

Michel Bertignac ⁽¹⁾
Isabelle Auby ⁽²⁾
Julie Foucard ⁽³⁾
Sophie Martin ⁽³⁾
Xavier de Montaudouin ⁽⁴⁾
et Pierre-Guy Sauriau ⁽³⁾

Mai 2001 - R.INT.DRV/RH/RST/2001-05

- (1) Ifremer Laboratoire RH de L'Houmeau
(2) Ifremer Laboratoires DEL d'Arcachon
(3) Crema de L'Houmeau
(4) Laboratoire d'Océanographie Biologique (LOB) d'Arcachon

Evaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon



Copyright : Ifremer



COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE
Initiative communautaire
PESCA

Résumé : Dans le cadre d'un projet financé par le programme européen d'initiative communautaire PESCA sur l'étude de la « petite pêche » en Aquitaine, une estimation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon a été réalisée. Un protocole d'échantillonnage aléatoire stratifié à deux niveaux a été utilisé. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une benne Hamon sur 237 stations réparties sur une zone d'environ 24km². La palourde japonaise (*Tapes philippinarum*) qui est apparue suite aux expériences de vénéiculture au milieu des années 80 est, avec plus de 90 % des effectifs et de la biomasse, l'espèce principale. Elle domine largement l'espèce européenne (*Tapes decussata*). L'abondance et la biomasse moyennes (26 palourdes / m² et 128g / m²) sont supérieures à celles observées dans d'autres régions (golfe du Morbihan et étang de Thau) où des études similaires ont été conduites. Bien que cette étude ne couvre qu'une partie de la zone d'extension probable du stock, on estime la biomasse totale de l'aire échantillonnée à plus de 2 900 tonnes. Les palourdes japonaises échantillonnées ont une taille comprise entre 8 mm et 42 mm avec un mode principal autour de 28 – 30 mm, et la fraction exploitable du stock (L ≥ 35 mm) est de moins de 10% des effectifs et de 23% (690 tonnes) de la biomasse. La structure en taille observée traduit l'existence probable d'un taux d'exploitation élevé et peut laisser supposer une capture non négligeable d'individus n'atteignant pas la taille marchande. Au regard de ces premiers résultats et concernant l'exploitation de cette ressource, une recommandation qui nous semble essentielle est celle d'améliorer le tri manuel des palourdes afin de réduire la capture d'individus «hors tailles». La fermeture de trois zones à la pêche à partir de juillet 2000 devrait être également bénéfique en permettant au stock d'individus de taille marchande de se reconstituer dans ces zones.

Abstract : As part of a larger project financed by the European Union programme "Community initiative PESCA" on the study of "small scale fisheries" in Aquitaine (France), an estimation of the stock of clams in the Bassin d'Arcachon has been conducted. A two-stage stratified random sampling survey has been designed. Samples have been collected using a Hamon bottom sampler in 237 locations distributed over 24 km². The clam *Tapes philippinarum*, which appeared in the basin following a series of aquaculture experiments in the mid eighties, is now the main species accounting for more than 90% of the abundance and the biomass, largely overcoming the European species *Tapes decussata*. The mean abundance and biomass (26 clams / m² et 128g / m²) are above those estimated in other regions (Golfe du Morbihan and Etang de Thau) where similar studies have been conducted. Although this study does not cover the whole area of extension of the stock, the total biomass estimated is quite high with more than 2900 tonnes. The size distributions of *Tapes philippinarum* are in the range 8 – 42mm with a main mode around 28-30mm and the exploitable fraction of the stock (L ≥ 35 mm) is less than 10% in numbers and 23% (i .e. 690 tonnes) in biomass. This size distribution observed reflects probably a high exploitation rate and it is to be feared that a large proportion of small clams are present in the catch. Thus, an important recommendation would be to reduce the proportion of small clams in the catch. The closure of three areas decided from July 2000 should also allow the stock of exploitable biomass to rebuilt in those zones.

Mots-clés : Palourde/ *Tapes philippinarum* / *Tapes decussata* / Evaluation stock/ Pêche / Pêche à pied / Echantillonnage / Bassin d'Arcachon

Keywords : Clam / *Tapes philippinarum* / *Tapes decussata* / Stock assessment / Fishery / Sampling / Bassin d'Arcachon

Commentaire :

Résumé grand public

Dans le cadre d'un projet financé par le programme européen d'initiative communautaire PESCA sur l'étude de la « petite pêche » en Aquitaine, une estimation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon a été réalisée. Les 3 zones fermées à la pêche¹ ainsi que certains secteurs exploités dont des chenaux ont été évalués. Un protocole d'échantillonnage aléatoire stratifié à deux niveaux a été utilisé. Il consiste, après une étude bibliographique et un travail d'enquête auprès des pêcheurs, à subdiviser la zone d'étude en sous-ensembles spatiaux les plus homogènes possible. Ces sous-ensembles sont appelés « strates ». Au sein de chacune des strates ainsi définies, des stations de prélèvement sont réparties au hasard par tirage aléatoire (figure 1).

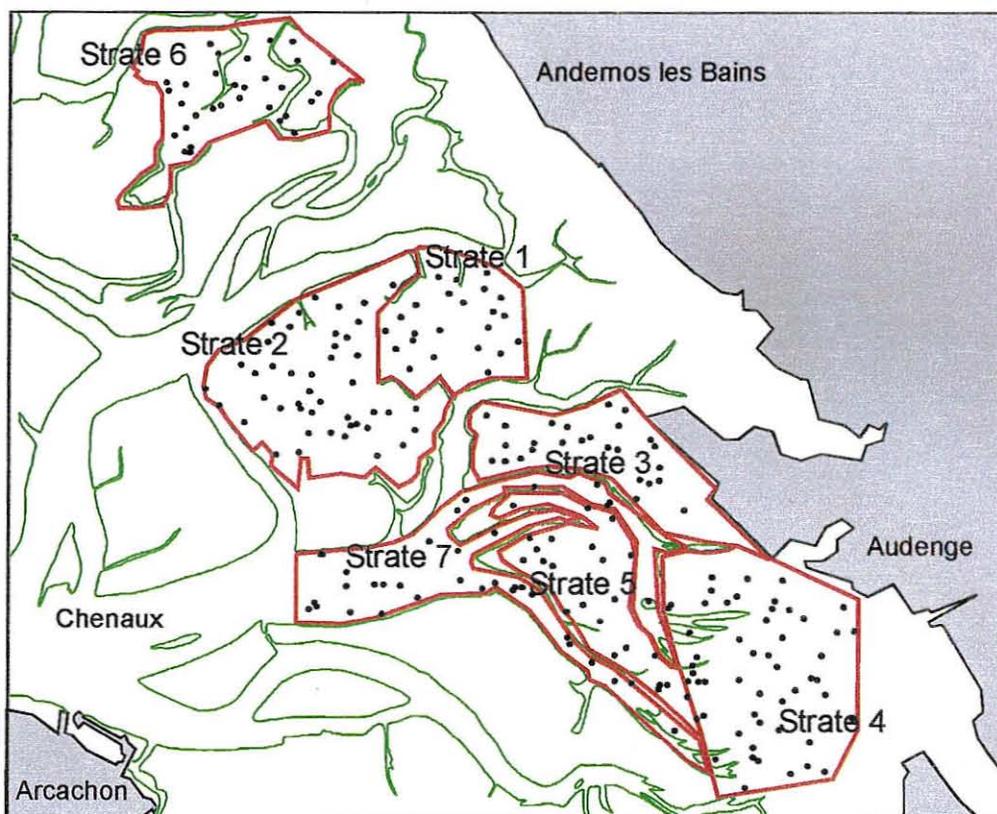


Figure 1. Carte des strates et des stations échantillonnées dans le bassin d'Arcachon.

Au niveau de chaque station, deux prélèvements de sédiments, chacun d'une surface de 0.25 m^2 sur 20 à 30 cm de profondeur, sont réalisés à l'aide d'une benne Hamon. La benne est embarquée à bord d'une barge ostréicole d'un

¹ Arrêté préfectoral de la Région Aquitaine n° 170 du 30 juin 2000. La décision de fermer certaines zones du bassin à la pêche pour une durée de 2 ans fait suite à des craintes de surexploitation du stock.

tirant d'eau inférieur à 1 mètre, possédant un bras de levage puissant et équipé d'un treuil pour l'opération. Les prélèvements sont réalisés à marée haute ce qui permet d'accéder facilement à toutes les stations. Le positionnement se fait à l'aide d'un GPS. Le prélèvement est ensuite trié sur un tamis ce qui permet de capturer l'ensemble des palourdes, y compris les juvéniles. Les palourdes collectées sont mises en sachet et conservées dans du formol à 4%. Elles sont identifiées, dénombrées, mesurées et pesées en laboratoire.

La palourde japonaise (*Tapes philippinarum*) qui est apparue dans le bassin d'Arcachon suite aux expériences de vénériculture au milieu des années 80 est, avec plus de 90 % des effectifs et de la biomasse, l'espèce principale. Elle domine largement l'espèce européenne (*Tapes decussata*). L'abondance et la biomasse moyennes (26 palourdes / m² et 128g / m²) sont supérieures à celles observées dans d'autres régions (golfe du Morbihan et étang de Thau) où des études similaires ont été conduites (figure 2). Bien que cette étude ne couvre qu'une partie de la zone d'extension probable du stock, on estime la biomasse totale de l'aire échantillonnée à plus de 2900 tonnes.

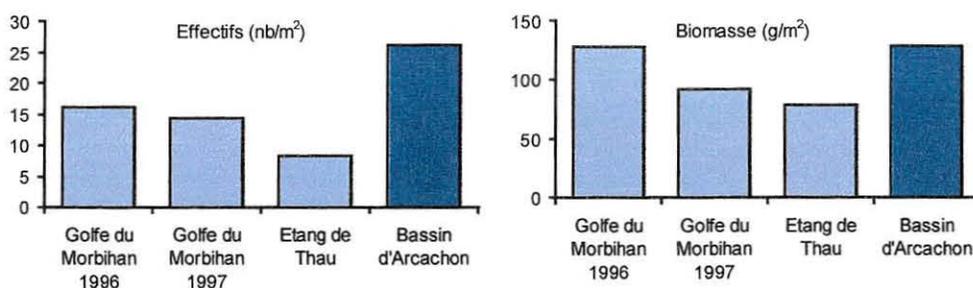


Figure 2 : Comparaison des effectifs et biomasses de palourdes estimés pour 3 stocks.

Les palourdes japonaises échantillonnées ont une taille comprise entre 8 mm et 42 mm avec un mode principal autour de 28 – 30 mm, et la fraction exploitable du stock (c'est à dire l'ensemble des palourdes dont la longueur dépasse 35 mm) est de moins de 10% des effectifs et de 23% (690 tonnes) de la biomasse. La structure en taille observée traduit l'existence probable d'un taux d'exploitation élevé et peut laisser supposer une capture non négligeable d'individus n'atteignant pas la taille marchande. Au regard de ces premiers résultats et concernant l'exploitation de cette ressource, une recommandation qui nous semble essentielle est celle d'améliorer le tri manuel des palourdes afin de réduire la capture d'individus «hors tailles». La fermeture de trois zones à la pêche à partir de juillet 2000 devrait être également bénéfique en permettant au stock d'individus de taille marchande de se reconstituer dans ces zones.

Evaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon

Michel Bertignac ⁽¹⁾, Isabelle Auby ⁽²⁾, Julie Foucard ⁽³⁾, Sophie Martin ⁽³⁾, Xavier de Montaudouin ⁽⁴⁾ et Pierre-Guy Sauriau ⁽³⁾

(1) Ifremer Laboratoire RH de L'Houmeau

(2) Ifremer Laboratoires DEL d'Arcachon

(3) Crema de L'Houmeau

(4) Laboratoire d'Océanographie Biologique (LOB) d'Arcachon

et la participation de :

Gérard Biais , Nathalie Caill-Milly, Jérôme Huet, Jean Louis Laborde, Gilles Morandeau, Céline Desclaux, Aude Andouche, Hugues Blanchet, Vanessa Brossard, Emma Richard et Marc Saurisseau,

ainsi que les patrons de la barge ostréicole, Patrick et Loïc Frédiu

Ce travail est le fruit de plusieurs collaborations. Tout d'abord, au sein de l'Ifremer, entre les laboratoires Ressources Halieutiques de L'Houmeau, de St Pée sur Nivelle et de Brest ainsi que le laboratoire Ressources Aquacoles et le laboratoire côtier de la Direction de l'Environnement Littoral d'Arcachon. Ensuite, entre l'Ifremer, le CREMA et le Laboratoire d'Océanographie Biologique d'Arcachon, ces deux derniers ayant plus particulièrement eu en charge l'analyse des échantillons collectés. Nous tenons à remercier Patrick Berthou et Spyros Fifas qui nous ont aidé dans la mise en place du protocole d'échantillonnage ainsi que le Comité Local des Pêches Maritimes d'Arcachon pour son aide dans la sélection des secteurs à échantillonner. Enfin, André Forest, Patrick Berthou et Jean Pierre Minet ont contribué, par leur critiques constructives, à améliorer une première version du manuscrit.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Site d'étude, le bassin d'Arcachon	8
3. Matériel et méthode	9
3.1. Stratification.	9
3.2. Tirage de points.	10
3.3. Méthode de prélèvement.	11
4. Résultats	11
4.1. Estimation des abondances et des biomasses totales.....	11
4.2. Structure en taille de la population de palourdes japonaises.	13
4.3. Les relations taille – poids frais total.....	15
5. Discussion	16
6. Conclusions	19
7. Bibliographie	21
8. Annexes	23

1. Introduction

L'histoire très récente de la production de palourdes dans le bassin d'Arcachon est marquée par l'apparition d'un gisement naturel de palourdes japonaises (*Tapes philippinarum*) au cours des années 1980. Ce gisement est issu d'expériences de vénéiculture sur estran menées par des ostréiculteurs arcachonnais entre 1980 et 1986 (Robert et Deltreil, 1990). Cette activité d'élevage fut cependant rapidement abandonnée à partir du début des années 1990. En effet, des mortalités importantes qui affectèrent les 2/3 des parcs eurent lieu en été et en automne de 1992. De plus, on assistait alors et depuis plusieurs années à une chute régulière des cours qui, de 60 F/kg au milieu des années 1980, passèrent à environ 30F/kg dix ans plus tard. Cette espèce trouve pourtant dans le bassin d'Arcachon des conditions particulièrement favorables à son développement et elle se répandit rapidement. Auby (1993) mentionne déjà sa tendance à supplanter l'espèce locale, la palourde européenne (*Tapes decussata*).

Dès l'apparition de ce gisement une activité de pêche importante réalisée essentiellement par des pêcheurs à pied s'est développée et, à partir de 1996, un système de licence a été mis en place. La phase exploitable d'un tel stock est assez courte (de l'ordre de 2 à 3 ans). Il est probablement soumis à des fluctuations inter-annuelles d'abondance importantes (Berthou *et al.*, 1987b). La quantification de l'activité de pêche est assez difficile car une partie de la production échappe aux statistiques. Ainsi, à partir d'informations obtenues auprès de pêcheurs professionnels et des établissements de purification, Bobo (1996) estime qu'aux 95 tonnes des captures déclarées en 1995, il est



nécessaire d'ajouter environ 25 tonnes capturées par les ostréiculteurs. On doit également ajouter à cela une pêche «plaisancière» non négligeable mais encore plus difficile à quantifier. Malgré cette incertitude sur les quantités pêchées, on peut cependant considérer que les statistiques du tableau 1 reflète assez bien l'évolution récente de cette pêcherie et notamment : la croissance de la production à partir du début des années 1990 suivie d'une diminution depuis 1997, année où elle a vraisemblablement été la plus forte.

Tableau 1 : Evolution des captures de palourdes dans le bassin d'Arcachon.
(Source : CRTS)

Année	Production déclarée (t)	Nombre de licences délivrées
1992	1.3	
1993	7.3	
1994	9.9	
1995	95.0	
1996	232.0	36
1997	455.0	74
1998	201.0	70
1999	144.0	70

Dans le cadre d'un projet financé par le programme d'initiative communautaire PESCA, l'Ifremer et le CNRS, une étude sur les caractéristiques générales de la petite pêche en Aquitaine a été réalisée. Un des volets de cette étude concerne l'évaluation de ressources importantes économiquement et notamment celle de la palourde du bassin d'Arcachon (son abondance, sa biomasse, sa répartition en différentes classes de taille et si possible en différents groupes d'âge). Dans le projet initial, seules les populations situées dans les 3 zones fermées à la pêche¹ devaient être évaluées. Cette décision de fermer certaines zones du bassin à la pêche pour une durée de 2 ans faisait suite à des craintes de surexploitation du stock. A la demande du Comité Local des Pêches Maritimes d'Arcachon, l'évaluation a été étendue à une zone plus vaste comprenant des secteurs exploités dont certains chenaux. Ce rapport présente le déroulement de cette évaluation ainsi que les principaux résultats obtenus.

2. Site d'étude, le bassin d'Arcachon

Le bassin d'Arcachon est un milieu lagunaire situé sur le littoral aquitain. En communication avec l'océan Atlantique par l'intermédiaire de deux passes étroites, le bassin est marqué par le jeu des marées. Son hydrologie est aussi

¹ Arrêté préfectoral de la Région Aquitaine n° 170 du 30 juin 2000

influencée par les apports d'eau douce provenant principalement de la Leyre, au sud-est, et des nappes phréatiques (Auby, 1993).

Le site étudié se trouve dans la partie abritée est du bassin où se situe l'essentiel du stock de palourdes. Dans cette zone, les eaux sont caractérisées par un régime de température et de salinité très variable. Ce sont les eaux néritiques internes (Bouchet, 1968). La température varie de 1°C à 25°C, la salinité de 22‰ à 32‰.

La zone intertidale (110 km²) est essentiellement constituée de sables vaseux et de vase couverts en grande partie par de vastes herbiers de *Zostera noltii* et des schorres (Bachelet *et al.*, 2000). La zone infralittorale (44 km²), drainée par les chenaux, est constituée de sables grossiers à fins, parfois de vases (moins de 8%). Certains talus de chenaux sont tapissés d'herbiers à *Zostera marina* ou de fonds coquilliers (Annexe 1).

3. Matériel et méthode

Le protocole retenu pour cette évaluation s'inspire de celui déjà utilisé dans le golfe du Morbihan pour une étude similaire (Berthou *et al.*, 1997a). Il consiste, après une étude bibliographique et un travail d'enquête auprès des pêcheurs, à stratifier la zone d'étude en sous-ensembles spatiaux les plus homogènes possible. Au sein de chacune des strates ainsi définies, des stations de prélèvement sont réparties aléatoirement. Au niveau de chaque station, deux prélèvements de sédiments sont réalisés. Les palourdes collectées sont d'abord identifiées puis ensuite dénombrées, mesurées et pesées en laboratoire.

3.1. Stratification.

La zone d'étude se trouve dans la partie est à nord-est du bassin, là où se situe l'essentiel du stock. Avec les moyens disponibles pour cette étude, il n'était pas possible d'échantillonner l'ensemble de la zone où sont potentiellement trouvées des palourdes. Cette zone couvre une surface d'environ 50 à 60 km². Ayant la possibilité d'échantillonner environ 240 stations (30 stations par jour sur 8 jours d'échantillonnage) et souhaitant, pour avoir une précision suffisante, un taux d'échantillonnage d'environ 10 stations par km², il a donc fallu se limiter à une zone d'environ 24 km². Sept strates ont été définies (figure 1 et tableau 2). Elles prennent en compte divers critères d'homogénéité (hydrologiques, bathymétriques ou sédimentaires) ainsi que des contraintes liées à la nécessité d'échantillonner des chenaux et les 3 zones fermées à la pêche depuis juin 2000. A part la strate « chenaux », elles se situent toutes globalement au-dessus du zéro des cartes.

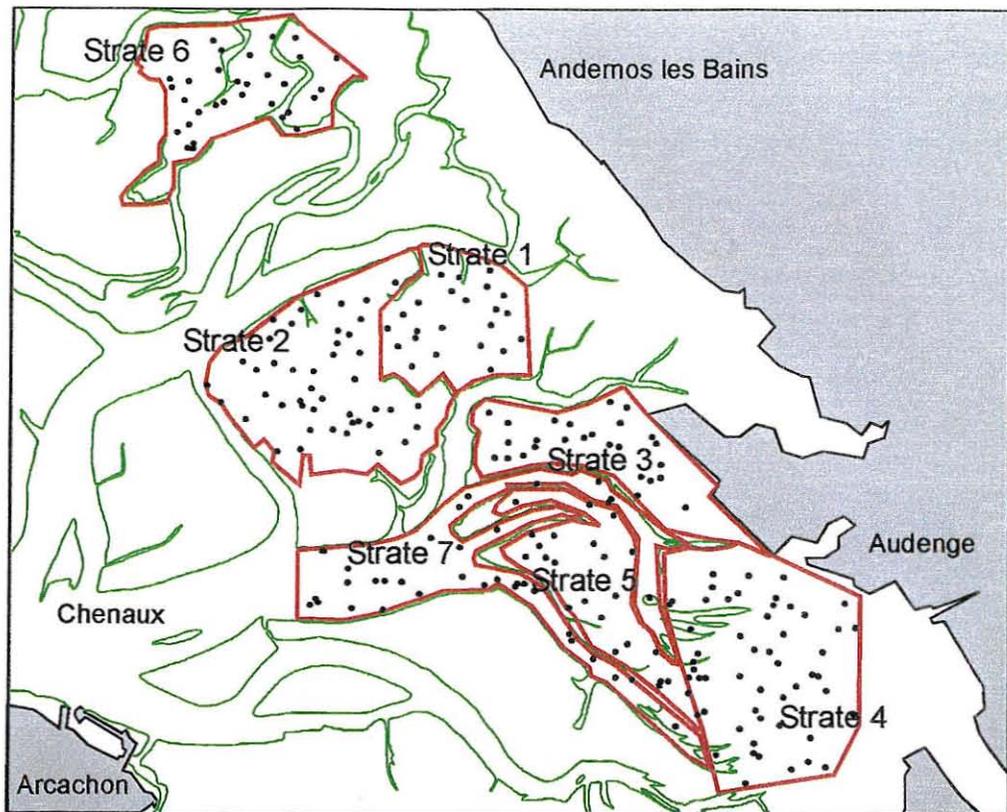


Figure 1. Carte des strates et des stations échantillonnées dans le bassin d'Arcachon.

3.2. Tirage de points.

237 stations d'échantillonnage ont été positionnées au hasard par tirage aléatoire à l'intérieur de chaque strate (figure 1). Ce tirage est effectué à l'aide d'un programme développé par Spyros Fifas (IFREMER-Brest). Le nombre de stations par strate est proportionnel à sa surface (tableau 2) avec, comme précisé précédemment, une densité fixée à environ 10 stations par km².

Tableau 2 : Principales caractéristiques des strates échantillonnées

Strate	Surface (km ²)	nb. total de stations	nb. de stations/km ²	Description
1	2.28	23	10.1	réserve de pêche
2	4.42	45	10.2	secteur de pêche
3	2.52	26	10.3	secteur de pêche
4	5.14	53	10.3	réserve de pêche
5	2.15	23	10.7	secteur de pêche
6	3.04	31	10.2	réserve de pêche
7	3.54	36	10.2	chenaux
Total	23.08	237	10.3	

3.3. Méthode de prélèvement.

A chaque station, le prélèvement est effectué à l'aide d'une benne Hamon qui permet de collecter un échantillon de sédiment de 0.25 m^2 sur 20 à 30 cm de profondeur (Annexe 2). Ce type d'engin de prélèvement est utilisé classiquement pour les évaluations de populations benthiques. La benne est embarquée à bord d'une barge ostréicole d'un tirant d'eau inférieur à 1 mètre, possédant un bras de levage puissant et équipé d'un treuil pour l'opération. Les prélèvements sont réalisés à marée haute ce qui permet d'accéder facilement à toutes les stations. Le positionnement se fait à l'aide d'un GPS. Deux unités d'échantillonnage par station sont prélevées. Un échantillon de sédiment est collecté à chaque station pour étude granulométrique ultérieure. L'ensemble du prélèvement est ensuite trié sur un tamis de 3 mm (Annexe 2) ce qui permet de capturer l'ensemble des classes d'âge, y compris les juvéniles. Les palourdes collectées sont mises en sachet et conservées dans du formol à 4%.

Les échantillons ont été ensuite traités au Laboratoire d'Océanographie Biologique d'Arcachon et au laboratoire du CREMA de L'Houmeau. L'espèce est déterminée, la taille individuelle (longueur suivant le plus grand axe) et le poids frais et sec sont mesurés. Une description plus détaillée des analyses menées sur les échantillons est présentée en Annexe 3.

Le plan d'échantillonnage adopté pour évaluer la population est de type aléatoire stratifié à deux niveaux. Les calculs de moyennes et totaux par strate ainsi que de leurs variances associées ont été décrits par Cochran (1977). Le détail des calculs, présenté par Berthou *et al.* (1997a) et que nous reprenons dans cette étude, est donné en Annexe 4.

Pour assurer l'accès à toutes les stations, l'échantillonnage s'est déroulé pendant une période de vives-eaux, du 31 mai au 7 juin 2000.

4. Résultats

4.1. Estimation des abondances et des biomasses totales.

Les estimations d'abondance et de biomasse moyennes par unité d'échantillonnage et les totaux par strates et sur l'ensemble des strates sont donnés dans le tableau complet des résultats de l'Annexe 5. L'abondance moyenne toutes espèces confondues et par unité d'échantillonnage est de $6.54 \text{ palourdes}/0.25 \text{ m}^2$ (soit $26.17/\text{m}^2$). La biomasse moyenne en poids frais est égale à $32 \text{ g}/0.25 \text{ m}^2$ (soit $128 \text{ g}/\text{m}^2$). L'abondance totale est estimée à 604 (± 114) millions d'individus, ce qui représente une biomasse pour la zone échantillonnée de 2 975 (± 511) tonnes.

Trois espèces de palourdes ont été récoltées lors de cette étude: la palourde européenne, *Tapes decussata* (Linnaeus, 1758), la palourde japonaise,

Tapes philippinarum (Adams et Reeve, 1850) et la palourde jaune, *Paphia aurea* (Gmelin, 1791). Leur description détaillée est donnée en Annexe 3. De ces trois espèces, la palourde japonaise domine largement avec 94% des effectifs et plus de 97% de la biomasse.

Des variations importantes d'abondance suivant les strates sont observées (figure 2). Les plus densément peuplées sont les strates 1, 3 et 6 avec de 12.3 à 15.8 individus par 0.25m² (50 à 63 individus/m²). La strate 7 (chenal) est quant à elle très peu peuplée avec une densité proche de zéro. En effectifs totaux par strate, l'importance des strates 1, 3 et 6 est manifeste avec respectivement 112, 130 et 193 millions d'individus. Les strates 2, 4 et 5 ont des effectifs d'environ 50 à 60 millions d'individus, la strate 7 de 1,7 millions seulement. En terme d'espèce (figure 4), la palourde japonaise domine dans chaque strate avec un pourcentage toujours supérieur à 75%. La palourde jaune représente 19% des effectifs dans la strate 2 et 7% dans la strate 5. La palourde européenne ne dépasse jamais les 6%.

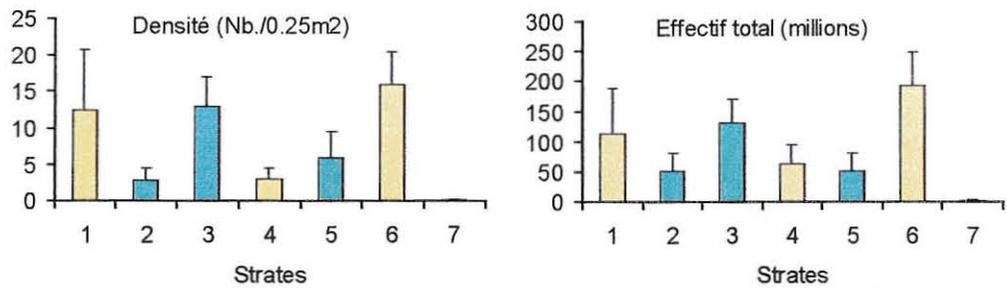


Figure 2. Abondance en nb/0.25m² et effectifs totaux estimés, toutes espèces confondues, par strate échantillonnée. (les strates fermées à la pêche sont en jaune, la barre verticale représente l'intervalle de confiance à 95%)

Les strates 1, 3 et 6 ont également les plus fortes biomasses avec respectivement 53, 68 et 79 g/0.25m² (soit 212, 272 et 318g/m²) ainsi que les plus fortes biomasses totales avec 484, 686 et 967 tonnes (figure 3). Les biomasses des strates 2, 4 et 5 sont respectivement de 13, 17 et 28 g/0.25m² (54, 67 et 111 g/m²) ce qui donne un total de 238, 347 et 237 tonnes pour l'ensemble de chaque strate. La biomasse de la strate 7 est estimée à 14 tonnes.

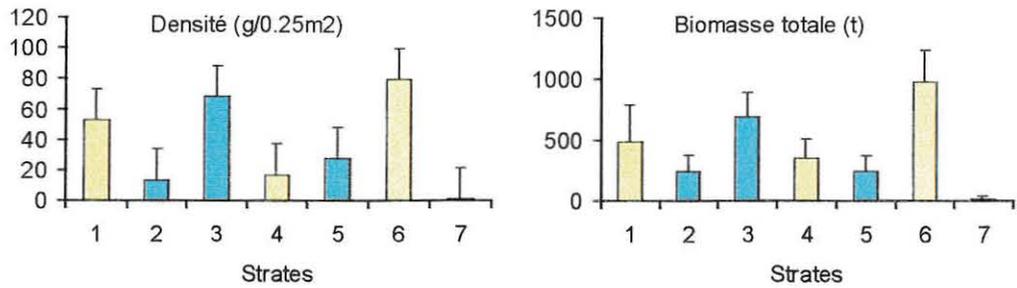


Figure 3. Biomasses estimées en g/0.25m² et tonnes, toutes espèces confondues, par strate échantillonnée (les strates fermées à la pêche sont en jaune, la barre verticale représente l'intervalle de confiance à 95%)

En terme d'espèce (figure 4), la palourde japonaise domine également la biomasse avec dans tous les cas un pourcentage supérieur à 85%. Dans la strate 2, les palourdes jaunes et européennes représentent respectivement 7 et 6% de la biomasse. Dans toutes les autres strates, ces pourcentages tombent à des valeurs faibles proches de 1%.

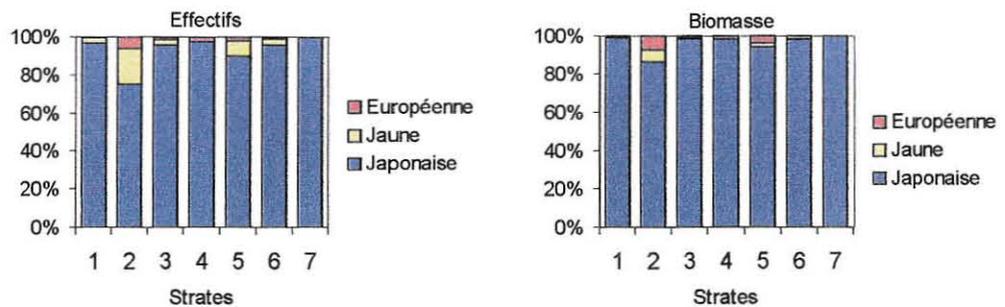


Figure 4. Proportion des espèces par strate en effectif et en biomasse dans les échantillons.

4.2. Structure en taille de la population de palourdes japonaises.

A part pour la strate 7, les palourdes japonaises sont en nombre suffisant dans les échantillons pour permettre l'établissement d'histogrammes de taille (figure 5). Ce n'est par contre pas le cas pour les 2 autres espèces dont les effectifs collectés sont trop faibles dans toutes les strates. Dans l'ensemble, les palourdes capturées ont une taille comprise entre 8 mm et 42 mm. Quelques cas extrêmes se rencontrent. Au niveau de la strate 3, la distribution des palourdes s'étend de 6 à 46 mm. Sur la strate 6, quelques individus dépassent les 44 mm. La majorité des palourdes se situe entre 22 et 36 mm avec un mode dominant autour de 28 ou 30 mm quelle que soit la strate. Il est assez difficile d'isoler des cohortes dans chaque histogramme obtenu. On peut cependant en «distinguer» 2 dans les histogrammes des strates 1, 3 et 6. La première cohorte comprend des individus de 6 à 18 mm avec mode à 13 mm dans les strates 3 et

6, elle semble un petit peu décalée dans la strate 1 avec un mode à 15 mm. La deuxième cohorte comporte des individus de 20 à 38 mm dans les trois strates (avec un mode autour de 28 à 30 mm). Les cohortes suivantes n'apparaissent pas clairement.

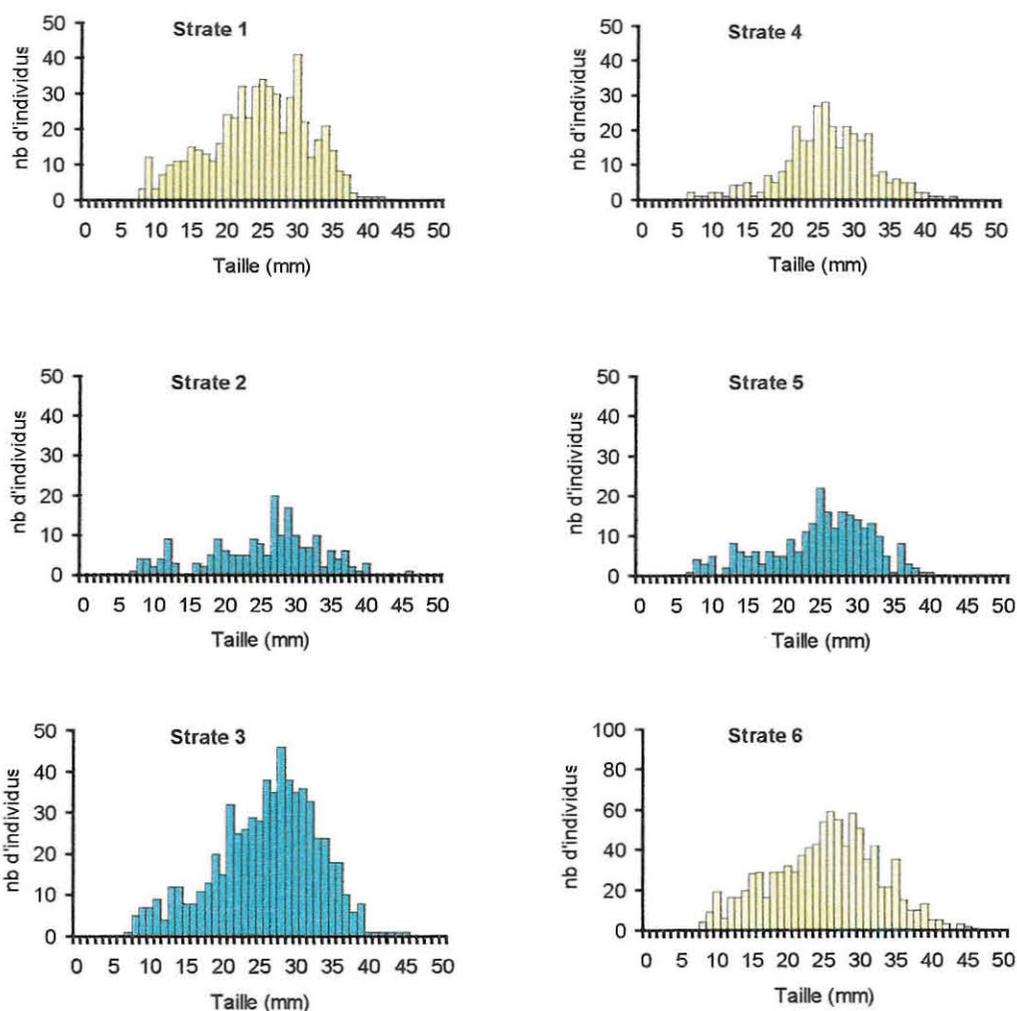


Figure 5. Histogramme de tailles des palourdes japonaises échantillonnées dans les strates 1 à 6 (les strates fermées à la pêche sont en jaune).

Sur l'ensemble des strates échantillonnées, la fraction exploitable ($L \geq 35$ mm) de palourdes japonaises est de moins de 10% des effectifs (tableau 3). Elle est de l'ordre de 10 à 12 % dans les strates 2, 3 et 6. Elle est très faible (6 à 9%) dans les strates 1, 4 et 5. La majeure partie du stock exploitable se situe dans les strates 3 et 6 avec 13 et 21 millions d'individus. En biomasse, la fraction exploitable est, logiquement, plus élevée avec 23% (690 tonnes). Là

encore, ce sont les strates 3 et 6 qui renferment l'essentiel de cette biomasse avec respectivement 161 et 257 tonnes.

Tableau 3 : Longueurs moyennes, poids moyens et fraction du stock exploitable des palourdes japonaises par strates.

Strate	Long. moy.	Eff. en % (L ≥ 35 mm)	Eff. en millions (L ≥ 35 mm)	Poids moyens	Biom. en % (L ≥ 35 mm)	Biom. en tonnes (L ≥ 35 mm)
1	24.5	6.35	7	4.29	15.76	76
2	25.3	11.86	6	4.69	28.25	67
3	26.0	10.22	13	5.27	23.44	161
4	26.3	8.75	6	5.44	22.09	77
5	24.9	6.43	3	4.63	17.02	40
6	25.2	10.82	21	5.01	26.60	257
7	30.2	44.44	1	8.18	74.64	11
Total	25.3	9.45	57	4.93	23.18	690

4.3. Les relations taille – poids frais total.

Le modèle utilisé est de la forme $P = a L^b$ avec P et L représentant respectivement le poids et la longueur. L'ajustement de ce modèle au prélèvement de la strate 2 est représenté sur la figure 6.

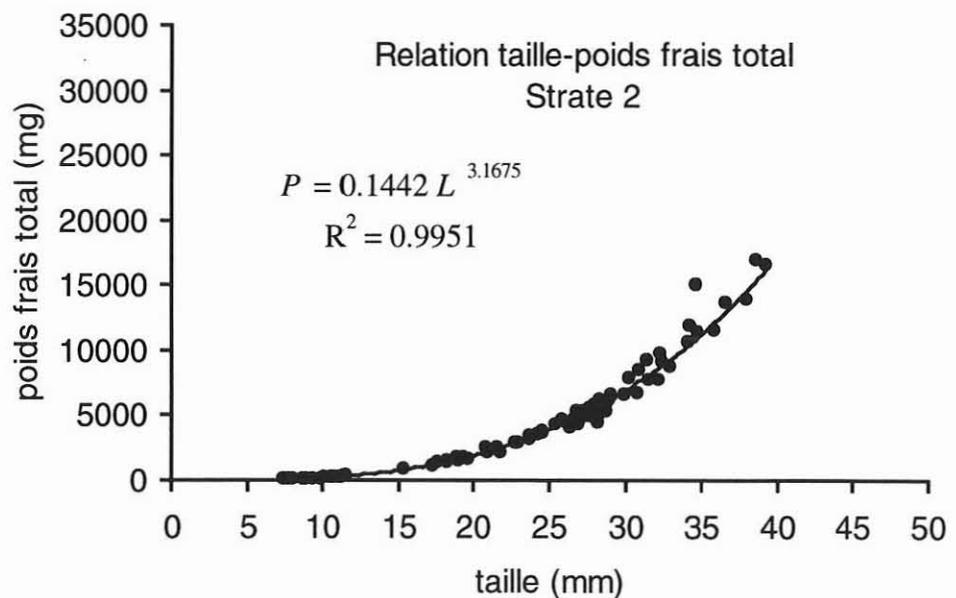


Figure 6. Exemple de relation taille – poids frais total pour les palourdes japonaises de la strate 2.

Excepté pour la strate 7 où le nombre d'individus est insuffisant pour réaliser ce type de courbe, les tracés obtenus pour les strates 1 à 6 donnent des valeurs de poids frais totaux semblables pour une même taille (Annexe 6).

5. Discussion

Les résultats obtenus lors de cette évaluation indiquent que la palourde japonaise domine aujourd'hui largement la palourde européenne. Elle représente, dans les secteurs échantillonnés, plus de 90% de la biomasse alors que la palourde européenne ne dépasse pas 5%. Ces deux espèces, à mode de vie similaire, entrent potentiellement en compétition et un risque de disparition de l'espèce européenne du bassin d'Arcachon ne peut être exclu dans les années à venir, d'autant qu'aucun juvénile de cette espèce n'a été observé dans les échantillons collectés. Une troisième espèce, la palourde jaune, est également présente dans la zone étudiée, notamment dans la strate 2. Elle y représente près de 20% des effectifs mais seulement 6% de la biomasse du fait de tailles individuelles moyennes faibles observées dans les échantillons par rapport à celles des autres espèces. Le bassin, à fond essentiellement vaseux, ne correspond peut-être pas à son milieu de vie préférée ce qui pourrait expliquer les faibles tailles observées dans les prélèvements.

Les densités en effectifs et en biomasses sont assez élevées en comparaison avec les résultats obtenus dans la golfe du Morbihan (Berthou, 1997 a et b) pour un stock où, comme pour le bassin d'Arcachon, la palourde japonaise est dominante, ou bien à ceux obtenus dans l'étang de Thau (Anon., 1999) où c'est l'espèce européenne qui est surtout présente (tableau 4).

Tableau 4. Comparaison des densités, proportions exploitables du stock, tailles et poids moyens obtenus pour trois stocks de palourdes.

Etudes	Eff. nb/m ²	Biom. g/m ²	Effectifs en % ≥ 35mm	Biom. en % ≥ 35mm	Longueur moyenne	Poids moyen
Golfe du Morbihan 1996 (Berthou, 1997a)	16.16	128.00	-	-	28.60	7.92
Golfe du Morbihan 1997 (Berthou, 1997b)	14.36	92.32	20.00	45.46	27.70	6.43
Etang de Thau (Anon., 1999)	8.3	78.18	30.00	-	-	-
Bassin d'Arcachon (cette étude)	26.17	128.91	9.43	23.17	25.35	4.93

La biomasse totale du stock de palourdes du bassin d'Arcachon est plus importante que celles des deux autres stocks (golfe du Morbihan et étang de Thau). En effet, bien que notre échantillonnage ne couvre qu'une partie de la zone d'extension probable de la palourde, on estime la biomasse totale de l'aire échantillonnée à plus de 2 900 tonnes. En comparaison, le stock du golfe du



Morbihan est estimé aux environs de 1 000 tonnes (1 400 tonnes en 1996 et 990 tonnes en 1997) et celui de l'étang de Thau à 320 tonnes. On constate cependant que la proportion des individus qui ont une taille supérieure à la taille marchande de 35mm est limitée (seulement 10% en nombre et 23% en biomasse). Elle est inférieure à celle observée dans le golfe du Morbihan qui était déjà considérée comme faible (Berthou *et al.*, 1997 a & b). Les longueurs et poids moyens obtenus pour l'ensemble de l'échantillon sont également faibles. Tout ceci peut refléter, au cours des dernières années, un fort taux d'exploitation qui a réduit de manière importante la population des palourdes de taille légale. Bien que ne disposant pas de distributions en taille des captures de la pêche professionnelle, il est cependant à craindre une capture importante de palourdes n'atteignant pas la taille marchande (de tailles comprises entre 25 mm et 35 mm pour lesquelles un marché existe à l'exportation), ce qui doit probablement entraîner des pertes pondérales conséquentes (une palourde de 25 mm qui pèse 3.8 g atteindra en moyenne environ 35 mm et 11 g six mois plus tard (figure 6), soit un gain pondéral de 180%) et peut partiellement expliquer la chute des captures observée depuis l'année record de 1997.

La richesse en palourdes des différentes zones étudiées est, en partie, fonction de leur position géographique dans le bassin d'Arcachon. Il existe, dans la lagune, un gradient de salinité d'est en ouest en raison de l'apport en eau douce par l'estuaire de la Leyre au sud-est. Parmi les strates qui sont fermées à la pêche depuis juin 2000, la strate 4 (la plus à l'est) subit fortement l'influence de la dessalure comme le met en évidence la présence d'un grand nombre de scrobiculaires (*Scrobicularia plana*) dans les échantillons prélevés. Son effectif et sa biomasse en palourdes sont réduits. Elle se caractérise de plus par une assez faible proportion de juvéniles. Les strates 1 et 6 par contre, sont très riches avec une prédominance de la zone la plus au nord, la strate 6 avec un stock exploitable de 250 tonnes pour une biomasse totale de 967 tonnes. Dans les secteurs qui sont ouverts à la pêche, la strate 3 a une biomasse totale très élevée, le stock exploitable est de 161 tonnes de palourdes pour une biomasse totale de 687 tonnes. La majeure partie du stock exploitable se trouve dans les strates 3 et 6. Les palourdes des strates 2, 5 et 7 se trouvent peut-être dans des conditions moins favorables et les effectifs restent faibles. La strate 5 se situe au sud et subit la forte influence de la dessalure. La strate 2 est composée au nord d'un gisement sauvage d'huîtres et la strate 7 est caractérisée par des chenaux où l'effet du courant et la nature du substrat constituent des conditions non propices au développement des palourdes.

Seules deux cohortes semblent ressortir des histogrammes de taille des strates 1, 3 et 6 mais dans l'ensemble, les cohortes sont difficiles à distinguer dans les compositions en taille. Ceci peut traduire un étalement de la reproduction et donc du recrutement sur une période plus ou moins longue dans l'année : les palourdes japonaises pondent de juin à octobre avec généralement 2 à 3 pontes successives. Cela peut aussi être lié à de fortes variabilités individuelles de croissance qui masquent les modes dans les distributions en

taille. Des travaux sur la reproduction des palourdes, *Tapes decussata* et des clovisses, *Paphia aurea* de l'étang de Thau ont été réalisés (Gallois, 1977 ; Borsa et Millet, 1992). Ils mettent en évidence qu'il existe un seuil de température favorable à la ponte. Cela pourrait influencer l'état de maturité gonadique des palourdes entre les différentes zones du bassin.

Garcia (1993) a réalisé des travaux sur l'interprétation des stries valvaires pour l'évaluation de la croissance de *Tapes decussata*. Il serait intéressant de faire également une interprétation de la croissance à partir des anneaux chez *Tapes philippinarum*. De tels travaux présentent cependant quelques difficultés car les stries de croissance annuelle sont difficiles à déterminer dans le bassin d'Arcachon où, par manque de saisonnalité bien marquée, la croissance est continue dans l'année. Les mêmes difficultés existent chez un autre bivalve fouisseur, la coque *Cerastoderma edule*. Ces stries, qui, lorsqu'elles sont visibles, apparaissent foncées en raison du ralentissement de croissance hivernal, doivent de plus être distinguées des stries estivales dues aux conditions défavorables de température, de salinité et d'oxygène (voire de pH) existant dans le fond de la lagune en été. En prolongement de la présente étude, la détermination du stade de maturité gonadique des palourdes dans chacune des strates ainsi que l'interprétation des stries de croissance chez *Tapes philippinarum* sont en cours.

La première cohorte apparaissant sur les histogrammes de taille correspond aux palourdes nées l'année précédente (groupe d'âge I). Cette cohorte est en proportion modeste par rapport aux cohortes suivantes, ce qui avait également été observé lors de la seconde évaluation menée dans le golfe du Morbihan en 1997. Il est possible que ceci soit lié à un mauvais recrutement en 1999, ce qui pourrait conduire à une diminution du stock au cours des 2 à 3 années qui viennent. A l'inverse, un recrutement exceptionnel en 1998 aurait également pu conduire à un tel histogramme. On devrait observer dans ce cas une augmentation importante des captures dès cette année. Il est cependant possible d'envisager d'autres raisons à cette faible représentation dans les histogrammes obtenus. Même si cela n'est pas suffisant pour expliquer une si faible proportion, il peut malgré tout exister un problème de sélectivité sur les petits individus lié au tamisage. Ainsi, les palourdes de 4 à 6 mm de longueur passent à travers les mailles de 3 mm. De plus, il est envisageable qu'existe une relation inverse entre l'abondance des juvéniles et des adultes, la présence d'adulte dans une zone limitant la quantité de juvéniles (Williams, 1980). Dans ce cas cependant, les zones riches en juvéniles et pauvres en adultes se situeraient dans des secteurs du bassin qui n'ont pas été échantillonnées. Enfin, cette faible représentation des individus de petite taille dans les histogrammes conduit dans l'ensemble, à une forme de distribution caractérisée par un mode plus prononcé à droite de cette distribution. Ce phénomène est décrit par Barry et Tegner (1989) et Smith et Botsford (1998). Il pourrait simplement traduire une dynamique de stock où globalement et sur les gammes de taille concernées, la croissance domine la mortalité.

6. Conclusions

Cette étude a permis tout d'abord de vérifier l'applicabilité, dans le bassin d'Arcachon, d'une méthode d'évaluation de populations de palourdes développée avec succès dans le golfe du Morbihan. A l'aide d'une benne Hamon embarquée à bord d'une barge ostréicole, on a pu ainsi obtenir une première estimation de la biomasse et des distributions en taille par espèce dans une zone d'environ 24 km² qui représente approximativement la moitié du secteur où l'on peut potentiellement trouver des palourdes.

Les principaux résultats de l'étude peuvent se résumer ainsi :

- La palourde japonaise (*Tapes philippinarum*), apparue dans le bassin d'Arcachon au milieu des années 1980 suite aux expériences de vénériculture, est aujourd'hui l'espèce de palourde principale avec plus de 90% des effectifs et de la biomasse.
- Les densités moyennes obtenues sont supérieures à celles du golfe du Morbihan et de l'étang de Thau où des évaluations similaires ont été conduites récemment.
- Bien que cette étude ne couvre qu'une partie de la zone, la biomasse totale semble déjà importante si on la compare aux autres stocks étudiés. La structure en taille observée traduit cependant l'existence probable d'un taux d'exploitation élevé et peut laisser supposer une capture non négligeable d'individus n'atteignant pas la taille marchande. A défaut d'un diagnostic de surexploitation que ne permet pas de faire la présente étude, on peut parler tout de même d'une « mésexploitation » du stock, la capture d'individus de faible taille entraînant des pertes pondérales importantes. On ne dispose malheureusement pas de structures en taille des captures qui permettraient d'étayer cette hypothèse et de quantifier l'impact réel de la pêche telle qu'elle est pratiquée sur le stock.
- La proportion des palourdes de petite taille dans nos échantillons (< 18 mm) est faible. Malgré les réserves présentées plus haut quant à l'interprétation qu'on peut en faire, il existe une incertitude sur la présence dans le bassin de la cohorte 1999 en quantité suffisante pour ne pas entraîner une baisse de la biomasse au cours des années qui viennent.

Au regard de ces premiers résultats, une recommandation qui nous semble essentielle est celle d'améliorer le tri manuel des palourdes afin de réduire la mortalité par pêche sur les individus « hors tailles ». La fermeture à la pêche pour deux ans de trois zones, décidée à partir de juillet 2000, devrait être également bénéfique en permettant au stock d'individus de taille marchande de se reconstituer dans ces zones. A cet égard, les estimations obtenues ici constituent un point de référence très intéressant. Refaire une évaluation dans



l'avenir permettrait en effet de mesurer l'impact de cette fermeture sur l'abondance et la distribution en taille des stocks dans les zones fermées à la pêche et de comparer l'évolution de ces zones à celle observée dans les secteurs où la pêche est toujours pratiquée.

Dans le cas d'espèces peu mobiles comme les palourdes, une fermeture à la pêche, tournante et périodique, de certaines zones, comme cela a été décidé dans le bassin d'Arcachon, peut constituer un moyen efficace de gestion. Dans ce cadre, il est cependant préférable de disposer de critères pour la fermeture et l'ouverture des zones. On peut ainsi envisager de permettre l'exploitation jusqu'à une valeur seuil (valeur limite de rendement par exemple) en dessous de laquelle les zones seraient fermées et les pêcheurs devraient en exploiter d'autres, et mettre éventuellement en place un système de suivi des zones fermées permettant de décider quand elles pourraient être réouvertes à la pêche. Cet exemple met en évidence la nécessité pour le gestionnaire d'avoir, même dans le cas d'une gestion rationnelle simple comme c'est le cas ici, des données statistiques fiables (des rendements dans l'exemple précédent) et une connaissance suffisante de la biologie de l'espèce exploitée (croissance, mortalité, recrutement). Cela permet, quel que soit le système de gestion envisagé, fermeture de zones, licences mais aussi quotas, de fixer les objectifs les mieux adaptés aux potentialités de la ressource. Dans le cas contraire, les mesures de gestions ne peuvent être que très prudentes pour ne pas prendre le risque de voir la pêcherie s'effondrer.

Pour finir, rappelons que l'exploitation de la palourde s'insère dans un cadre plus large, celui de l'activité halieutique du bassin d'Arcachon, et que toute mesure de gestion de cette pêcherie ne peut être élaborée sans la prise en compte de cette dimension. En ce sens, l'étude plus large « petite pêche en aquitaine » du projet PESCA dont ce travail constitue l'un des volets devrait permettre d'établir les bases d'une telle approche intégrée.



7. Bibliographie

- Anonyme, 1999. Gestion d'une ressource naturelle exploitée. Cas de la palourde (*Ruditapes decussatus*) dans la lagune de Thau : Diagnostic pluridisciplinaire. Rapport du Programme Palourde (Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins du Languedoc-Roussillon). 103 p. + annexes
- Auby, I. 1993. Evolution de la richesse biologique du bassin d'Arcachon. Rapport Société Scientifique d'Arcachon, Laboratoire d'Océanographie Biologique, IFREMER. Contrat SSA n°91 5 527 019 : 222 p. + annexes.
- Bachelet, G., de Montaudouin X., Auby I., Labourg P.-J. 2000. Seasonal changes in macrophyte and macrozoobenthos assemblages in three coastal lagoons under varying degrees of eutrophication. ICES J. mar. Sci., 57 : 1495-1506.
- Barry, J.P. and M.J. Tegner, 1989. Inferring demographic processes from size-frequency distributions : simple models indicate specific patterns of growth and mortality. Fishery Bulletin, US. 88 : 13-19.
- Berthou P., Huet J., Noël P., Jezequel et S. Fifas 1997a. Etude de la pêcherie de palourdes du golfe du Morbihan. Rapport IFREMER, 21p.
- Berthou P., Mahé J.C., Huet J. et P. Noel 1997b. Evaluation du Stock de Palourdes du golfe du Morbihan en 1997. Rapport interne IFREMER. 17p.
- Bobo J.P., 1996. La contamination des coquillages fouisseurs du bassin d'Arcachon : conséquences sur l'exploitation des gisements. Ecole Nationale des Travaux Agricoles de Bordeaux. 43p. + annexes.
- Borsa P. and B. Millet, 1992. Recruitment of the clam *Ruditapes decussatus* in the lagoon of Thau, Mediterranean Estuarine. Coastal and Shelf Science, 35 : 289-300.
- Bouchet J.M., 1968. Etude océanographique des chenaux du bassin d'Arcachon. Thèse Doct. Sci. nat. Université Bordeaux I, 2 tomes, 306p.
- Cochran W.G. 1977. Sampling Techniques (Third edition) John Wiley & Sons, 428p.
- Gallois, D. 1977. Sur la reproduction des palourdes, *Venerupis decussata* (Linné) et des clovisses, *Venerupis aurea* (Gmelin) de l'étang de Thau (Hérault). Vie et milieu, 27(2) : 233-254.

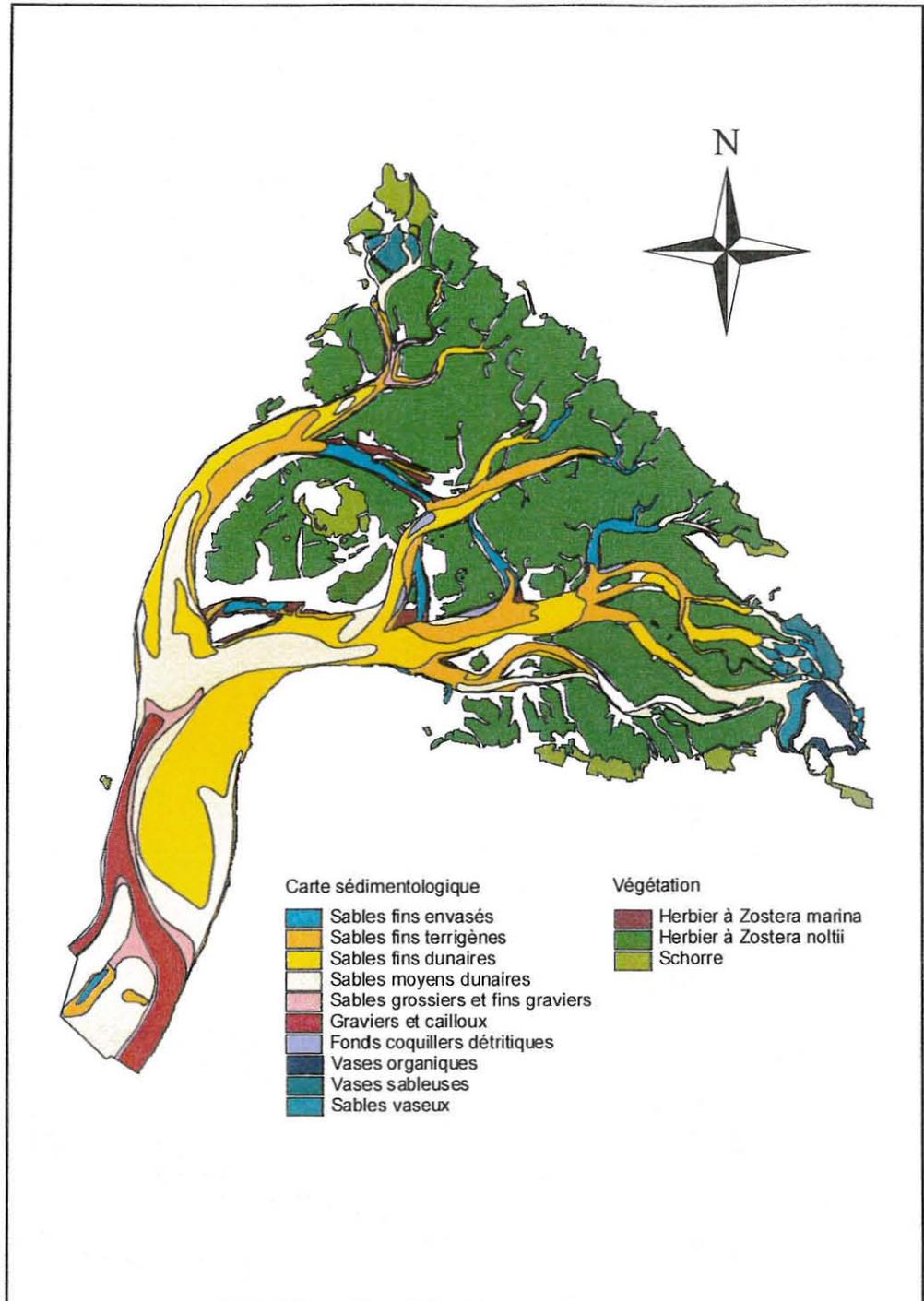


- Garcia, F. 1993. Interprétation des stries valvaires pour l'évaluation de la croissance de *Tapes decussatus* L. Oceanologica Acta, 16 (2) : 199-203.
- Robert R. et J.P. Deltreil 1990. Elevage de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* dans le bassin d'Arcachon. Bilan des dix dernières années et perspectives de développement. Rapport IFREMER, -90. 40-RA/ Arcachon, 21p.
- Smith, B.D. et L.W. Botsford, 1998. Interpretation of growth, mortality and recruitment patterns in size at age, growth increment and size frequency data. in Proceedings of the North Pacific symposium on invertebrate stock assessment and management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 125, 462p.
- Williams J.G., 1980. The influence of adults on the settlement of spat the clam *Tapes japonica*. J. mar. Res. 38 : 729-741.

8. Annexes



Annexe 1. Carte bio-sédimentaire du bassin d'Arcachon



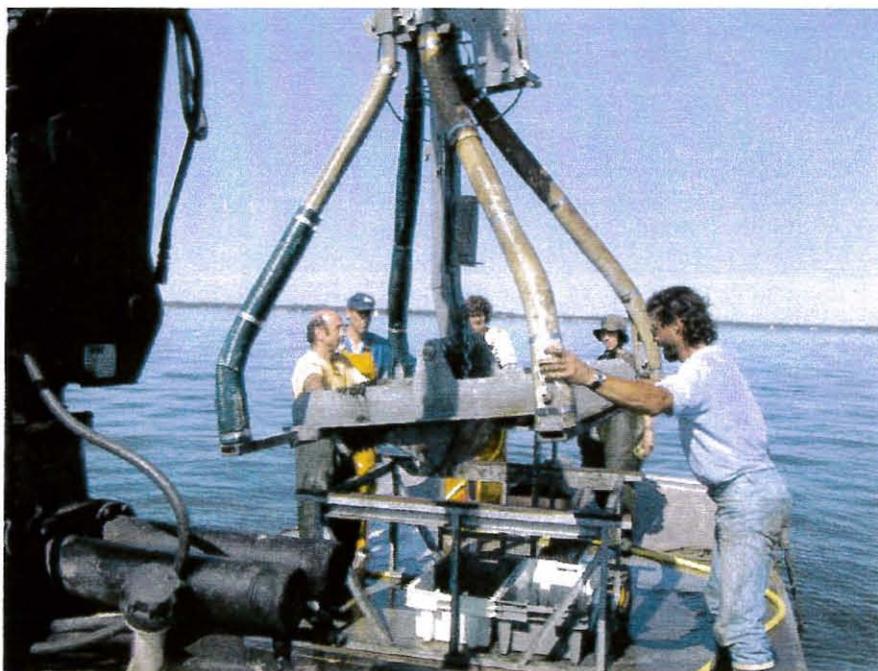
Annexe 2.

Photo 1. Manœuvre de la benne Hamon à bord de la barge ostréicole.



Photo 2. Tamisage du prélèvement collecté.

Annexe 3. Analyse des échantillons

Détermination des espèces

Six espèces sont connues sur les côtes atlantiques, quatre d'entre elles se rencontrent potentiellement dans le bassin d'Arcachon : la palourde japonaise, *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850), la palourde européenne, *Tapes decussata* (Linnaeus, 1758) la fausse palourde, *Venerupis pullastra* (Montagu, 1803), la palourde jaune, *Paphia aurea* (Gmelin, 1791) et la palourde rose, *Venerupis rhomboïdes* (Pennant, 1777). Les palourdes japonaises (figure 1) et européenne (figure 2) se distinguent difficilement l'une de l'autre par la forme de la coquille qui est légèrement plus bombée et trigone chez la japonaise. Il est nécessaire d'ouvrir la palourde et d'observer les caractéristiques des siphons, soudés chez la palourde japonaise, séparés et plus longs chez l'euro-péenne. La palourde jaune (figure 3) se reconnaît à sa coquille lisse uniquement ornée de stries concentriques. La fausse palourde, aux stries très fines et à la forme beaucoup plus allongée (non illustrée) n'a pas été récoltée dans cette étude.

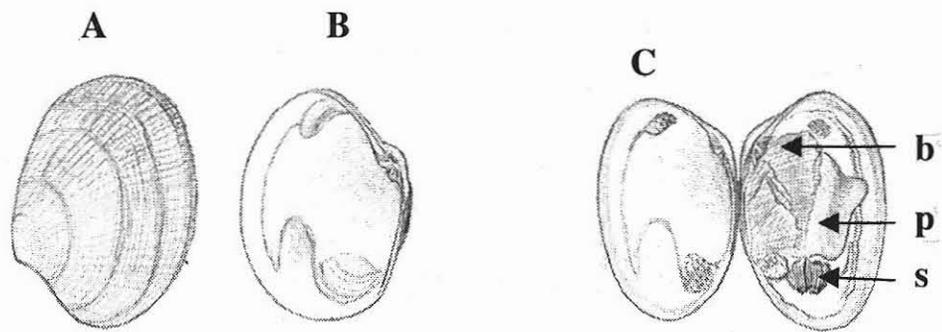


Figure 1: dessin de la palourde japonaise (taille réelle)

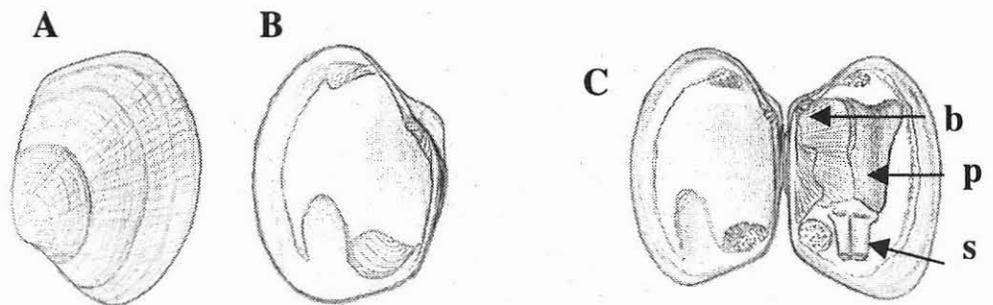


Figure 2 : dessin de la palourde européenne (taille réelle)



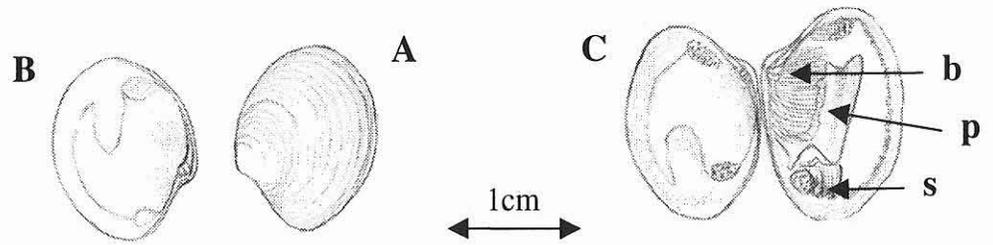


Figure 3: dessin de la palourde jaune.

A : extérieur de la valve gauche

B : intérieur des valves

C : palourde ouverte présentant sa masse viscérale

p : pied

b : branchies

s : siphons

Détermination de la taille individuelle

Chaque palourde est mesurée au pied à coulisse électronique au 1/100ème de millimètre selon le plus grand axe, la taille correspondant à la longueur maximale, L (figure 4).

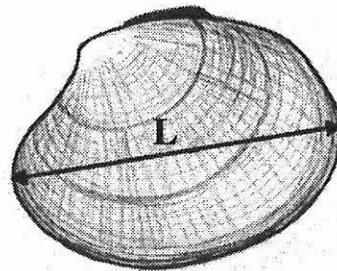


Figure 4: mensuration du plus grand axe sur une palourde japonaise.

Elaboration d'une relation taille – poids frais total

Une relation taille–poids est réalisée pour chaque strate de façon à tenir compte des éventuelles variations de forme et de proportion entre les strates. Elle est effectuée sur un lot de 50 individus intacts prélevés par tirage aléatoire. Les individus de taille connue sont pesés au moyen d'une balance au 1/100ème de grammes. La relation obtenue permet d'évaluer le poids frais total des palourdes cassées ou abîmées lors des calculs de biomasses.

Annexe 4. Echantillonnage stratifié à deux niveaux pour l'évaluation directe des mollusques bivalves (*in* Berthou *et al.* 1997a)

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

Taux d'échantillonnage

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

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

avec : n_h = nombre de points dans la strate

S_h = Surface totale de la strate

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

R = rayon d'activité

Nombre d'échantillons par niveau

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

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



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

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

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

Estimateurs

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



donc :

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

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

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

Pour estimer cette variance à partir de l'échantillon existant, il est nécessaire de disposer d'une estimation non biaisée de S_{1h}^2 et S_{2h}^2 . Cochran (1977) montre qu'un estimateur non biaisé de S_{1h}^2 est donné par :

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

avec :

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

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

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

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



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

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

et la variance correspondante est égale à :

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



Annexe 5. Tableaux des résultats

Palourde européenne

Strate	Surface (km ²)	Nb. de stations	Effectifs (Nb./0.25m ²)	Ecart type	Biomasse (g/0.25m ²)	Ecart type	Effectif (10 ⁶)	Ecart type	Biomasse totale (t)	Ecart type
1	2.28	23	0.065	0.036	0.187	0.105	0.60	0.33	1.71	0.96
2	4.42	45	0.178	0.051	0.974	0.291	3.14	0.90	17.21	5.14
3	2.52	26	0.192	0.099	0.647	0.332	1.94	1.00	6.52	3.35
4	5.14	53	0.075	0.031	0.227	0.118	1.55	0.64	4.66	2.42
5	2.15	23	0.130	0.071	1.068	0.615	1.12	0.61	9.16	5.28
6	3.04	31	0.210	0.051	1.052	0.352	2.55	0.62	12.80	4.28
7	3.54	36	0.000	-	0.000	-	0.00	-	0.00	-
Total	23.08	237	0.118		0.564		10.90	1.76	52.06	9.52

Palourde japonaise

Strate	Surface (km ²)	Nb. de stations	Effectifs (Nb./0.25m ²)	Ecart type	Biomasse (g/0.25m ²)	Ecart type	Effectif (10 ⁶)	Ecart type	Biomasse totale (t)	Ecart type
1	2.28	23	11.957	4.116	52.455	16.778	109.18	37.58	478.96	153.20
2	4.42	45	2.156	0.777	11.669	3.649	38.07	13.73	206.11	64.46
3	2.52	26	12.423	2.024	67.148	10.055	125.13	20.39	676.34	101.28
4	5.14	53	3.019	0.758	16.650	3.926	62.06	15.58	342.29	80.71
5	2.15	23	5.391	1.818	26.109	7.651	46.27	15.60	224.07	65.66
6	3.04	31	15.210	2.296	77.875	11.197	185.14	27.94	947.95	136.30
7	3.54	36	0.125	0.070	1.022	0.524	1.77	0.99	14.47	7.42
Total	23.08	237	6.147		31.300		567.62	57.31	2890.19	259.50

Palourde jaune

Strate	Surface (km ²)	Nb. de stations	Effectifs (Nb./0.25m ²)	Ecart type	Biomasse (g/0.25m ²)	Ecart type	Effectif (10 ⁶)	Ecart type	Biomasse totale (t)	Ecart type
1	2.28	23	0.348	0.157	0.366	0.171	3.18	1.44	3.34	1.56
2	4.42	45	0.544	0.139	0.853	0.222	9.62	2.45	15.06	3.91
3	2.52	26	0.327	0.138	0.368	0.143	3.29	1.39	3.71	1.44
4	5.14	53	0.009	0.009	0.004	0.004	0.19	0.19	0.07	0.07
5	2.15	23	0.457	0.214	0.518	0.224	3.92	1.84	4.44	1.92
6	3.04	31	0.435	0.132	0.567	0.165	5.30	1.61	6.90	2.01
7	3.54	36	0.000	-	0.000	-	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	23.08	237	0.276		0.363		25.50	4.00	33.53	5.25

Total toutes espèces

Strate	Surface (km ²)	Nb. de stations	Effectifs (Nb./0.25m ²)	Ecart type	Biomasse (g/0.25m ²)	Ecart type	Effectif (10 ⁶)	Ecart type	Biomasse totale (t)	Ecart type
1	2.28	23	12.370	4.226	53.008	16.848	112.95	38.58	484.02	153.84
2	4.42	45	2.878	0.860	13.496	3.789	50.83	15.19	238.38	66.92
3	2.52	26	12.942	2.041	68.162	10.038	130.36	20.56	686.56	101.11
4	5.14	53	3.104	0.774	16.880	3.971	63.81	15.91	347.02	81.63
5	2.15	23	5.978	1.784	27.694	7.603	51.31	15.31	237.67	65.25
6	3.04	31	15.855	2.346	79.494	11.344	193.00	28.56	967.66	138.09
7	3.54	36	0.125	0.070	1.022	1.027	1.77	0.99	14.47	14.54
Total	23.08	237	6.541		32.227		604.02	58.71	2975.78	261.86

Annexe 6. Relation taille - poids par strate échantillonnée