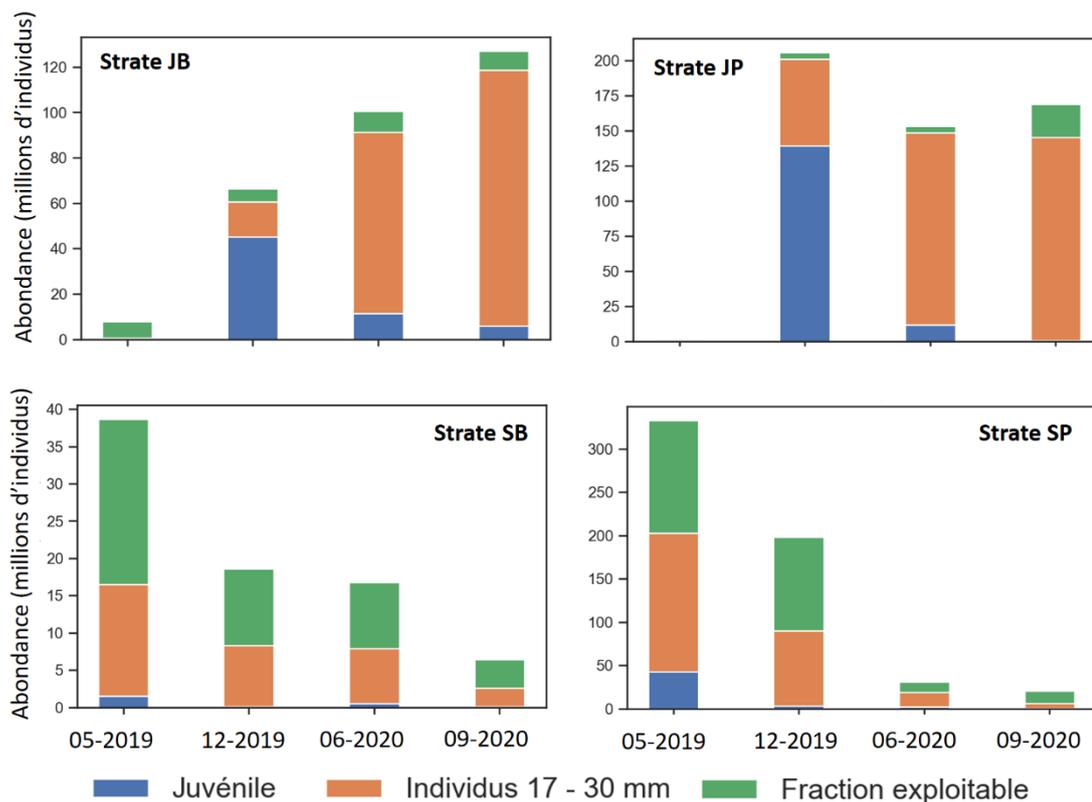


Figure 7. Abondance totale en palourdes japonaises par strate, par période d'échantillonnage et en fonction de la classe de taille des individus : entre 0 et 17 mm (les juvéniles), entre 17 et 30 mm et supérieurs à 30 mm (la fraction exploitable). Attention, l'échelle des ordonnées est différente selon les histogrammes.

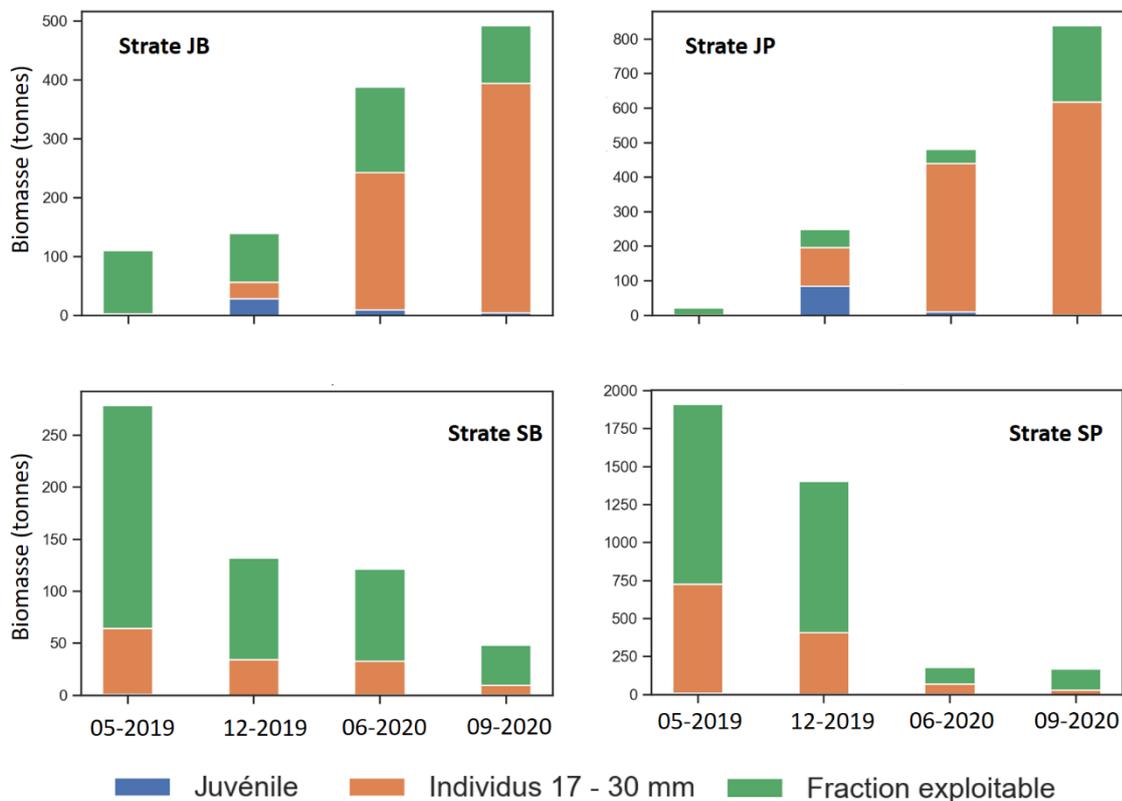


Figure 8. Biomasse totale en palourdes japonaises par strate, par période d'échantillonnage et en fonction de la classe de taille des individus : entre 0 et 17 mm (les juvéniles), entre 17 et 30 mm et supérieurs à 30 mm (la fraction exploitable). Attention, l'échelle des ordonnées est différente selon les histogrammes.

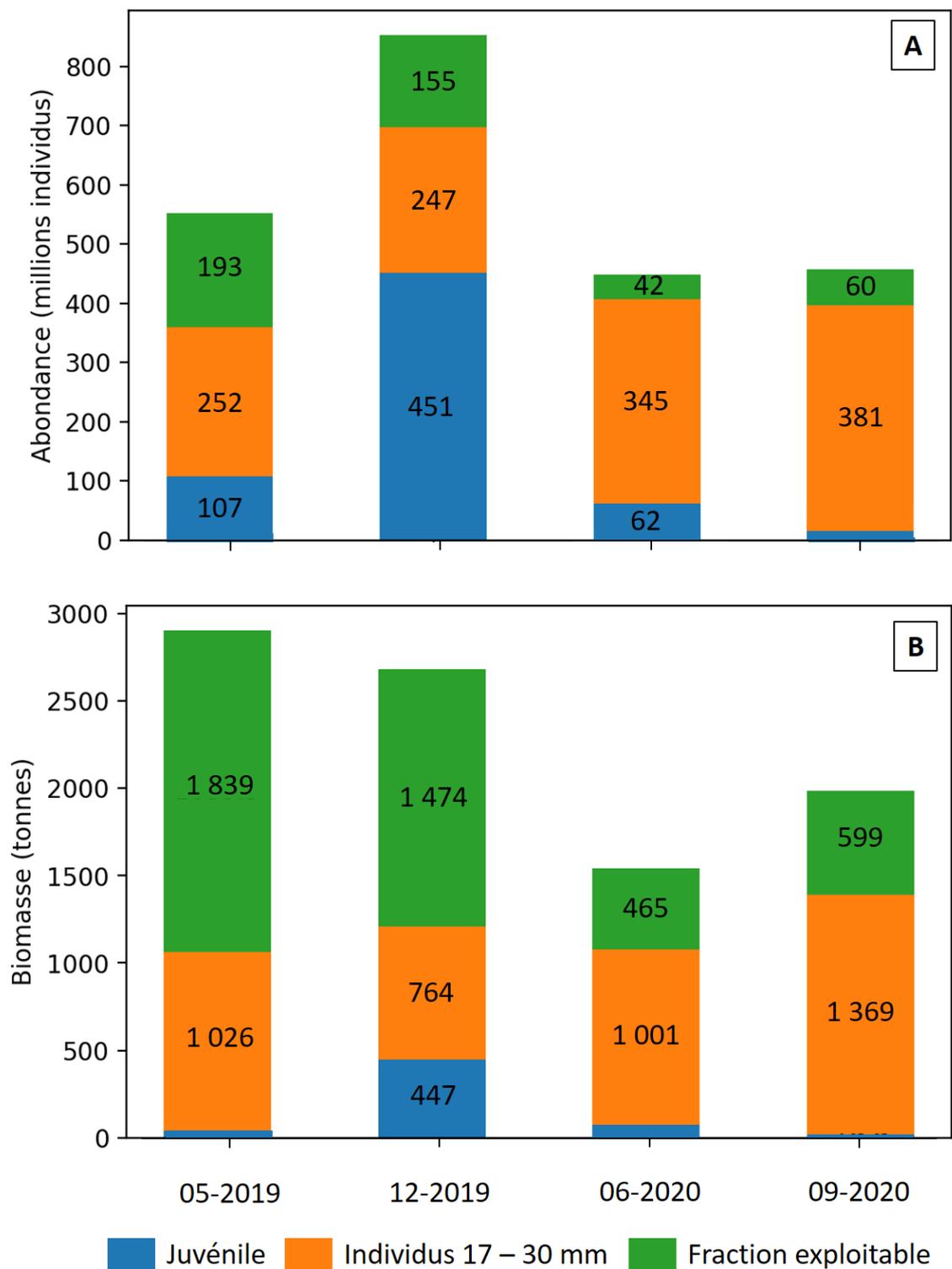


Figure 9. Estimation de l'abondance (A) et de la biomasse (B) à l'échelle de l'étang de Berre (entre 0 et 5 m) en fonction des périodes de prélèvements et des différentes classes de taille, à partir des strates JB, JP, SB et SP.

3.7. Cas de la strate Bouquet Bord (BB)

Les résultats des campagnes d'évaluation de l'état du peuplement intermédiaire de décembre 2019 et juin 2020 ont été présentés lors du comité du pilotage du 11 septembre 2020 [12]. Au regard de la diminution du peuplement assez importante sur les strates Sud-Ouest Bord et Profond (SB et SP) (Tableau 5), il a été décidé d'ajouter une autre strate aux campagnes, afin d'affiner les estimations du peuplement global en terme d'abondance et de biomasse.

La strate Bouquet Bord (BB) est apparue comme la plus pertinente à échantillonner. Lors de la campagne du printemps 2019, cette strate avait une abondance totale de 37 millions d'individus (sur 5523 millions, soit 6,7 % de l'abondance totale à l'échelle de l'étang) (Mahé *et al.* 2019). C'était la 4^{ème} strate avec l'abondance la plus importante au printemps 2019, et la 3^{ème} strate en termes de biomasse. Sa biomasse représentait 8 % de la biomasse globale à l'échelle de l'étang (c'est-à-dire 233 tonnes pour la strate Bouquet Bord). De plus, lors de l'ouverture de la pêche, cette zone n'avait pas une pression de pêche importante dû à sa faible accessibilité au littoral (GIPREB, *com. interne*).

Les strates Jaï Bord (JB), Jaï Profond (JP), Sud-Ouest Bord (SB), Sud-Ouest Profond (SP) et Bouquet Bord (BB) représentaient, lors de la campagne du printemps 2019, **76 % de l'abondance totale**, soit 418 millions d'individus (sur 552 millions) et **88 % de la biomasse**, soit 2 553 tonnes (sur 2 904 tonnes) (Mahé *et al.* 2019).

La strate Bouquet Bord (BB) a été échantillonnée le 17 septembre 2020. L'abondance totale était alors de **54 millions d'individus**, soit une augmentation de 53 % par rapport au printemps 2019. Pour la biomasse totale, elle est passée de 233 tonnes en mai 2019 à **270 tonnes** en septembre 2020, soit une augmentation de 16 % en 16 mois.

L'état du peuplement à l'échelle de l'étang a donc été réévalué avec l'ajout de la strate Bouquet Bord (BB) pour la période de septembre 2020. L'abondance totale à l'échelle de l'étang est estimée à **501 millions d'individus** et la biomasse à **2 157 tonnes**, soit une diminution de l'abondance de 9 % et de la biomasse de 26 % par rapport à l'échantillonnage de mai 2019.

¹² Depuis la première ouverture de la pêche, le 1^{er} février 2018 (Arrêté n°R93-2018-01-30-001 du 30 janvier 2018), un comité de pilotage a été créé pour suivre l'évolution du stock de palourdes japonaises dans l'étang de Berre et permettre d'ajuster les réglementations en vigueur. Ce comité est composé du Comité Régional des pêches maritimes et des élevages marins de Provence-Alpes-Côte d'Azur (CRPMEM-PACA), la Prud'homie des patrons pêcheurs de Martigues, la Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée (DIRM-Med), la Direction Départementale des territoires et de la mer des Bouches-du-Rhône (DDTM 13) et du GIPREB Syndicat Mixte.

4. Conclusion

L'estimation du peuplement global de palourdes japonaises dans l'étang de Berre pour la période de septembre 2020 a été faite de deux façons (1) avec les strates Jaï Bord (JB), Jaï Profond (JP), Sud-Ouest Bord (SB), Sud-Ouest Profond (SP) représentant 69 % de l'abondance totale, soit 381 millions d'individus (sur 552 millions) et 80 % de la biomasse, soit 2 320 tonnes (sur 2 904 tonnes) lors de la campagne du printemps 2019 (Mahé *et al.* 2019) (partie 3.6) (2) avec les quatre strates précédentes, et sur demande du COPIL de pêche du 11 septembre 2020, l'ajout de la strate Bouquet Bord (BB). Ces cinq strates représentaient 76 % de l'abondance totale, soit 418 millions d'individus (sur 552 millions) et 88 % de la biomasse, soit 2 553 tonnes (sur 2 904 tonnes) lors de la campagne du printemps 2019 (Mahé *et al.* 2019) (partie 3.7).

Ces deux estimations différentes permettent d'avoir une gamme de valeur. Ainsi, en septembre 2020, l'abondance totale est estimée entre **457 et 501 millions d'individus** et une biomasse totale entre **1 987 et 2 157 tonnes** pour l'ensemble de l'étang entre 0 et 5 m (soit 38,78 km²). Par rapport à l'étude du peuplement de palourdes du printemps 2019 (Mahé *et al.* 2019), **l'abondance a diminuée de 9 à 17 % et la biomasse de 26 à 32 %** pour l'ensemble du peuplement de palourdes japonaises dans l'étang de Berre. Cette réduction de l'abondance et de la biomasse reflète la baisse observée sur les strates Sud-Ouest Bord (SB) et Profond (SP) (Figure 7 et Figure 8). Même si l'abondance et la biomasse ont augmentés dans les strates du Jaï Bord (JB) et Profond (JP) et de Bouquet Bord (BB), cela ne permet pas de compenser la perte importante sur les strates SB et SP.

L'étude des strates Jaï Bord (JB), Jaï Profond (JP), Sud-Ouest Bord (SB) et Sud-Ouest Profond (SP) retracent deux scénarios différents en fonction des zones.

Dans la zone du Jaï, les histogrammes de tailles (Jaï Bord en Figure 3 et Jaï Profond en Figure 4), les données d'abondance (Figure 7) et de biomasse (Figure 8) montrent clairement la succession de cohortes en fonction du temps, et une dynamique de recrutement. En mai 2019, les individus de taille supérieure à 30 mm (fraction exploitable ou stock) étaient majoritaires, puis en décembre 2019, ce sont les juvéniles qui sont prépondérants. Ces données, ainsi que l'augmentation de l'abondance entre ces deux périodes (Tableau 5) laissent supposer qu'un événement de reproduction efficace s'est produit entre mai 2019 et décembre 2019. Pour les deux autres périodes, en juin 2020 et septembre 2020, ce sont les individus de la classe de taille 17 - 30 mm qui sont majoritaires. 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). Les données d'abondances et de biomasses en fonction des classes de taille (Figure 7 et Figure 8) dans la zone du Jaï sont en cohérence avec les résultats issus de la lagune de Venise. Cette hypothèse devra être vérifiée *via* les expériences de croissance actuellement en cours dans l'étang de Berre.

Pour la zone Sud-Ouest, la cohorte principale est toujours entre 30 et 34 mm quelle que soit la période d'échantillonnage (Figure 5 et Figure 6). Les juvéniles sont très peu représentés dans ces strates, et au fil des périodes d'échantillonnages, une diminution de l'abondance totale et de la biomasse totale est observée (Figure 7 et Figure 8) : ceci est dû à une importante diminution de la fraction exploitable, et à une diminution progressive de la classe de taille 17 - 30 mm. L'hypothèse principale pour expliquer cette diminution de plus de 83 % pour l'abondance et pour la biomasse entre mai 2019 et septembre 2020 est un épisode de pêche illégale dans cette zone. Les pertes importantes mesurées sur ces strates affectent fortement l'estimation du peuplement global dans l'étang.

Le suivi des strates d'intérêt va continuer de manière régulière afin de suivre l'évolution des peuplements de palourdes de l'étang de Berre. Les résultats de ces suivis seront présentés en comité de pilotage de la pêche des palourdes de l'étang de Berre et permettront de mieux adapter la réglementation afin de gérer le stock de manière durable.

Références bibliographiques

- 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.
- 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 pêche 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.
- 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.
- 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.
- IFREMER 2018. Pour une pêche durable => Définition d'un stock. IFREMER Available online at <https://www.ifremer.fr/peche/Le-role-de-l-Ifremer/Expertise/Diagnostics/Notions-de-base/Definition-d-un-stock> [Accessed 15 December 2020].
- 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.
- Mahé, M., Mayot, N. and Grisel, R. 2019. Evaluation du stock de palourdes dans l'étang de Berre. GIPREB.

Mirallès, F. and Brach-Papa, C. 2017. Etudes sanitaires du cordon du Jaï et de l'Étang 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&catégorieLien=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 fousseurs 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)

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° R93-2020-04-06-001 du 6 avril 2020 portant encadrement des activités de pêche maritime professionnelle et de loisir des bivalves fousseurs sur le littoral de l'étang de Berre et hors des limites administratives du Grand Port Maritime de Marseille** [en ligne] Disponible sur : https://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur/content/download/68290/445813/file/Recueil-r93-2020-041_6%20avril%202020.pdf (consulté le 7 avril 2020)

Annexes

Annexe 1. Matériels et méthodes de la campagne d'évaluation de l'état du peuplement du printemps 2019 (Mahé et al. 2019)

MATERIELS ET METHODES

Campagne d'évaluation de l'état du peuplement de palourdes dans l'étang de Berre

Mathilde Mahé, Nicolas Mayot, Raphaël Grisel

(Version octobre 2019)

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 (Fig 1).

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 répliqués (soit 20 répliqués / 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 répliqués par station, cela correspond à un échantillonnage de 21 répliqués / 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) (Fig 1) (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 Tab 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 (Fig 1). Chaque station est identifiée par un nom et des coordonnées géographiques dans le système RGF-93 / Lambert93.

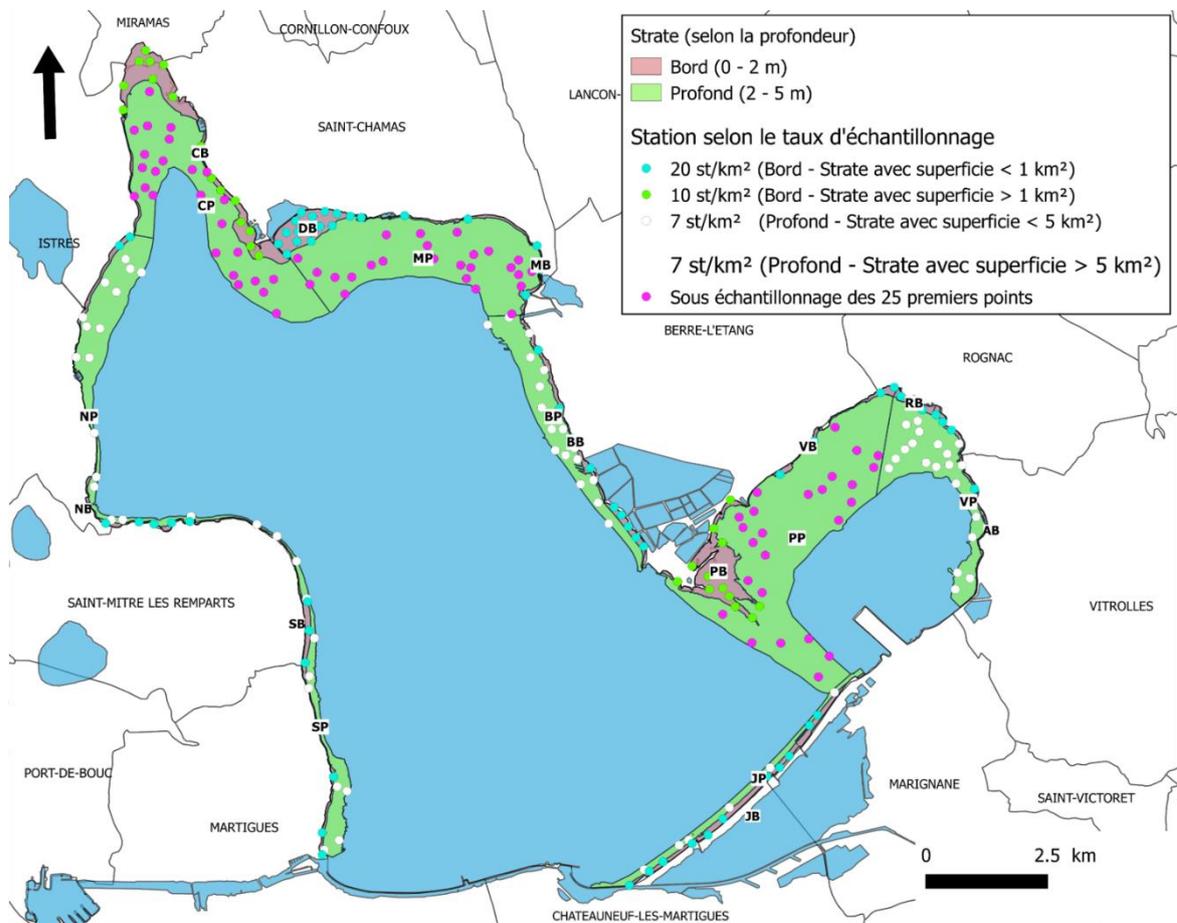


Fig 1. Carte présentant les strates pour la campagne 2019

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.

Tab 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
Bord - Superficie > 1 km ²	Délimonage Bord	DB	0-2	0,795	16	20
	Pointe Berre Bord Anse Saint-Chamas Bord	PB CB	0-2 0-2	1,2 1,563	12 16	10 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

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.

4. Analyses des données

L'analyse des résultats a été effectuée sur Spyder (Python 3.7).

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 : $P = 0,0002 * L^{3,0579}$ (Fig 2).

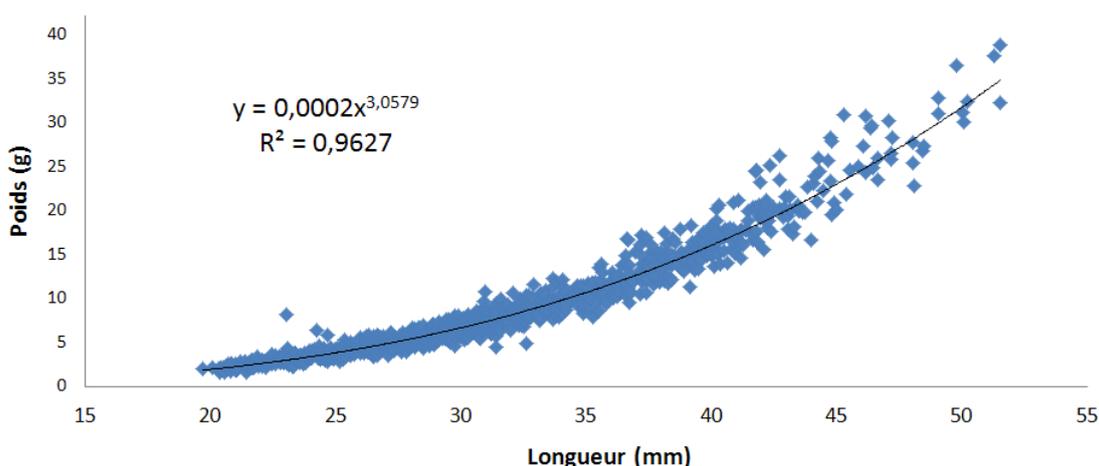


Fig 2. La relation taille – poids des palourdes de l'étang de Berre ($n = 1\ 347$) issue de Mahé (2017)

5. Calcul des effectifs et des biomasses

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

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), $V_1[E_2(\Theta)]$, 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 :

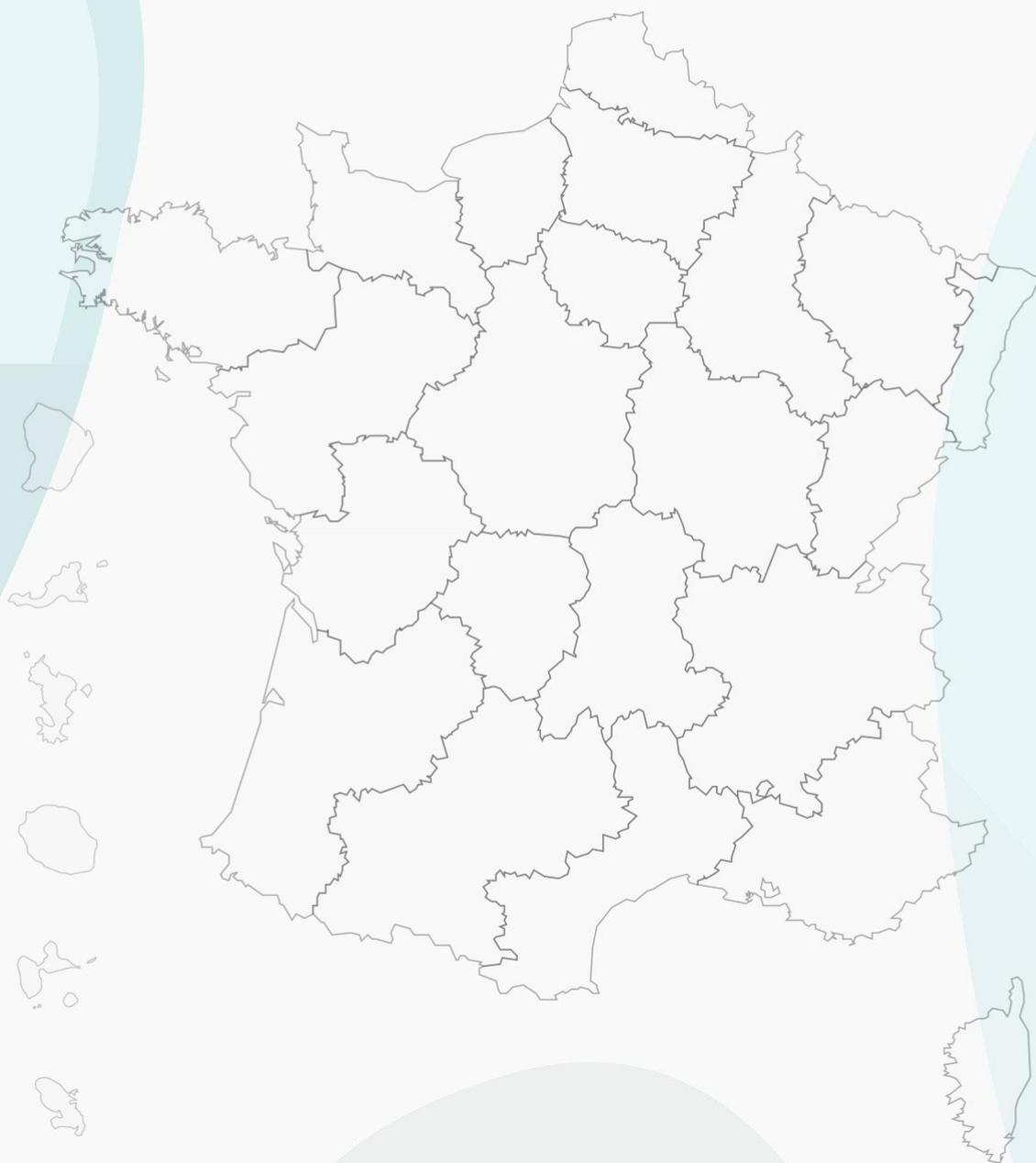
$$T_h = 4 \cdot S_h \cdot \bar{x}_h \quad (15)$$

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

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

Annexe 2. Effectif (millions d'individus) et biomasse (tonnes) totaux par strate sur les palourdes supérieures à 30 mm (fraction exploitable) et inférieures à 17 mm (juvénile). Les flèches noires représentent l'évolution du peuplement entre chaque pas de temps (↗ : augmentation et ↘ : diminution). Les flèches rouges décrivent l'évolution entre le premier suivi (mai 2019) et le dernier (septembre 2020).

Strate	Date	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
Jaï Bord (JB)	Mai 2019	7.25	2.68	108.17	38.12	0.28	0.35	0.11	0.15
	Décembre 2019	5.66	3.05	82.72	45.36	45.08	13.05	27.67	7.19
	Juin 2020	9.46	3.18	145.48	51.29	11.39	3.69	8.70	2.66
	Septembre 2020	8.28	2.27	98.23	34.02	5.80	2.90	4.32	2.16
	Synthèse	↘↗↗ - ↗		↘↗↘ - ↘		↗↘↘ - ↗		↗↘↘ - ↗	
Jaï Profond (JP)	Mai 2019	1.17	1.22	20.91	22.20	0.19	0.60	0.09	0.27
	Décembre 2019	4.47	2.23	51.06	26.34	139.23	31.46	84.07	21.41
	Juin 2020	4.47	2.01	41.88	14.68	11.67	3.37	9.17	2.78
	Septembre 2020	23.53	12.92	220.58	120.48	0.58	0.92	0.61	0.96
	Synthèse	↗↗↗ - ↗		↗↗↗ - ↗		↗↘↘ - ↗		↗↘↘ - ↗	
Sud-ouest Bord (SB)	Mai 2019	22.12	18.18	214.04	171.88	1.51	0.84	0.66	0.35
	Décembre 2019	10.31	8.73	97.47	82.36	0.13	0.25	0.05	0.12
	Juin 2020	8.86	4.63	88.30	46.99	0.50	0.29	0.29	0.17
	Septembre 2020	3.83	1.55	38.58	15.43	0.13	0.25	0.07	0.18
	Synthèse	↘↘↘ - ↘		↘↘↘ - ↘		↘↗↘ - ↘		↘↗↘ - ↘	
Sud-ouest Profond (SP)	Mai 2019	129.96	120.01	1184.74	1097.87	42.46	23.86	8.81	5.72
	Décembre 2019	107.99	100.80	992.92	926.69	3.14	1.75	1.64	0.99
	Juin 2020	12.55	10.69	110.66	94.92	2.03	2.01	0.90	0.95
	Septembre 2020	14.40	13.38	139.79	129.90	0.18	0.56	0.04	0.13
	Synthèse	↘↘↗ - ↘		↘↘↗ - ↘		↘↘↘ - ↘		↘↘↘ - ↘	



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