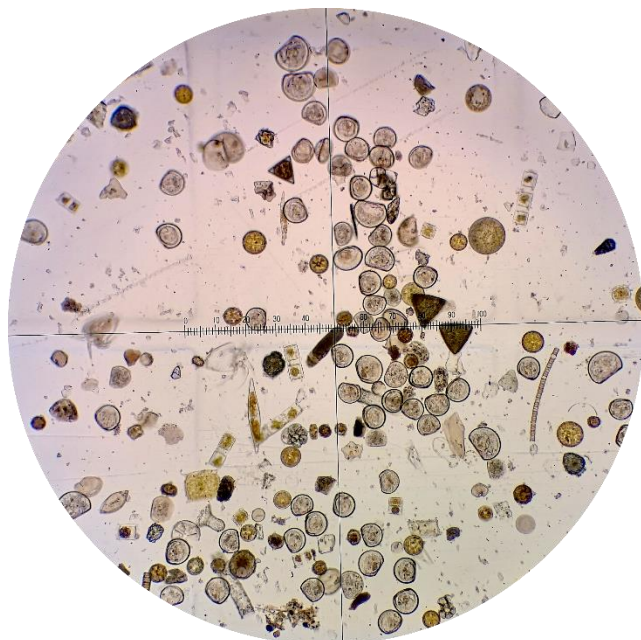
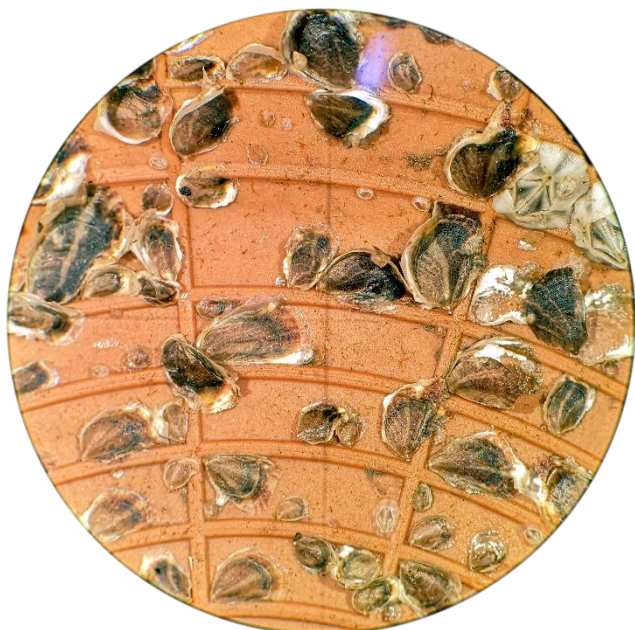


Développement d'indicateurs relatifs à la dynamique larvaire et de captage des huîtres et des moules dans le Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis et le Parc naturel marin du Bassin d'Arcachon



Volet 1 : Proposition de niveaux de référence de captage et d'indicateurs larvaires

Rapport technique n°1
Pierrick Barbier

03/2022

| | |
|---|--|
| Pierrick Barbier Développement d'indicateurs relatifs à la dynamique larvaire et de captage des huîtres et des moules dans le PNM EGMP et le PNM BA | Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine |
| Volet 1 : Proposition de niveaux de référence de captage | |
| Rapport technique n°1 133 pages | 03/2022 |
| Barbier P. (2022) Développement d'indicateurs relatifs à la dynamique larvaire et de captage des huîtres et des moules dans le PNM EGMP et le PNM BA – Volet 1 : Proposition de niveaux de référence de captage et d'indicateurs larvaires. Rapport technique n°1, CAPENA, PNM EGMP, PNM BA, 133 p. | |
| <p>RÉSUMÉ :</p> <p>Dans le cadre des plans de gestion des Parcs naturels marins de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (PNM EGMP) et du Bassin d'Arcachon (PNM BA), des objectifs relatifs au bon état de conservation de la faune marine et au développement durable de l'activité ostréicole sont établis. En conchyliculture, ces deux secteurs se distinguent des autres bassins conchylicoles par leur capacité de captage naturel de naissains d'huîtres creuses et de moules communes. Dans ce contexte, les objectifs de ce travail sont de : 1. Définir des niveaux de référence de captage des deux espèces qui permettront de suivre sur le long terme l'évolution de la qualité de l'environnement suivant cette activité ; 2. Comprendre le lien entre les cohortes de larves et le captage de naissains en définissant des indicateurs larvaires permettant d'évaluer l'intensité du recrutement annuel.</p> <p>Pour ce faire, CAPENA bénéficie de l'antériorité des suivis réalisés par le CREEA et des données acquises dans le cadre du réseau national VELYGER (IFREMER). Les jeux de données historiques de larves et de captage, d'huîtres creuses et de moules communes, du Bassin d'Arcachon et du littoral charentais sont mis en relation par le biais d'analyses statistiques adaptées aux échelles spatio-temporelles et aux différents protocoles utilisés.</p> <p>La définition des niveaux de référence de captage des huîtres creuses a permis de mettre en évidence deux fonctionnements distincts entre les deux bassins de productions. Avec un recrutement relativement homogène d'une année sur l'autre en Charente-Maritime, mais avec des intensités différentes entre ses secteurs, le captage sera considéré comme « modéré » au Nord de l'embouchure de la Charente pour des valeurs de 30 à 60 individus/coupelle, alors que ce même niveau sera atteint pour 70 à 110 individus/coupelle au centre du bassin. Le recrutement dans le Bassin d'Arcachon est caractérisé par une alternance d'années avec un captage fort (> 300 individus/coupelle) et faible (< 70 ind/coupelle), mais avec des dynamiques similaires entre les secteurs Est et Ouest. Pour les moules communes en Charente-Maritime, la quantité de naissain capté et d'intérêt pour les mytiliculteurs est relativement stable d'une année sur l'autre pour assurer le maintien de l'activité. Néanmoins, d'un point de vue biologique, d'importantes variations de l'intensité du captage primaire sont mises en évidence.</p> <p>Plusieurs indices larvaires ont été définis en utilisant les données acquises par le suivi des cohortes dans la colonne d'eau. Pour expliquer une partie de la variabilité du captage au sein de ces milieux, ce sont des indicateurs larvaires associés à des valeurs quantitatives de larves de stade « grosses » qui sont mis en évidence dans le Bassin d'Arcachon, alors que ce sont des indicateurs relatifs à la temporalité des larves de ce même stade qui semblent prépondérants en Charente-Maritime. Le fonctionnement des deux bassins de production est discuté au regard des résultats obtenus et des préconisations sont émises pour améliorer la compréhension du découplage entre le nuage larvaire et le stock de recrues.</p> | |
| Mots clés : Captage, Larve, Indicateur, Huître, Moule, Charente-Maritime, Arcachon | |

Table des matières

| | | |
|------|--|----|
| I. | Introduction..... | 6 |
| 1. | Contexte et objectifs | 6 |
| 2. | Volet 1 : Proposition de niveaux de référence de captage | 7 |
| II. | Matériels et Méthodes | 8 |
| 1. | Récupération, formatage et nettoyage des jeux de données | 8 |
| 1.1. | Compilation et formatage des données « captage »..... | 8 |
| 1.2. | Méthode de suppression des valeurs aberrantes « captage » | 10 |
| 1.3. | Récupération des jeux de données « larves » | 10 |
| 2. | Définition des métriques et des niveaux de référence de captage..... | 11 |
| 3. | Définition d'indicateurs larvaires pour le captage..... | 12 |
| III. | Résultats et discussion | 12 |
| 1. | Recrutement de l'huître creuse en Charente-Maritime | 13 |
| 1.1. | Variations interannuelles du recrutement..... | 13 |
| 1.2. | Exploration des métriques et proposition de niveaux de référence de captage ... | 17 |
| 1.3. | Définition d'indices larvaires | 22 |
| 1.4. | Relation entre les indices larvaires et le captage | 25 |
| 1.5. | Proposition d'indicateurs larvaires du captage d'huîtres creuses en Charente-Maritime. | 36 |
| 2. | Recrutement de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon | 37 |
| 2.1. | Variations interannuelles du recrutement..... | 37 |
| 2.2. | Exploration des métriques et proposition de niveaux de référence de captage ... | 41 |
| 2.3. | Définition d'indices larvaires | 46 |
| 2.4. | Relation entre les indices larvaires et le captage | 50 |
| 2.5. | Proposition d'indicateurs larvaires du captage d'huîtres creuses dans le Bassin d'Arcachon. | 56 |
| 3. | Recrutement de la moule commune en Charente-Maritime | 57 |
| 3.1. | Variations interannuelles du recrutement..... | 58 |
| 3.2. | Exploration des métriques et proposition de niveaux de référence de captage ... | 61 |
| 3.3. | Définition d'indices larvaires | 64 |
| 3.4. | Relation entre les indices larvaires et le captage | 67 |
| 3.5. | Proposition d'indicateurs larvaires du captage de moules communes dans le Bassin de Marennes-Oléron..... | 71 |
| 4. | Recrutement de la moule commune dans le Bassin d'Arcachon | 73 |
| 4.1. | Exploration des données de recrutement | 74 |
| 4.2. | Définition d'indices larvaires | 77 |
| 4.3. | Exploration visuel entre les indices larvaires et le captage | 80 |
| 4.4. | Proposition d'indicateurs larvaires du captage de moules communes dans le Bassin d'Arcachon..... | 82 |
| IV. | Conclusion générale et perspectives | 83 |
| 1. | Niveaux de référence de captage..... | 83 |
| 2. | Indicateurs larvaires | 84 |
| 3. | Perspectives..... | 86 |
| V. | Bibliographie | 87 |
| VI. | Annexes..... | 89 |

I. Introduction

1. Contexte et objectifs

Le captage de naissain d'huîtres et de moules réalisé au sein du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (PNM EGMP) est une activité économique d'importance soutenant l'ensemble de la filière conchylicole française. Le CAPENA suit depuis de nombreuses années l'émission des larves de ces deux espèces dans les pertuis charentais et alimente le réseau national de suivi VELYGER. En complément, un suivi du captage de ces larves est également réalisé par le CAPENA et permet d'évaluer la fixation de ces larves sur différents secteurs du bassin de production des Pertuis charentais. Ces suivis réalisés depuis de nombreuses années ont permis de constituer une base de données importante.

Le bon déroulement de la phase de reproduction de ces bivalves (à travers l'émission des gamètes, l'évolution des larves puis la fixation du naissain) est un marqueur important de la qualité environnementale du milieu.

Le PNM EGMP a donc adopté un objectif visant le maintien d'un bon niveau de captage pour naissains d'huîtres et de moules au sein de son périmètre. Cet objectif a été inscrit à son plan de gestion via la finalité 24 : « Un bon niveau de captage de naissain d'huîtres creuses et de moules et une diversité génétique maintenus grâce à un stock suffisant dans le milieu naturel ». Cette finalité passe par des « densités moyennes (période et zones de référence à établir) de captage maintenues par rapport à un niveau de référence (à définir avec les professionnels et l'IFREMER) ».

Ces suivis répondent ainsi à plusieurs objectifs fixés par le plan de gestion du PNM EGMP, notamment ceux relatifs au bon état de conservation de la faune marine et au développement durable de l'activité ostréicole.

Le Bassin d'Arcachon est l'un des principaux centres naisseur d'huîtres creuses en Europe. L'importante activité économique autour du captage de naissain d'huître a engendré un besoin de connaissances sur la reproduction de cette espèce dans le Bassin d'Arcachon, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Des suivis ont par conséquent été mis en place dans le périmètre du Parc naturel marin du Bassin d'Arcachon (PNM BA) afin de :

- Permettre à la profession de mieux gérer la pose et l'enlèvement des collecteurs d'huîtres ou les installations d'élevage, selon le recrutement.
- Assurer une diffusion en temps réel et à l'ensemble de la profession de ces informations de façon bihebdomadaire.
- Disposer d'une base de données pluriannuelle de suivi du recrutement permettant d'en comprendre le fonctionnement (VELYGER).
- Disposer d'un indicateur du bon état de la qualité de l'eau et des écosystèmes côtiers.

Les larves d'huîtres peuvent également jouer un rôle d'indicateur de suivi du milieu. Les émissions de larves, la qualité des pontes et l'évolution des cohortes sont directement associées à des paramètres physico-chimiques, qui conditionnent l'efficacité du recrutement (température de l'eau, salinité, vent...). La survie des larves et leur capacité de fixation peuvent aussi être des indicateurs des conditions trophiques du milieu, puisque la qualité et la quantité des sources d'alimentation impactent directement les capacités de survie larvaire et post-larvaire, de fixation/métamorphose et de maturation (Gasmi 2017 et références associées).

Le suivi du recrutement de larves d'huîtres était assuré sur le Bassin d'Arcachon par IFREMER depuis 1993 jusqu'en 2015. Il s'inscrivait depuis 2008 dans le cadre du réseau VELYGER. Le suivi des émissions de larves d'huîtres dans le Bassin d'Arcachon a été repris en 2016 par le CAPENA, et s'inscrit dans la continuité du réseau VELYGER. Pour permettre de maintenir la série historique et continuer à collecter des informations sur les larves d'huîtres sur l'ensemble des points de prélèvements du Bassin d'Arcachon, le PNM BA a souhaité contribuer financièrement à la collecte et à l'analyse des prélèvements depuis l'année 2019. Ces données représentent de plus un intérêt particulier au regard de plusieurs objectifs du Plan de gestion du PNM BA, notamment ceux relatifs à la qualité de l'eau ou encore au développement durable de l'activité ostréicole.

Sur le Bassin d'Arcachon, l'état et la dynamique des gisements de moules sont mal connus. Leur connaissance constitue pourtant un enjeu important, tant pour l'exploitation des gisements par les pêcheurs professionnels que pour les conséquences sur l'activité ostréicole. En effet, pour les professionnels de l'ostréiculture, les moules sont source de désagrément en raison du colmatage qu'elles produisent sur les poches ostréicoles et la compétition trophique limitant la croissance des huîtres en élevage. Les ostréiculteurs sont demandeurs d'informations sur les émissions de larves de moules afin d'optimiser la pose de leurs installations pour les huîtres.

Un suivi des émissions de larves de moules dans le Bassin d'Arcachon a donc été mis en place en 2016 par le CAPENA, renforcé depuis mi-2017 par le PNM BA. En complément, un suivi de captage sur cordes de coco posées sur des parcs ostréicoles a été initié en 2018 et 2019.

Ces suivis répondent ainsi à plusieurs objectifs fixés par le plan de gestion du PNM BA, notamment ceux relatifs au bon état de conservation de la faune marine et au développement durable de l'activité ostréicole.

Le PNM EGMP et le PNM BA ont donc des enjeux proches appelant une amélioration des connaissances sur la dynamique larvaire des huîtres et des moules au sein de leur périmètre, et le développement de métriques et d'indicateurs à ce sujet. Le CAPENA, pilote des suivis produisant les données analysées dans le cadre de cette étude, a également un intérêt fort pour ces sujets au regard de ses missions et des questionnements des professionnels que le CAPENA accompagne.

Pour ce projet, les objectifs suivants ont donc été fixés :

- Proposer des niveaux de référence de captage sur la base du développement d'indicateurs ;
- Produire des préconisations sur les suivis actuels et leurs éventuelles évolutions à court, moyen et long terme ;
- Evaluer les influences des paramètres environnementaux sur le succès du captage.

2. Volet 1 : Proposition de niveaux de référence de captage

Le premier volet de l'étude se concentrera sur la proposition de niveaux de référence de captage, sur la base d'un indicateur spécifique développé à partir de l'analyse des données collectées dans le cadre des suivis menés sur les périmètres respectifs des PNM EGMP et PNM BA.

Dans un premier temps, il est nécessaire de définir le ou les indicateur(s) le(s) plus pertinent(s) qui permettra/ permettront d'établir les niveaux de référence de captage des larves de moules et d'huîtres. Ce(s) indicateur(s) devra/devront être spécifique(s) pour mettre en évidence des particularités géographiques (échelles inter- et intra-bassin) et reproductible(s) pour assurer le suivi pérenne du niveau de référence du captage. Comme tout indicateur, ceux développés dans cette étude devront être pertinents (représentatifs des milieux étudiés, interprétables et synthétiques), justes (sensibles et robustes) et mesurables (reproductibles et comparables à différentes échelles spatiales et disponibles sur le long terme).

A première vue, l'indicateur le plus cohérent pour définir un niveau de référence serait le nombre de naissains captés par collecteur (propre à chaque espèce : coupelle, corde de coco...). Ces valeurs, déjà intégrées par la profession, seront les bases de la prospection de nouveaux indicateurs. Néanmoins la définition du « bon niveau de captage » ne pourrait se résoudre à l'unique frontière que propose la simple valeur moyenne du nombre de naissains par collecteur. Ainsi, plusieurs métriques seront explorées, à partir des jeux de données « captage », définissant plus finement et de manière représentative les différents niveaux de recrutement.

Par la suite, ce premier volet permettra d'explorer les liens entre le nombre de naissains captés et les différentes variables issues des suivis larvaires. Un travail sur les jeux de données « larves » sera réalisé pour en extraire de nouvelles variables, nommées indices larvaires, représentatives des caractéristiques de la vie larvaire. Ces variables seront décrites du point de vue spatio-temporel au regard de la précision des séries de données considérées.

Finalement, une fois que les indices larvaires sont identifiés, ils seront mis en relation avec les données de captage afin de mettre en évidence ceux qui expliqueraient, tout ou partie, de l'intensité du captage annuel à l'échelle des bassins et des secteurs intra-bassin. A partir de ces analyses, certains indices pourront être utilisés comme indicateurs larvaires du recrutement.

II. Matériels et Méthodes

1. Récupération, formatage et nettoyage des jeux de données

1.1. Compilation et formatage des données « captage »

Les données de captage sont issues des suivis réalisés au CAPENA (ex-CREAA) dans le cadre du Suivi du captage de l'huître creuse du littoral charentais et du Bassin d'Arcachon, de l'Observatoire mytilicole des pertuis Charentais et du projet GIMOPA du PNM BA (Figure 1, Figure 2). Pour les huîtres creuses (*Crassostrea gigas*), la variable ciblée est le nombre d'individus vivants comptés sur le collecteur à la fin de la saison de reproduction (en octobre/novembre). Pour les moules communes (*Mytilus edulis*), la variable ciblée est le nombre d'individus vivants comptés sur un mètre de corde de captage. Cependant, aucune identification au niveau de l'espèce n'est réalisée au cours des dénombrements, ces derniers pouvant prendre en compte des individus appartenant à *M. galloprovincialis* (Gaitán-Espitia et al. 2016). Pour la Bassin de Marennes-Oléron, cette variable est déclinée en valeur moyenne obtenue au cours du suivi (de février à juillet), valeur maximale mesurée par année et la dernière valeur mesurée à la fin d'une saison de captage (de fin juin à juillet, représentant la

valeur d'intérêt pour les professionnels au moment de la pose des cordes garnies sur les pieux de bouchots). Dans le Bassin d'Arcachon, seule la valeur moyenne en milieu et en fin de saison de reproduction est utilisée. Quand le formatage des données le permet, l'unité d'échantillonnage est le support de comptage (*i.e.* la coupelle, un mètre de corde de coco...). Dans le cas contraire, l'unité d'échantillonnage correspond à la valeur moyenne des supports de captage obtenue par site d'échantillonnage (anciennes données avec valeurs brutes manquantes) ou à une donnée pseudo-répliquée (*i.e.* tronçon de cordes captées en moules communes dans le Bassin d'Arcachon).

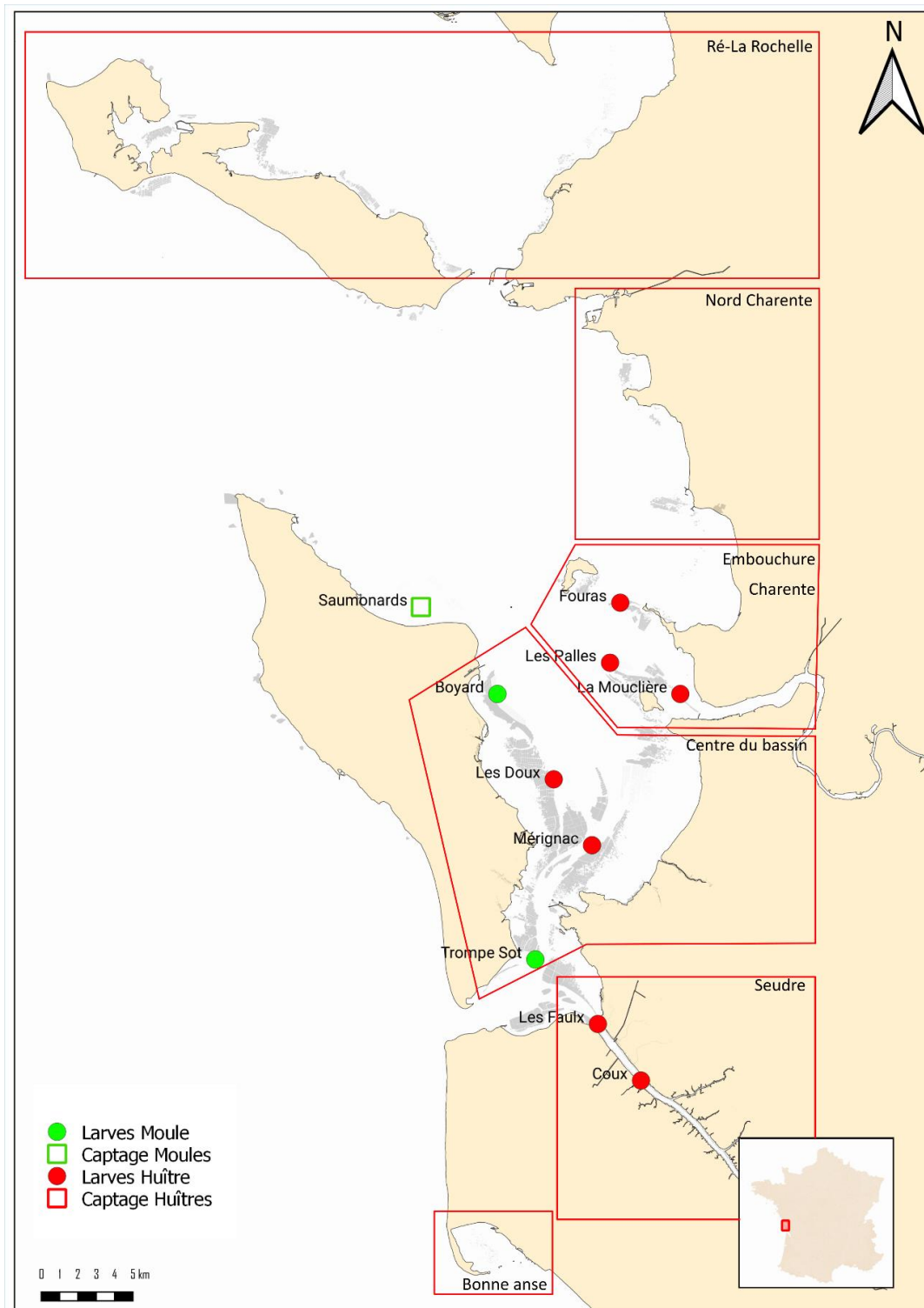


Figure 1 : Carte des points de prélèvements larvaires et des secteurs de captage en Charente-Maritime.

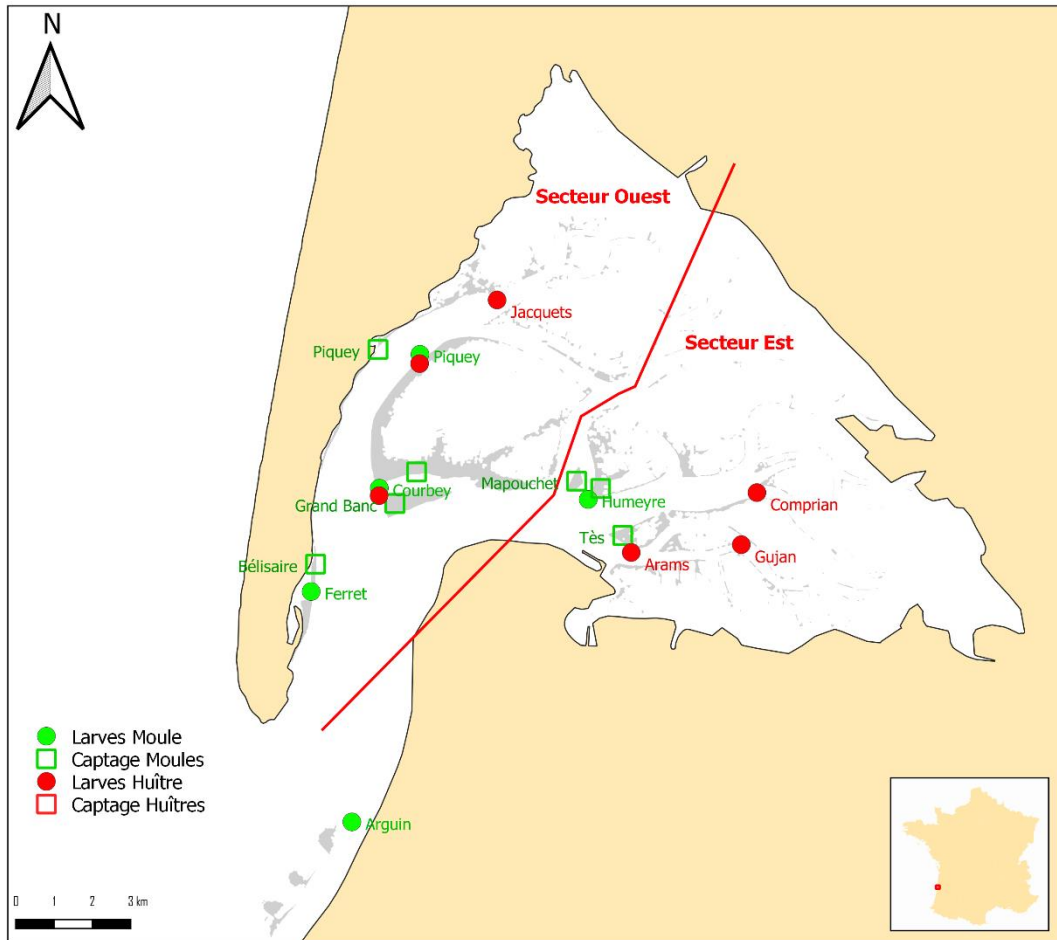


Figure 2 : Carte des points de prélèvements larvaires et des secteurs de captage du Bassin d'Arcachon.

1.2. Méthode de suppression des valeurs aberrantes « captage »

Les jeux de données ont été clarifiés pour mettre en évidence le fonctionnement « classique » des écosystèmes considérés et éviter des événements exceptionnels pouvant dominer l'interprétation des résultats. Ainsi, les données de captage ont fait l'objet d'une suppression systématique des valeurs aberrantes (*outliers*) à l'échelle des secteurs et des années. Pour le captage des huîtres creuses, les données correspondantes à une date de pose des collecteurs postérieure au 30 août (242^{ème} jour de l'année) ont également été supprimées, et l'année pléthorique de 2008 n'a pas été prise en compte.

1.3. Récupération des jeux de données « larves »

Les données de larves d'huîtres creuses proviennent du réseau VELYGER d'IFREMER (Fleury et al. 2021 ; Figure 1). Quatre stades de développement sont identifiés (Figure 3). Pour Arcachon, le stade 5 « en fixation » a été compilé au stade 4 « grosse », pour correspondre aux données des autres sites VELYGER (Figure 3).

Les données de larves de moules communes sont issues du Suivi des larves de moules de CAPENA (ex-CREAA), réalisés dans les bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon. Trois stades de développement sont identifiés (Figure 4).

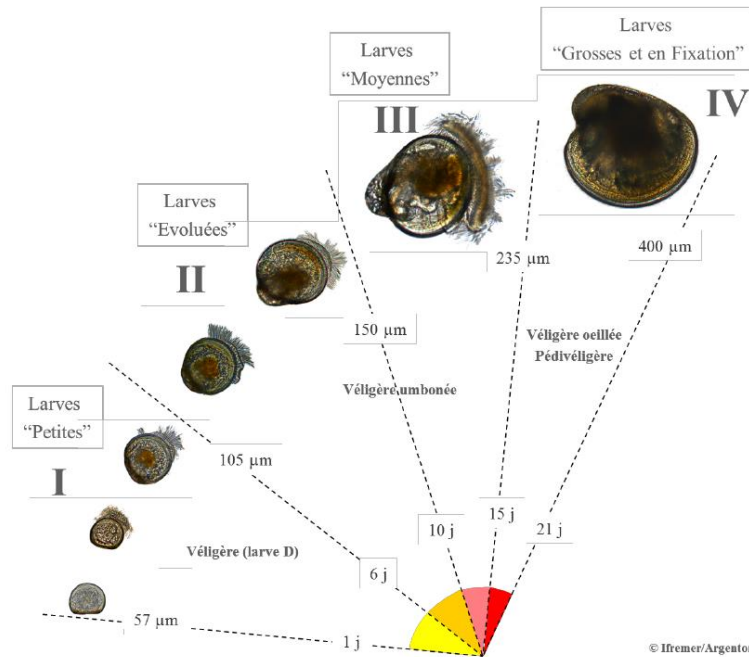


Figure 3 : Planche de détermination des stades larvaires de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Pennek (1978) et His (1991). L'âge est donné à titre indicatif. La taille indiquée correspond à la mesure de l'extrémité de la charnière au bord opposé de la coquille. Adapté de Fleury et al. 2021.

| Stades larvaires de <i>Mytilus edulis</i> | | | |
|---|---|---|--|
| LARVE FIXE de <i>Mytilus edulis</i> | | | |
| Longueur x Largeur | 110 x 80 µm | 160 x 130 µm | 180 x 150 µm |
| STADE | STADE 1 Larves petites Véligères larves D | STADE 2 Larves moyennes Véligères umbonées | |
| | | | |
| | 230 x 210 µm | 260 x 225 µm | 350 x 310 µm |
| | STADE 3 Larves grosses Véligères ocellées et pédivéligères | | STADE 3 Larves grosses en fixation |

Figure 4 : Planche de détermination des stades larvaires de la moule commune, *Mytilus edulis*. © Agrocampus Ouest Beg Meil, H. Cochet.

2. Définition des métriques et des niveaux de référence de captage

A partir des données clarifiées du captage, plusieurs métriques ont été calculées, en se basant sur les valeurs de moyenne et de médiane des variables ciblées : les intervalles de confiance et différents quantiles. Chaque métrique est déclinée à l'échelle des secteurs de captage des bassins et des années de suivi. Pour les huîtres creuses, uniquement les données de captage sur coupelle ont été prises en compte. Les données de captage des autres

collecteurs sont soumises à un biais d'échantillonnage non négligeable, dépendant largement du choix des tubes dans le paquet de 10 unités ou la position des tuiles sur l'empilement (les premières tuiles étant plus battues et colonisées par des macroalgues). D'une année sur l'autre, les coupelles et les tubes sont de même qualité (couleur, rugosité) et de même surface.

Pour les moules communes, plusieurs variables cibles sont extraites des dynamiques de recrutement suivies chaque année et seront utilisées pour définir des seuils de captage. Le cas échéant, des tests de corrélation de Pearson sont effectués entre ces variables afin de sélectionner les plus pertinentes pour la définition des métriques et limiter la redondance.

3. Définition d'indicateurs larvaires pour le captage

Plusieurs indices, caractérisant l'état des cohortes larvaires, ont été calculés au regard des séries de données disponibles. Dans la mesure du possible, ces indices ont été déclinés à l'échelle du bassin considéré et des secteurs intra-bassin.

L'utilisation des arbres de décision est la méthode statistique utilisée pour définir les liens entre les indices larvaires et les valeurs annuelles de captage des huîtres creuses. Cette méthode est une représentation hiérarchique de la structure des données sous la forme de séquences de décisions (tests non-paramétriques) en vue de la prédiction d'une classe de résultats. Chaque observation (nombre d'individus vivants captés), est décrite par un ensemble de variables (indices larvaires) qui sont testées dans les nœuds de l'arbre. Dans la mesure du possible, ces analyses ont été déclinées à l'échelle des bassins et de leurs secteurs de captage.

Les jeux de données des moules communes ne bénéficient pas d'un aussi grand nombre d'échantillons que ceux des huîtres creuses. De ce fait, une pré-sélection des indices larvaires est réalisée en utilisant des tests non-paramétriques de corrélation, selon la méthode de Kendall, afin de mettre en évidence leur relation avec les variables de captage. Par ailleurs, cette étape permettra de mettre en évidence la colinéarité entre les indices larvaires. Dans un second temps, les indices sélectionnés sont utilisés pour construire plusieurs modèles de régression linéaire multiple (procédure stepwise), pour lesquels le critère d'AIC (*Akaike information criterion* ; mesure de la qualité d'un modèle) permettra de sélectionner le modèle le plus harmonieux. L'homogénéité et la normalité de la variance résiduelle sont validées graphiquement et par le test de Shapiro-Wilk, respectivement. En cas de colinéarités entre les indices sectionnés, un choix est effectué au regard de leur pertinence et de leur intérêt biologique.

L'ensemble des analyses a été réalisé à partir du logiciel *R 4.0.3* avec l'utilisation des packages *FactoMineR 2.4*, *ggplot2 3.5*, *partykit 4.0.5* et *ggcorrplot 0.1.3*.

III. Résultats et discussion

Le traitement des données est réalisé indépendamment pour l'huître creuse et la moule commune à l'échelle de chaque bassin conchylicole. Les résultats de chaque sous-partie sont

présentés et discutés dans la même section. Uniquement les naissains comptés comme vivants sont pris en compte dans les analyses qui vont suivre.

1. Recrutement de l'huître creuse en Charente-Maritime

Après traitement, le jeu de données « captage » de l'huître creuse en Charente-Maritime prend en compte 17 années de reproduction, de 2004 à 2020, et 6 secteurs géographiques : Bonne Anse, Seudre, Centre du Bassin, Embouchure de Charente, Nord Charente, Ré-La Rochelle. Trois types de collecteurs sont utilisés : la coupelle, le tube et le pléno. Uniquement les données du premier type de collecteur sont utilisées pour la définition des niveaux de captage de référence car la série de données concernant les plénos n'est pas assez conséquente (utilisation récente) et les données des coupelles sont plus robustes car moins sujettes aux biais d'échantillonnages. Au total, 715 observations pour les coupelles et 1042 pour les tubes sont recensées (Annexe 1 et 2). Comparativement aux autres secteurs, celui de Bonne Anse est plus anecdotique puisqu'il n'intègre que 10 années de reproduction et que peu de données à l'intérieur de ce secteur sont disponibles chaque année. L'analyse globale du captage en Charente-Maritime ne prend pas en compte ce secteur.

1.1. Variations interannuelles du recrutement

a. A l'échelle de la Charente-Maritime

Globalement la valeur moyenne du captage des 17 années étudiées, en appliquant le même poids aux secteurs, est de 81 (± 73) ind/coupelle et 352 (± 302) ind/tube. A l'échelle du bassin, le captage annuel a fluctué entre les années aussi bien en termes d'intensité que de variabilité (intensité identique sur tout le bassin ou hétérogène entre les secteurs). Néanmoins, les données des deux types de collecteurs évoluent conjointement d'une année sur l'autre et représentent une dynamique de recrutement similaire (Figure 5). Les valeurs moyennes minimales sont de 23 (± 15) ind/coupelle et 64 (± 44) ind/tube en 2016. Les valeurs moyennes maximales observées sont de 438 (± 362) ind/coupelle et 2314 (± 1641) ind/tube en 2008. L'année 2008 a été particulièrement exceptionnelle au regard des autres, puisque ces ordres de grandeurs n'ont plus jamais été atteints (Annexe 3). Hormis cette année de captage pléthorique, la valeur maximale a été obtenue en 2017 avec 170 ind/coupelles et 724 ind/tube (Figure 5).

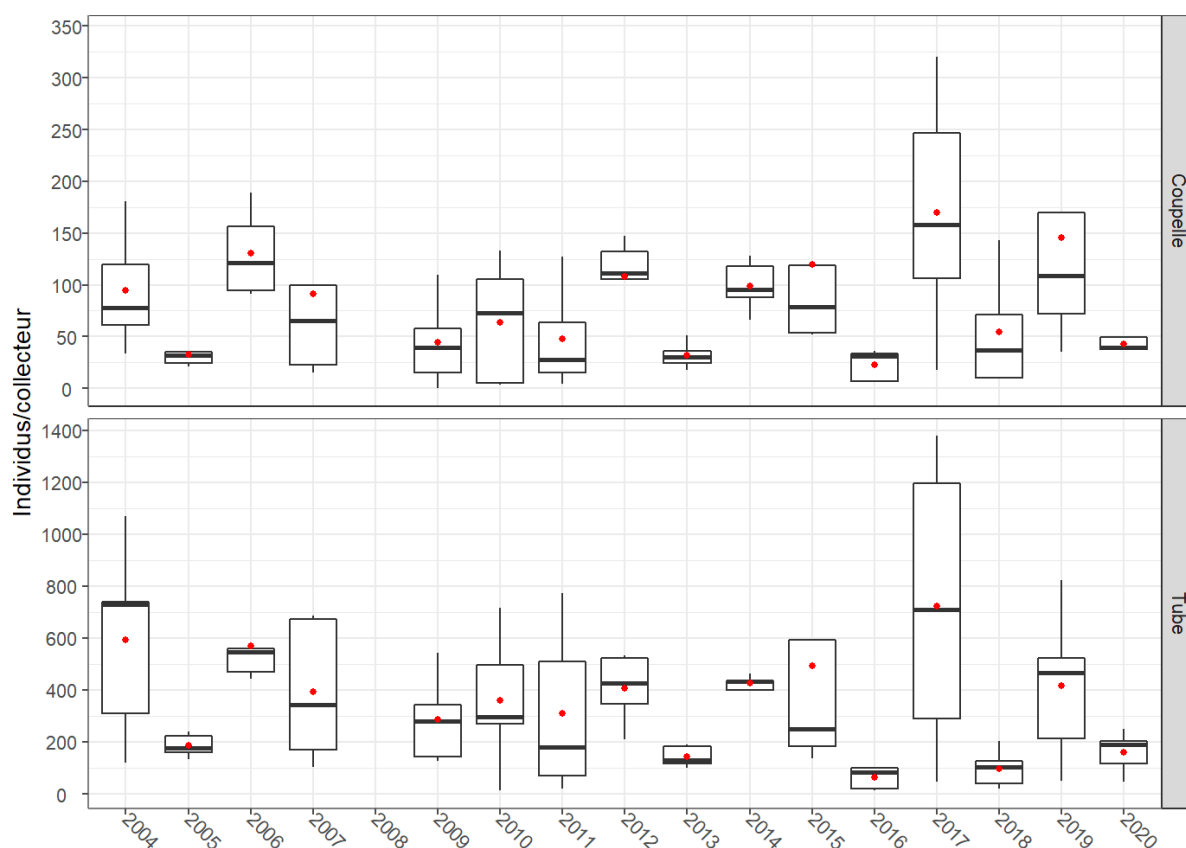


Figure 5 : Nombre de naissains vivants comptés par type de collecteur dans l'ensemble des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. La ligne horizontale noire représente la médiane, le point rouge représente la moyenne, les limites inférieur et supérieur du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieur et supérieur de la ligne verticale représente respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.

Les variations interannuelles du recrutement ne semblent pas présenter de motif d'alternance répétitif à l'échelle des années étudiées (Figure 6). De 2004 à 2006 et de 2015 à 2020, un captage excédentaire alterne successivement avec un captage déficitaire. Néanmoins, de 2009 à 2011 (pour les coupelles) le captage a semblé inférieur à la moyenne pendant 3 années consécutives alors qu'il a été supérieur en 2014 et 2015 (Figure 6). La plus grande anomalie a été observée entre les années 2016 et 2017, avec un écart de ± 147 ind/coupelle et de ± 659 ind/tube par rapport à la moyenne. De la même manière, l'analyse des anomalies à la moyenne met en évidence le caractère pléthorique du captage de l'année 2008, qui ne permet pas de juger finement des variations interannuelles (Annexe 4).

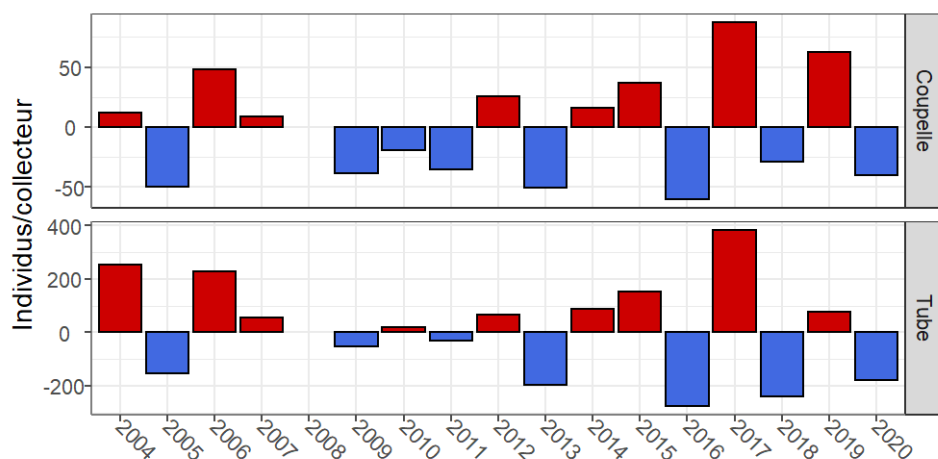


Figure 6 : Anomalies par rapport à la moyenne du captage par type de collecteur dans l'ensemble des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. Les barres rouges et bleues représentent un captage supérieur et inférieur à la moyenne, respectivement.

Pour la suite des analyses, l'année 2008 ne sera pas prise en compte. En effet, étant donné ses caractéristiques uniques, son utilisation pour la définition des niveaux de référence et la mise en relation avec les indices larvaires engendrerait un biais d'interprétation quant à la compréhension de la dynamique « classique » du recrutement.

b. A l'échelle des secteurs

Au cours des 17 dernières années, l'intensité du captage a montré de grandes variations au sein de chacun des secteurs, que ce soit au niveau des coupelles et des tubes (Figure 7, Figure 8). Les valeurs moyennes de captage sont de :

- 87 (\pm 83) ind/coupelle et 400 (\pm 401) ind/tube au centre du bassin ;
- 133 (\pm 140) ind/coupelle et 550 (\pm 552) ind/tube à l'embouchure de la Charente ;
- 48 (\pm 49) ind/coupelle et 278 (\pm 302) ind/tube au Nord Charente ;
- 46 (\pm 53) ind/coupelle et 171 (\pm 205) ind/tube à Ré-La Rochelle ;
- 68 (\pm 61) ind/coupelle et 216 (\pm 175) ind/tube en Seudre.

De façon générale, lors des années où le captage global est fort, les valeurs obtenues pour chaque secteur sont aussi importantes (e.g. années 2017 et 2019 ; Figure 7, Figure 8). Néanmoins, certaines années, des secteurs présentent des captages d'intensités différentes au regard de celles des autres. Par exemple, c'est le cas en 2018 où le captage dans la Seudre a été le plus important de sa série (Figure 7), alors qu'il s'agissait d'une des années où le recrutement a été le plus faible dans les autres secteurs. Ces variations traduisent un fonctionnement global du recrutement au niveau du bassin régi par des facteurs intégrateurs à grande échelle, mais aussi de fonctionnements propres à certains secteurs laissant supposer l'importance de variables agissant à une échelle locale.

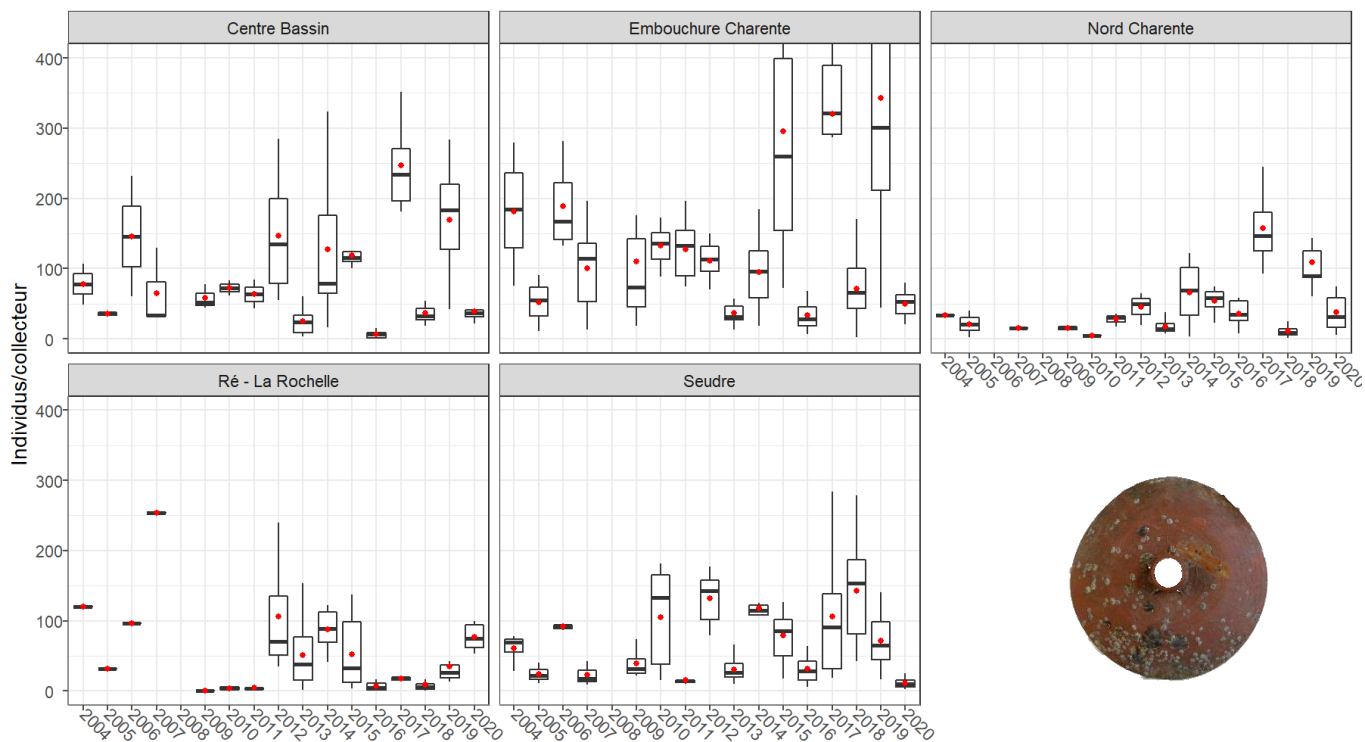


Figure 7 : Nombre de naissains vivants comptés par coupelle en fonction des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. La ligne horizontale noire représente la médiane, le point rouge représente la moyenne, les limites inférieur et supérieur du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieur et supérieur de la ligne verticale représente respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.

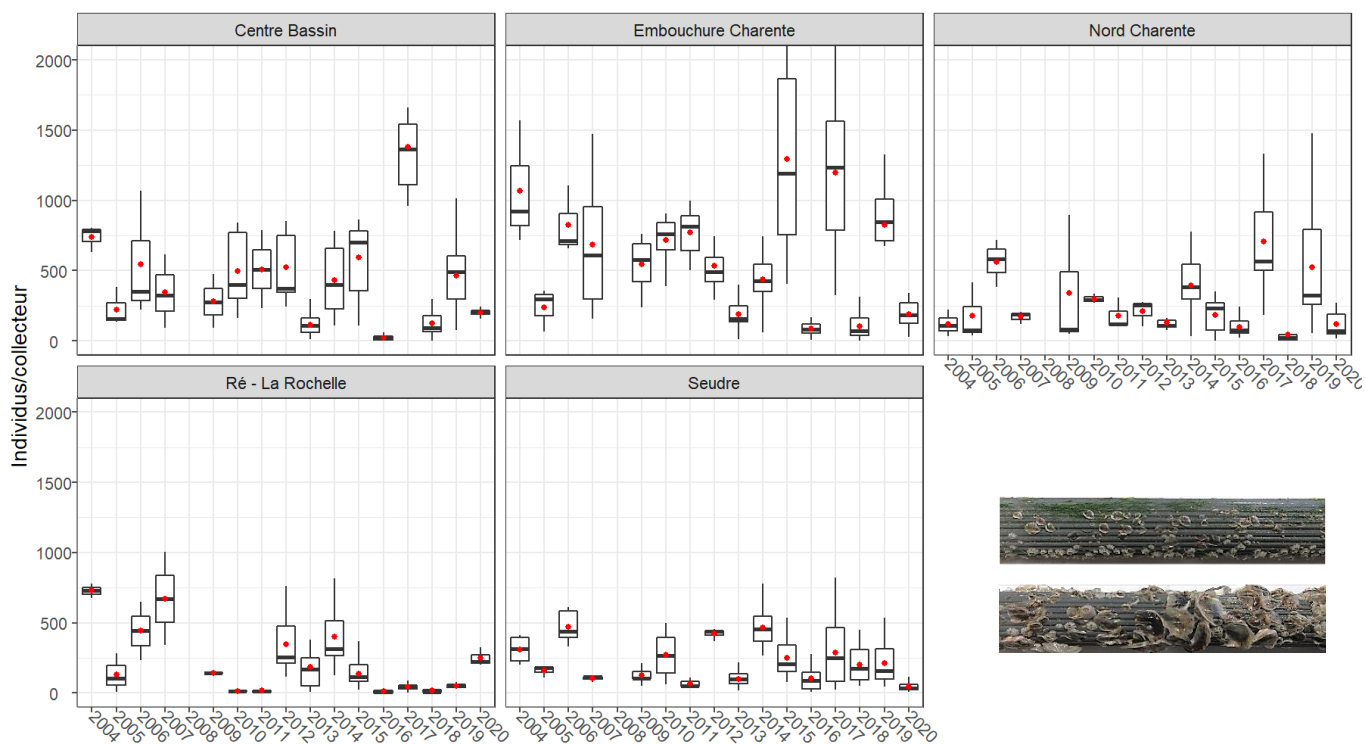


Figure 8 : Nombre de naissains vivants comptés par tube en fonction des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. La ligne horizontale noire représente la médiane, le point rouge représente la moyenne, les limites inférieur et supérieur du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieur et supérieur de la ligne verticale représente respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.

Comme précédemment, des dynamiques interannuelles différentes entre les secteurs sont observées. C'est le cas entre l'embouchure de la Charente où le captage a été alternativement sur- et sous-numéraire entre 2016 et 2019 alors qu'il a toujours été déficitaire dans le secteur Ré-La Rochelle lors de cette période (Figure 9). Néanmoins, aucune tendance générale, à l'augmentation ou à la diminution du captage moyen, n'est observée à l'échelle de ce jeu de données.

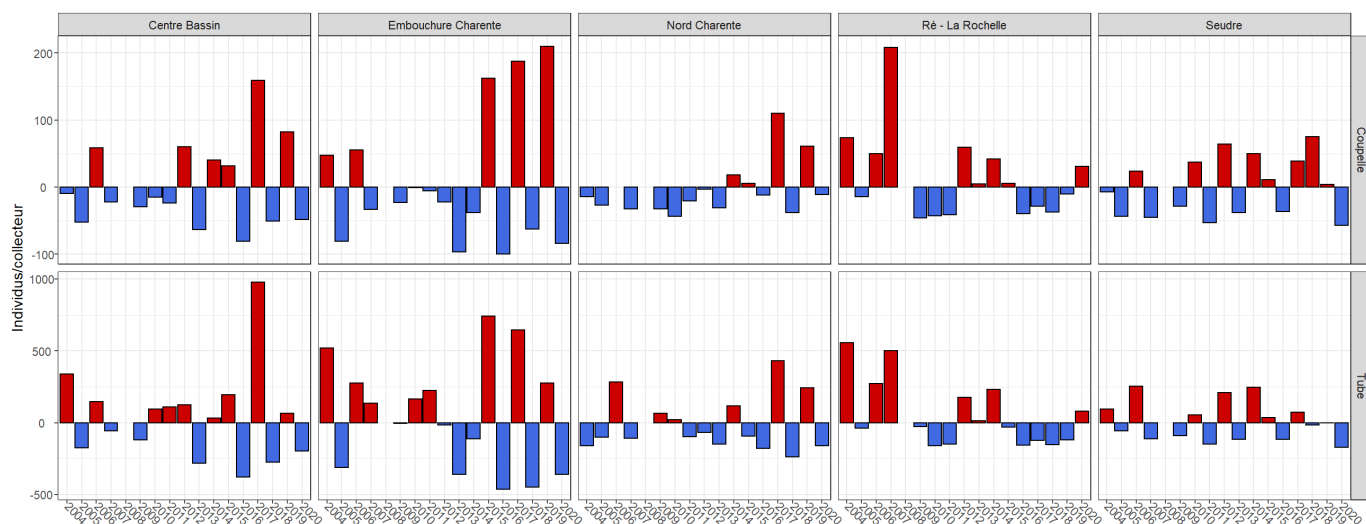


Figure 9 : Anomalies par rapport à la moyenne du captage calculées pour chaque secteur et par type de collecteur entre 2004 et 2020. Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. Les barres rouges et bleues représentent un captage supérieur et inférieur à la moyenne, respectivement.

1.2. Exploration des métriques et proposition de niveaux de référence de captage

a. A l'échelle de la Charente-Maritime

A partir des données amputées de leurs valeurs aberrantes, de l'année 2008 et du secteur de Bonne Anse, deux catégories de niveaux de référence sont proposées, dépendamment de la statistique de position utilisée pour décrire le nombre de naissains captés par coupelle (Tableau 1).

Selon la valeur moyenne, les intervalles de confiance de 95 % et 99 % sont calculés. La première déclinaison correspondrait aux niveaux « faible » et « élevé », pour des valeurs inférieures et supérieures à la moyenne, respectivement. La seconde déclinaison correspondrait à la définition de 3 niveaux : « faible », « modéré » et « élevé ». Un captage « modéré » comprendrait les valeurs situées dans l'intervalle de confiance 95 % ou 99 %. Les autres niveaux prendraient en compte les valeurs supérieures et inférieures aux bornes de ces mêmes intervalles de confiance (Tableau 1).

Selon la médiane, 2 niveaux de captage, « faible » et « élevé », pourraient être définis pour des valeurs inférieures ou supérieures à 61 individus par coupelles, respectivement (Tableau 1). Néanmoins, une multitude de déclinaisons de cette métrique est envisageable en fonction du nombre de niveaux de captage qu'il est possible de définir. Par exemple, 3 niveaux de captage peuvent être identifiés (Tableau 1) :

- « Faible » : de 0 à 36 ind/coupelle ou très faible : de 0 à 11 ind/coupelle ;
- « Modéré » : de 36 à 96 ind/coupelle ou de 11 à 160 ind/coupelle ;
- « Elevé » : supérieur à 96 ind/coupelle ou très élevé : supérieur à 160 ind/coupelle.

De la même manière, une déclinaison selon 5 niveaux de captage est possible en divisant le jeu de données par classes de 20 % d'occurrence, dont les seuils seraient représentés par les quantiles 20, 40, 60 et 80 % (Tableau 1).

Tableau 1 : Seuils et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane du nombre de naissains vivants comptés par coupelle en Charente-Maritime. Plusieurs niveaux d'appréciation sont proposés en fonction du nombre de seuils pris en compte. Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. IC₉₉ et IC₉₅ = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure.

| Valeur seuil | Nb. ind. vivant par coupelle | 2 niveaux | 3 niveaux | 3 niveaux |
|----------------------------|------------------------------|-----------|-------------|--------------|
| IC ₉₉ Lim. inf. | 59 | < 81 | < 64 | < 59 |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 64 | | | |
| Moyenne | 81 | > 81 | 64 < x < 97 | 59 < x < 102 |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 97 | | > 97 | > 102 |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 102 | | | |

| | |
|--|-------------|
| | Très faible |
| | Faible |
| | Modéré |
| | Elevé |
| | Très élevé |

| Valeur seuil | Nb. Ind. vivant par coupelle | 2 niveaux | 3 niveaux | 5 niveaux | 3 niveaux | |
|----------------|------------------------------|-----------|-----------|-------------|--------------|--------------|
| Quantile 10 % | 11 | < 61 | < 36 | < 24 | 11 < x < 160 | |
| Quantile 20 % | 24 | | | 24 < x < 41 | | |
| Quantile 33 % | 36 | | | 36 < x < 96 | | 41 < x < 78 |
| Quantile 40 % | 41 | | | > 61 | | 78 < x < 123 |
| Médiane | 61 | | > 96 | > 123 | | |
| Quantile 60 % | 78 | | | > 123 | | |
| Quantile 66 % | 96 | | | > 123 | | |
| Quantile 80 % | 123 | | | > 123 | | |
| Quantile 90 % | 160 | | | > 123 | > 160 | |

Dans un souci de représentativité et de parcimonie, le choix du nombre de niveaux doit :

- Être impair, pour permettre la définition d'un niveau « moyen » ;
- Être limité, pour correspondre à la réalité des phénomènes biologiques et être approprié par les professionnels et gestionnaires du milieu marin.

La distribution des données considérées dans cette partie est plurimodale, avec un mode principal autour de 30 ind/coupelle et un mode secondaire à 115 ind/coupelle (Figure 10a ; Annexe 7). Il serait donc préférable de prendre en compte ces deux modes de distribution lors de la définition des niveaux de référence du captage de l'huître creuse en Charente-Maritime.

Ainsi, il est recommandé de définir 5 niveaux de captage utilisant comme seuils les quantiles 20, 40, 60 et 80 % (Figure 10b) :

- **Très faible : ≤ 24 ind/coupelle**
- **Faible : 25 à 41 ind/coupelle**
- **Modéré : 42 à 78 ind/coupelle**
- **Elevé : 79 à 123 ind/coupelle**
- **Très élevé : ≥ 123 ind/coupelle**

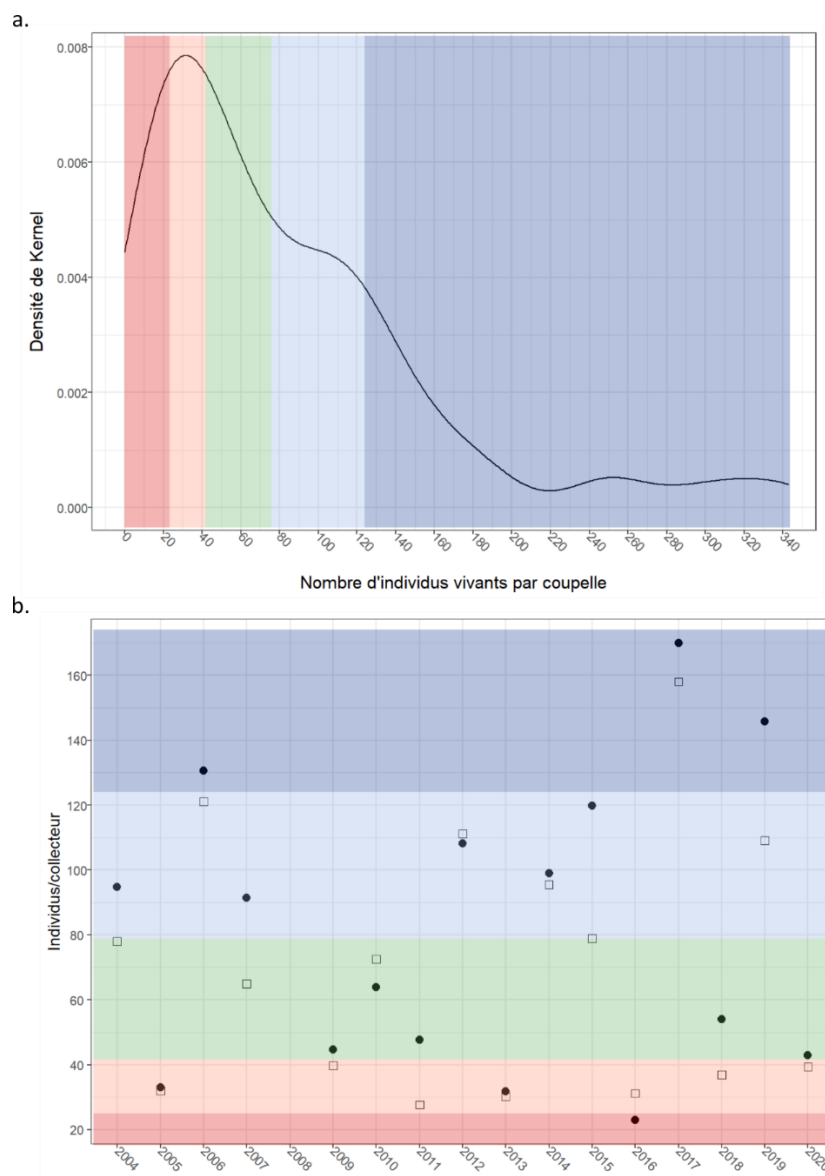


Figure 10 : Exemple d'application de 5 niveaux de référence pour l'estimation du captage sur couple en Charente-Maritime, représentée selon la a. distribution des densités de naissains (densité de Kernel) et la b. valeur moyenne (cercle noir) et médiane (carré blanc) du nombre de naissains en fonction de l'année de captage. Les seuils correspondent aux quantiles 20, 40, 60 et 80 % du Tableau 1. Les zones colorées correspondent aux appréciations : Très faible (rouge foncé), Faible, Modéré (Vert), Elevé et Très élevé (bleu foncé).

b. A l'échelle des secteurs

En utilisant la même démarche pour chaque secteur, différents niveaux de captage peuvent être établis en s'appuyant sur les valeurs moyenne, médiane, et leurs métriques associées (Tableau 2). Systématiquement, les moyennes se situent au-dessus des médianes, signifiant que des valeurs extrêmes de nombre de naissains vivants sur couple ont été dénombrées sur certains parcs à l'intérieur des secteurs. Cette tendance s'observe pour chaque année de reproduction (Figure 11).

Tableau 2 : Seuils (Nombre de naissains par coupelle) et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane du nombre de naissains vivants comptés par coupelle pour les cinq secteurs de captage. Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. IC₉₉ et IC₉₅ = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure.

| | Centre Bassin | Embouchure Charente | Nord Charente | Ré - La Rochelle | Seudre |
|----------------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|-----------|
| IC ₉₉ Lim. inf. | 67 | 106 | 33 | 33 | 57 |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 72 | 112 | 37 | 36 | 59 |
| Moyenne | 87 | 133 | 48 | 46 | 68 |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 103 | 154 | 60 | 56 | 77 |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 108 | 161 | 64 | 60 | 79 |
| | Centre Bassin | Embouchure Charente | Nord Charente | Ré - La Rochelle | Seudre |
| Quantile 10 % | 16 | 23 | 6 | 3 | 11 |
| Quantile 20 % | 26 | 36 | 11 | 5 | 18 |
| Quantile 33 % | 35 | 55 | 16 | 13 | 25 |
| Quantile 40 % | 40 | 63 | 21 | 17 | 32 |
| Médiane | 52 | 79 | 29 | 22 | 47 |
| Quantile 60 % | 68 | 110 | 42 | 40 | 64 |
| Quantile 66 % | 83 | 130 | 55 | 54 | 81 |
| Quantile 80 % | 173 | 196 | 86 | 84 | 116 |
| Quantile 90 % | 219 | 305 | 118 | 114 | 159 |

Le choix du nombre de niveaux de captage peut être différent de celui défini à l'échelle de la Charente-Maritime, afin de correspondre au mieux à la réalité observée et au ressenti des professionnels exerçant dans ces secteurs. Un découpage en 5 niveaux de captage (Figure 11a) permet d'inclure le mode principal de la distribution (valeur de captage avec la plus grande probabilité d'être observée) dans le niveau « modéré » (Annexe 8). Cependant, les valeurs de moyenne et des bornes de l'intervalle de confiance (95 ou 99 %) semblent plus appropriées et habituelles pour les professionnels tout en étant statistiquement pertinentes et parcimonieuses du point de vue biologique (Figure 11b).

Ainsi, il est recommandé d'utiliser 3 niveaux pour qualifier le captage de l'huître creuse de chaque secteur de Charente-Maritime, en utilisant les quantiles 33 % et 66 % (Tableau 2) :

| | SEUDRE | CENTRE BASSIN | EMBOUCHURE CHARENTE | NORD CHARENTE | RE - LA ROCHELLE |
|---------------|---------|---------------|---------------------|---------------|------------------|
| Faible | ≤ 25 | ≤ 35 | ≤ 55 | ≤ 16 | ≤ 13 |
| Modéré | 25 à 81 | 35 à 83 | 55 à 130 | 16 à 55 | 13 à 54 |
| Elevé | ≥ 81 | ≥ 83 | ≥ 130 | ≥ 55 | ≥ 54 |

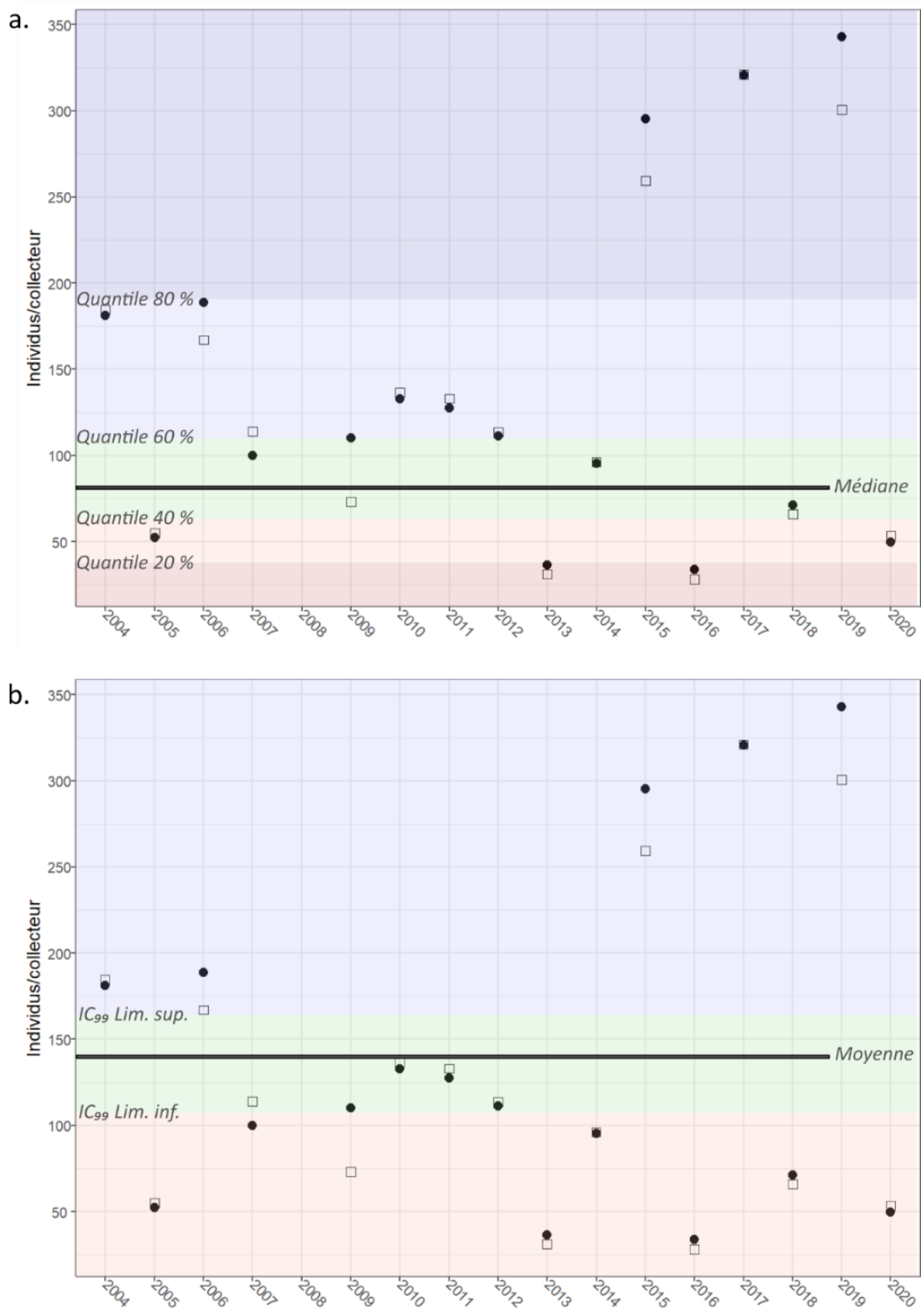


Figure 11 : Exemple d'application de niveaux de référence de captage sur coupelle, pour le secteur de l'Embouchure de la Charente, en utilisant a. les quantiles 20, 40, 60 et 80 % comme seuils (5 niveaux) et b. les limites inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance 99 % (3 niveaux). Les zones colorées correspondent aux appréciations : Très faible (rouge foncé), Faible, Modéré, Elevé et Très élevé (bleu foncé). Les données du secteur de Bonne Anse et de l'année 2008 ne sont pas prises en compte. IC₉₉ et IC₉₅ = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, respectivement. Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure, respectivement.

1.3. Définition d'indices larvaires

Le jeu de données des larves d'huîtres creuses en Charente-Maritime utilisé dans le cadre de ce travail intègre les données de 2004 à 2020 (17 années) au cours desquelles entre 19 et 28 échantillonnages en mer ont été effectués, répartis du mois de juin au mois de septembre. Ces échantillonnages concernent le prélèvement de 1,5 m³ d'eau de mer filtrée sur 40 µm au niveau de 7 sites répartis dans les secteurs de l'Embouchure de la Charente : Fouras, Les Palles et La Mouclière ; du Centre du bassin : Les Doux et Mérignac ; et de la Seudre : Coux et Les Faulx. Pour la suite du traitement, les données des sites appartenant à un même secteur ont été agrégées (Echelle spatiale = Secteur ; Tableau 3), et les données de chaque année ont été moyennées à l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron (Echelle spatiale = Bassin Marennes-Oléron (BMO) ; Tableau 3). Les résultats des suivis larvaires d'huîtres creuses sont disponibles par site et par secteur dans les annexes 9 et 10, respectivement.

A partir de ces données, 8 indices ont été définis, permettant de caractériser les dynamiques larvaires d'une saison de recrutement. Tous les indices sont calculés à l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron et de chaque secteur de prélèvement larvaire (hormis l'indice 7 : Synchronisme des pontes). Pour chaque échelle spatiale, les indices 1 à 4 ont été déclinés pour les stades de larves petite (« LARVST1 ») et grosse (« LARVST4 »). Les stades intermédiaires de l'ontogénèse larvaire, petite évoluée et moyenne, ne sont pas pris en compte dans la suite des analyses car ils représentent des phases transitoires du développement de ces organismes (stade « umbo-véligère »). A l'inverse, le stade petite est utilisé comme proxy de la date de ponte et le stade grosse représente le stock de larves compétentes à la phase de fixation/métamorphose.

Au total, ce sont 53 variables qui ont été identifiés, répartis selon 8 niveaux pour les indices 1, 2, 3 et 8 ; 4 niveaux pour les indices 5 et 6 ; 12 niveaux pour l'indice 4 ; et 1 niveau pour l'indice 7 (Tableau 3). Ces indices sont mis en relation avec les données de captage (nombre de naissains vivants comptés par coupelle) afin de mettre en évidence l'intérêt de certains d'entre eux à devenir des indicateurs du recrutement de l'huître creuse. Les représentations graphiques des indices 1 à 8 sont disponibles, respectivement, dans les annexes 11 à 18.

Tableau 3 : Indices larvaires calculés pour les larves d'huîtres creuses en Charente-Maritime. BMO = Echelle de la Charente-Maritime, LARVST1 = stade petite, LARVST4 = stade grosse.

| Indice | Définition | Unité | Echelle spatiale | Sous-échelle | Stade larvaire | Nomenclature | Remarques | |
|--------------------|---|---------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|---|-----------------|
| Indice 1 | Moyenne des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | BMO_LARVST1 | | |
| | | | | | Grosse | BMO_LARVST4 | | |
| | | | Secteur | Centre bassin | Petite | Centre_LARVST1 | | |
| | | | | Embouchure Charente | Grosse | Centre_LARVST4 | | |
| | | | | | Petite | Charente_LARVST1 | | |
| Seudre | Grosse | Charente_LARVST4 | | | | | | |
| | | | | Petite | Seudre_LARVST1 | | | |
| | | | | Grosse | Seudre_LARVST4 | | | |
| Indice 2 | Date d'observation du maximum de concentration des stades larvaires | Numéro du jour de l'année | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | JJMax_BMO_LARVST1 | Position du jour dans l'année en considérant le 1 ^{er} au 01 janvier et le 365 ^{ème} au 31 décembre (ou 366 ^{ème} si année bissextile) | |
| | | | | | Grosse | JJMax_BMO_LARVST4 | | |
| | | | Secteur | Centre bassin | Petite | JJMax_Centre_LARVST1 | | |
| | | | | Embouchure Charente | Grosse | JJMax_Centre_LARVST4 | | |
| | | | | | Petite | JJMax_Charente_LARVST1 | | |
| Seudre | Grosse | JJMax_Charente_LARVST4 | | | | | | |
| | | | | Petite | JJMax_Seudre_LARVST1 | | | |
| | | | | Grosse | JJMax_Seudre_LARVST4 | | | |
| Indice 3 | Valeur maximum de concentration des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | PMax_BMO_LARVST1 | | |
| | | | | | Grosse | GMax_BMO_LARVST4 | | |
| | | | Secteur | Centre bassin | Petite | PMax_Centre_LARVST1 | | |
| | | | | Embouchure Charente | Grosse | GMax_Centre_LARVST4 | | |
| | | | | | Petite | PMax_Charente_LARVST1 | | |
| Seudre | Grosse | GMax_Charente_LARVST4 | | | | | | |
| | | | | Petite | PMax_Seudre_LARVST1 | | | |
| | | | | Grosse | GMax_Seudre_LARVST4 | | | |
| Indice 4 | Somme des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | SumP_BMO | | |
| | | | | | Grosse | SumG_BMO | | |
| | | | | | 4 stades larvaires | | | SumAllStade_BMO |
| | | | Secteur | Centre bassin | Petite | SumP_Centre | | |
| | | | | Embouchure Charente | Grosse | SumG_Centre | | |
| 4 stades larvaires | | SumAllStade_Centre | | | | | | |
| Seudre | Petite | SumP_Charente | | | | | | |
| | Grosse | SumG_Charente | | | | | | |
| | 4 stades larvaires | | SumAllStade_Charente | | | | | |
| | | | | Petite | SumP_Seudre | | | |
| | | | | Grosse | SumG_Seudre | | | |
| | | | | 4 stades larvaires | | SumAllStade_Seudre | | |
| Indice 5 | Survie larvaire | % | Bassin Marennes-Oléron | | abat_BMO | | Abattement de concentration entre les stades grosse et petite (SumG/SumP)*100 | |
| | | | Secteur | Centre bassin | abat_Centre | | | |
| | | | | Embouchure Charente | abat_Charente | | | |
| | | | Seudre | abat_Seudre | | | | |
| Indice 6 | Durée de vie larvaire | Nombre de jour | Bassin Marennes-Oléron | | DVL_BMO | | Etendue entre les dates d'observation du maximum de concentration des stades petite et grosse | |
| | | | Secteur | Centre bassin | DVL_Centre | | | |
| | | | | Embouchure Charente | DVL_Charente | | | |
| | | | Seudre | DVL_Seudre | | | | |
| Indice 7 | Synchronisme des pontes | Nombre de jour | Bassin Marennes-Oléron | | Synchro | | Etendue entre les dates d'observation du maximum du stade petite de chaque secteur | |
| Indice 8 | Temps de présence des larves grosses | Nombre de jour | Bassin Marennes-Oléron | | Grosse | NbJourObs_G_BMO | Nombre de jours d'observation des larves grosses | |
| | | | Secteur | Centre bassin | NbJourObs_G_Centre | | | |
| | | | | Embouchure Charente | NbJourObs_G_Charente | | | |
| | | | Seudre | NbJourObs_G_Seudre | | | | |
| | | % | Bassin Marennes-Oléron | | Grosse | PourObs_G_BMO | Pourcentages des jours d'observation des larves grosses par rapport à la durée de la campagne | |
| Secteur | Centre bassin | | PourObs_G_Centre | | | | | |
| | | Embouchure Charente | PourObs_G_Charente | | | | | |
| | | | Seudre | PourObs_G_Seudre | | | | |

Les indices larvaires calculés à l'échelle du BMO permettent de distinguer les saisons de reproduction. Selon l'analyse en composante principale, 35 % de l'inertie entre les années (Dim1, Figure 12) s'expliquent principalement par les indices concernant les larves du stade petite (SumP_BMO, SumAllStade_BMO, BMO_LARVST1 et PMax_BMO_LARVST1) et par la survie larvaire (abat_BMO). Dans un second temps, près de 27 % de la variabilité interannuelle (Dim2, Figure 12) s'expliquent par les indices concernant le stade grosse (SumG_BMO, BMO_LARVST4 et GMax_BMO_LARVST4). Ces résultats mettent en évidence la corrélation négative existante entre les indices des deux stades larvaires extrêmes, laissant supposer que l'intensité du captage annuel s'expliquera tantôt par la dynamique des pontes, tantôt par la disponibilité des larves compétentes dans le milieu.

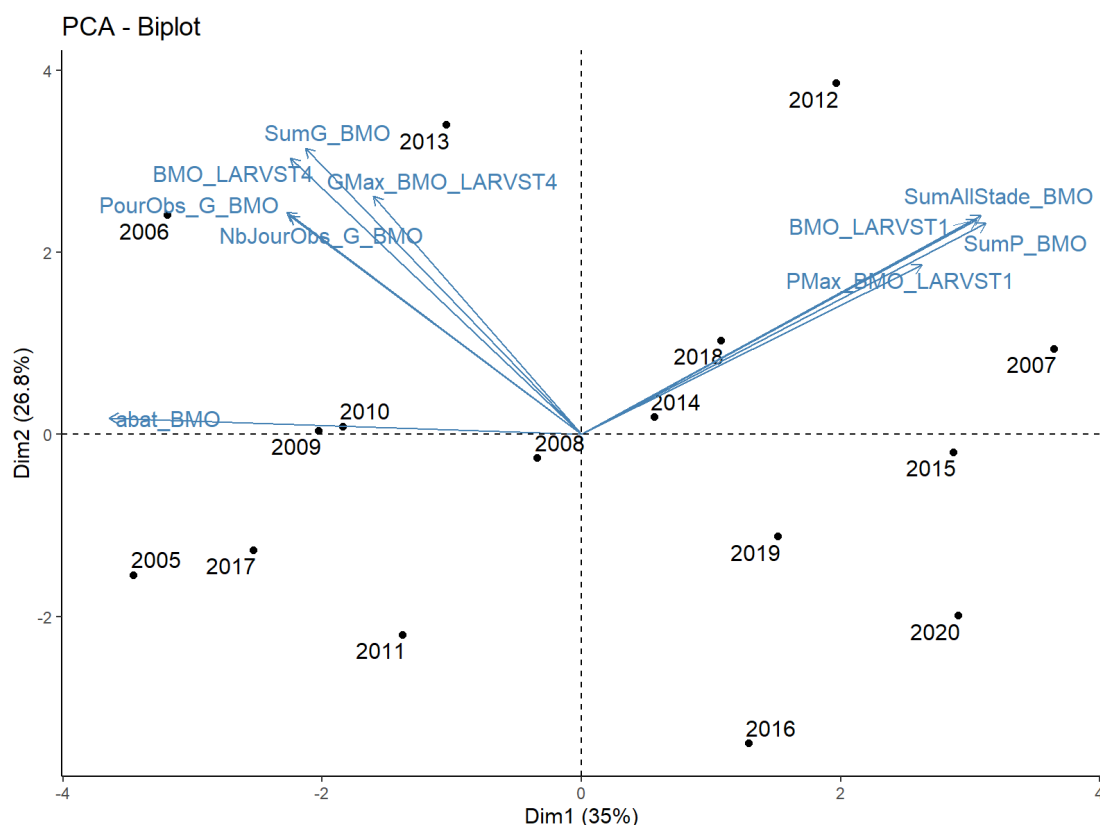


Figure 12 : Biplot de l'analyse en composante principale (ACP) des indices larvaires d'huîtres creuses à l'échelle du BMO. Uniquement les 10 variables contribuant le plus à l'inertie entre les individus (années) sont représentées. Se référer au Tableau 3 pour la nomenclature des indices.

A l'échelle des secteurs, dans un premier temps, un groupe d'indices relatifs aux variables concernant les larves de stade grosse en Seudre permet d'expliquer près de 28 % de la variance entre les années de suivi (Dim1, Figure 13). Les variables les plus contributrices sont SumG_Seudre, Seudre_LARVST4, GMax_Seudre_LARVST4 et NbJourObs_G_Seudre. Dans un second temps (Dim2, Figure 13), 21 % de la variance est expliquée par un groupe de variables relatives aux larves grosses à l'embouchure de la Charente (NbJourObs_G_Charente, PourObs_G_Charente et abat_Charente) et dans le centre du bassin (abat_Centre et PourObs_G_Centre). Ces résultats montrent d'une part l'indépendance des dynamiques larvaires observées en Seudre et, d'autre part, l'importance des larves de stade grosse au niveau de l'embouchure de la Charente et le lien étroit entre ce secteur et le centre du bassin.

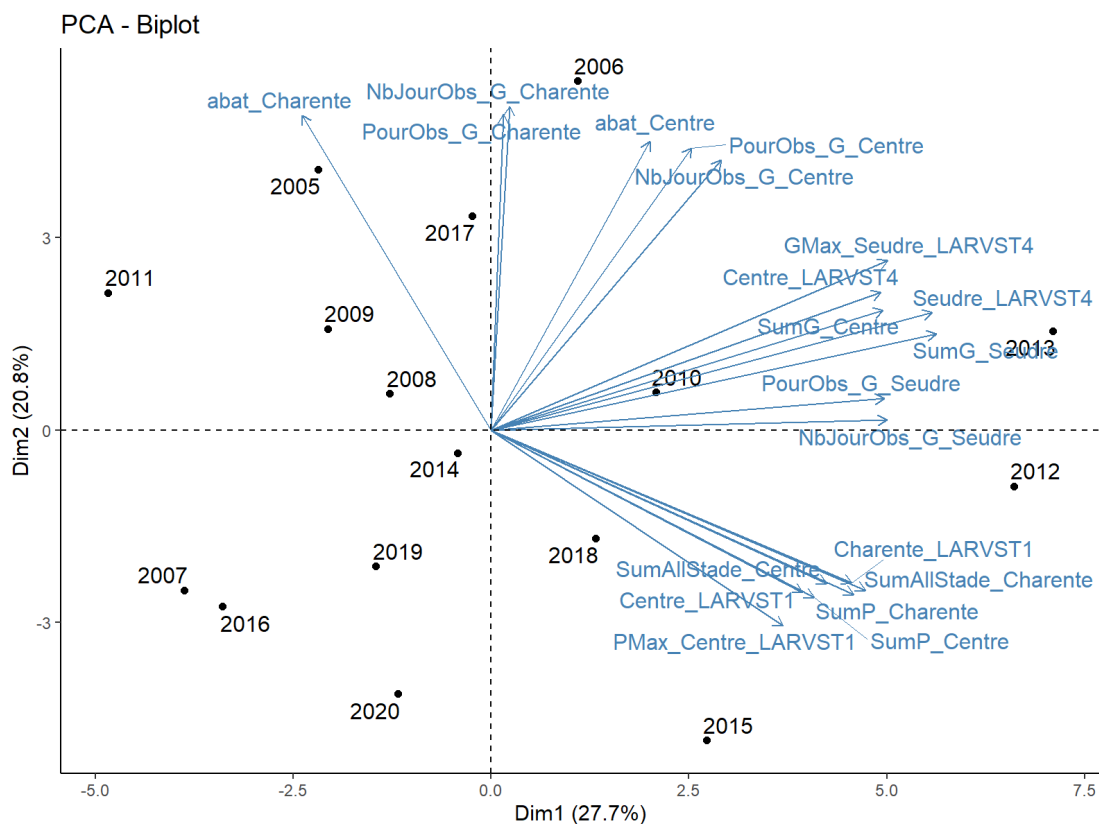


Figure 13 : Biplot de l'analyse en composante principale (ACP) des indices larvaires d'huîtres creuses à l'échelle des secteurs du BMO. Uniquement les 20 variables contribuant le plus à l'inertie entre les individus (années) sont représentées. Se référer au Tableau 3 pour la nomenclature des indices.

1.4. Relation entre les indices larvaires et le captage

Les indices larvaires définis précédemment sont mis en relation avec les données de captage sur coupelles (plus robustes et moins sujettes au biais d'échantillonnage lors de l'acquisition des résultats) par des méthodes d'arbre de décision. Les premiers nœuds de l'arbre de décision, correspondant aux facteurs explicatifs les plus importants, sont discutés. L'indice 6 : Durée de vie larvaire, n'a pas été retenu pour la réalisation des analyses car il présente des valeurs négatives, difficilement interprétables d'un point de vue biologique. Un traitement des résultats plus fin, cohorte par cohorte, serait nécessaire pour préciser cet indice. Les analyses sont dissociées en deux parties (selon deux échelles spatiales), correspondant aux indices larvaires mesurés à l'échelle du BMO et au niveau de chaque zone de prélèvements de larves. Ces analyses sont également répétées pour chaque secteur de captage et pour le captage global à l'échelle de la Charente-Maritime. Il est à noter que les résultats traitant des données de captage des secteurs Ré-La Rochelle et Nord Charente doivent être considérés avec précaution du fait qu'aucun prélèvement de larves n'est réalisé dans ces secteurs.

a. Captage d'huîtres creuses en Charente-Maritime

A l'échelle du littoral charentais, la **date d'observation du maximum de larves au stade grosse** (JJMax_BMO_LARVST4) permet de dissocier, en premier, deux niveaux de captage. Lorsque le pic de grosses larves est mesuré avant le milieu du mois d'août (jour 229 = 17 août, Figure 14a), le captage moyen s'élève à 121 ind/coupelle, alors qu'après cette date, seulement 57 ind/coupelle sont mesurés. Les deux nœuds suivants concernent les quantités de larves de stades petites, que ce soit leur moyenne (BMO_LARVST1) ou le maximum mesuré (PMax_BMO_LARVST1). Il est à noter que, malgré la grande échelle spatiale prise en compte, la survie larvaire (abat_BMO) intervient aussi dans la distinction de niveaux de captage. En effet, une fois que les trois conditions précédentes sont remplies, un facteur d'abattement supérieur et inférieur à 0,546 % (pour 1000 larves petites produites, 5 larves grosses sont retrouvées) permet de distinguer un captage moyen de 33 ind/coupelle et de 73 ind/coupelle, respectivement (Figure 14a).

Au regard des indices larvaires développés pour les trois zones de prélèvements, le premier facteur explicatif (Figure 14b) est aussi relatif à la **date d'observation du maximum des larves grosses**, mais concerne plus particulièrement les cohortes de **l'embouchure de la Charente** (JJMax_Charente_LARVST4). Ainsi, si le maximum de grosses larves à l'embouchure de la Charente est mesuré avant la mi-août (jour 224 = 12 août), le captage global devrait être d'approximativement 124 ind/coupelle. A la suite de cette condition, le facteur d'abattement des larves au centre du bassin (abat_Centre) influence significativement le recrutement global, en dissociant deux classes de captages : 147 ind/coupelle (nœud 3 ; Figure 14b) et 73 ind/coupelle (nœuds 5 et 6 ; Figure 14b). De l'autre côté de l'arbre, ce sont également les jours d'observation du maximum de larves grosses en Seudre et au centre du bassin qui influencent le captage global.

Ces résultats montrent qu'un captage tardif limite le nombre de recrues sur les collecteurs à l'approche de l'hiver, suggérant que la date d'observation des larves au stade grosse peut être un indicateur larvaire du captage à l'échelle de la Charente-Maritime.

b. Captage d'huîtres creuses à l'embouchure de la Charente

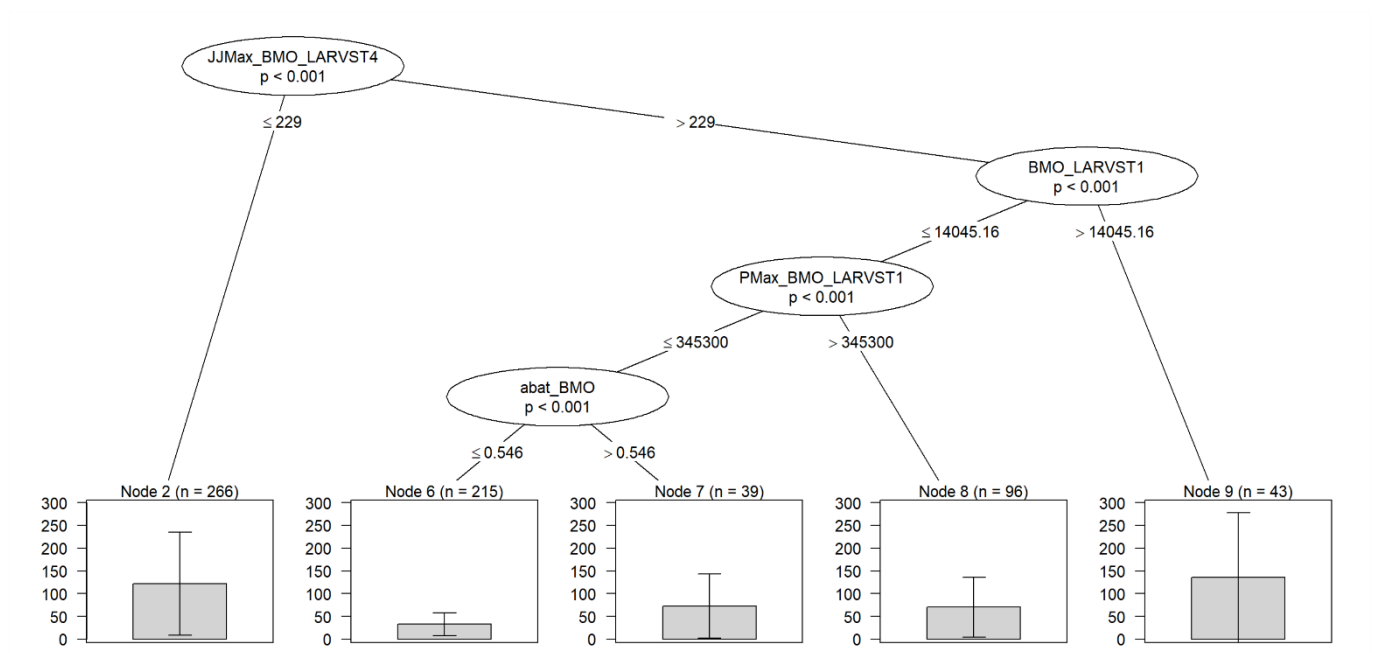
Concernant l'embouchure de la Charente, l'indice larvaire, considéré à l'échelle du BMO, affectant en premier lieu le captage dans cette zone est la **date d'observation des larves de stade grosse** (JJMax_BMO_LARVST4 ; Figure 15a). Il y a donc une différence significative du nombre de naissains vivants captés sur coupelle à la sortie de la Charente, lorsque le jour du pic de concentration de larves de stade grosse est avant (231 individus/coupelle ; nœuds 3, 5 et 6) ou après (97 individus/couppelles ; nœuds 10 à 15) le milieu du mois d'août (jour 224 = 12 août). Le second facteur d'intérêt, que la condition précédente soit complétée ou non, correspond à la **synchronisation des pontes entre les secteurs** (Synchro ; Figure 15a). Il est à noter, qu'un des facteurs du 3^{ème} niveau de décision est de nouveau JJMax_BMO_LARVST4, mais avec un seuil différent (\leq et $>$ au jour 235 = 23 août ; nœuds 14 et 15 ; Figure 15a).

A l'échelle des secteurs de prélèvements de larves, les deux premiers nœuds de l'arbre de décision concernent le premier stade de larve dans le centre du bassin (Figure 15b). En premier lieu, c'est la **quantité maximum de larves petites au centre du bassin** (PMax_Centre_LARVST1) qui discrimine les niveaux de captage à l'embouchure de Charente : si le pic de ponte atteint une concentration de larves petites supérieure à 124 320 larves/1,5m³,

alors le captage moyen sera de 260 ind/coupelle ; à l'inverse, seulement 91 ind/coupelle seront présents (nœuds 3, 6, 6 et 8 ; Figure 15b). A la suite de cette seconde condition, c'est la **date de ponte au centre du bassin** (JJMax_Centre_LARVST1) qui sépare le mieux les données restantes. Une date de ponte antérieure au 184^{ème} jour (3 juillet) entrainera un captage moyen de 321 ind/coupelle (nœuds 3 ; Figure 15b), alors qu'après cette date 76 ind/coupelle seront dénombrés (nœuds 6 à 8 ; Figure 15b). Il est à noter qu'un seul indice larvaire relatif au secteur de l'Embouchure de la Charente intervient au 3^{ème} niveau de l'arbre de décision (Figure 15b).

Ces résultats traduisent encore de l'importance de la date de pontes et de présence des larves de stade grosse dans le milieu et soulignent l'interconnexion entre les masses d'eau par le biais de la dispersion larvaire.

a. Secteur de captage : Charente-Maritime
Indices larvaires : BMO



b. Secteur de captage : Charente-Maritime
Indices larvaires : Secteurs

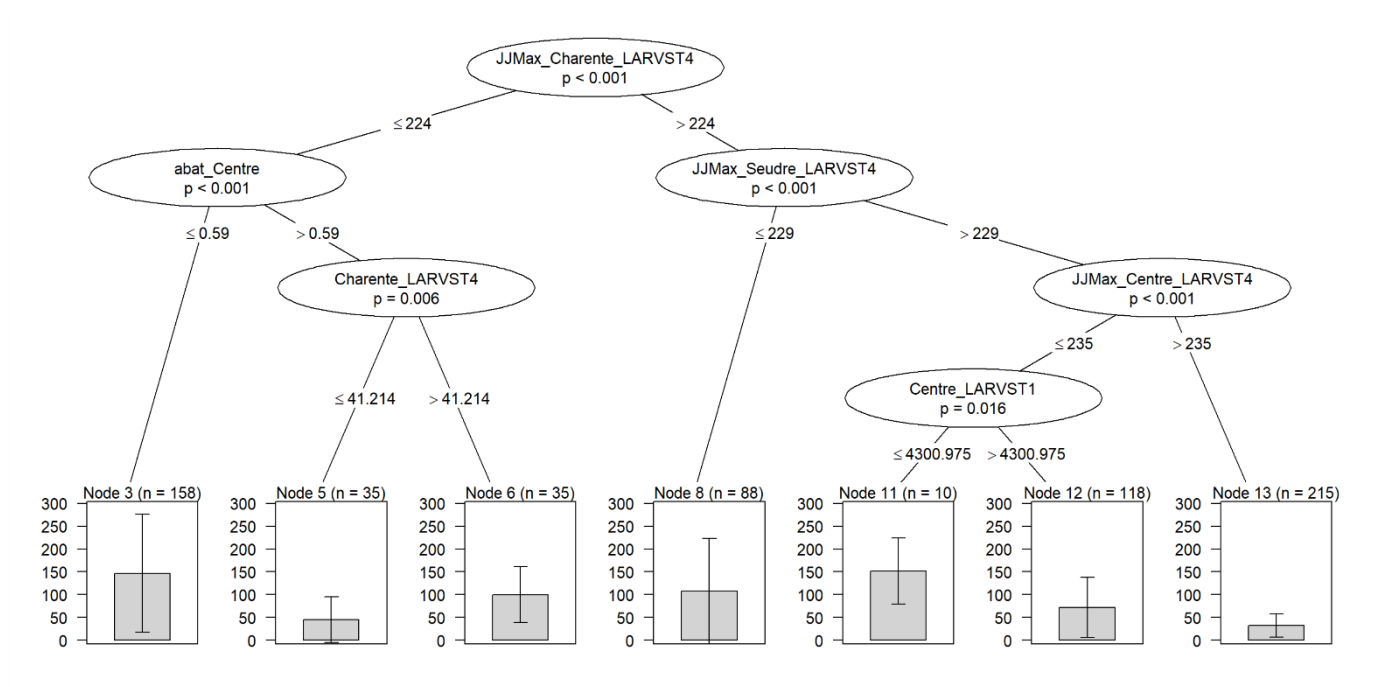
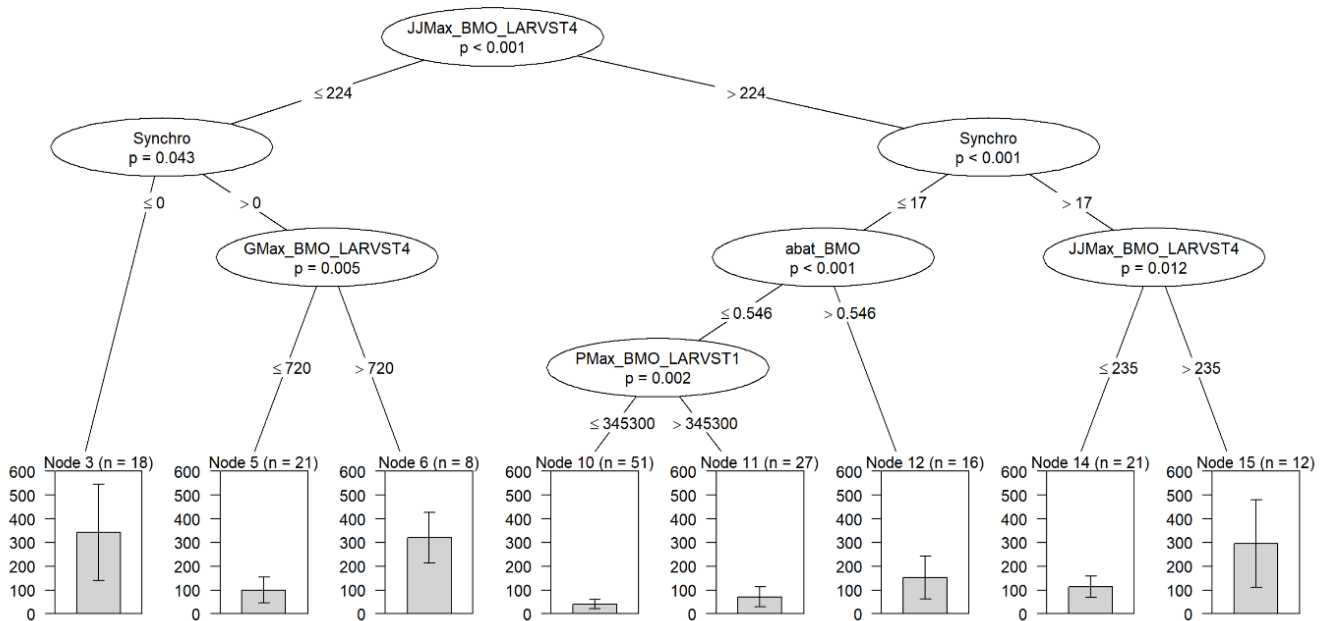


Figure 14 : Arbre de décision du captage sur coupelle en Charente-Maritime en fonction des indices larvaires à l'échelle a. du BMO et b. des secteurs. Les données de l'année 2004 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

a. Secteur de captage : Embouchure de la Charente
Indices larvaires : BMO



b. Secteur de captage : Embouchure de la Charente
Indices larvaires : Secteurs

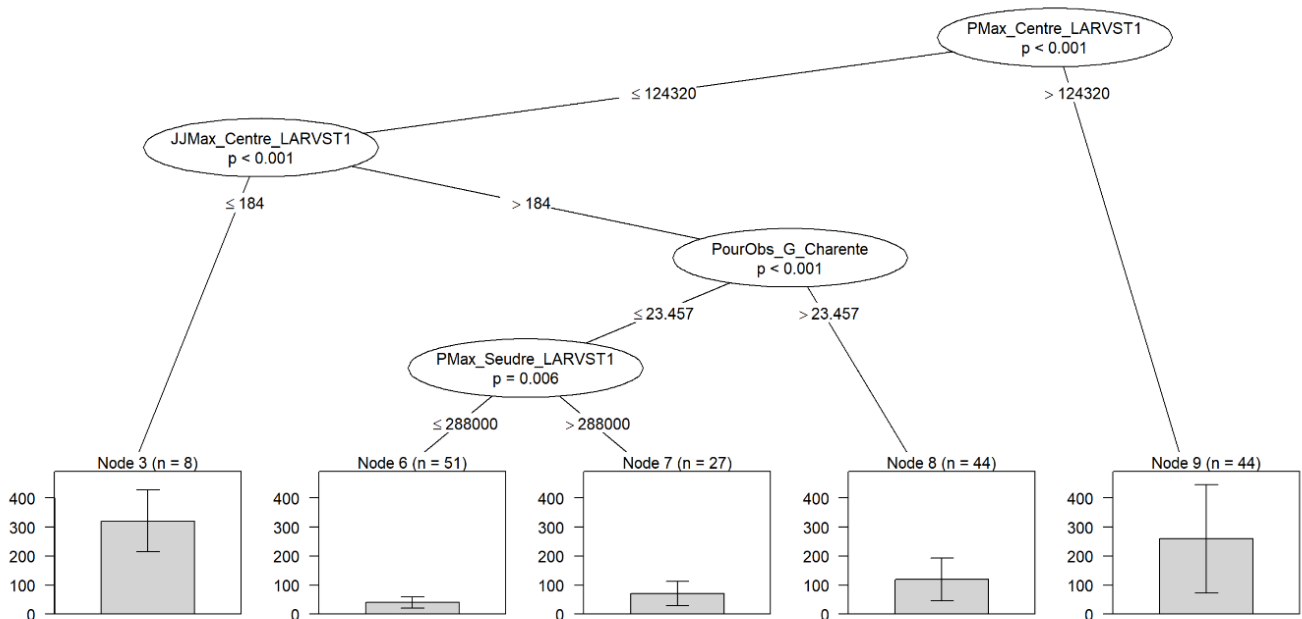


Figure 15 : Arbre de décision du captage sur coupelle à l'embouchure de la Charente en fonction des indices larvaires à l'échelle a. du BMO et b. des secteurs. Les données de l'année 2004 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

c. Captage d'huîtres creuses au centre du bassin

Dans le centre du bassin, uniquement deux indices larvaires à l'échelle du BMO permettent de discriminer des niveaux de captage. C'est le seuil du 229^{ème} jour (17 août) où **l'observation du maximum de larves au stade grosse** est réalisée (JJMax_BMO_LARVST4) qui explique la différence entre un captage moyen de 149 ind/coupelle (pour JJMax_BMO_LARVST4 \leq 229 ; nœud 2) et de 39 ind/coupelle (pour JJMax_BMO_LARVST4 $>$ 229 ; nœud 4 et 5 ; Figure 16a). A la suite de cette condition, c'est dans une moindre mesure que le synchronisme des pontes détermine un captage moyen de 59 ind/coupelle (nœud 5) ou 33 ind/coupelle (nœud 4 ; Figure 16a).

A l'inverse du captage à l'embouchure de la Charente, ce sont bien des indices larvaires (2 sur 3 ; Figure 16b) provenant des prélèvements effectués au centre du bassin qui déterminent le captage dans ce même secteur. Dans un premier temps, c'est la date de ponte, ou du moins la **date de présence du maximum de larves petites** (JJMax_Centre_LARVST1), **au centre du bassin** qui discrimine un captage moyen de 147 ind/coupelle (avant le 215^{ème} jour = 3 août ; nœuds 3 et 4) et de 43 ind/coupelle (après le 215^{ème} jour = 3 août ; nœuds 6 et 7 ; Figure 16b). Le second niveau de décision est caractérisé par les **dates d'observation des maximums de larves de stade grosse dans le centre du bassin** (branche gauche ; Figure 16b) et en **Seudre** (branche droite ; Figure 16b).

Une nouvelle fois l'importance de la concordance et de la précocité des larves dans la colonne d'eau des deux stades extrêmes jouent un rôle prépondérant dans le déterminisme du recrutement.

d. Captage d'huîtres creuses en Seudre

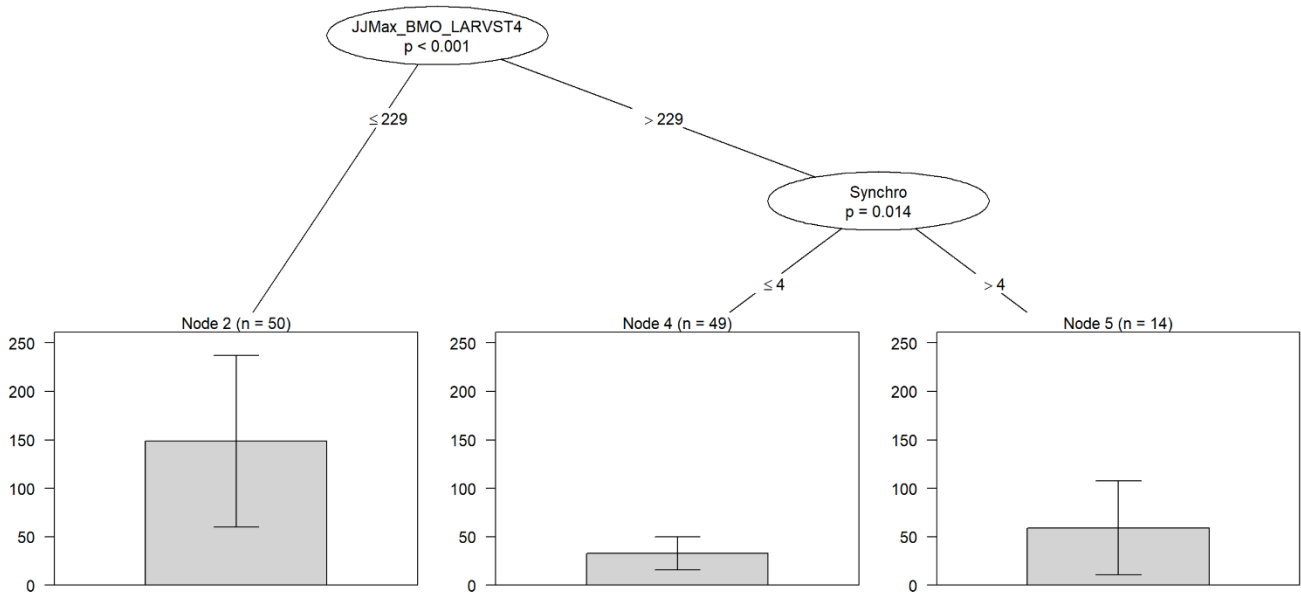
A l'échelle du bassin, le premier indicateur larvaire discriminant le captage en Seudre correspond à la **date de ponte** (JJMax_BMO_LARVST1). Plus elle est précoce plus le captage sera important (avant le 226^{ème} jours = 14 août) : 93 ind/coupelle (nœuds 11 à 13 ; Figure 17a) contre 34 ind/coupelle (nœuds 4, 6, 7 et 8 ; Figure 17a). Au second niveau de décision ce sont, d'un côté, des variables temporelles avec la **synchronisation des pontes** (Synchro) et la **date du pic de larves grosses** (JJMax_BMO_LARVST4) et, de l'autre côté, des variables **d'abondances larvaires** (de stade grosse principalement), qui partage le jeu de données (Figure 17a).

Les trois premiers indices larvaires à l'échelle des secteurs influençant le captage en Seudre ne concernent que des larves de stade grosse du secteur de l'embouchure de la Charente. En effet, le premier niveau de décision est caractérisé par la **date d'observation du pic de grosse larve** (JJMax_Charente_LARVST4) et le second niveau est représenté par la **concentration maximum des larves grosse** (GMax_Charente_LARVST4), d'une part, et par le **pourcentage de jour d'observation de larve grosse** (PourObs_G_Charente ; Figure 17b). C'est à partir du 3^{ème} niveau de décision que la concentration maximum de larves de stade grosse (GMax_Seudre_LARVST4) en Seudre intervient (Figure 17b).

Bien que la Seudre semble fonctionner de manière autonome, les corrélations entre le niveau de recrutement et les indices larvaires d'autres secteurs peuvent traduire : 1. un lien direct des cohortes extérieures qui alimenteraient la Seudre ou 2. l'effet de variables d'un niveau d'intégration supérieur qui serait favorable au captage global (par exemple, si l'ensemble des

conditions environnementales de la façade Atlantique sont optimales). Sous cette condition, la corrélation ne serait que mathématique sans causalité biologique.

a. Secteur de captage : Centre du bassin
Indices larvaires : BMO



b. Secteur de captage : Centre du bassin
Indices larvaires : Secteurs

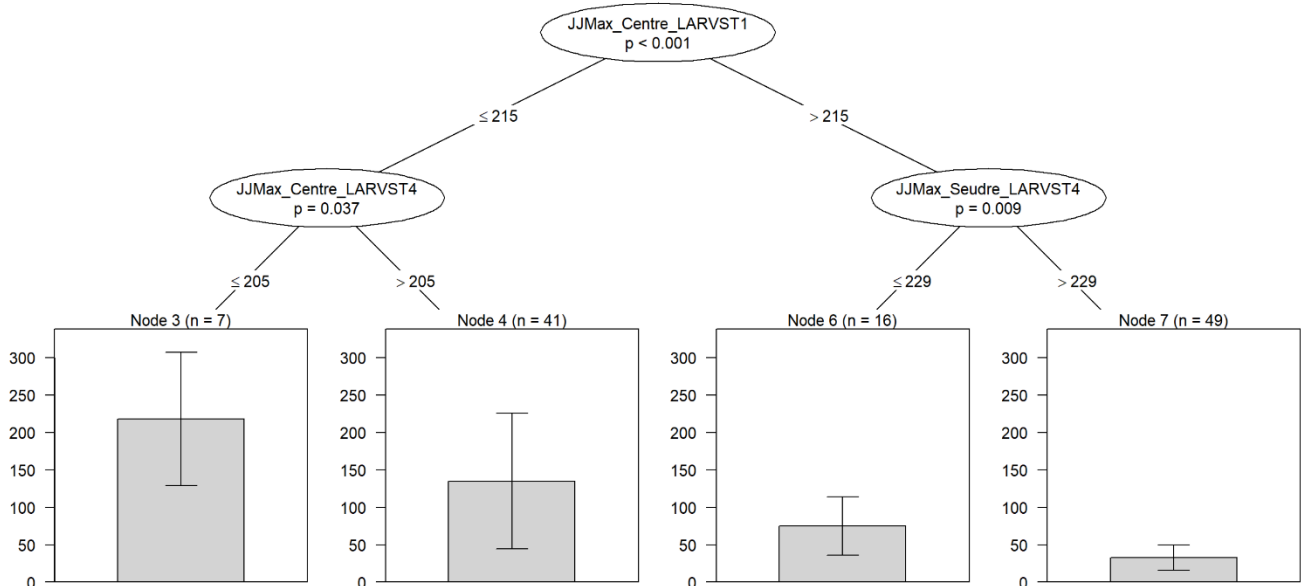
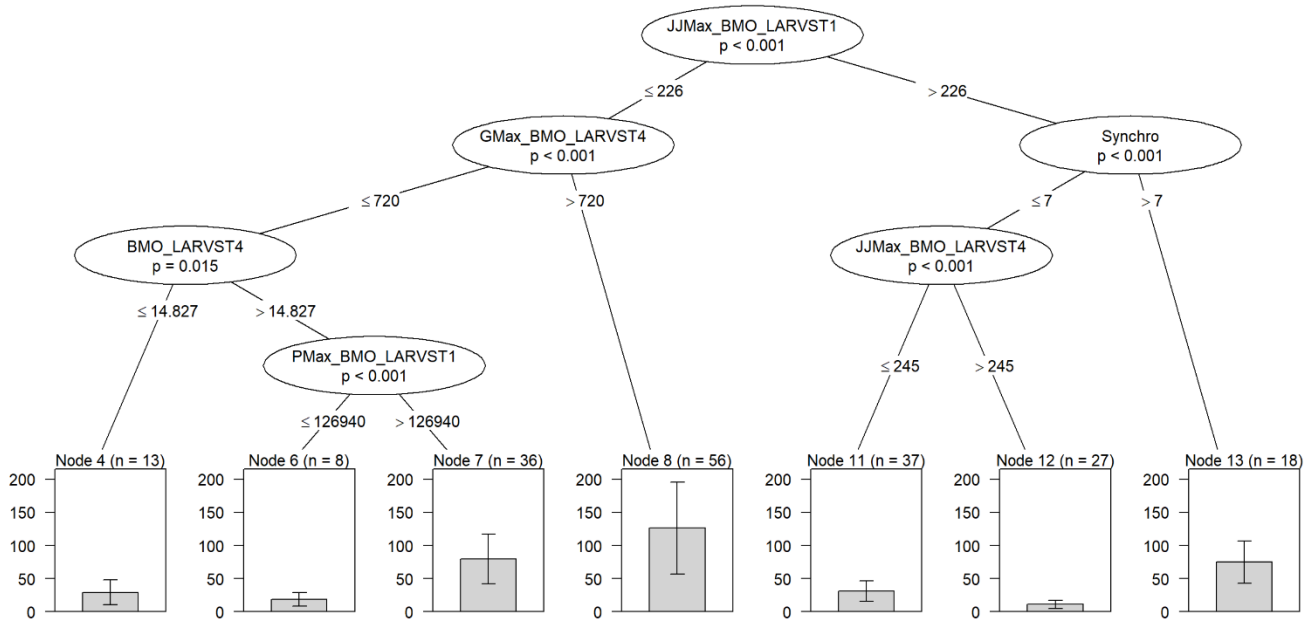


Figure 16 : Arbre de décision du captage sur coupelle au centre du bassin en fonction des indices larvaires a. à l'échelle du BMO et b. des secteurs. Les données de l'année 2004 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

a. Secteur de captage : Seudre
Indices larvaires : BMO



b. Secteur de captage : Seudre
Indices larvaires : Secteurs

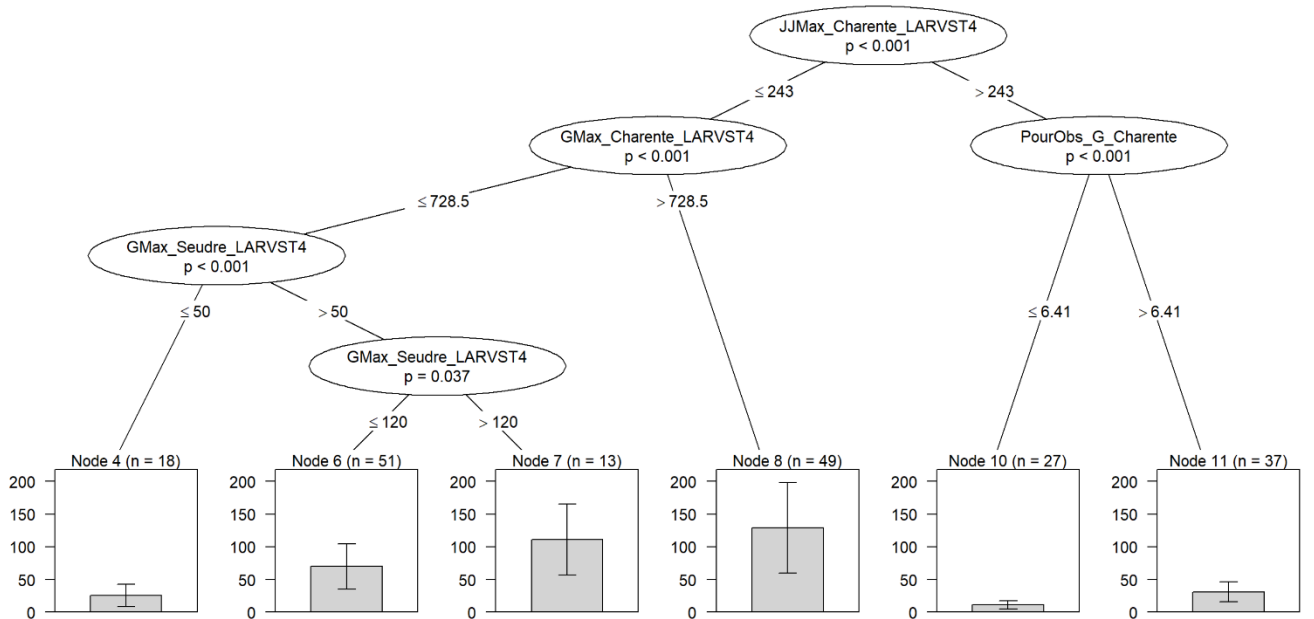


Figure 17 : Arbre de décision du captage sur coupelle en Seudre en fonction des indices larvaires à l'échelle a. du BMO et b. des secteurs. Les données de l'année 2004 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

e. Captage d'huîtres creuses au Nord de la Charente

L'intensité du captage au Nord de la Charente est corrélée, à large échelle, aux indices larvaires concernant le stade grosse : la **date d'observation du pic de concentration** (JJMax_BMO_LARVST4) et la **quantité maximum** mesurée à cette date (GMax_BMO_LARVST4 ; Figure 18a). Le premier nœud de décision différencie, au seuil du 224^{ème} jour de l'année, les niveaux de captage moyen de 92 ind/coupelle (nœud 2) et 26 ind/coupelle (nœud 4 et 5).

Au regard des indices larvaires définis pour chaque secteur, le premier facteur de décision est la date de ponte dans le centre du bassin (JJMax_Centre_LARVST1), discriminant des captages moyen de 86 ind/coupelle (avant le jour 213) et 24 ind/coupelle (après le jour 213 ; Figure 18b). Le second niveau de décision concerne les larves de l'embouchure de la Charente, avec, d'un côté, la date de ponte au seuil du 215^{ème} jour (JJMax_Charente_LARVST1) et, de l'autre côté, la concentration maximale de larves grosse au seuil de 210 larves/1,5m³ (GMax_Charente_LARVST4 ; Figure 18b). Ainsi, les deux nœuds terminaux les plus extrêmes distinguent des classes de captage de 122 ind/coupelle (nœud 3) et 16 ind/coupelle (nœud 7 ; Figure 18b).

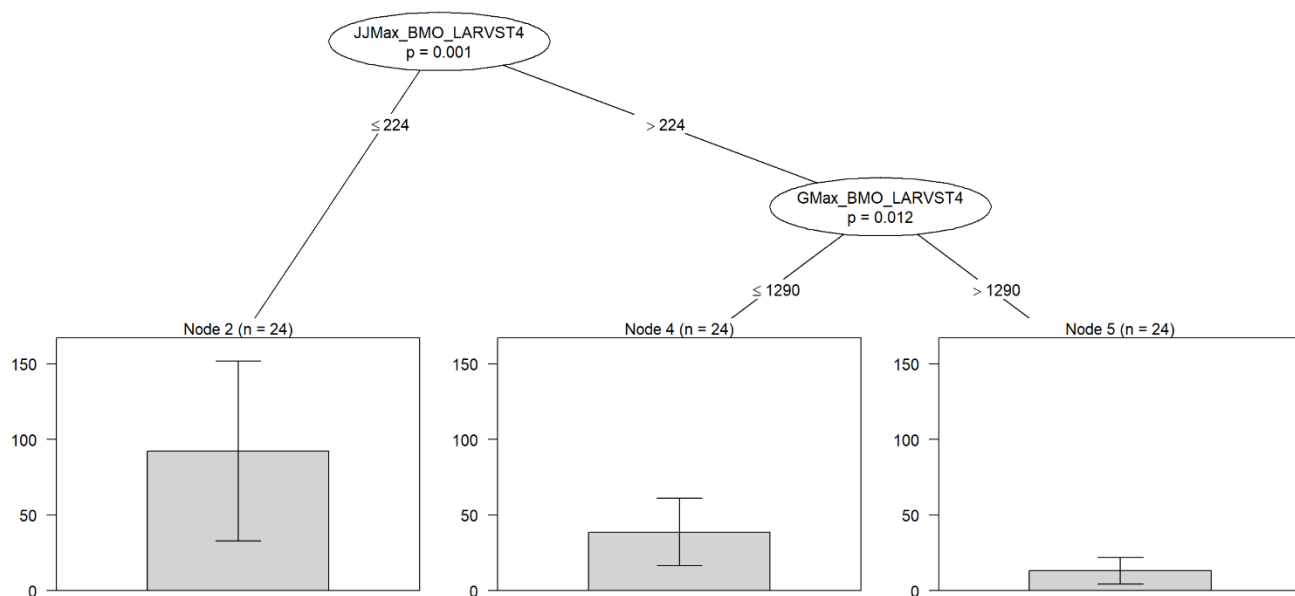
La corrélation entre le captage dans ce secteur et les variables larvaires des secteurs plus au Sud (*i.e.* Embouchure Charente et Centre du bassin) peut être le reflet de la réalité biologique. Il est concevable que la dispersion des nuages larvaires du secteur de l'embouchure de la Charente se réalise en direction du Nord, venant alimenter les cohortes de larves prêtes à se fixer. Néanmoins, sans donnée larvaire propre à cette zone, il n'est pas possible de dissocier la part des productions de larves autochtones et allochtones participant au captage de ce secteur.

f. Captage d'huîtres creuses à Ré-La Rochelle

A l'échelle du BMO, ce sont les **concentrations moyennes de larves de stade petite** (BMO_LARVST1) qui occupent les deux premiers niveaux de l'arbre de décision (Figure 19a). Ainsi, deux seuils de concentration successifs : $>$ ou \leq à 18 791 larves/1,5m³ et $>$ ou \leq à 6 542 larves/1,5m³, permettent de définir trois classes de captage moyen : 122 ind/coupelle (nœud 7), 50 ind/coupelle (nœuds 6) et 15 ind/coupelle (nœuds 4 et 5 ; Figure 19a).

Selon le même schéma d'arbre de décision, des indices larvaires appartenant aux trois zones de prélèvement (Seudre_LARVST1, PMax_Charente_LARVST1, PourObs_G_Centre ; Figure 19b) permettent de distinguer des classes de captage relativement équivalentes à celle précédemment citées. Néanmoins, il n'est pas possible d'affirmer qu'un lien réel relie les larves de la Seudre aux naissains captés dans le secteur Ré-La Rochelle. En premier lieu, il est plus raisonnable de concevoir ces indices larvaires comme des facteurs confondants traduisant de l'influence de variables de niveaux d'intégration supérieurs, telles que les conditions climatiques.

a. Secteur de captage : Nord Charente
Indices larvaires : BMO



b. Secteur de captage : Nord Charente
Indices larvaires : Secteurs

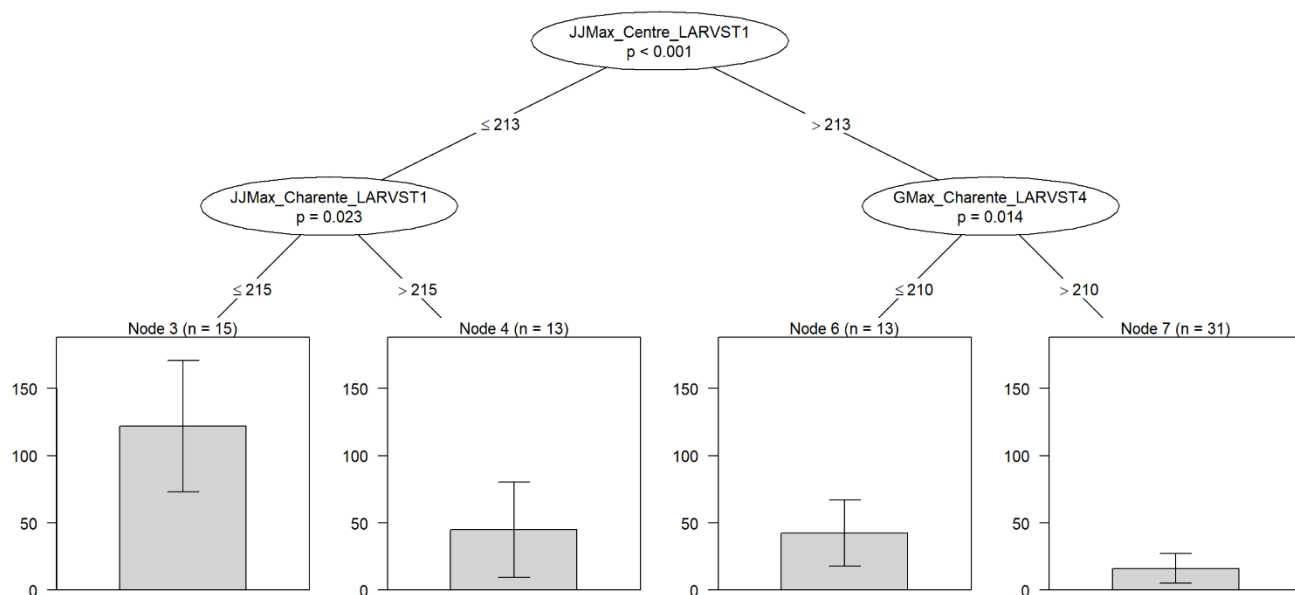
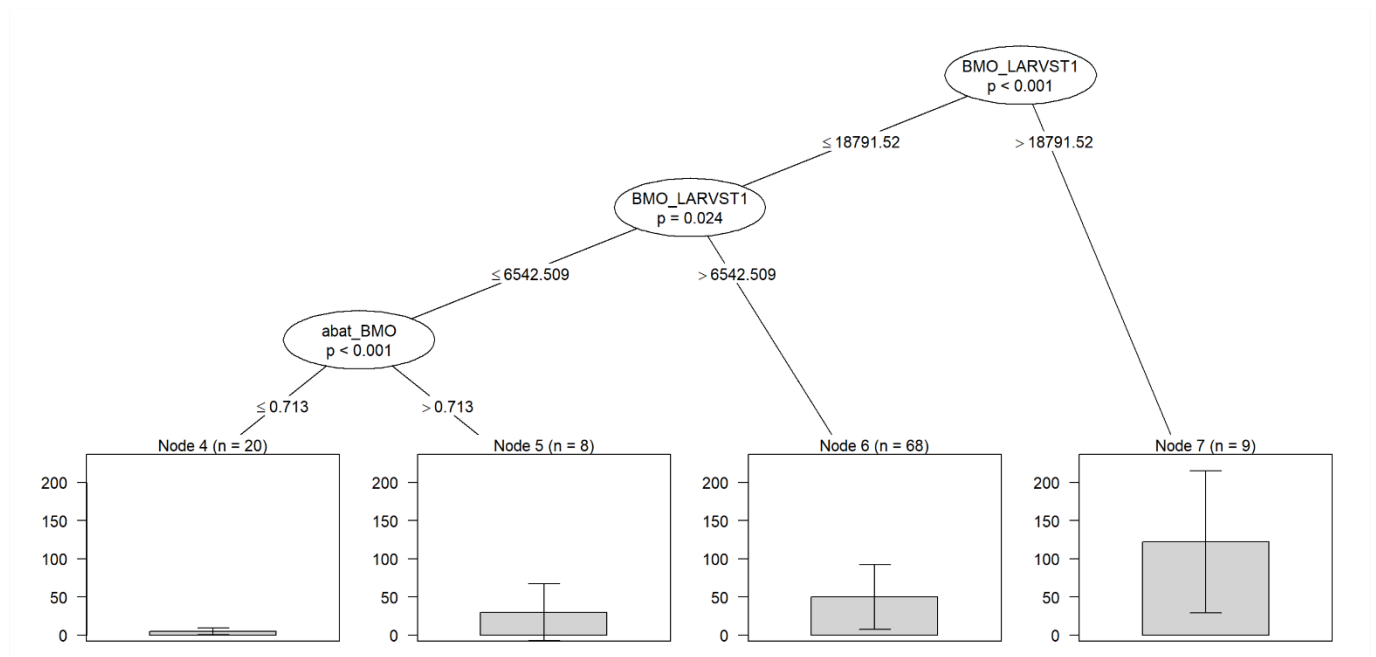


Figure 18 : Arbre de décision du captage sur coupelle au Nord de la Charente en fonction des indices larvaires à l'échelle a. du BMO et b. des secteurs. Les données de l'année 2004 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

a. Secteur de captage : Ré-La Rochelle
Indices larvaires : BMO



b. Secteur de captage : Ré-La Rochelle
Indices larvaires : Secteurs

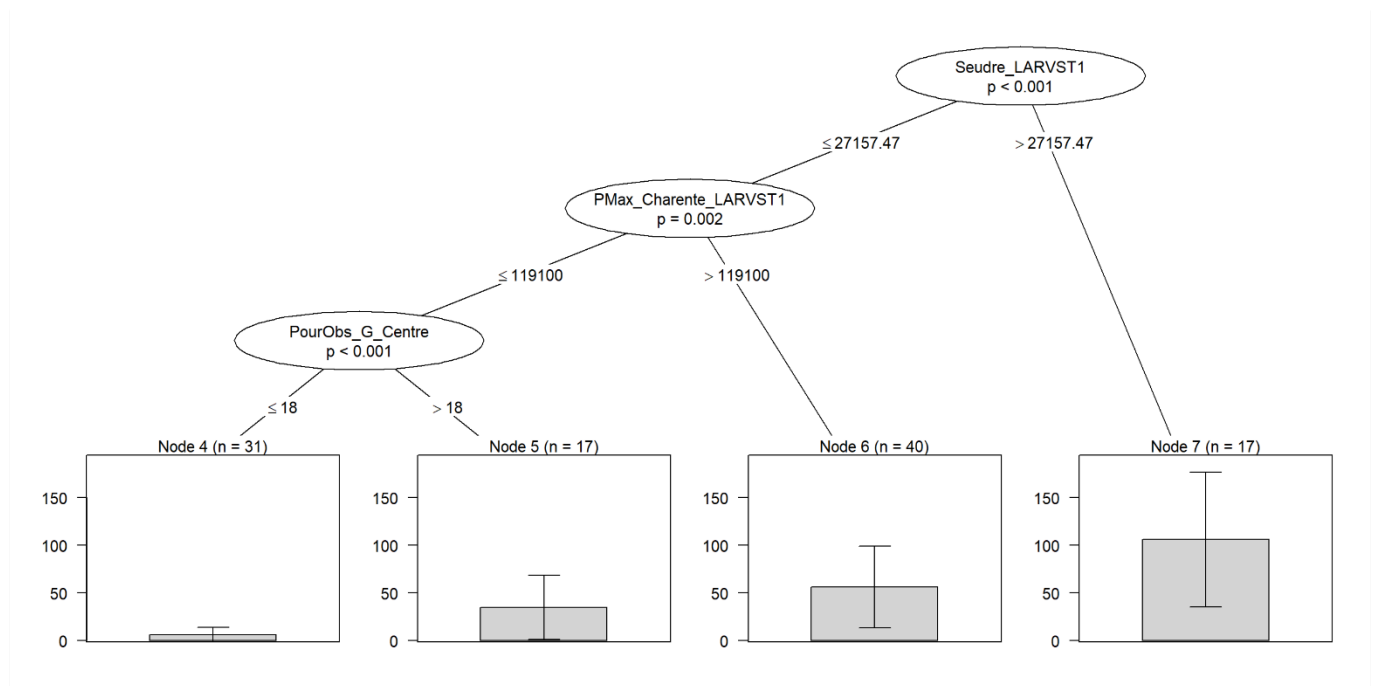


Figure 19 : Arbre de décision du captage sur coupelle dans le secteur de Ré-La Rochelle en fonction des indices larvaires à l'échelle a. du BMO et b. des secteurs. Les données de l'année 2004 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

1.5. Proposition d'indicateurs larvaires du captage d'huîtres creuses en Charente-Maritime.

Les analyses, par arbres de décision, des liens entre les indices larvaires et l'intensité du captage mettent en évidence l'importance prépondérante des **périodes d'observation du maximum de concentration des larves de stades grosse et petite** (Indice 2 ; Tableau 3), qu'ils soient calculés à l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron ou à l'échelle de chaque secteur de suivi (Tableau 4). En effet, la majorité des indices relevés aux 1^{ers} nœuds des arbres de décision concerne les **dates d'observation du maximum de concentration en larves de stade grosse dans le BMO** (JJMax_BMO_LARVST4) **et à l'embouchure de la Charente** (JJMax_Charente_LARVST4). Dans un second temps, ce sont les **dates d'observation du maximum de concentration de larves petite**, utilisée comme proxy pour estimer la date de ponte, **dans le BMO** (JJMax_BMO_LARVST1) **et au centre du bassin** (JJMax_Centre_LARVST1), qui sont déterminantes. Au cours des dernières années, les concentrations moyennes de larves de stade petite et grosse sont restées dans les mêmes ordre de grandeur, variant de 1 000 à 10 000 larves/1,5m³ pour les petites et de 10 à 100 larves/1,5m³ pour le stade grosse (Annexe 11 ; Fleury et al. 2021). Cette régularité assure un approvisionnement relativement constant en larves capables de se fixer sur les collecteurs. Cependant, plus tôt les larves seront présentes dans le milieu, plus longue sera leur fenêtre de fixation sur le substrat. Larves planctotrophes se nourrissant dans la colonne d'eau, elles bénéficieront de la production primaire phytoplanctonique au cours de l'été et au début de l'automne, leur permettant d'accumuler assez d'énergie pour se disperser (*Desperate larvae hypothesis* ; Marshall 2003) et réaliser la phase de fixation/métamorphose (Barbier 2016 et références associés). D'un développement larvaire moyen de 21 jours, les larves d'huîtres creuses peuvent étendre leur durée de vie larvaire de 14 à 28 jours. Martel et al. (2014) ont montré chez la moule commune, qu'un plus grand taux de fixation est relié à des tailles à la métamorphose plus petites, suggérant que les premières larves dans le milieu seront plus représentées dans le stock de naissains. A l'inverse, une extension de la phase larvaire pélagique peut être la traduction d'un retard de métamorphose amorcé par l'individu afin de trouver les meilleures conditions environnementales pour sa fixation (Toupoint et al. 2012a, 2012b). Pour résumer, plus les pontes seront précoces plus les larves auront l'occasion de rencontrer une fenêtre environnementale propice à leur fixation, se traduisant par un captage abondant à l'issue de la saison.

Tableau 4 : Résumé des indices larvaires, des deux échelles spatiales, retenus aux 1^{er} nœud des arbres de décision, pour chaque secteurs de captage en Charente-Maritime.

| Secteur de captage | Echelle BMO | | Echelle Secteurs | |
|---------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------|
| | 1 ^{er} Indice larvaire | Sous-indice | 1 ^{er} Indice larvaire | Sous-indice |
| BMO | Indice 2 | JJMax_BMO_LARVST4 | Indice 2 | JJMax_Charente_LARVST4 |
| Embouchure Charente | Indice 2 | JJMax_BMO_LARVST4 | Indice 3 | PMax_Centre_LARVST1 |
| Centre du bassin | Indice 2 | JJMax_BMO_LARVST4 | Indice 2 | JJMax_Centre_LARVST1 |
| Seudre | Indice 2 | JJMax_BMO_LARVST1 | Indice 2 | JJMax_Charente_LARVST4 |
| Nord Charente | Indice 2 | JJMax_BMO_LARVST4 | Indice 2 | JJMax_Centre_LARVST1 |
| Ré-La Rochelle | Indice 1 | BMO_LARVST1 | Indice 1 | Seudre_LARVST1 |

La majorité des facteurs déterminant retenus dans les arbres de décision concernent des indices larvaires du stade grosse, au détriment du stade petite. Ceci souligne l'importance du stade compétent à la fixation, pour expliquer l'intensité du captage annuel, mais aussi le

découplage important entre les dynamiques de ces deux stades larvaires. Entre les phases larvaire et de post-larve (après la fixation/métamorphose), Pedersen et al. (2008) estiment un taux de perte de plus de 85 % chez les invertébrés marins. Au regard des résultats présentés dans ce document, le facteur d'abattement calculé est du même ordre de grandeur. En effet, les larves grosses ne représentent que 0,1 à 1,25 % de la quantité des larves de stade petite (Annexe 15). Ce facteur d'abattement est le plus élevé à l'embouchure de la Charente. Cette abattement peut s'expliquer par des phénomènes de dispersion et d'advection (*member-vagrant hypothesis* ; Sinclair et al. 1984) :

- Une meilleure survie larvaire sans dispersion des larves à l'extérieur de ce secteur ;
- Et un apport allochtone de larves de stade grosse dans ce secteur (Bernard 2011).

Etant donné la grande capacité de dispersion des larves de *Crassostrea gigas* (approximativement les 50 km ; Brandt et al. 2008), il est indispensable de considérer que des échanges de larves entre les secteurs les plus au Sud (Seudre) et au Nord (Ré-La Rochelle, Sud Venée) peuvent se réaliser, dans la mesure où les conditions hydro-climatiques le permettent. C'est ainsi que la grande complexité de la dynamique larvaire associée à l'environnement physique de la mer des Pertuis entraîne cette variabilité intra-bassin et interannuelle du captage.

2. Recrutement de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon

Après traitement, le jeu de données « captage » de l'huître creuse du bassin d'Arcachon prend en compte, pour les coupelles : 14 années de reproduction, de 2006 à 2020 (sans 2015), et pour les tuiles : 8 années de 2006 à 2008 et de 2017 à 2020. Le Bassin d'Arcachon est séparé en 2 secteurs géographiques : Est et Ouest. Au total, 781 observations pour les coupelles et 286 pour les tuiles sont recensées (Annexe 19 et 20). Les données issues de l'année 2006 ne seront pas prises en compte dans le reste de l'analyse, car elles semblent anormalement élevées et peu robustes (entre 1 et 4 valeurs par sites). A l'instar de l'année 2008 pour le captage de l'huître creuse en Charente-Maritime, il serait prudent de ne pas intégrer ces données, au risque de fournir des interprétations erronées. L'année 2015 ne demeure pas dans le jeu de données final car seulement 1 valeur de captage par secteur est disponible (2 observations). Trois types de collecteurs sont utilisés : la coupelle, la tuile chaulée et le tube. Uniquement les données des coupelles seront utilisées pour la définition des niveaux de captage de référence car les séries de données concernant les tuiles et les tubes ne sont pas assez conséquentes (1 seule année de suivi pour les tubes) et robustes (biais d'échantillonnage pour les tuiles) et que les données d'un type de collecteur unique permettront la comparaison entre les bassins de production.

2.1. Variations interannuelles du recrutement

a. A l'échelle du Bassin d'Arcachon

Entre 2007 et 2020, le captage moyen de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon était de 317 (\pm 547) ind/coupelle et de 1708 (\pm 2508) ind/tuile selon les 7 années de suivi

disponibles (2007 à 2008 et de 2017 à 2020). Contrairement à la Charente-Maritime, le captage annuel a largement fluctué entre les années en termes d'intensité (ordre de grandeur entre 10^1 et 10^3). Cependant, la variabilité est restée relativement stable au cours des années, hormis pour les années 2013, 2016 et 2019, traduisant de la faible étendue des valeurs mesurées. Finalement, les données des deux types de collecteurs évoluent conjointement d'une année sur l'autre et représentent une dynamique de recrutement similaire (Figure 20). Les valeurs moyennes minimales sont de $6 (\pm 1)$ ind/coupelle et $44 (\pm 6)$ ind/tuile en 2007. Les valeurs moyennes maximales observées sont de $1863 (\pm 693)$ ind/coupelle en 2014 et $5077 (\pm 2020)$ ind/tuile en 2020 (Figure 20).

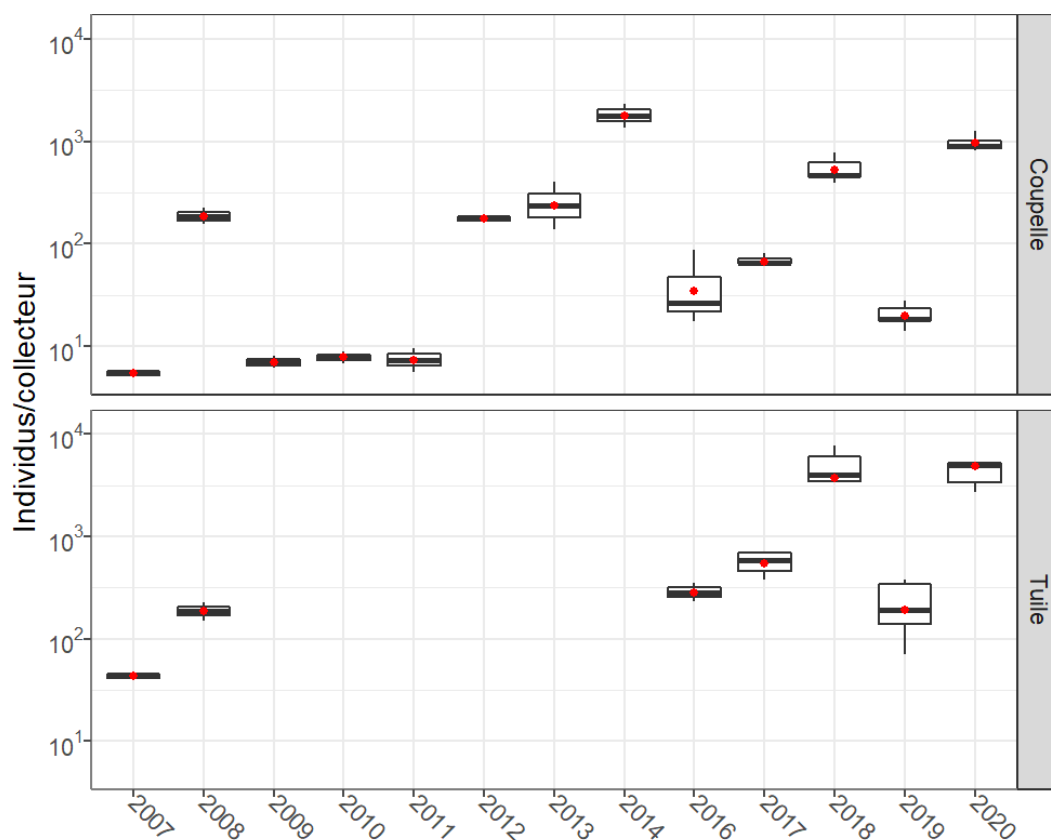


Figure 20 : Nombre de naissains vivants comptés par type de collecteur dans l'ensemble des secteurs du bassin d'Arcachon entre 2007 et 2020. Les données des années 2006 et 2015 ne sont pas prises en compte. L'axe des ordonnées est sous forme logarithmique. La ligne horizontale noire représente la médiane, le point rouge représente la moyenne, les limites inférieure et supérieure du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieure et supérieure de la ligne verticale représente respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.

Les variations interannuelles du recrutement ne semblent pas présenter de motif d'alternance répétitif à l'échelle des années étudiées (Figure 21). Néanmoins, de 2007 à 2013, le captage sur coupelle était systématiquement inférieur à la moyenne de référence, résultats largement tirés vers le bas par les valeurs élevées de l'année 2014. C'est ainsi que la plus grosse anomalie est observée entre les années 2014 et 2015 avec ± 1820 ind/coupelle. Finalement, de 2017 à 2020, une alternance entre des captages inférieurs et supérieurs à la moyenne est observée (Figure 21).

Les résultats obtenus en 2014 participent en grande partie à l'élévation de la valeur moyenne du captage sur coupelle, et de la variance associée. Sans l'année 2014, le résultat est de $189 (\pm 283)$ ind/coupelle. Ainsi, cette année ne sera pas prise en compte dans la suite de l'analyse.

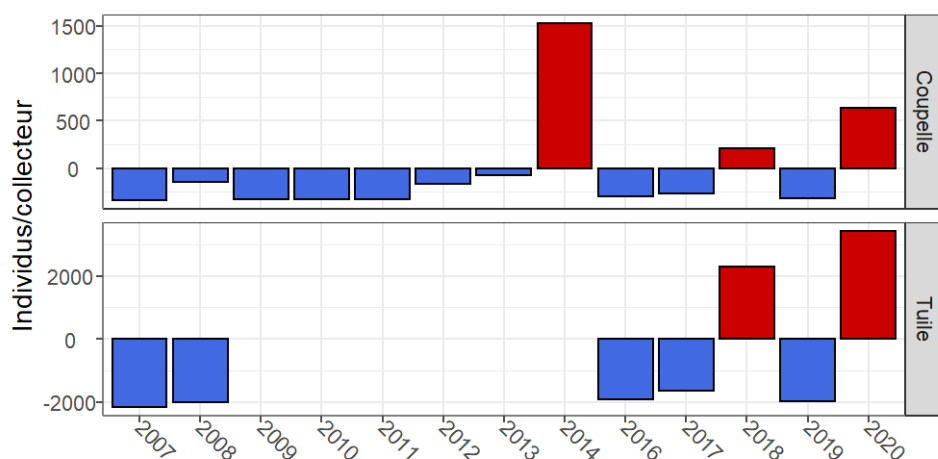


Figure 21 : Anomalies par rapport à la moyenne du captage par type de collecteur dans du bassin d'Arcachon entre 2007 et 2020. Les données des années 2006 et 2015 ne sont pas prises en compte. Les barres rouges et bleues représentent un captage supérieur et inférieur à la moyenne, respectivement.

b. A l'échelle des secteurs

Au regard de la série temporelle à disposition, le nombre moyen des naissains par type de collecteur a été de :

- 297 (\pm 447) ind/coupelle et 1757 (\pm 2724) ind/tuile pour le secteur Arcachon Est ;
- 382 (\pm 710) ind/coupelle et 2213 (\pm 3691) ind/tuile pour le secteur Arcachon Ouest.

A cette résolution spatiale, les résultats obtenus en 2014 participent également à l'élévation des valeurs moyennes du captage sur coupelle, et des variances associées. Sans l'année 2014, les résultats sont de 210 (\pm 320) ind/coupelle à l'Est du bassin et de 246 (\pm 387) ind/coupelle à l'Ouest du bassin.

De façon générale, les deux secteurs montrent des captages de même ordre de grandeur en fonction des années, que ce soit sur les coupelles ou les tuiles. En effet, les années se répartissent équitablement entre des niveaux de captage compris entre 0 et 10 ind/coupelle et entre 100 et 1000 ind/coupelle (Figure 22). Ces mêmes ordres de grandeur, multipliés d'un facteur 10, sont retrouvés pour le captage sur tuile (Figure 23). Cependant, il est à noter que seulement 3 années (*i.e.* 2016, 2017, 2019) ont eu un captage d'ordre de grandeur intermédiaire entre 10 et 100 ind/coupelle.

Contrairement à la Charente-Maritime, les deux secteurs du bassin d'Arcachon présentent des variations intra-annuelles très faibles et relativement homogènes (sauf les années de captage important) mais c'est à l'échelle inter-annuelle que ces variations sont les plus grandes. Ces observations traduisent d'un fonctionnement identique à l'échelle d'une année de captage, supposant l'implication de facteurs intrinsèques (larves) et/ou environnementaux agissant à l'échelle du bassin (Annexe 21).

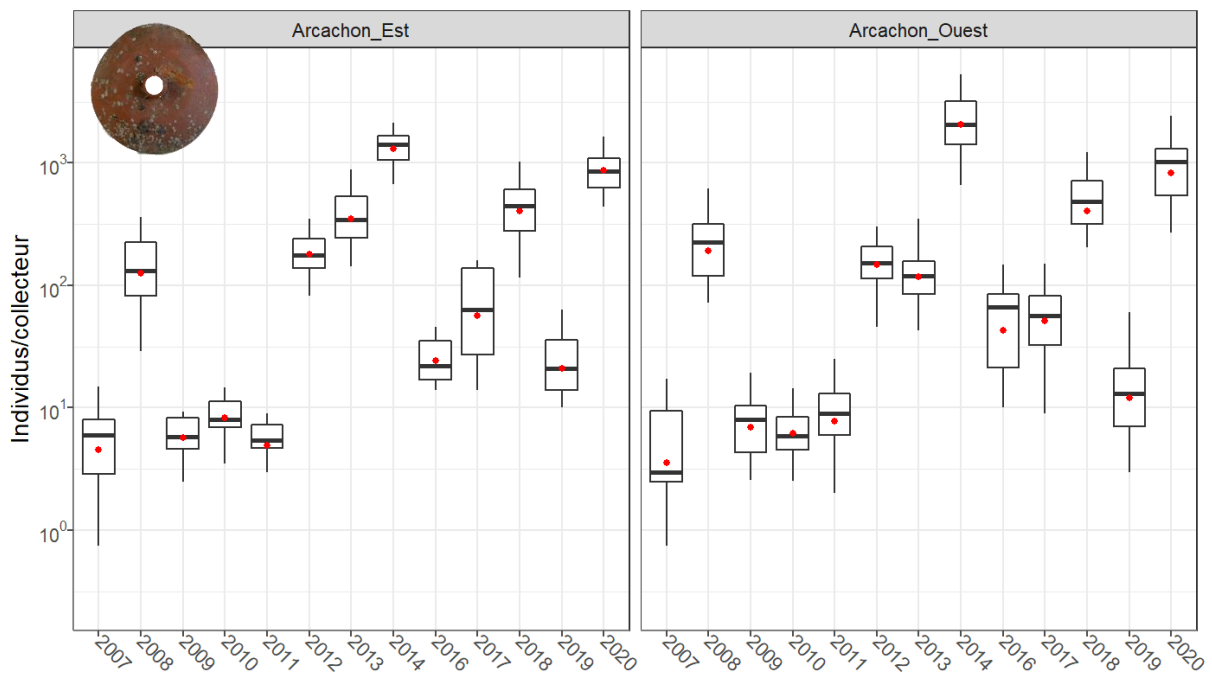


Figure 22 : Nombre de naissains vivants comptés par coupelle en fonction des secteurs du bassin d’Arcachon entre 2007 et 2020. Les données des année 2006 et 2015 ne sont pas prises en compte. La ligne horizontale noire représente la médiane, le point rouge représente la moyenne, les limites inférieur et supérieur du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieur et supérieur de la ligne verticale représente respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.

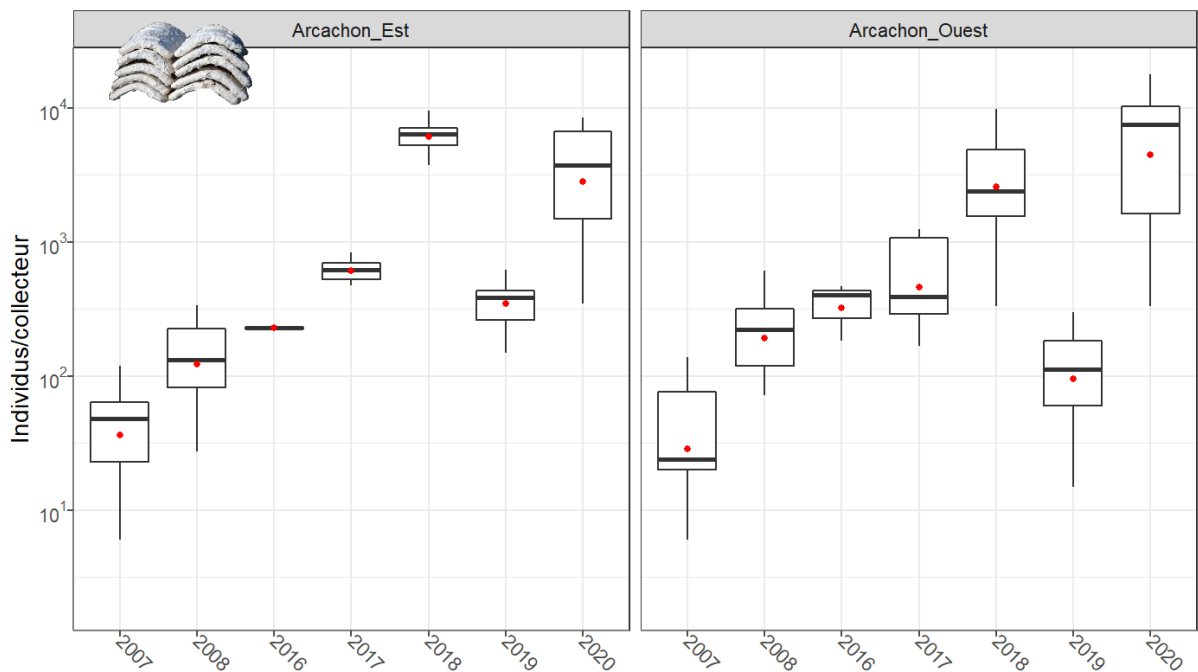


Figure 23 : Nombre de naissains vivants comptés par tuile en fonction des secteurs du bassin d’Arcachon de 2007 à 2008 et de 2017 à 2020. Les données des année 2006 et 2015 ne sont pas prises en compte. La ligne horizontale noire représente la médiane, le point rouge représente la moyenne, les limites inférieur et supérieur du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieur et supérieur de la ligne verticale représente respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.

L'étude des anomalies à la moyenne par secteur montre globalement les mêmes tendances que celles observées à l'échelle du bassin. En effet, une période déficitaire s'étend de l'année 2007 à 2012 et en 2013 dans les secteurs Est et Ouest, respectivement, à la suite de laquelle une alternance s'opère entre des années excédentaires et déficitaires pour les coupelles et le tubes (Figure 24). Comme précédemment, les résultats de l'année 2014 (pour les coupelles) augmentent la moyenne pluriannuelle, accentuant ainsi l'amplitudes des anomalies (écart maximum entre 2014 et 2015 de ± 2300 ind/coupelette). Sans cette année, l'écart maximum mesuré est de ± 1000 ind/coupelette, entre les années 2019 et 2020 (Annexe 22). Il est à noter que les seules situations différentes entre les deux secteurs sont observées en 2014, où le captage était nettement supérieur à l'Ouest qu'à l'Est, et en 2013 où le captage était supérieur à la moyenne à l'Est alors qu'il était déficitaire à l'Ouest cette même année (Figure 24).

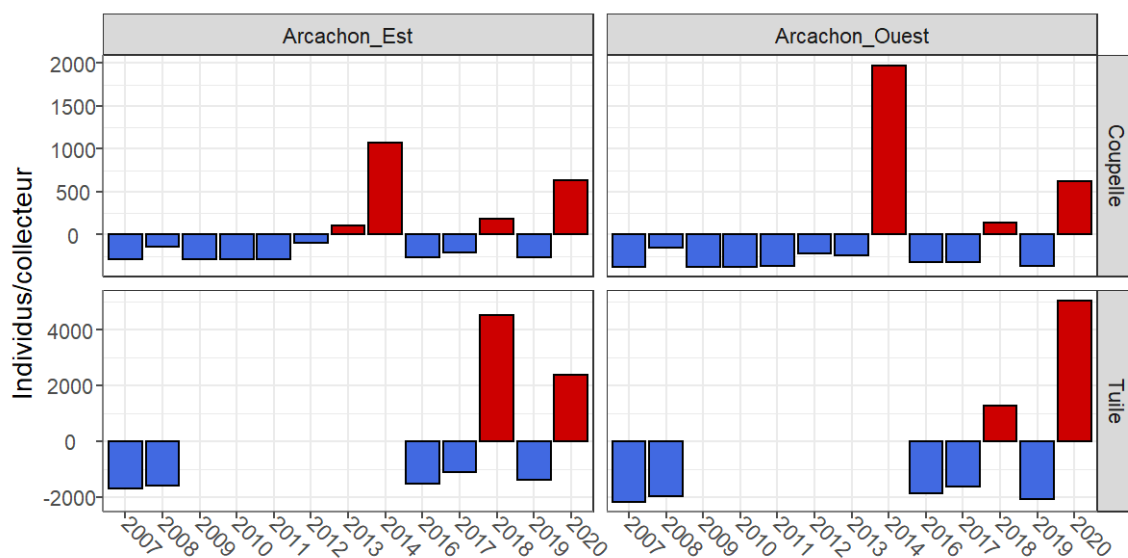


Figure 24 : Anomalies par rapport à la moyenne du captage calculées pour chaque secteur du Bassin d'Arcachon et par type de collecteur entre 2007 et 2020. Les données des années 2006 et 2015 ne sont pas prises en compte. Les barres rouges et bleues représentent un captage supérieur et inférieur à la moyenne, respectivement.

Pour la définition des niveaux de référence, seulement les données des coupelles seront exploitées, et les années 2006 et 2014 ne seront pas prises en compte.

2.2. Exploration des métriques et proposition de niveaux de référence de captage

a. A l'échelle du Bassin d'Arcachon

En utilisant les métriques décrites dans la partie 1.2.a, plusieurs niveaux sont proposés pour classer les intensités de captage autour des valeurs de la moyenne et de la médiane (Tableau 5). La prise en compte de 5 niveaux de captage, en appliquant les seuils des quantiles 20, 40, 60 et 80 % (Figure 25), semble la plus harmonieuse et représentative du ressenti professionnel.

Ainsi, les niveaux de référence suggérés pour définir l'état du captage de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon sont :

- **Très faible : ≤ 7 ind/coupelle**
- **Faible : 8 à 26 ind/coupelle**
- **Modéré : 27 à 127 ind/coupelle**
- **Elevé : 128 à 294 ind/coupelle**
- **Très élevé : ≥ 294 ind/coupelle**

Tableau 5 : Seuils et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane du nombre de naissains vivants comptés par coupelle dans le Bassin d'Arcachon. Plusieurs niveaux d'appréciation sont proposés en fonction du nombre de seuils pris en compte. Les données des années 2006 et 2014 ne sont pas prises en compte. IC99 et IC95 = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure.

| Valeur seuil | Nb. ind. vivant par coupelle | 2 niveaux | 3 niveaux | 3 niveaux |
|----------------------------|------------------------------|-----------|--------------|--------------|
| IC ₉₉ Lim. inf. | 27 | < 189 | < 69 | < 27 |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 69 | | 69 < x < 308 | 27 < x < 350 |
| Moyenne | 189 | | | |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 308 | > 189 | > 308 | > 350 |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 350 | | | > 350 |

| Valeur seuil | Nb. Ind. vivant par coupelle | 2 niveaux | 3 niveaux | 5 niveaux | 3 niveaux |
|----------------|------------------------------|-----------|--------------|---------------|-------------|
| Quantile 10 % | 6 | < 60 | < 15 | < 7 | < 6 |
| Quantile 20 % | 7 | | 15 < x < 158 | 7 < x < 26 | 6 < x < 508 |
| Quantile 33 % | 15 | | | 26 < x < 127 | |
| Quantile 40 % | 26 | | | 127 < x < 294 | |
| Médiane | 60 | | | > 294 | |
| Quantile 60 % | 127 | > 60 | > 158 | > 294 | > 508 |
| Quantile 66 % | 158 | | | | |
| Quantile 80 % | 294 | | | | |
| Quantile 90 % | 508 | | | | > 508 |

Très faible (rouge)
 Faible (orange)
 Modéré (vert)
 Elevé (bleu clair)
 Très élevé (bleu foncé)

Il est à noter que la distribution des données montre une forte asymétrie vers la gauche, qui correspond à la grande occurrence de faibles valeurs de captage et à l'observation de valeurs extrêmes (Figure 25a). Les épisodes de captages pléthoriques, comme en 2014 et 2020 (Figure 20), et le fait que les valeurs du secteur Ouest soient constamment supérieures à celles du secteur Est, ont pour effet d'augmenter les valeurs des métriques et d'élargir les limites des seuils de référence (Annexe 23). De ce fait, les niveaux définis dans le Tableau 5 peuvent paraître relativement grossiers, ne permettant pas aux professionnels d'identifier leur production, ou aux gestionnaires de juger précisément de la qualité du recrutement. Pour pallier ce défaut, la solution serait de retirer l'année de captage 2020 du jeu de données utilisé pour définir ces niveaux ce qui diminuerait les marges supérieures et inférieures de chaque niveau (Annexe 24). Cependant, cette solution doit être discutée à la lumière des prochaines années de reproduction. En effet, si l'année 2020 est qualifiée de pléthorique alors il conviendra de ne pas la prendre en compte pour la définition des seuils. A l'inverse, l'intensité du captage de 2020 peut être le reflet de l'évolution biologique naturelle des écosystèmes qui, au regard des changements climatiques, pourrait mener à un effort de reproduction de plus en plus important, ou du moins, de plus en plus variable d'une année sur l'autre (i.e. augmentation des phénomènes extrêmes).

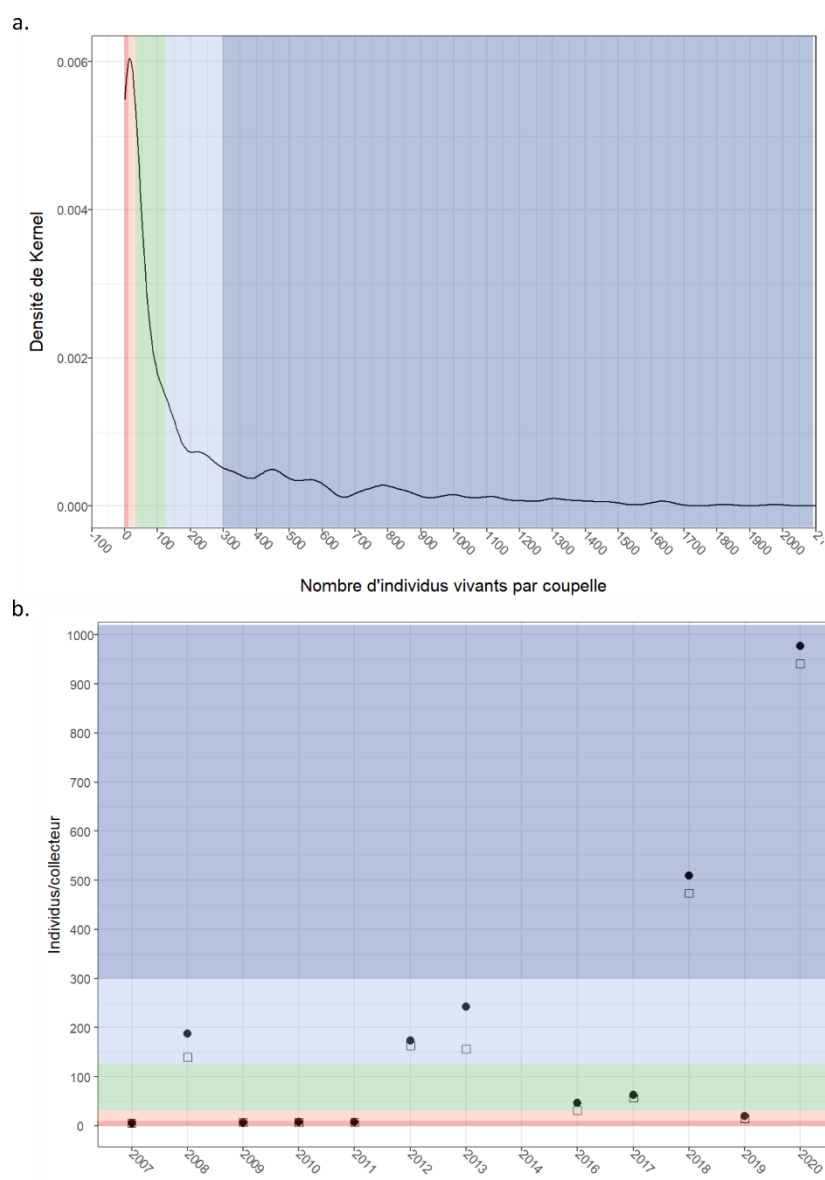


Figure 25 : Exemple d'application de 5 niveaux de référence pour l'estimation du captage sur coupelle dans le Bassin d'Arcachon, représentée selon la a. Distribution des densités de naissains (densité de Kernel) et la b. Valeur moyenne (cercle noir) et médiane (carré blanc) du nombre de naissains en fonction de l'année de captage. Les seuils correspondent aux quantiles 20, 40, 60 et 80 du Tableau 1. Les zones colorées correspondent aux appréciations : Très faible (rouge foncé), Faible, Modéré (Vert), Elevé et Très élevé (bleu foncé).

b. A l'échelle des secteurs

La déclinaison des niveaux de référence s'opère à l'échelle des deux secteurs du Bassin d'Arcachon. Pour les mêmes raisons que celles décrites précédemment, les valeurs moyennes sont largement au-dessus des médianes pour la série temporelle disponible (Tableau 6). Afin de limiter l'importance des années pléthoriques, l'année 2020 (en plus de l'année 2014) n'a pas été prise en compte dans le calcul des seuils (calcul des seuils prenant en compte l'année 2020 à l'annexe 25). Cependant, à l'échelle des années, ce sont les valeurs médianes qui sont supérieures aux moyennes, traduisant certains résultats extrêmement faibles sur des sites de captage (Figure 26).

Tableau 6 : Seuils (Nombre de naissains par coupelle) et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane du nombre de naissains vivants comptés par coupelle pour les deux secteurs de captage du Bassin d’Arcachon. Les données des années 2006, 2014 et 2020 ne sont pas prises en compte. IC99 et IC95 = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure.

| | Arcachon Ouest | Arcachon Est |
|----------------------------|----------------|--------------|
| IC ₉₉ Lim. inf. | 124 | 103 |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 132 | 112 |
| Moyenne | 155 | 140 |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 178 | 168 |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 185 | 177 |
| | Arcachon Ouest | Arcachon Est |
| Quantile 10 % | 5 | 4 |
| Quantile 20 % | 8 | 6 |
| Quantile 33 % | 15 | 9 |
| Quantile 40 % | 24 | 13 |
| Médiane | 50 | 24 |
| Quantile 60 % | 85 | 82 |
| Quantile 66 % | 114 | 134 |
| Quantile 80 % | 249 | 261 |
| Quantile 90 % | 486 | 408 |

Au regard de la distribution des données, le captage dans le Bassin d’Arcachon se caractérise globalement par une majorité de « faibles » valeurs de captage, inférieures à 50 naissains/coupelle, le reste des données étant représenté par des valeurs comprises entre 100 et 1000 naissains/coupelle. En effet, que ce soit à l’Est ou à l’Ouest, deux modes de distribution sont visibles : autour de 10 naissains/coupelle et de 240 naissains/couppelles (Figure 27).

La solution la plus pertinente pour représenter au mieux cette structuration semble correspondre à l’utilisation des quantiles 33% et 66% pour définir 3 niveaux de référence :

| | ARCACHON OUEST | ARCACHON EST |
|---------------|----------------|--------------|
| Faible | ≤ 15 | ≤ 9 |
| Modéré | 15 à 114 | 9 à 134 |
| Elevé | ≥ 114 | ≥ 134 |

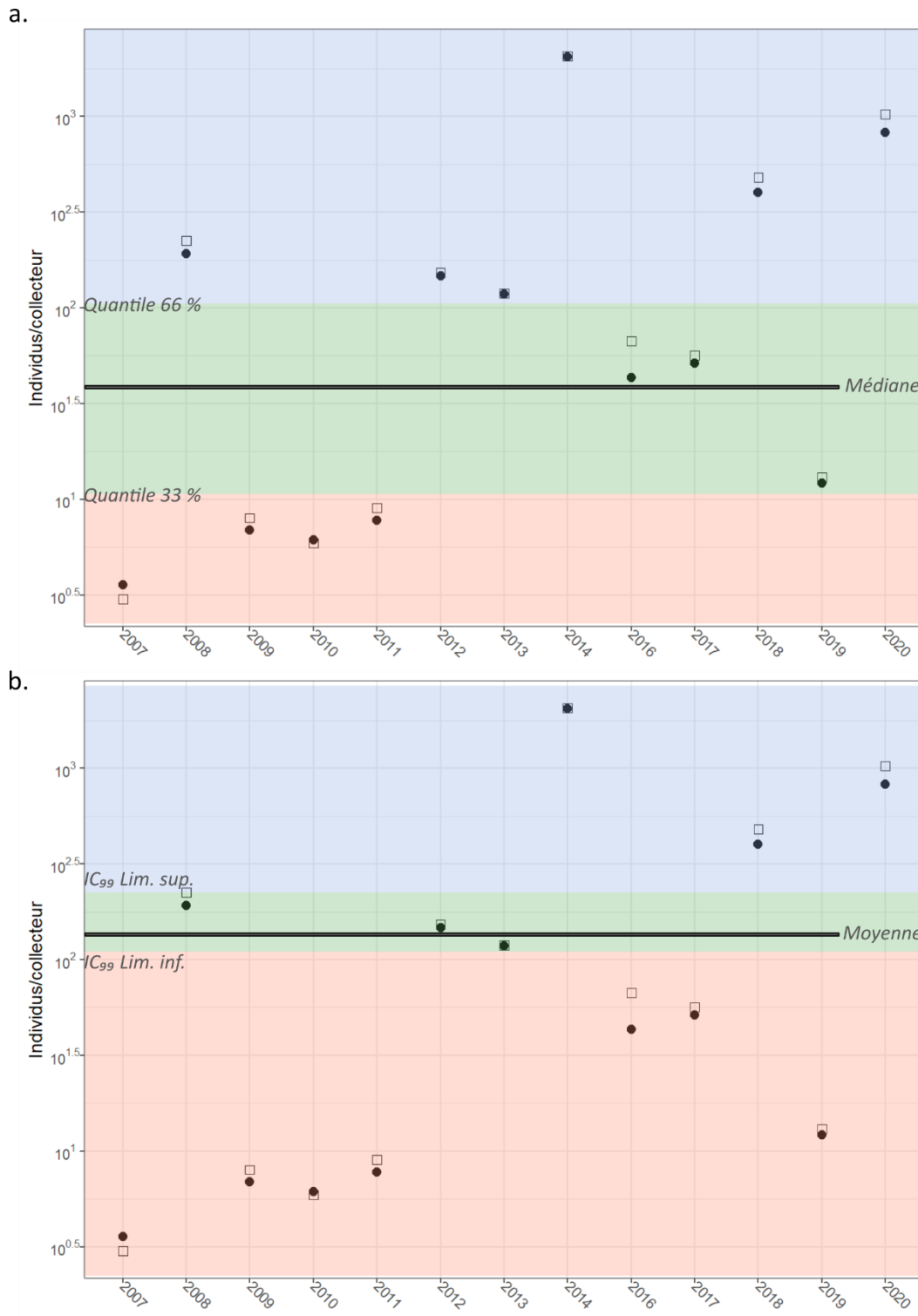


Figure 26 : Exemple d'application de niveaux de référence de captage sur coupelle, pour le secteur Ouest du Bassin d'Arcachon en utilisant a. les quantiles 33 et 66 % comme seuils (3 niveaux) et b. les limites inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance 99 % (3 niveaux). Les zones colorées correspondent aux appréciations : Faible (rouge), Modéré (vert) et Elevé (bleu). Les données des années 2006, 2014 et 2020 ne sont pas prises en compte dans le calcul des seuils. IC₉₉ et IC₉₅ = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, respectivement. Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure, respectivement.

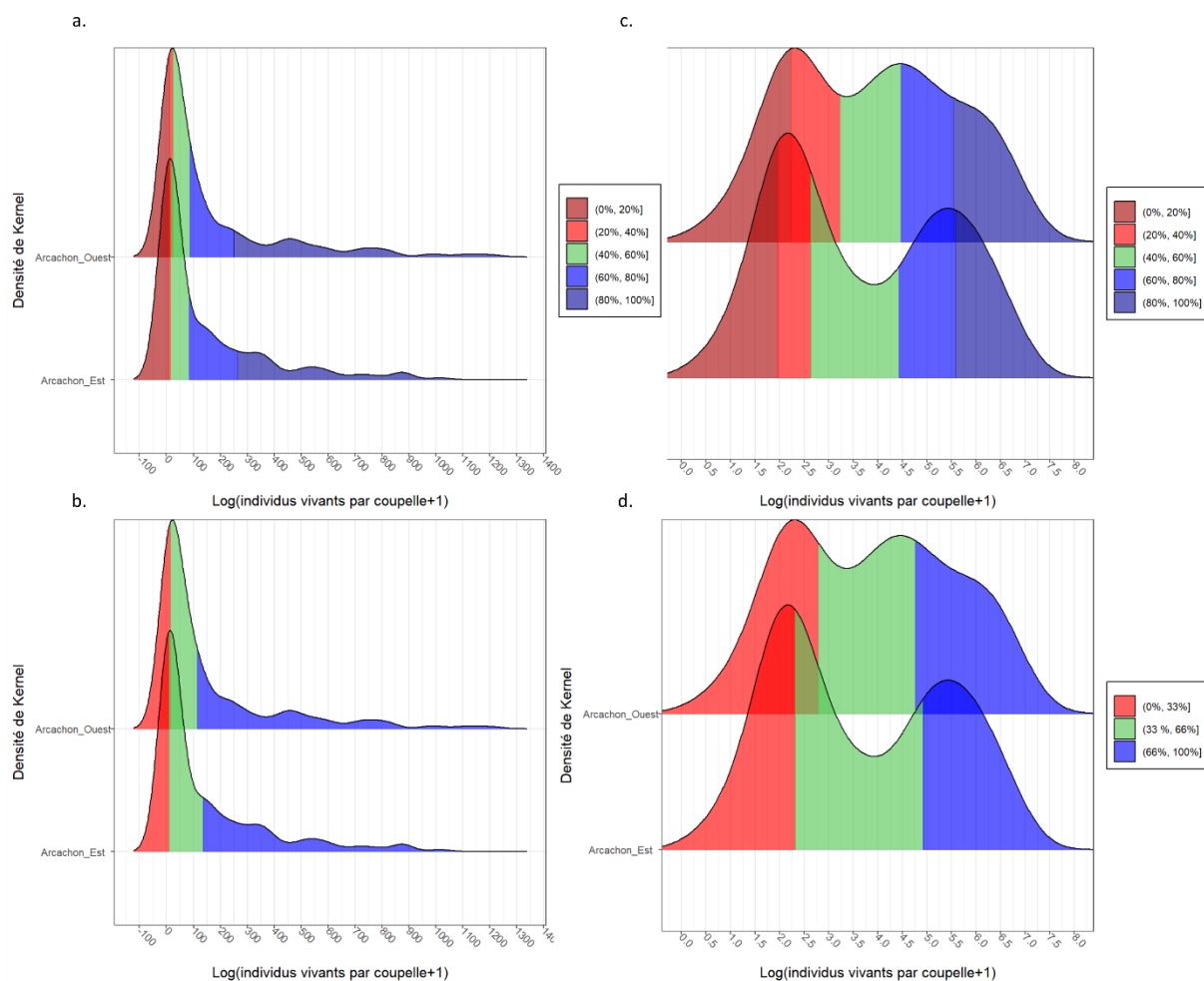


Figure 27 : Distribution des densités de naissains sur coupelle dans les deux secteurs du Bassin d'Arcachon. Représentation des valeurs brutes (a. et b.) et transformée en $\text{Log}(x+1)$ (c. et d.). Sont représentés : 5 niveaux de référence (a. et c.) en utilisant les seuils des quantiles 20, 40, 60 et 80 % et 3 niveaux de référence (b. et d.) en utilisant les quantiles 33 et 66 %.

2.3. Définition d'indices larvaires

Le jeu de données utilisé pour définir les indices larvaires de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon comprend les années de 2007 à 2020, soit 14 années de suivi. Des échantillonnages hebdomadaires et bi-hebdomadaires ont été réalisés sur les sites de prélèvement, représentant entre 14 et 28 sorties par campagne annuelle. Ces échantillonnages concernent le prélèvement de 1,5 m³ d'eau de mer filtrée sur 40 µm au niveau de 6 sites répartis dans le secteur Est : Arams, Comprian et Gujan ; et le secteur Ouest : Courbey, Jacquets et Piquey. Pour la suite du traitement, les données des sites appartenant à un même secteur ont été agrégées (Echelle spatiale = Secteur ; Tableau 7), et les données de chaque année ont été moyennées à l'échelle du Bassin d'Arcachon (Echelle spatiale = Bassin Arcachon ; Tableau 7). Les résultats des suivis larvaires d'huîtres creuses du Bassin d'Arcachon sont disponibles par site et par secteur dans les annexes 26 et 27, respectivement.

A partir de ces données, 8 indices ont été définis, permettant de caractériser les dynamiques larvaires à l'échelle d'une saison de recrutement. Tous les indices sont calculés à l'échelle du Bassin d'Arcachon et des deux secteurs de prélèvement larvaire (hormis l'indice 7 :

Synchronisme des pontes). Pour chaque échelle spatiale, les indices 1 à 4 ont été déclinés pour les stades de larves petite (« LARVST1 ») et grosse (« LARVST4 »). Les stades intermédiaires de l'ontogénèse larvaire, petite évoluée et moyenne, ne sont pas pris en compte dans la suite des analyses car ils représentent des phases transitoires du développement de ces organismes (stade « umbo-véligère »), contrairement aux stades petite, utilisé comme proxy de la date de ponte, et grosse, représentant le stock de larves compétentes à la phase de fixation/métamorphose.

Au total, ce sont 40 variables qui ont été identifiées, réparties selon 6 niveaux pour les indices 1, 2, 3 et 8 ; 3 niveaux pour les indices 5 et 6 ; 9 niveaux pour l'indice 4 ; et 1 niveau pour l'indice 7 (Tableau 7). Ces indices seront mis en relation avec les données de captage (nombre de naissains vivants comptés par coupelle) afin de mettre en évidence l'intérêt de certains d'entre eux à devenir des indicateurs du recrutement de l'huître creuse. Les représentations graphiques des indices 1 à 8 sont disponibles, respectivement, dans les annexes 28 à 35.

Tableau 7 : Indices larvaires calculés pour les larves d'huîtres creuses dans le Bassin d'Arcachon. BA = Echelle du bassin, LARVST1 = stade petite, LARVST4 = stade grosse.

| Indice | Définition | Unité | Echelle spatiale | Sous-échelle | Stade larvaire | Nomenclature | Remarques | |
|----------------|---|---------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|----------------|
| Indice 1 | Moyenne des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Arcachon | | Petite | BA_LARVST1 | | |
| | | | | | Grosse | BA_LARVST4 | | |
| | | | Secteur | Arcachon Est | Petite | Arcachon_Est_LARVST1 | | |
| | | | | Arcachon Ouest | Grosse | Arcachon_Ouest_LARVST4 | | |
| | | Petite | Arcachon_Ouest_LARVST1 | | | | | |
| | | Grosse | Arcachon_Ouest_LARVST4 | | | | | |
| Indice 2 | Date d'observation du maximum de concentration des stades larvaires | Numéro du jour de l'année | Bassin Arcachon | | Petite | JJMax_BA_LARVST1 | Position du jour dans l'année en considérant le 1 ^{er} au 01 janvier et le 365 ^{ème} au 31 décembre (ou 366 ^{ème} si année bissextile) | |
| | | | | | Grosse | JJMax_BA_LARVST4 | | |
| | | | Secteur | Arcachon Est | Petite | JJMax_Arcachon_Est_LARVST1 | | |
| | | | | Arcachon Ouest | Grosse | JJMax_Arcachon_Est_LARVST4 | | |
| | | Petite | JJMax_Arcachon_Ouest_LARVST1 | | | | | |
| | | Grosse | JJMax_Arcachon_Ouest_LARVST4 | | | | | |
| Indice 3 | Valeur maximum de concentration des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Arcachon | | Petite | PMax_BA_LARVST1 | | |
| | | | | | Grosse | GMax_BA_LARVST4 | | |
| | | | Secteur | Arcachon Est | Petite | PMax_Arcachon_Est_LARVST1 | | |
| | | | | Arcachon Ouest | Grosse | GMax_Arcachon_Est_LARVST4 | | |
| | | Petite | PMax_Arcachon_Ouest_LARVST1 | | | | | |
| | | Grosse | GMax_Arcachon_Ouest_LARVST4 | | | | | |
| Indice 4 | Somme des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Arcachon | | Petite | SumP_BA | | |
| | | | | | Grosse | SumG_BA | | |
| | | | | | 4 stades larvaires | | | SumAllStade_BA |
| | | | Secteur | Arcachon Est | Petite | SumP_Arcachon_Est | | |
| Arcachon Ouest | Grosse | SumG_Arcachon_Est | | | | | | |
| | | 4 stades larvaires | | SumAllStade_Arcachon_Est | | | | |
| | | Petite | SumP_Arcachon_Ouest | | | | | |
| | | Grosse | SumG_Arcachon_Ouest | | | | | |
| | | 4 stades larvaires | | SumAllStade_Arcachon_Ouest | | | | |
| Indice 5 | Survie larvaire | % | Bassin Arcachon | | abat_BA | | Abattement de concentration entre les stades grosse et petite (SumG/SumP)*100 | |
| | | | Secteur | Arcachon Est | abat_Arcachon_Est | | | |
| | | | | Arcachon Ouest | abat_Arcachon_Ouest | | | |
| Indice 6 | Durée de vie larvaire | Nombre de jour | Bassin Arcachon | | DVL_BA | | Etendue entre les dates d'observation du maximum de concentration des stades petite et grosse | |
| | | | Secteur | Arcachon Est | DVL_Arcachon_Est | | | |
| | | | | Arcachon Ouest | DVL_Arcachon_Ouest | | | |
| Indice 7 | Synchronisme des pontes | Nombre de jour | Bassin Arcachon | | Synchro | | Etendue entre les dates d'observation du maximum du stade petite | |
| Indice 8 | Temps de présence des larves grosses | Nombre de jour | Bassin Arcachon | | Grosse | NbJourObs_G_BA | Nombre de jours d'observation des larves grosses | |
| | | | Secteur | Arcachon Est | NbJourObs_G_Arcachon_Est | | | |
| | | | | Arcachon Ouest | NbJourObs_G_Arcachon_Ouest | | | |
| | | % | Bassin Arcachon | | Grosse | PourObs_G_BA | Pourcentages des jours d'observation des larves grosses par rapport à la durée de la campagne | |
| Secteur | Arcachon Est | | PourObs_G_Arcachon_Est | | | | | |
| | | | Arcachon Ouest | PourObs_G_Arcachon_Ouest | | | | |

Les indices larvaires calculés à l'échelle du BA permettent de distinguer les saisons de reproduction. Globalement, les variables des deux stades larvaires contribuent à la distinction des années de reproduction et varient dans le même sens selon leur projection sur la 1^{ère} dimension (Dim1, Figure 28). Cet axe caractérise les différences de concentrations larvaires entre les années. Par exemple, cela signifie que les années 2012 à 2014 sont représentées par concentrations importantes de larves. Précisément, 42 % de l'inertie entre les années (Dim1, Figure 28) s'explique principalement par les indices concernant les larves du stade grosse (NbJourObs_G_BA, PourObs_G_BA, SumG_BA, BA_LARVST4 et GMax_BA_LARVST4) et par la survie larvaire (abat_BA). La seconde dimension quant à elle, distingue, à près de 30 %, les

années de reproduction selon les caractéristiques des larves de stades petite et grosse. Les variables contribuant le plus à cette distinction correspondent à celles du stade petite (PMax_BA_LARVST1, SumP_BA et BA_LARVST1). Ces résultats mettent en évidence la forte variabilité de la disponibilité des larves de stade grosse et, dans un second temps celles des larves de stades petite, d'une année sur l'autre dans le Bassin d'Arcachon.

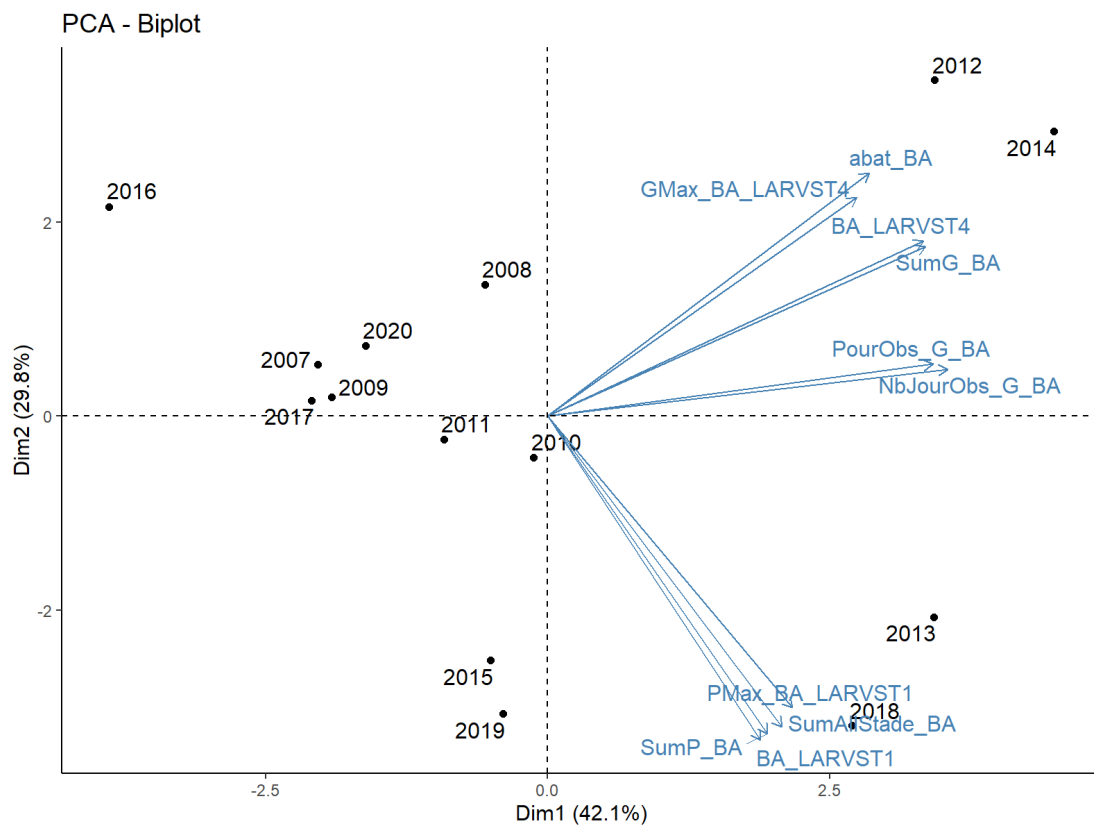


Figure 28 : Biplot de l'analyse en composante principale (ACP) des indices larvaires d'huîtres creuses à l'échelle du BA. Uniquement les 10 variables contribuant le plus à l'inertie entre les individus (années) sont représentées. Se référer au Tableau 7 pour la nomenclature des indices.

A l'échelle des secteurs, les années se différencient selon les mêmes groupes de variables, expliquant jusqu'à 66 % de la variabilité interannuelle (Dim1 et Dim2, Figure 29). Le 1^{er} axe est représenté par les concentrations larvaires, et le 2^{ème} axe correspond à la distinction des deux stades larvaires pour ces mêmes variables. Il est à noter que les secteurs n'ont pas d'importance dans la discrimination des années.

Finalement, la 3^{ème} dimension, que ce soit à l'échelle du bassin (14 %) ou des secteurs (13 %), est principalement dominés par des variables temporelles, à savoir les dates de pontes (JJMax_BA_LARVST1) et de pic de larves grosse (JJMax_BA_LARVST4).

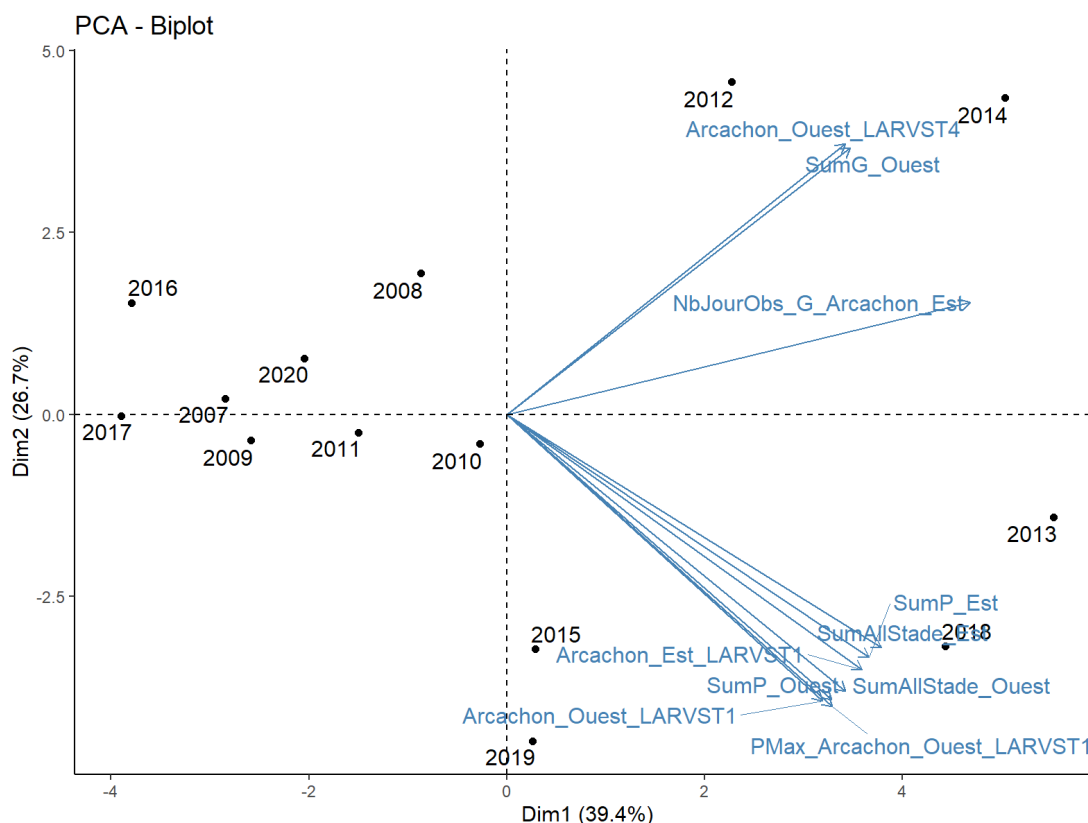


Figure 29 : Biplot de l'analyse en composante principale (ACP) des indices larvaires d'huîtres creuses à l'échelle des secteurs du BA. Uniquement les 10 variables contribuant le plus à l'inertie entre les individus (années) sont représentées. Se référer au Tableau 3 pour la nomenclature des indices.

2.4. Relation entre les indices larvaires et le captage

Les indices larvaires définis précédemment sont mis en relation avec les données de captage sur coupelles (plus robustes et moins sujettes au biais d'échantillonnage lors de l'acquisition des résultats) par des méthodes d'arbre de décision. Les premiers nœuds de l'arbre de décision, correspondant aux facteurs explicatifs les plus importants, seront discutés. L'indice 6 : Durée de vie larvaire, n'a pas été retenu pour la réalisation des analyses car il présente des valeurs négatives, difficilement interprétables d'un point de vue biologique. Une analyse plus fine, cohorte par cohorte, serait nécessaire pour préciser cet indice. Les analyses sont dissociées en deux parties (selon deux échelles spatiales), correspondant aux indices larvaires mesurés à l'échelle du BA et au niveau de chaque zone de prélèvements de larves. Ces analyses sont également répétées pour les deux secteurs de captage et pour le captage global à l'échelle du bassin.

a. Captage d'huîtres creuses dans le Bassin d'Arcachon

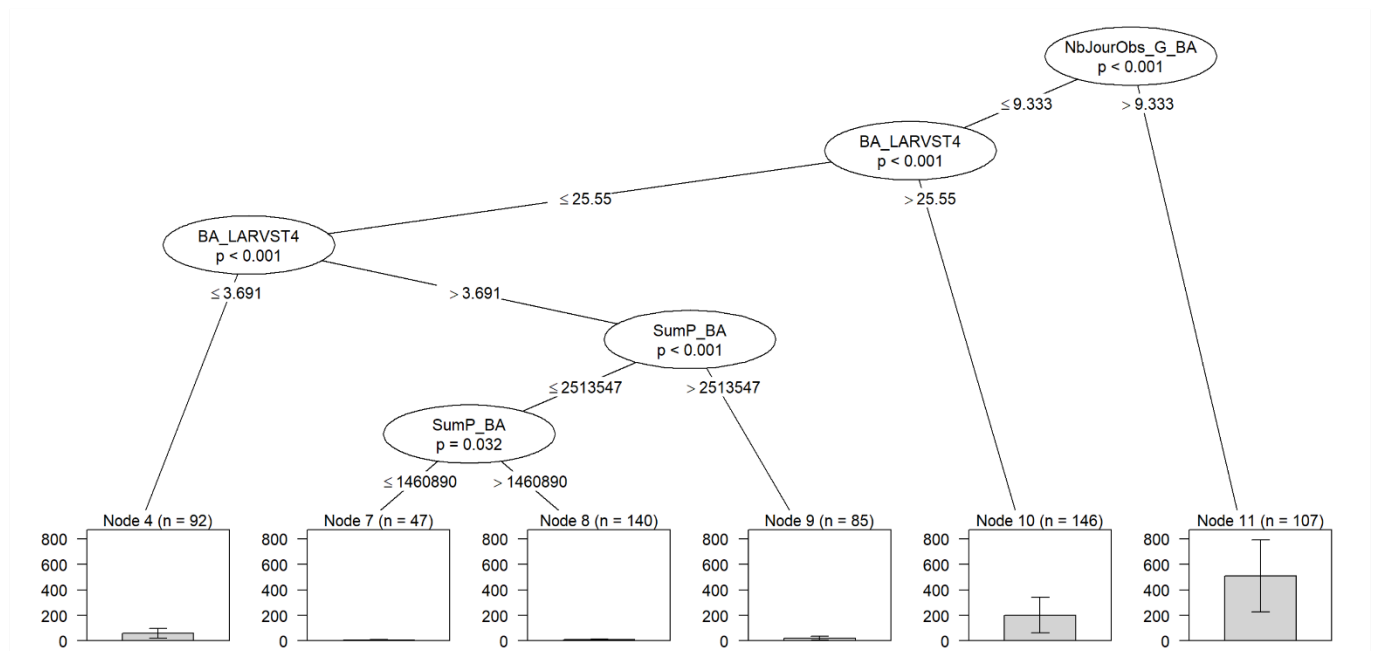
A l'échelle du Bassin d'Arcachon, le premier facteur discriminant l'intensité du captage correspond au **nombre de jours d'observation de larves grosses** (NbJourObs_G_BA). Au cours d'une saison de suivi, si des larves de stade grosse sont observées plus de 9 jours dans le milieu, alors le captage moyen sera de 509 ind/coupelle. Dans la condition inverse, le nombre

de recrues par collecteur sera de 57 ind/coupelle (nœuds 4, 7-10 ; Figure 30a). Les niveaux de décisions suivants concernent des variables de concentrations de larves, de stade grosse (BA_LARVST4) dans un premier temps, puis de stade petite (SumP_BA). Ainsi, le second facteur déterminant correspond à la quantité moyenne de larves grosses dans le bassin. Ce facteur modifie d'un facteur 10 l'intensité du captage car, lorsque les concentrations sont supérieures et inférieures à 26 larves grosses/1,5 m³, alors le captage moyen sera de 201 ind/coupelle (nœud 10) et 23 ind/coupelle, respectivement (nœuds 4, 7-9 ; Figure 30a). Le niveau suivant correspond au même facteur mais défini pour un autre seuil. Il est à noter qu'à ce niveau, le sens de la relation est difficilement interprétable d'un point de vue biologique, puisque le seuil correspond à une très faible concentration de larves grosses et que le résultat accorderait un meilleur captage lorsque les concentrations sont inférieures à ce seuil (nœuds 4 vs. 7-8 ; Figure 30a).

Au niveau des secteurs de prélèvements, les deux premiers indices de l'arbre de décision correspondent à la même nature que ceux mis en évidence à l'échelle du BA. En effet, le premier niveau de décision est déterminé par **le nombre de jours où les larves grosses ont été observées dans le secteur Ouest** (NbJourObs_G_Arcachon_Ouest). Le seuil de cet indice est positionné à 10 jours, en dessous duquel le captage moyen sera de 74 ind/coupelle (nœuds 4, 6, 8-10 ; Figure 30b), et au-dessus duquel il sera de 509 ind/coupelle (nœud 11 ; Figure 30b). Le second niveau de décision est caractérisé par la **concentration maximale de larves de stade grosses à l'Est** (GMax_Arcachon_Est_LARVST4), dont la frontière est établie à 200 larves grosses/1,5 m³. Il est à noter que le 3^{ème} niveau de décision correspond à la date d'observation du maximum de larves petites à l'Ouest du Bassin (JJMax_Arcachon_Ouest_LARVST1), suggérant qu'une date de ponte précoce (avant le jour 186 = 5 juillet) à l'Ouest améliore le captage à l'échelle du bassin (Figure 30b).

Ces résultats montrent que les variations inter-annuelle du captage dans le bassin d'Arcachon sont principalement expliquées d'abord par la disponibilité en larves compétentes, puis, dans une moindre mesure, par les larves de stade petite. Plus précisément, ce sont majoritairement les quantités de larves dans le secteur Ouest et leur temps de présence dans le milieu qui influencent le niveaux du captage à l'échelle du bassin.

a. Secteur de captage : Bassin d'Arcachon
Indices larvaires : BA



b. Secteur de captage : Bassin d'Arcachon
Indices larvaires : Secteurs

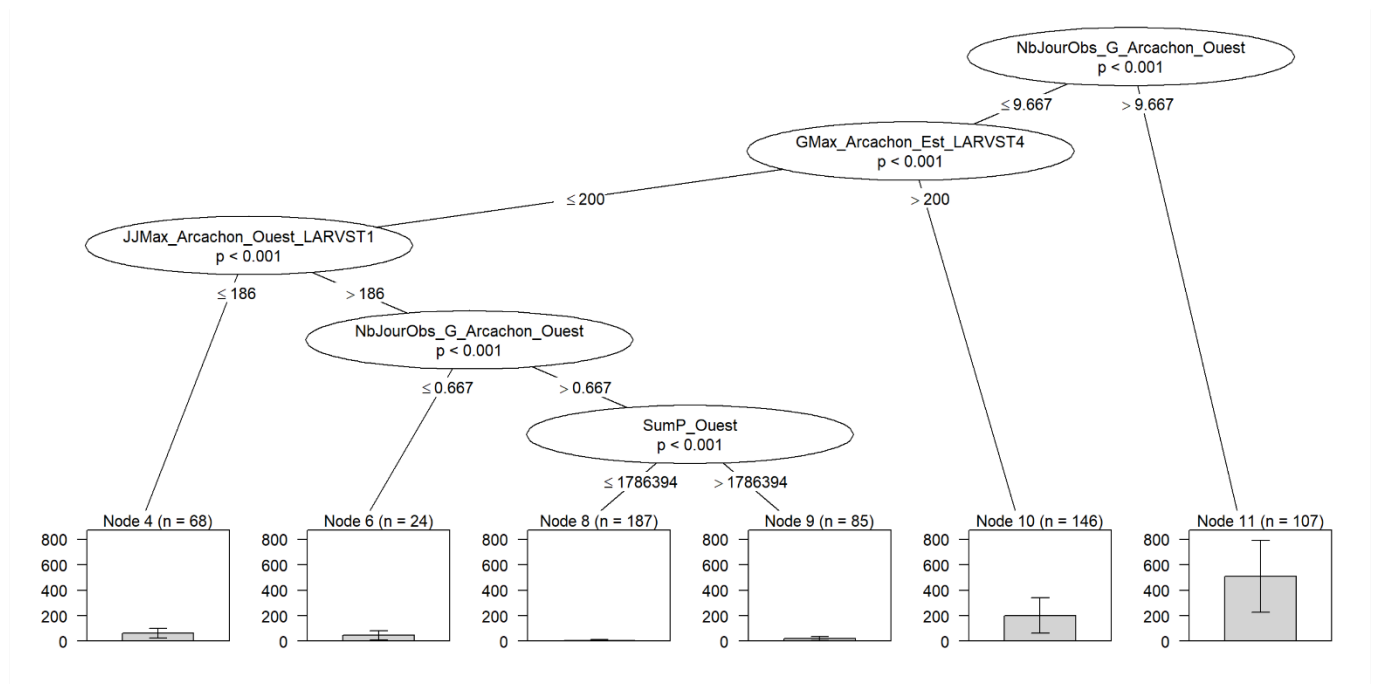


Figure 30 : Arbre de décision du captage sur coupelle dans le Bassin d'Arcachon en fonction des indices larvaires à l'échelle a. du BA et b. des secteurs. Les données des années 2006, 2014 et 2020 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants capturés sur coupelle.

b. Captage d'huîtres creuses dans le secteur Est du Bassin d'Arcachon

Concernant le captage dans le secteur Est du bassin, le premier facteur de décision est également le **nombre de jours d'observation de larves de stades grosses** (NbJourObs_G_BA). Le seuil de ce facteur est défini à 8 jours, séparant les intensités moyennes de captage entre 39 ind/coupelle (au-dessous du seuil) et 447 ind/coupelle (au-dessus du seuil ; Figure 31a). Le second niveau de l'arbre de décision est défini par le **facteur d'abattement entre les stades larvaires petite et grosse** (abat_BA). Plus ce facteur est faible (inférieur au seuil de 0,117 %), moins le captage annuel sera important dans ce secteur (16 ind/coupelle ; nœuds 4, 7-9 ; Figure 31a). Les niveaux suivants concernent la chronologie des pontes avec le jour d'observation des pics de larves petites (JJMax_BA_LARVST1) et l'écart entre ces jours (Synchro ; Figure 31a).

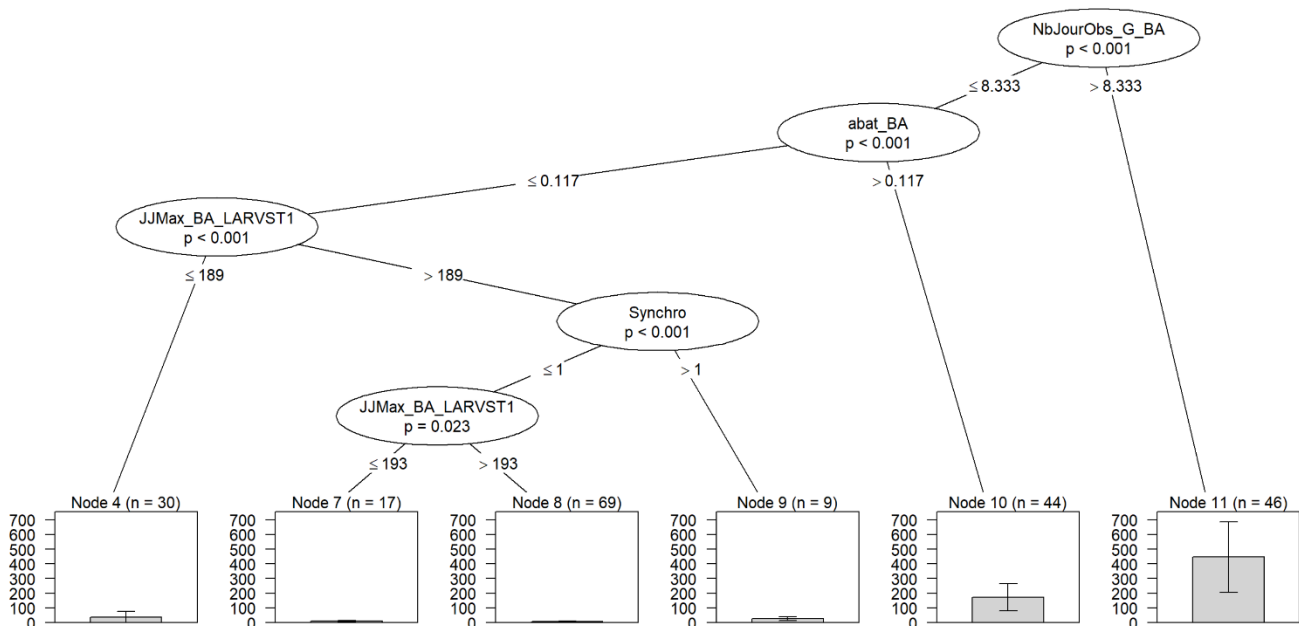
Comme précédemment, l'indice larvaire du **nombre de jour d'observation de grosses larves à l'Ouest** (NbJourObs_G_Arcachon_Ouest) discrimine en premier lieu les valeurs de captage. Au-dessus de 7 jours de présence de larve grosse à l'Ouest (branche droite, Figure 31b), le jeu de données se sépare de nouveau au regard de la **quantité totale de larve grosse observées à l'Ouest** (SumG_Ouest). De façon contre-intuitive, c'est lorsque que la somme de ces larves à l'Ouest est supérieure à 9700 ind/1,5 m³ que le captage à l'Est est plus faible (195 ind/coupelle contre 447 ind/coupelle ; nœuds 13 et 12 ; Figure 31b). De l'autre côté de l'arbre, le second indice déterminant est le **facteur d'abattement du secteur Est**, pour un seuil de 0,126 % (abat_Est). Les valeurs moyennes du captage sont de 16 ind/coupelle et 156 ind/coupelle, lorsque cet abattement est au-dessous ou au-dessus du seuil, respectivement. Les facteurs suivants font références aux dates de pontes des larves des secteurs Ouest et Est (JJMax_Arcachon_Ouest_LARVST1, JJMax_Arcachon_Est_LARVST1).

c. Captage d'huîtres creuses dans le secteur Ouest du Bassin d'Arcachon

A l'instar de l'analyse du captage à l'échelle du bassin, les deux premiers niveaux de décision correspondent de nouveau, pour les larves grosses dans le Bassin d'Arcachon, au **nombre de jours d'observation** (NbJourObs_G_BA) et à leur **concentration moyenne** (BA_LARVST4). Plus les larves grosses sont observées longtemps dans le milieu (plus de 9 jours) et à des concentrations importantes (plus de 26 ind/1,5 m³) plus le captage devrait être de forte intensité (342 ind/coupelle ; nœuds 11, 12 et 13 ; Figure 32a). Dans le cas où ces conditions ne sont pas respectées, alors ce sont les quantités totales de larves grosses (SumG_BA) et petites (BA_LARVST1 et PMax_BA_LARVST1) qui participent à la discrimination des plus faibles intensités de captage (Figure 32a).

A l'échelle des secteurs, les deux premiers indices larvaires déterminants les intensités de captage sont la **durée de présence de larves grosses dans le secteur Ouest** (NbJourObs_G_Arcachon_Ouest) et le **facteur d'abattement ans le secteur Est** (abat_Est). Ces deux facteurs détermineront si le captage est d'intensité faible (30 ind/coupelle, nœuds 4, 6-7) ou élevée (293 ind/coupelle ; nœuds 9-11 ; Figure 32b). Dans les conditions d'un faible captage, les variables correspondant aux larves de stade petite du secteur Ouest (Arcachon_Ouest_LARVST1 et SumP_Ouest) peuvent préciser ces valeurs selon 3 sous-classes (nœuds 4, 6 et 7 ; Figure 32b).

a. Secteur de captage : Arcachon Est
Indices larvaires : BA



b. Secteur de captage : Arcachon Est
Indices larvaires : Secteurs

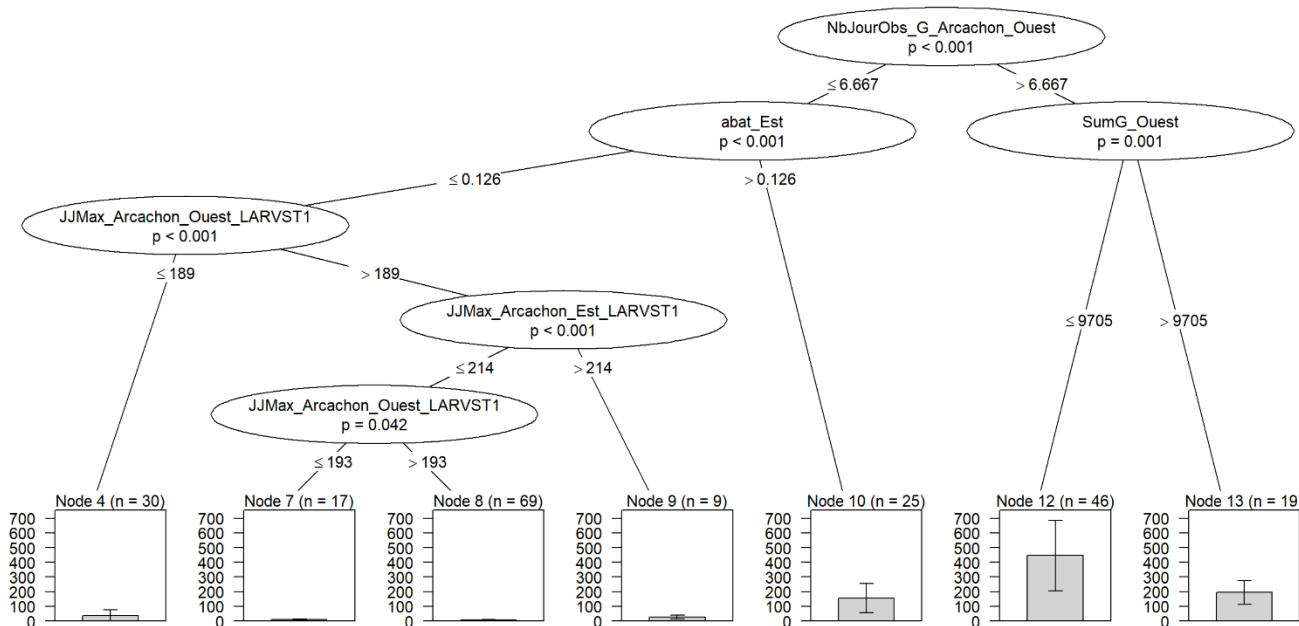
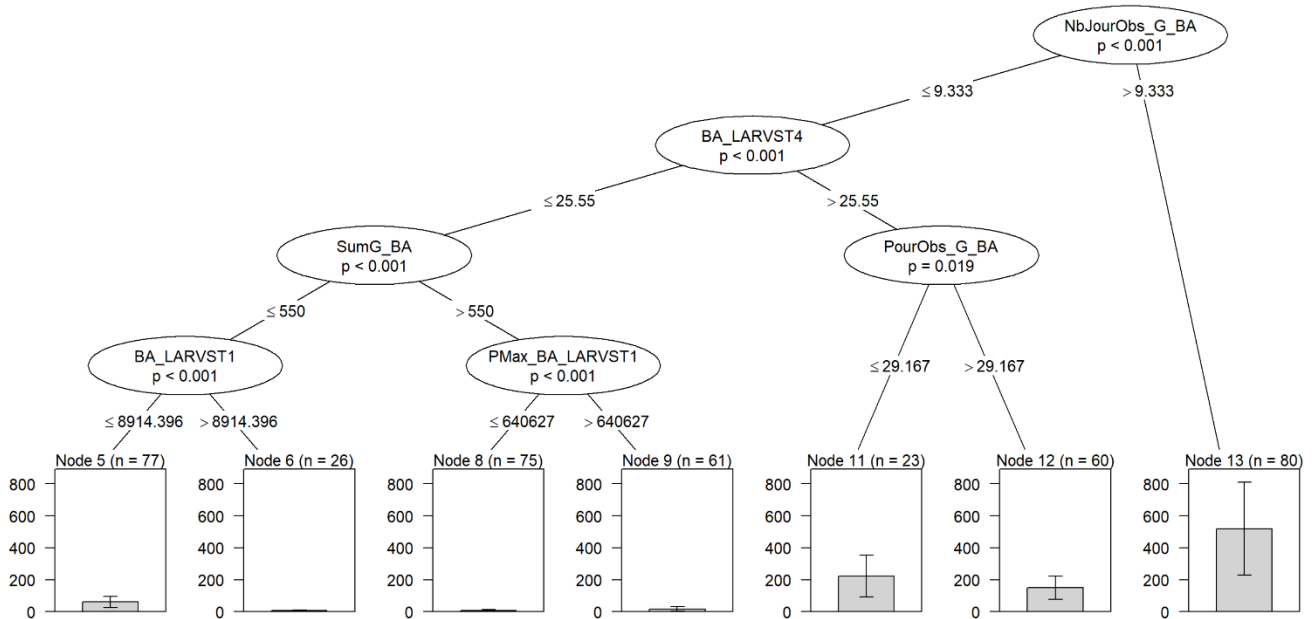


Figure 31 : Arbre de décision du captage sur coupelle dans le secteur Est en fonction des indices larvaires a. à l'échelle du BA et b. des secteurs. Les données des années 2006, 2014 et 2020 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

a. Secteur de captage : Arcachon Ouest
Indices larvaires : BA



b. Secteur de captage : Arcachon Ouest
Indices larvaires : Secteurs

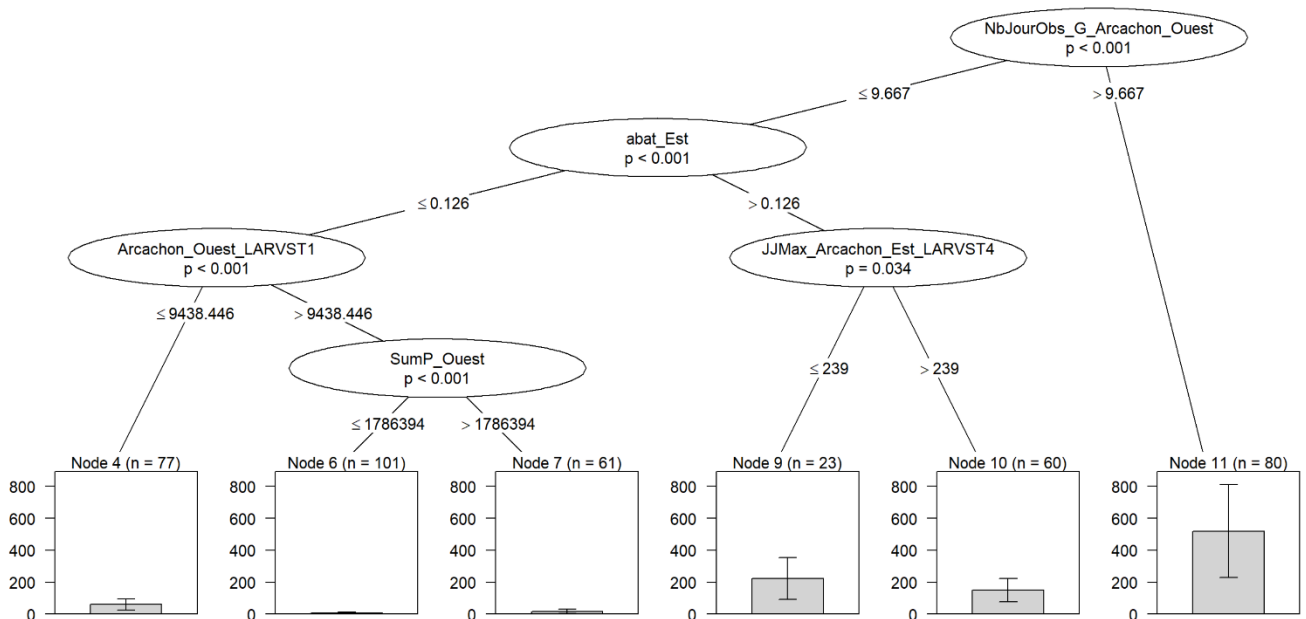


Figure 32 : Arbre de décision du captage sur coupelle dans le secteur Ouest en fonction des indices larvaires a. à l'échelle du BA et b. des secteurs. Les données des années 2006, 2014 et 2020 ne sont pas prises en compte. Les graphiques terminaux représentent la moyenne (\pm écart type) du nombre de naissains vivants captés sur coupelle.

2.5. Proposition d'indicateurs larvaires du captage d'huîtres creuses dans le Bassin d'Arcachon.

L'analyse des relations entre les indices larvaires d'huîtres creuses et les densités de naissains captés dans le Bassin d'Arcachon a permis de mettre en évidence que **le temps de présence des larves de stade grosse dans le milieu** (Indice 8 ; Tableau 8) **est le facteur principal de variabilité du recrutement annuel**. Qu'il s'agisse du captage global à l'échelle du bassin, ou de celui mesuré dans les secteurs Est et Ouest, plus la durée d'observation des larves grosses (NbJourObs_G_BA) sera longue, plus le captage moyen sera élevé. Ce facteur varie de 0,5 à 12,2 jours au regard de l'antériorité des données et de la durée des suivis réalisés. Il apparaît que plus les larves compétentes sont présentes dans la colonne d'eau plus elles seront en mesure de connaître une fenêtre environnementale optimale pour entamer leur fixation et métamorphose (Lagarde et al. 2017).

Le temps de présence des larves dans le milieu peut être le reflet de la combinaison de plusieurs facteurs, dont la quantité des larves elles-mêmes et le nombre de pontes. En effet, les années où une ponte principale de faible intensité est observée, le captage ne devrait pas être de grande importance (exemple année 2011 ; Annexe 27 ; Figure 22), d'autant plus si les conditions environnementales ne permettent pas un développement larvaire optimal (e.g. température, phytoplancton). A l'inverse, les années où les conditions favorables à la survie des larves et où plusieurs événements de pontes asynchrones sont observés, le captage sera abondant (exemple années 2012 à 2014 ; Annexe 27 ; Figure 22). De ce point de vue, les **quantités moyennes** (Indice 1 ; BA_LARVST4) **ou maximales** (Indice 3 ; GMax_Arcachon_Est_LARVST4) **de larves de stade grosse sont un indicateur aussi important que le nombre de jour d'observation de ces dernières dans le milieu** (Tableau 8).

Dans le bassin d'Arcachon, la quantité de larves est le facteur limitant du recrutement et prime sur la date de leur apparition dans le milieu. La quantité moyenne de larve de stade grosse a varié d'un facteur 250 au cours de la série de donnée, fluctuant de 50 à 12 520 ind/1,5 m³. Cette gamme de concentration traduit d'une qualité et d'un effort de reproduction hétérogène entre les années (Gasmi 2017). Dans une moindre mesure, les quantités de larves de stade petite jouent un rôle dans l'intensité du recrutement annuel. En effet, la date de ponte, la concentration maximale et la somme des larves au premier stade sont représentées dans les deniers nœuds des arbres de décision (Figure 30 ; Figure 31 ; Figure 32). Il est donc logique que la survie larvaire (Indice 5) soit un des indicateurs secondaires (Tableau 8) expliquant en partie l'intensité du captage annuel. Au cours de l'ontogénèse, les conditions biotiques et abiotiques du milieu auront pour effet de faire varier la survie des larves (facteur d'abattement), favorisant ou non le développement des cohortes jusqu'au stade compétent (Philippart et al. 2003).

A l'échelle des secteurs Est et Ouest du Bassin d'Arcachon, les dynamiques larvaires et les intensités de captage annuel varient selon les mêmes ordres de grandeur, bien que le nombre de recrues observées dans le secteur Est soit systématiquement plus faible qu'à l'Ouest. Cette homogénéité s'explique principalement par l'hydrodynamique du bassin. Son fonctionnement est clairement défini par la présence d'un seul exutoire vers l'Océan à l'extrémité Sud-Ouest. La marée joue un rôle de « piston », se propageant de manière homogène et continu selon l'axe Ouest-Est, deux fois par jour (Plus et al. 2006), permettant un mélange constant de la masse d'eau. Le temps de renouvellement moyen de l'eau est de 13 à 19 jours en fonction des conditions de vents. Il peut atteindre 25 jours dans le secteur Est et il diminue progressivement jusqu'à l'embouchure du bassin (Plus et al. 2009). Ainsi, avec les apports océaniques, un temps de rétention élevé à l'intérieur du bassin et un brassage constant des masses d'eau, l'homogénéisation du nuage de larves est favorisée, expliquant l'importance des indices larvaires calculés à l'échelle des deux secteurs. De ce fait, les cohortes du secteur Ouest

intègrent 1. les larves produites dans ce secteur, 2. celles émises par les géniteurs du secteur Est et 3. les cohortes allochtones venant de l'extérieur du bassin. Cette dernière hypothèse, émise par le passé pour les populations d'*Abra alba* (Madani 1989) pourrait justifier le captage pléthorique de certaines années, comme en 2014, dans le Bassin d'Arcachon.

Tableau 8 : Résumé des indices larvaires, à l'échelle du bassin et des secteurs, retenus aux 1^{er} et 2nd nœuds des arbres de décision, pour chaque secteurs de captage du Bassin d'Arcachon.

| Secteur de captage | 1 ^{er} indice larvaire | | 2 nd indice larvaire | |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | Sous-indice | | Sous-indice | |
| | <i>Echelle du BA</i> | | | |
| BA | | | Indice 1 | BA_LARVST4 |
| Arcachon Est | Indice 8 | NbJourObs_G_BA | Indice 5 | abat_BA |
| Arcachon Ouest | | | Indice 1 | BA_LARVST4 |
| | <i>Echelle des secteurs</i> | | | |
| BA | | | Indice 3 | GMax_Arcachon_Est_LARVST4 |
| Arcachon Est | Indice 8 | NbJourObs_G_Arcachon_Ouest | Indice 5 | abat_Est |
| Arcachon Ouest | | | Indice 5 | abat_Est |

3. Recrutement de la moule commune en Charente-Maritime

Le jeu de données « captage » de la moule commune en Charente-Maritime comprend 14 années de reproduction, de 2007 à 2020, sur le parc de captage des Saumonards de l'île d'Oléron (Figure 1). Tous les ans, au mois de mars, une corde de coco neuve (60 m) est disposée au centre du parc de captage, au niveau d'une parcelle d'un professionnel partenaire. Lors de chaque marée de vives-eaux, un mètre de la corde est prélevé, sur lequel le nombre de recrues vivantes est compté (sous-échantillonnage par tronçons de 5 à 10 cm). Ainsi, chaque année, le jeu de données comporte entre 6 et 10 dates de prélèvement (dates de relève de la corde). La valeur obtenue à chaque date de prélèvement intègre le nombre de recrues captées sur l'ensemble de la période depuis la date de pose, il s'agira donc de **densités cumulées** de naissains captés par mètre linéaire de corde (ind/m), calculées à partir d'un sous-échantillonnage en tronçon de 10 cm de la corde principale. Au total, ce jeu de données comporte 117 observations.

Ce protocole a été établi pour répondre aux attentes des mytiliculteurs qui désirent connaître : 1. la date de fixation des premiers naissains et 2. le nombre de naissains à la fin de la saison de captage, au moment du garnissage des pieux de bouchot ou des filières avec ces cordesensemencées. De par le protocole utilisé, ces données, caractérisant la dynamique de recrutement des moules, peuvent être traitées selon deux approches complémentaires. D'un **point de vue « environnemental »** (ou biologique), les valeurs d'intérêt permettant de juger de la qualité du recrutement sont la quantité maximale de naissains vivants captés (nommée « densité maximale ») et la date à laquelle cette quantité a été atteinte. Cette variable est un proxy du « pic de fixation » observé classiquement en écologie larvaire des bivalves (Barbier 2016 et références associées). D'un **point de vue « professionnel »**, la valeur d'intérêt est la quantité de naissains disponible à la fin de la période de captage (avant le garnissage ; nommée « densité finale »). Sous cet angle, la variable temporelle correspondante à la densité finale serait la date de l'année à laquelle une densité équivalente à la densité finale a été atteinte. En effet, pour optimiser leur production ou la vente de cordesensemencées, plus tôt les cordes sontensemencées dans la saison, plus tôt elles garniront les structures d'élevage (ou seront vendues) et de nouvelles cordes pourront être installées sur le parc de captage.

3.1. Variations interannuelles du recrutement

Depuis le commencement du suivi du captage de moules sur corde aux Saumonards, la **densité cumulée moyenne** de naissains captés au cours d'une saison de reproduction est de **30 000** ($\pm 10\,600$) ind/m. La **densité cumulée maximale** était en moyenne de **70 000** ($\pm 25\,000$) ind/m, mesurées aux alentours du jour 130 (10 mai), variant d'un maximum de 110 000 ind/m en 2018 à un minimum de 34 000 ind/m en 2016. Finalement, les suivis se sont terminés autour du jour 184 (3 juillet) avec une **densité cumulée finale de 21 000** ($\pm 14\,500$) ind/m. Une densité équivalente à la densité finale a été atteinte, en moyenne, dès le 102^{ème} jour (12 avril) de chaque année (Tableau 9).

Tableau 9 : Résumé des densités (ind/m) moyenne, maximale et finale mesurées au cours des 14 années de suivi du captage de moules sur cordes en Charente-Maritime (site des Saumonards). JJ. obs. = Jour julien annuel de l'observation.

| | Densité moyenne | Densité maximum | Densité finale |
|--------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Moy. | 30 173 | 69 623 | 21 102 |
| Max. | 46 976 | 109 473 | 50 873 |
| Min. | 15 563 | 34 047 | 7 967 |
| JJ obs. moy. | | 130 | 102 |
| JJ obs. max. | | 154 | 147 |
| JJ obs. min. | | 106 | 19 |

La dynamique de recrutement de la moule commune, au regard du protocole employé, se caractérise par une augmentation du nombre de recrues du début du mois de mars jusqu'à la première quinzaine du mois de mai où le pic majoritaire de fixation est observé. Ce premier pic de fixation, correspondant à la densité maximale annuelle, est suivi, quasiment une année sur deux, d'un second pic de fixation de moins grande ampleur (e.g. années 2008, 2011 ; Figure 33). Dans le cas contraire, la densité cumulée de naissains diminue progressivement jusqu'à la fin du suivi (e.g. années 2012, 2017 ; Figure 33). C'est ainsi, que le taux de fixation (nombre d'individus se fixant sur un mètre de corde par jour) est positif jusqu'à l'apparition du pic de fixation, avant de devenir négatif dans la plupart des cas (Figure 34). La diminution progressive du nombre de naissains fixés à la fin des suivis est un phénomène classique observé par les mytiliculteurs chaque année. Les professionnels considèrent que la perte de ce naissain est principalement attribuable au décrochage des plus grands individus tombant sur le sédiment. Au-delà de ce phénomène de densité-dépendance, de nombreux facteurs, seuls ou conjugués, peuvent influencer la perte de densités de naissain sur les structures de captage. Outre la mortalité liée à la prédation ou aux pathogènes, la condition des jeunes post-larves (i.e. état physiologique), l'hydrodynamisme et la qualité des structures de captage sont des éléments pouvant expliquer une partie de ce phénomène (South et al. 2021) dans le cadre d'une production mytilicole.

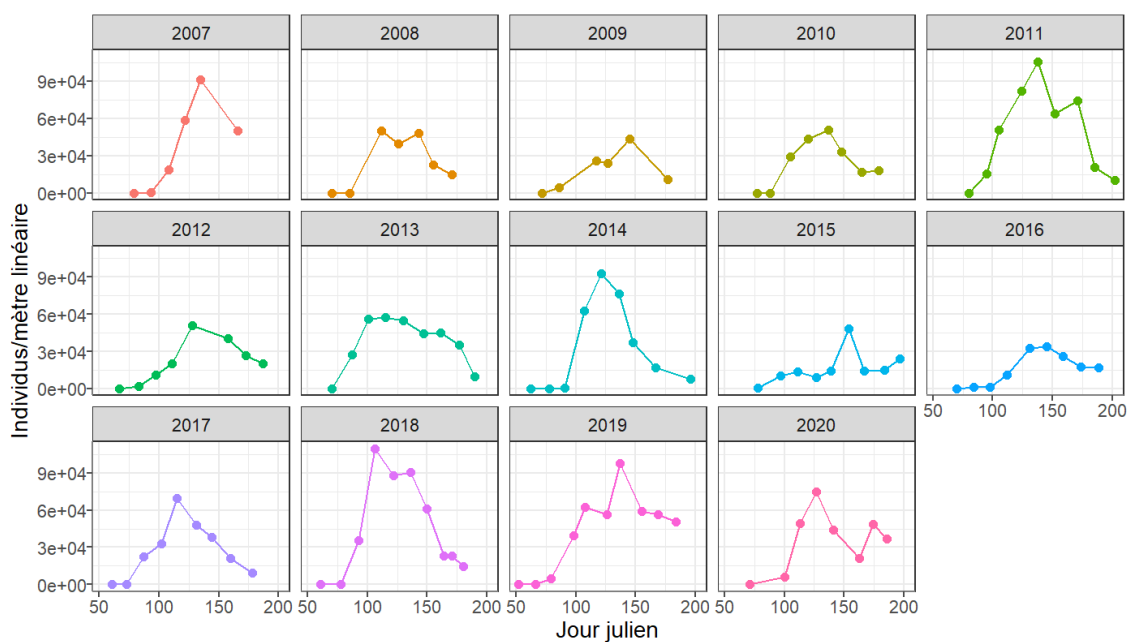


Figure 33 : Dynamique de captage cumulé sur corde de la moule commune (ind/m) sur le parc des Saumonards de 2007 à 2020. L'axe des abscisses représente le numéro du jour de l'année (jour julien).

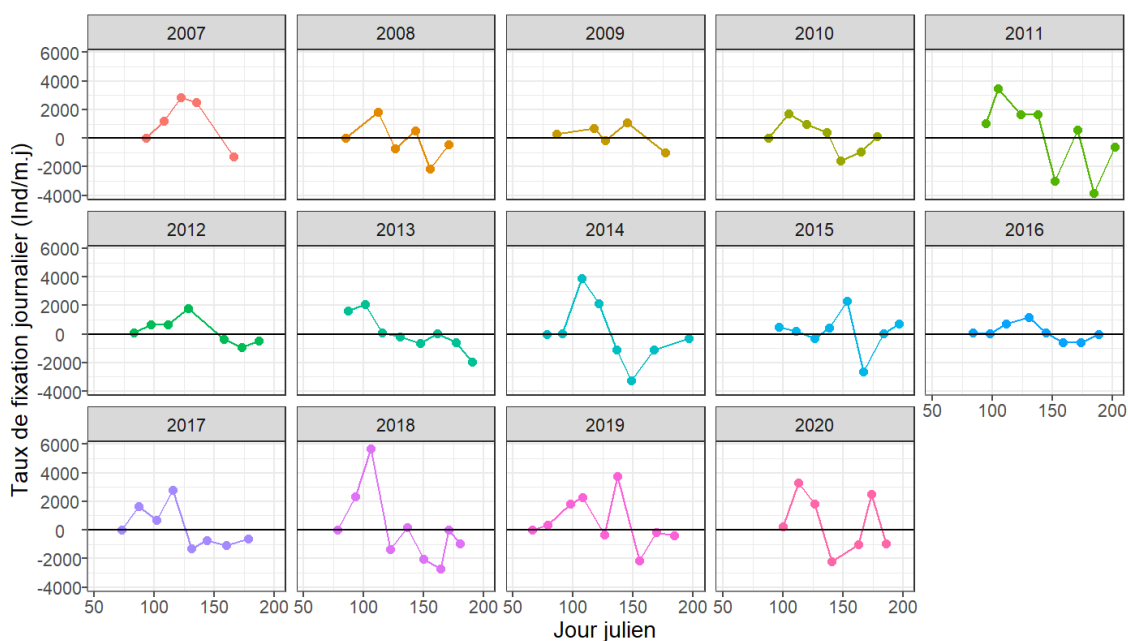


Figure 34 : Taux de fixation journalier (ind/m.j) de la moule commune sur 1 mètre de corde de 2007 à 2020 sur le site des Saumonards. L'axe des abscisses représente le numéro du jour de l'année (jour julien). La ligne horizontale représente un taux de fixation nul.

La densité maximale de naissains présente **d'importantes variations interannuelles avec un cycle de 3 à 4 années** caractérisé par une alternance de densités de 50 000 ind/m pour les années les plus faibles, à plus de 100 000 ind/m lors des meilleurs années (Figure 35 ; Annexe 36). La densité finale est, quant à elle, relativement stable d'une année sur l'autre, variant seulement de 8 000 ind/m à 24 000 ind/m entre 2008 à 2018. **Cette variable est indépendante de la densité moyenne et de la densité maximale**, signifiant que malgré un captage important au cours de la saison de reproduction, la densité finale de naissains sur corde au moment du

garnissage n'en sera pas proportionnellement plus élevée (Figure 35 ; Annexe 37). Outre les années 2007, 2019 et 2020, la valeur moyenne de densité finale se situe aux alentours de 14 000 ($\pm 50 00$) ind/m.

Le **pic de fixation** s'observe généralement dans une période de 48 jours, entre le **16 avril et le 3 juin** de chaque année (JJ max ; Figure 36). Bien qu'un cycle semble se dessiner depuis l'année 2013, aucune corrélation n'est observée avec les variables de densités (Figure 35). Cependant, la date d'observation du maximum de densité (JJ max) est fortement corrélée (p -value < 0,01, $R^2 = 53\%$) à la date où la densité finale a été atteinte pour la première fois dans l'année (JJ finale ; Figure 36).

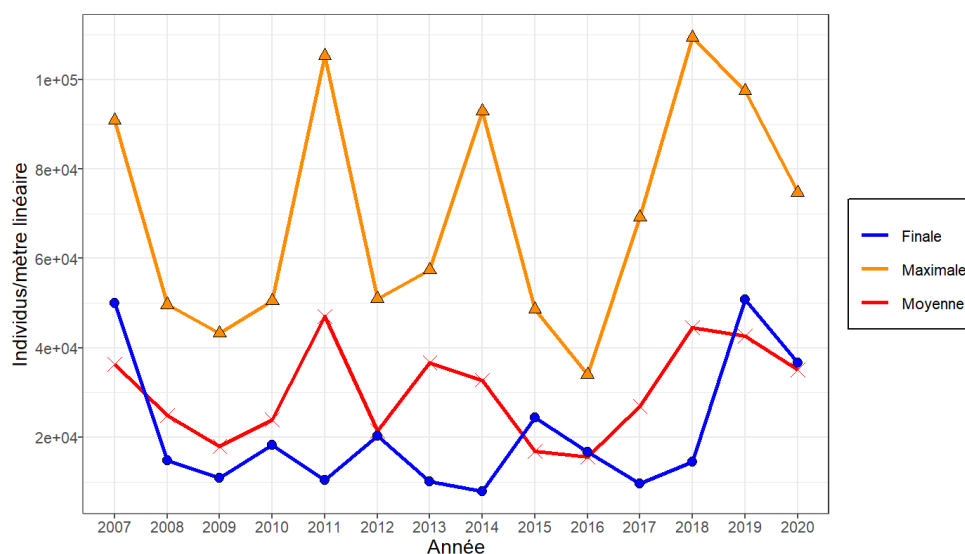


Figure 35 : Densités (ind/m) moyenne, maximale et finale de naissain de moules sur corde mesurées de 2007 à 2020 sur le parc de captage des Saumonards.

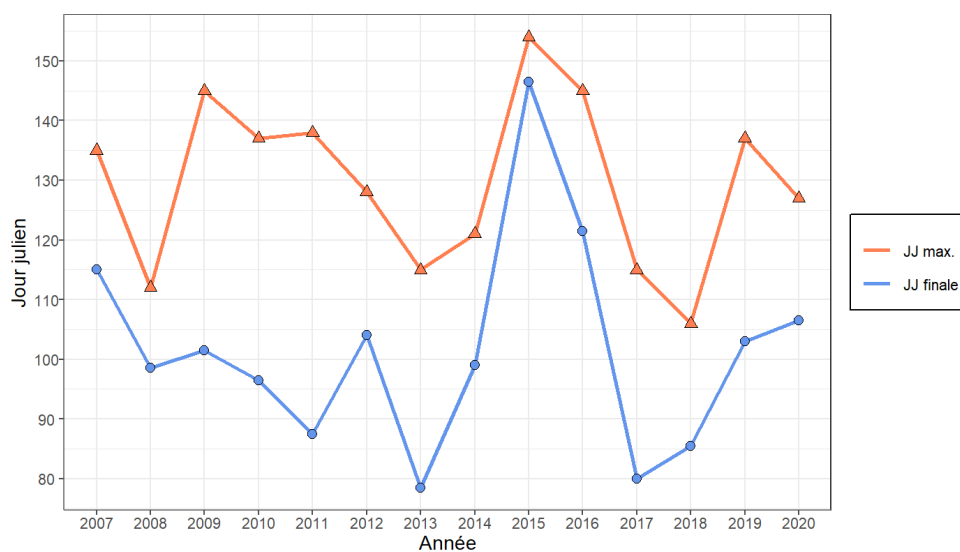


Figure 36 : Jours de l'année (jour julien) pour lesquels les densités finale et maximale ont été atteinte pour la première fois en fonction de l'année de suivi. JJ max. = Date d'observation de la densité maximale ; JJ finale = Date d'observation de la densité finale.

Finalement, la densité moyenne au cours d'une année de suivi varie également d'une année sur l'autre, mais d'un ordre de grandeur moindre que la densité maximale (Figure 35). Du fait que ces deux variables sont significativement corrélées ($p\text{-value} < 0,05$, $R^2 = 83 \%$) et que la variable de densité moyenne soit soumise à un biais d'expérimentation (différentes dates de commencement et de fin des suivis), seulement **la valeur de densité maximale et la valeur de densité finale seront retenues pour la définition des niveaux de référence de captage**. De plus, la valeur de densité finale de l'année 2007 ne sera pas prise en compte dans la suite de l'analyse car elle semble surestimée du fait de l'arrêt précoce du suivi (jour 166, 16 juin).

3.2. Exploration des métriques et proposition de niveaux de référence de captage

a. Référence environnementale

En utilisant la valeur de **densité maximale** de naissains observés par mètre de corde, plusieurs seuils de référence peuvent être envisagés pour représenter la variabilité interannuelle du pic de fixation (Tableau 10). Il semblerait que l'utilisation des **intervalles de confiance à 95 %** de la moyenne soit la méthode la plus harmonieuse pour représenter la variation annuelle de la densité maximale de naissain. De cette manière, les valeurs maximales et minimales des cycles de 3 à 4 ans sont représentées dans les niveaux de captage « élevés » et « faibles », respectivement (Figure 37).

Tableau 10 : Seuils et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane de la densité maximale de naissains par mètre de corde. Plusieurs niveaux d'appréciation sont proposés en fonction du nombre de seuils pris en compte. IC99 et IC95 = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure.

| Valeur seuil | Nb. ind. vivant par mètre | 2 niveaux | | | 3 niveaux | | |
|----------------------------|---------------------------|-----------|--|----------|-----------|----------|--|
| | | | | | | | |
| IC ₉₉ Lim. inf. | 49 255 | | | < 55 000 | | < 49 000 | |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 55 015 | < 70 000 | | 55 000 | | 49 000 | |
| Moyenne | 69 622 | | | < x < | | < x < | |
| | | | | 84 000 | | 90 000 | |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 84 229 | > 70 000 | | | | | |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 89 989 | | | > 84 000 | | > 90 000 | |

| Valeur seuil | Nb. Ind. vivant par mètre | 2 niveaux | | 3 niveaux | | 5 niveaux | | 3 niveaux | |
|----------------|---------------------------|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|
| | | | | | | | | | |
| Quantile 10 % | 44 904 | | | | | < 49 000 | | < 45 000 | |
| Quantile 20 % | 49 246 | < 63 000 | | < 51 000 | | 49 000 | | | |
| Quantile 33 % | 50 671 | | | | | < x < | | | |
| Quantile 40 % | 52 287 | | | | | 52 000 | | | |
| Médiane | 63 333 | | | 51 000 | | 52 000 | | 45 000 | |
| | | | | < x < | | < x < | | < x < | |
| | | | | 85 500 | | 74 000 | | 103 000 | |
| Quantile 60 % | 73 658 | | | | | 74 000 | | | |
| Quantile 66 % | 85 531 | > 63 000 | | | | < x < | | | |
| Quantile 80 % | 94 747 | | | > 85 500 | | 95 000 | | | |
| Quantile 90 % | 102 985 | | | | | > 95 000 | | > 103 000 | |

| |
|-------------|
| Très faible |
| Faible |
| Modéré |
| Elevé |
| Très élevé |

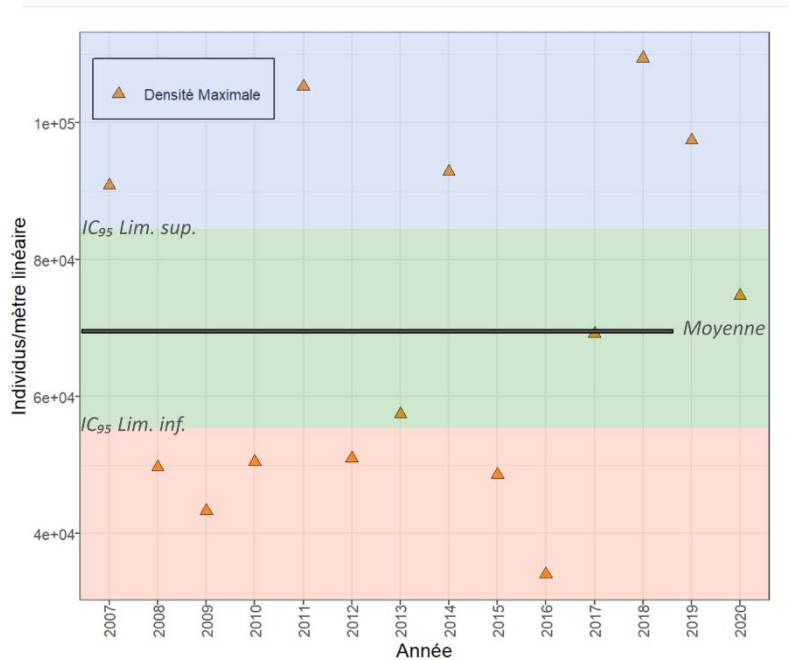


Figure 37 : Exemple d'application de niveaux de référence de captage de moules sur corde dans le Bassin de Marennes Oléron en utilisant la moyenne de la densité maximale et l'intervalle de confiance 95 % (3 niveaux) Les zones colorées correspondent aux appréciations : Faible (rouge), Modéré (vert) et Elevé (bleu). IC95 = Intervalle de confiance à 95 %.

b. Référence professionnelle

La **densité de naissains** sur les cordes de captage **avant le garnissage** (i.e. Densité finale) est une variable d'intérêt pour la profession mytilicole qui peut être extraite du jeu de données à disposition. Cette **variable est relativement stable** dans le temps (entre 10 000 et 25 000 ind/m), hormis lors des deux dernières années pour lesquelles ces valeurs sont largement supérieures à la moyenne depuis 2018. En parallèle, les professionnels du bassin de Marennes-Oléron, dont ceux captant leurs naissains sur le site de Saumonards, ne semblent pas souffrir d'un manque de naissains sur leur corde lors du garnissage des structures. Le ressenti des mytiliculteurs est unanime sur le fait que le captage soit toujours suffisant, qu'il n'y a pas d'année déficitaire. Ce sentiment est également partagé avec les ostréiculteurs du BMO. En effet, ils observent toujours autant de naissains de moules dans les poches à huîtres, qu'il est nécessaire de traiter (e.g. tapage, brulage...) pour conserver des performances d'élevage optimales.

Ainsi, au regard du pas de temps couvert par ce jeu de données et des observations précédentes, il conviendrait que **la majorité des valeurs de densité finale appartienne à un niveau de captage « modéré »**. Par conséquent, 3 niveaux de captage peuvent être définis, en utilisant les métriques les plus restrictives que sont la **moyenne bornée par les limites inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance à 99 %** (Tableau 11). De cette manière, 77 % des années seraient caractérisés par un captage « modéré », en 2019 et 2020 le captage serait « élevé » et l'année 2014 correspondrait à une année de captage « faible » (Figure 38).

Tableau 11 : Seuils et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane de la densité finale de naissains par mètre de corde. Plusieurs niveaux d'appréciation sont proposés en fonction du nombre de seuils pris en compte. IC99 et IC95 = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure.

| | Nb. ind. vivant par mètre | 2 niveaux | 3 niveaux | 3 niveaux | |
|----------------------------|---------------------------|-----------|---------------------|--------------------|-------------|
| IC ₉₉ Lim. inf. | 9 420 | Faible | < 12 700 | < 9 400 | Très faible |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 12 724 | | < 21 000 | 9 400 | |
| Moyenne | 21 101 | Modéré | 12 700 < x < 29 500 | 9 400 < x < 32 800 | Elevé |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 29 478 | | > 21 000 | 32 800 | |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 32 782 | | > 29 500 | > 32 800 | Très élevé |

| | Nb. Ind. vivant par mètre | 2 niveaux | 3 niveaux | 5 niveaux | 3 niveaux |
|----------------|---------------------------|-----------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Quantile 10 % | 9 706 | Faible | < 12 100 | < 10 200 | < 9 700 |
| Quantile 20 % | 10 225 | | | 10 200 < x < 14 600 | 9 700 < x < 29 300 |
| Quantile 33 % | 12 097 | Modéré | 12 100 < x < 19 600 | 14 600 < x < 17 900 | Elevé |
| Quantile 40 % | 14 602 | | < 15 800 | 17 900 < x < 29 300 | |
| Médiane | 15 786 | Modéré | 19 600 < x < 29 300 | 29 300 < x < 29 300 | Elevé |
| Quantile 60 % | 17 903 | | > 15 800 | > 29 300 | |
| Quantile 66 % | 19 570 | | > 19 600 | > 29 300 | Très élevé |
| Quantile 80 % | 29 349 | | | | |
| Quantile 90 % | 46 037 | | | | |

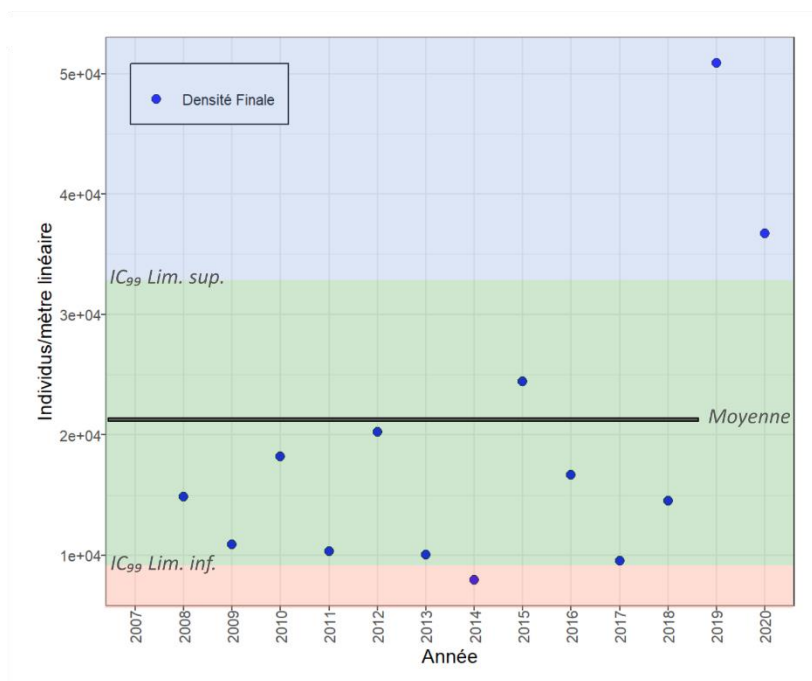


Figure 38 : Exemple d'application de niveaux de référence de captage de moules sur corde dans le Bassin de Marennes Oléron en utilisant la moyenne de la densité finale et l'intervalle de confiance 99 % (3 niveaux). Les zones colorées correspondent aux appréciations : Faible (rouge), Modéré (vert) et Elevé (bleu). La valeur de densité maximale de l'année 2007 n'est pas prise en compte dans le calcul des seuils. IC99 = Intervalle de confiance à 99 %.

Finalement, pour qualifier le niveau de référence du captage de la moule commune sur le site des Saumonards en Charente-Maritime, il est indispensable de définir en amont le contexte d'utilisation de ce référentiel, selon **une approche « environnementale »** ou **« professionnelle »**. Dans les deux cas de figures, **il est recommandé d'utiliser 3 niveaux de référence** en utilisant **les limites inférieures et supérieures des intervalles de confiance associés aux moyennes de la densité maximale (pic de fixation) et de la densité finale de naissain sur un mètre de corde** :

| | Approche environnementale (Densité maximale) | Approche professionnelle (Densité finale avant garnissage) |
|---------------|---|---|
| Faible | < 55 000 | < 9 400 |
| Modéré | 55 000 à 84 000 | 9 400 à 32 800 |
| Elevé | > 84 000 | > 32 800 |

3.3. Définition d'indices larvaires

Le jeu de données utilisé pour définir les indices larvaires de la moule commune dans le Bassin de Marennes-Oléron s'étend de 2007 à 2020, soit 14 années de suivi. Des échantillonnages bimensuels et hebdomadaires ont été réalisés sur les sites de Boyard et de Trompe-Sot (Figure 1), représentant entre 10 et 17 sorties par campagne annuelle. Les suivis débutent de la fin du mois de février au début du mois de juillet. Les données acquises sur le site de Boyard permettent d'informer les mytiliculteurs quant à la dynamique de reproduction et de fixation des moules autour du parc de captage des Saumonards ou des filières. Le site de Trompe-Sot a été intégré dans le suivi à partir de l'année 2011, à la demande des ostréiculteurs. En effet, les informations obtenues sur ce site sont une aide à la gestion des cheptel d'huîtres, car ils permettent d'optimiser la date de descente des poches sur des « parcs bas » et éviter un captage trop important de moules. Les échantillonnages sont réalisés par prélèvement de 1,5 m³ d'eau de mer filtrée sur 40 µm. En 2020, à cause de la crise sanitaire, le suivi n'a débuté qu'à partir de la moitié du mois de mai. Dans la suite du traitement des données, les indicateurs larvaires seront définis pour chacun des deux sites de prélèvement et pour l'ensemble du BMO. Les résultats des suivis larvaires de la moule commune obtenus pour les deux sites sont représentés dans l'annexe 38.

De la même manière que les parties précédentes (III.1.3 et III.2.3), 8 indices ont été définis, permettant de caractériser les dynamiques larvaires à l'échelle d'une saison de recrutement. Tous les indices sont calculés à l'échelle du BMO et des deux sites de prélèvement larvaire (hormis l'indice 7 : Synchronisme des pontes). Pour chaque échelle spatiale, les indices 1 à 4 ont été déclinés pour les stades de larves petite (« _Petite ») et grosse (« _Grosse »). Le stade « moyenne », intermédiaire de l'ontogénèse larvaire, n'est pas pris en compte dans la suite des analyses car il représente une phase transitoire du développement de ces organismes (stade « umbo-véligère »), contrairement aux stades petite, utilisé comme proxy de la date de ponte, et grosse, représentant le stock de larves compétentes à la phase de fixation/métamorphose.

Tableau 12 : Indices larvaires calculés pour les larves de moules communes dans le Bassin de Marennes-Oléron.
BMO = Echelle du bassin.

| Indice | Définition | Unité | Echelle spatiale | Sous-échelle | Stade larvaire | Nomenclature | Remarques |
|----------|---|---------------------------|--------------------------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Indice 1 | Moyenne des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | <i>BMO_Petite</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>BMO_Grosse</i> | |
| | | | Site | Boyard | Petite | <i>Boyard_Petite</i> | |
| | | | | Trompe-Sot | Grosse | <i>Boyard_Grosse</i> | |
| | | Petite | <i>Trompe-Sot_Petite</i> | | | | |
| | | Grosse | <i>Trompe-Sot_Grosse</i> | | | | |
| Indice 2 | Date d'observation du maximum de concentration des stades larvaires | Numéro du jour de l'année | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | <i>JJMax_BMO_Petite</i> | Position du jour dans l'année en considérant le 1 ^{er} au 01 janvier et le 365 ^{ème} au 31 décembre (ou 366 ^{ème} si année bissextile) |
| | | | | | Grosse | <i>JJMax_BMO_Grosse</i> | |
| | | | Site | Boyard | Petite | <i>JJMax_Boyard_Petite</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>JJMax_Boyard_Grosse</i> | |
| | | | | Trompe-Sot | Petite | <i>JJMax_Trompe-Sot_Petite</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>JJMax_Trompe-Sot_Grosse</i> | |
| Indice 3 | Valeur maximum de concentration des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | <i>PMax_BMO_Petite</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>GMax_BMO_Grosse</i> | |
| | | | Site | Boyard | Petite | <i>PMax_Boyard_Petite</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>GMax_Boyard_Grosse</i> | |
| | | | | Trompe-Sot | Petite | <i>PMax_Trompe-Sot_Petite</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>GMax_Trompe-Sot_Grosse</i> | |
| Indice 4 | Somme des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | Bassin Marennes-Oléron | | Petite | <i>SumP_BMO</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>SumG_BMO</i> | |
| | | | | | 4 stades larvaires | <i>SumAllStade_BMO</i> | |
| | | | Site | Boyard | Petite | <i>SumP_Boyard</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>SumG_Boyard</i> | |
| | | | | Trompe-Sot | 4 stades larvaires | <i>SumAllStade_Boyard</i> | |
| | | | | | Petite | <i>SumP_TS</i> | |
| | | | | | Grosse | <i>SumG_TS</i> | |
| | | 4 stades larvaires | <i>SumAllStade_TS</i> | | | | |
| Indice 5 | Survie larvaire | % | Bassin Marennes-Oléron | | | <i>abat_BMO</i> | Abattement de concentration entre les stades grosse et petite (SumG/SumP)*100 |
| | | | Site | Boyard | | <i>abat_Boyard</i> | |
| | | | | Trompe-Sot | | <i>abat_TS</i> | |
| Indice 6 | Durée de vie larvaire | Nombre de jour | Bassin Marennes-Oléron | | | <i>DVL_BMO</i> | Etendue entre les dates d'observation du maximum de concentration des stades petite et grosse |
| | | | Site | Boyard | | <i>DVL_Boyard</i> | |
| | | | | Trompe-Sot | | <i>DVL_TS</i> | |
| Indice 7 | Synchronisme des pontes | Nombre de jour | Bassin Marennes-Oléron | | | <i>Synchro</i> | Etendue entre les dates d'observation du maximum du stade petite |
| Indice 8 | Temps de présence des larves grosses | Nombre de jour | Bassin Marennes-Oléron | | Grosse | <i>NbJourObs_G_BMO</i> | Nombre de jours d'observation des larves grosses |
| | | | Site | Boyard | Grosse | <i>NbJourObs_G_Boyard</i> | |
| | | Trompe-Sot | | Grosse | <i>NbJourObs_G_Trompe-Sot</i> | | |
| | | | | | % | Bassin Marennes-Oléron | Grosse |
| | | % | Site | Boyard | Grosse | <i>PourObs_G_Boyard</i> | |
| | | % | | Trompe-Sot | Grosse | <i>PourObs_G_Trompe-Sot</i> | |

Au total, ce sont 40 variables qui ont été identifiées, réparties selon 6 niveaux pour les indices 1, 2, 3 et 8 ; 3 niveaux pour les indices 5 et 6 ; 9 niveaux pour l'indice 4 ; et 1 niveau pour l'indice 7 (Tableau 12). Ces indices seront mis en relation avec les données de captage afin de mettre en évidence l'intérêt de certains d'entre eux à devenir des indicateurs du recrutement de la moule commune. Les représentations graphiques des indices 1 à 8 sont disponibles, respectivement, dans les annexes 39 à 46.

A l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron, les indices larvaires relatifs à l'abondance moyenne de larves petites (BMO_Petite) et à la somme de toutes les larves (SumAllStade_BMO, SumG_BMO et SumP_BMO) permettent de distinguer les années 2012 et 2020 des années 2011 et 2015 à 2017, selon la 1^{ère} dimension (43 % de variance expliquée, Dim1, Figure 39). Dans un second temps, ce sont les indices d'abattement (abat_BMO) et le temps d'observation de larves grosses dans le milieu (NbJourObs_G_BMO) qui expliquent pour 25 % la variance entre les années 2020, 2011, 2012, 2014 et 2016 (Dim2, Figure 39).

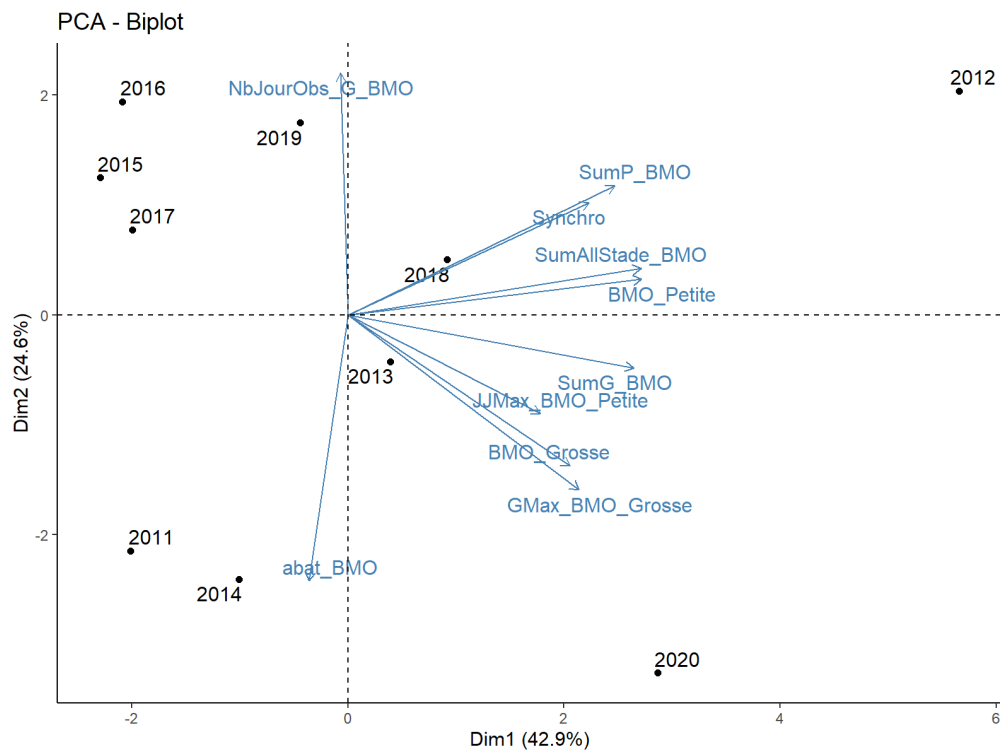


Figure 39 : Biplot de l'analyse en composante principale (ACP) des indices larvaires de moules communes à l'échelle du BMO. Uniquement les 10 variables contribuant le plus à l'inertie entre les individus (années) sont représentées. Se référer au Tableau 12 pour la nomenclature des indices. Seules les années comportant les données des deux sites sont prises en compte (2011 à 2020).

Au regard des deux sites de prélèvements de larves, ce sont les indices issus des données de Boyard qui expliquent la plus grande part de variance entre les années suivies (36 % Dim1, Figure 40). Parmi ces indices, il s'agit principalement de ceux relatifs aux abondances moyennes des deux stades larvaires (Boyard_Petite, Boyard_Grosse) et aux abondances totales des larves de stade petite et grosse (SumAllStade_Boyard et SumP_Boyard ; Figure 40). Dans un second temps, ce sont les variables temporelles associées à la date d'observation du pic de larves petites à Trompe-Sot (JJMax_Trompe-Sot_Petite) et le nombre de jour d'observation de larves grosses à Boyard (NbJourObs_G_Boyard) qui expliquent près de 23 % de la variance entre les années (Dim2, Figure 40).

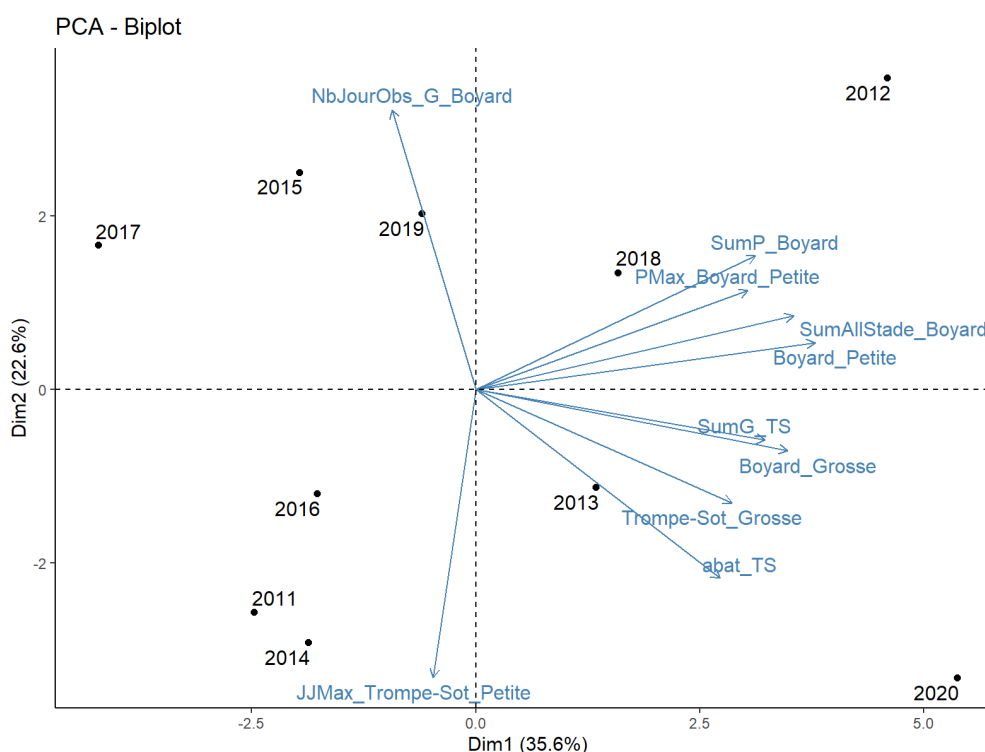


Figure 40 : Biplot de l'analyse en composante principale (ACP) des indices larvaires de moules communes à l'échelle des sites de pêches de larves du BMO. Uniquement les 10 variables contribuant le plus à l'inertie entre les individus (années) sont représentées. Se référer au Tableau 12 pour la nomenclature des indices. Seules les années comportant les données des deux sites sont prises en compte (2011 à 2020).

3.4. Relation entre les indices larvaires et le captage

Les indices larvaires de moules communes définis au niveau des sites de Boyard, de Trompe-sot et du BMO sont mis en relation avec les données de captage aux Saumonards. Ces dernières sont représentées par deux variables ciblées : les densités maximales (D_maximale) et finales (D_finale) obtenues chaque année. L'analyse employée est le calcul du coefficient de corrélation tau de Kendall et son test non-paramétrique associé. Pour les deux sites de prélèvements larvaires et celui des Saumonards, l'année 2007 n'est pas prise en compte. Pour le site de Boyard, l'année 2017 n'est pas considérée à cause de certains artefacts (Annexe 43 b, e) probablement liés à une absence de prélèvement pendant le mois d'avril (Annexe 38). A l'échelle du BMO, l'indice 7 de synchronisation des pontes est amputé de la valeur de l'année 2012, d'ordre de grandeur nettement supérieur aux autres années (60 j contre moins de 10 j, respectivement ; Annexe 45).

Les résultats sont visualisés sous forme de matrices de corrélations dans lesquelles les coefficients de corrélation sont indiqués lorsque les résultats des tests non-paramétriques sont significatifs ($p\text{-value} < 0,05$) entre les variables ciblées et les indices larvaires. L'intensité de la relation entre deux variables est comprise entre -1 et 1 et son sens est symbolisée par un code de couleur (bleu = inversement proportionnelle ; rouge = proportionnelle).

a. Captage de moules communes et indices larvaires de Boyard

Les indices larvaires définis pour le site de Boyard ne permettent pas d'établir de corrélation avec la densité de maximale (D_maximale) de naissains de moules communes (Figure 41). Ce résultat semble mettre en évidence un **phénomène de découplage pélagobenthique** suggérant l'indépendance entre le nuage larvaire observé à Boyard et le stock de recrues présent sur les cordes du site voisin des Saumonards (Morgan 2021).

Pour la **densité finale** (D_finale), seule une relation positive et modérée (tau = 0,50) est mise en évidence avec le **temps de présence de larves grosses** dans la colonne d'eau (PourObs_G_Boyard ; Figure 41). Ce résultat suggère que plus l'occurrence des observations de grosses larves pendant le suivi augmente, plus la densité de naissains disponibles lors de la récolte des cordes sera importante.

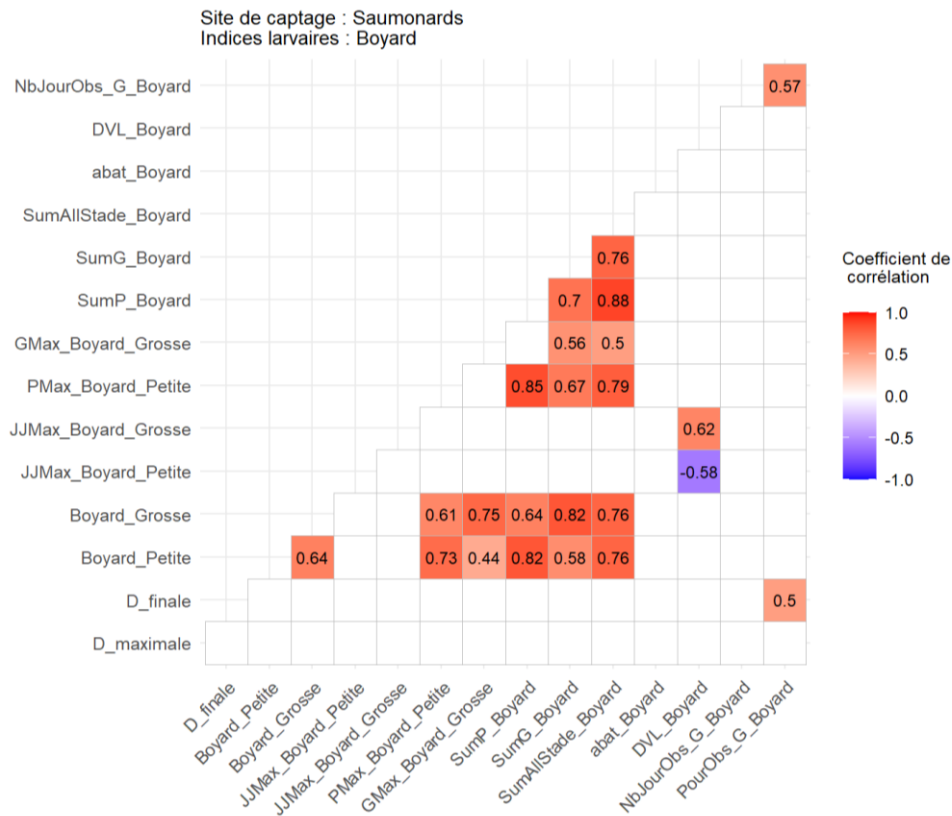


Figure 41 : Matrice de corrélation entre les densités maximale (D_maximale) et finale (D_finale) de captage de moules communes et les indices larvaires sur le site de Boyard. Les cases colorées symbolisent la présence d'une corrélation entre les deux variables, pour laquelle le coefficient de corrélation est indiqué. Dans le cas contraire, la corrélation n'est pas significative. Le code couleur représente le sens et l'intensité de la relation.

b. Captage de moules communes et indices larvaires de Trompe-Sot

A l'échelle de ce suivi, il existe une corrélation positive et modérée (tau = 0,49) entre la **densité maximale de naissains** sur les cordes de captage des Saumonards et le **nombre maximum de grosses larves** mesurées sur le site de Trompe-Sot (GMax_Trompe.Sot_Grosse ;

Figure 42). Sans pour autant justifier d'un lien de causalité, plus le nombre maximum de larves compétentes à la fixation sera important au niveau du Sud du Bassin, plus le pic de fixation sera de grande intensité sur le site des Saumonards.

La **densité finale de naissain** est corrélée positivement ($\tau = 0,60$) avec **la somme totale de tous les stades larvaires** (SumAllStade_TS) et **la quantité moyenne de grosses larves** (Trompe.Sot_Grosse) sur le **site de Trompe-Sot** (Figure 42). Il existe un lien de colinéarité entre ces deux indices ($\tau = 0,56$), traduisant leur dépendance. De ce fait, il est préférable de sélectionner l'une de ces deux variables pour la définition d'un indicateur larvaire. L'indice 1 (Tableau 12), faisant référence aux concentrations moyennes obtenus lors des suivis, est sensible à la période d'échantillonnage et au décalage dans le temps des périodes de ponte d'une année sur l'autre. En d'autres termes, la valeur de cet indice sera d'autant plus faible que le nombre de jours d'absence de grosses larves sera important. A l'inverse l'indice 4 (Tableau 12), considérant la somme totale des larves de chaque stade, permet de s'affranchir de ce biais dans la mesure où la période de suivi larvaire intègre l'ensemble de la période de reproduction. Ainsi, l'indice larvaire SumAllStade_TS sera conservé pour représenter la densité finale des naissains sur le site des Saumonards.

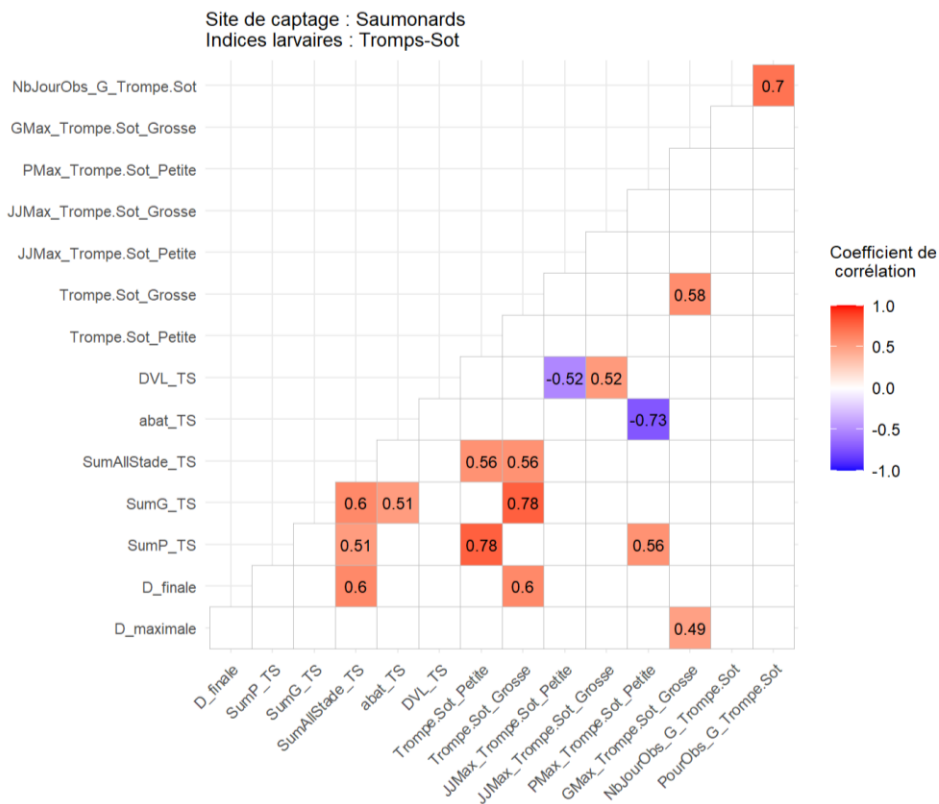


Figure 42 : Matrice de corrélation entre les densités maximale ($D_{maximale}$) et finale (D_{finale}) de captage de moules communes et les indices larvaires sur le site de Trompe-Sot. Les cases colorées symbolisent la présence d'une corrélation entre les deux variables, pour laquelle le coefficient de corrélation est indiqué. Dans le cas contraire, la corrélation n'est pas significative. Le code couleur représente le sens et l'intensité de la relation.

c. *Captage de moules communes et indices larvaires à l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron*

A l'échelle du bassin, une **corrélation inversement proportionnelle** ($\tau = -0,50$) existe entre la **densité maximale de naissains** sur corde et la **date d'observation du maximum de grosses larves** (JJMax_BMO_Grosse ; Figure 43). Cette relation sous-entend que plus tôt les grosses larves seront observées en grande quantité, plus le pic de fixation des recrues sera de grande ampleur.

Une corrélation positive est observée entre la densité finale de naissains et le synchronisme des pontes (Synchro) entre les deux sites de suivi larvaire ($\tau = 0,61$; Figure 43). Le sens de cette relation prétend que plus les pontes sont décalées dans le temps, plus la quantité de naissains à la fin de la saison de captage sera importante. Cette relation est principalement supportée par l'apparition d'un second évènement de ponte dont les larves viendront coloniser tardivement les cordes.

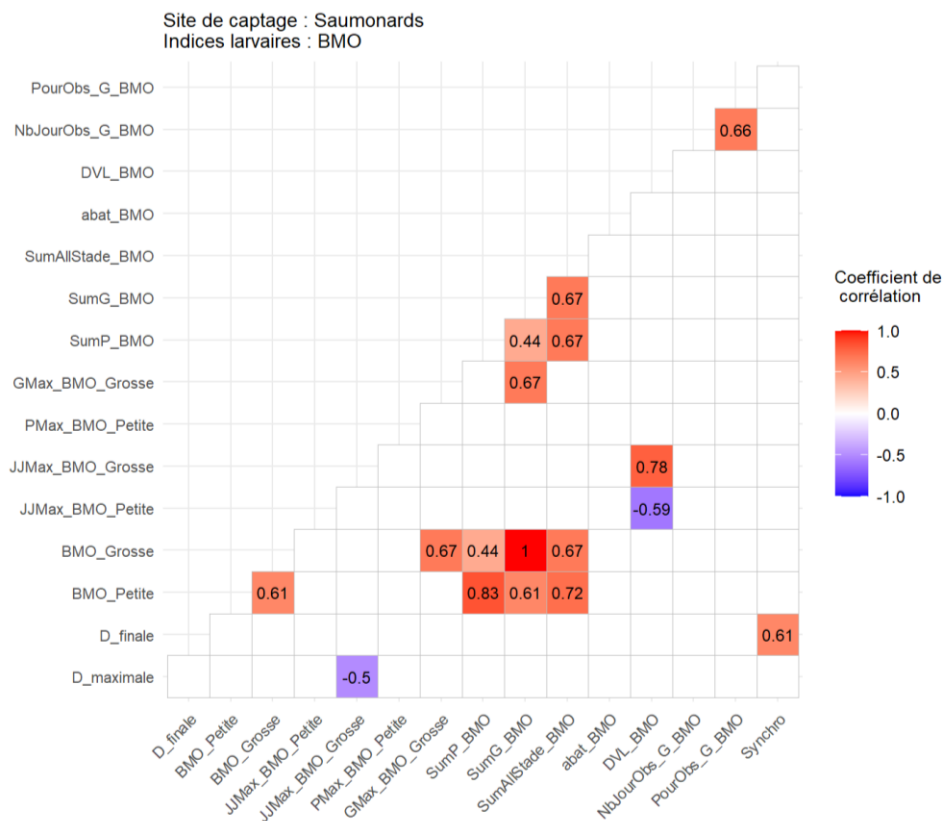


Figure 43 : Matrice de corrélation entre les densités maximale ($D_{maximale}$) et finale (D_{finale}) de captage de moules communes et les indices larvaires calculés à l'échelle du BMO. Les cases colorées symbolisent la présence d'une corrélation entre les deux variables, pour laquelle le coefficient de corrélation est indiqué. Dans le cas contraire, la corrélation n'est pas significative. Le code couleur représente le sens et l'intensité de la relation.

3.5. Proposition d'indicateurs larvaires du captage de moules communes dans le Bassin de Marennes-Oléron

La **densité maximale de naissains** sur les cordes de captage des Saumonards peut être envisagée au regard de deux indicateurs larvaires : le **nombre maximum de grosses larves** mesurées sur le site de **Trompe-Sot** (GMax_Trompe.Sot_Grosse) et la **date d'observation du maximum de grosses larves à l'échelle des deux sites** (JJMax_BMO_Grosse). En effet, le meilleur modèle linéaire est constitué de ces deux variables, dont seulement la date du pic de grosse larve demeure significatif, et **il permet d'expliquer 60 % de la variance de la densité maximale des naissains** (Tableau 13 ; Figure 44a). Ce résultat corrobore les travaux de Martel et al. (2014) montrant que le succès du recrutement de *M. edulis* est associé à la fixation précoce de larves issues des premières cohortes. En d'autres termes, plus tôt les larves compétentes seront présentes dans milieu, plus tôt elles se fixeront et meilleur en sera leur survie.

La densité finale est corrélée au pourcentage de jour d'observation de grosses larves à Boyard (PourObs_G_Boyard), à la somme de toutes les larves comptées à Trompe-Sot (SumAllStade_TS) et au synchronisme des pontes à l'échelle des deux sites (Synchro). Néanmoins, le meilleur modèle, expliquant jusqu'à 36 % de la variance totale, est composé uniquement de la variable SumAllStadeTS (Tableau 13 ; Figure 44b). Ainsi, **la somme de tous les stades larvaires sur le site de Trompe-Sot semble être l'indicateur le plus pertinent pour décrire la quantité finale de naissains** présents sur les cordes de captage à l'issue de la saison de reproduction.

Tableau 13 : Résultats des modèles de régression linéaire multiple pour les densités maximale et finale de naissains sur cordes au Saumonards en fonction des indices larvaires. * : p-value < 0,05 ; ** : p-value < 0,01 ; ns = non-significatif.

| Variable réponse | df | AIC | p-value | R ² ajusté | Variables du modèle | Estimé | Erreur type |
|------------------|----|-------|---------|-----------------------|--------------------------------------|----------|-------------|
| Densité maximale | 7 | 196,8 | 0,017 | 0,601 | JJMax_BMO_Grosse* | -942,3 | 289,4 |
| | | | | | GMax_Trompe.Sot_Grosse ^{ns} | 15,4 | 8,0 |
| | | | | | Intercept** | 193053,7 | 46502,2 |
| Densité finale | 8 | 188,1 | 0,039 | 0,362 | SumAllStadeTS* | 1,0 | 0,4 |
| | | | | | Intercept ^{ns} | -9323,2 | 12430,1 |

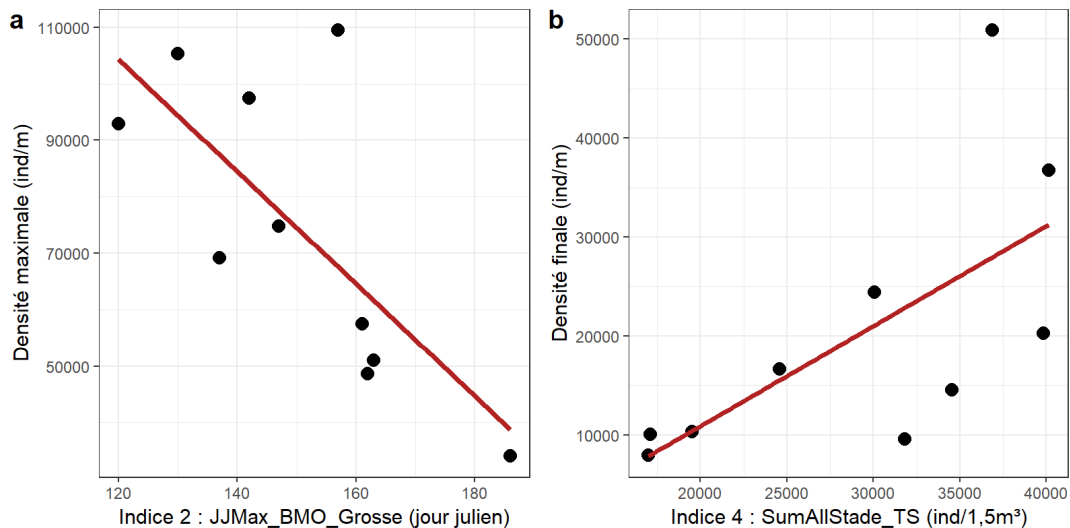


Figure 44 : a. Densité maximale de naissains sur collecteur en fonction du jour annuel d'observation du maximum de grosse larves dans le BMO, b. Densité finale sur collecteur en fonction de la somme des concentrations de tous les stades larvaires observés à Trompe-Sot. La ligne rouge représente la régression linéaire entre les deux variables.

Peu de corrélations sont mises en évidence entre les deux variables ciblées et les indicateurs larvaires. De façon intuitive, il convient de penser que plus la quantité de larves (moyenne, maximale ou totale) est élevée à proximité du site de captage (comme à Boyard) plus le nombre de recrues devrait être important sur les cordes de captage. Cependant, deux des trois variables retenues par les modèles concernent le site de Trompe-Sot (SumAllStadeTS et GMax_Trompe.Sot_Grosse) et la dernière traite des résultats obtenues pour les deux sites (JJMax_BMO_Grosse). Ce résultat met en évidence l'existence d'un découplage pélagobenthique s'appliquant entre le nuage larvaire et le stock de recrues présentes sur les cordes aux Saumonards. Ce découplage est relativement classique en écologie larvaire, d'autant plus pour des organismes avec une grande durée de vie larvaire (*i.e.* plusieurs semaines) et planctotrophe (Morgan 2021).

Cette absence de concordance entre les densités larvaires et des recrues s'explique en partie par des facteurs physiques comme l'action des conditions hydrodynamiques. En effet, selon la théorie du « *member/vagrant* » (Sinclair et Tremblay 1984 ; Sinclair et Iles 1989), l'action des courants et du vent peuvent dissocier la zone de production des larves (habitat des géniteurs) de leur zone de fixation, engendrant une perte nette pour la population de l'habitat source. À l'inverse, ce fonctionnement implique que le nuage larvaire observé sur une zone soit composé de larves allochtones, produites dans d'autres secteurs. Il s'agit probablement de ce cas de figure qui est observé sur le site de Boyard et de Trompe-Sot, au travers des valeurs extrêmement élevées du facteur d'abatement. En effet, la quantité de larves de moules « grosses » atteint en moyenne 30 % des quantités du stade « petites », et peut même être supérieure ou égale à 100 % (*i.e.* Trompe-Sot 2020, Boyard 2017 ; Annexe 43ef).

Le site de Boyard est situé dans une zone où l'hydrodynamisme favorise le mélange des masses d'eau : le sens du courant s'inverse entre le flot et le jusant, le flux résiduel est multidirectionnel sous la contrainte du vent et le temps de renouvellement de la masse d'eau d'une dizaine de jours (Stanisière et al., 2006). Ainsi, le nuage larvaire de Boyard résulterait des échanges de larves de moules produites par les populations naturelles ou d'élevages extérieurs au secteur, et ne correspondrait pas uniquement aux cohortes produites sur le parc de bouchots de Boyard ou de filières des Saumonards. C'est de cet apport inconnu de larves

allochtones et de ces contraintes hydrodynamiques que l'absence de liens entre les indices larvaires de Boyard et le captage de naissains peut s'expliquer.

Ce phénomène d'advection de larves de moules au niveau du site de Trompe-Sot semble d'autant plus prédominant étant donné sa position géographique et l'absence d'élevage mytilicole aux alentours. Hormis la présence de moulières éparées dans le Sud du bassin, les larves observées devraient être originaires du Nord et acheminées par les courants marins. Véritable entonnoir, caractérisé par un flux résiduel constant du Nord vers le Sud, indépendamment des conditions de vent (Stanisière et al., 2006), le nuage larvaire observé sur le secteur Sud ne pourrait être que la résultante de l'effort de reproduction des populations de moules au Nord du bassin. Les cohortes larvaires de Trompe-Sot seraient un échantillon des pontes provenant des zones d'élevages de Boyard, de l'Île d'Aix, de la Baie d'Yves ou encore de la Baie de l'Aiguillon et des bancs naturels de Vendée et de Charente-Maritime, jusqu'à ceux suspectés à l'embouchure de la Gironde. En effet, *M. edulis* peut moduler sa durée de vie larvaire, en retardant la phase de métamorphose, jusqu'à 50 jours de vie pélagique, ce qui lui confère un pouvoir de dispersion d'une grande échelle spatiale (Martel et al., 2014 et références associées). Ainsi, il faut considérer que l'indice 4, correspondant à la somme de tous les stades larvaires mesurée à Trompe-Sot, comme un proxy intégrateur de l'intensité de la reproduction des populations de moules communes susceptibles d'atteindre le site de captage des Saumonards.

Outre les facteurs influençant les cohortes larvaires, le découplage pélogo-benthique est également le résultat de phénomènes survenant directement après la phase de fixation. Les moules communes sont en mesure d'effectuer des migrations secondaires directement après leur métamorphose. En se dissociant du substrat sur lequel elle s'est métamorphosée, la jeune post-larve peut retourner activement dans la colonne d'eau et prolonger sa phase de vie pélagique pour la recherche d'un substrat favorable à son établissement final (Bayne 1964, Forêt et al., 2018a). De plus, lorsque les conditions hydrodynamiques le permettent, le courant au niveau de la couche limite benthique est suffisamment important pour que les forces de cisaillement remettent en suspension les jeunes post-larves, qui migrent passivement de leur site de fixation initial vers un autre (Forêt et al., 2018b).

Finalement, les résultats obtenus à la sortie des modèles sont à considérer avec prudence. Bien que ces corrélations puissent refléter une réalité biologique, **il est peu probable qu'un lien direct entre le nuage larvaire de Trompe-Sot et les densités de naissains captés sur le site des Saumonards** (modèle source et puits, respectivement) puisse exister. **Les indicateurs larvaires mis en évidence dans cette partie sont susceptibles d'intégrer des phénomènes biologiques s'appliquant à une plus large échelle spatiale**, pour lesquels des études spécifiques sur le recrutement en milieu naturel, avec un effort d'échantillonnage adapté, et sur la diversité génétique des populations de *M. edulis* seraient nécessaires.

4. Recrutement de la moule commune dans le Bassin d'Arcachon

Les suivis du captage de la moule commune dans le Bassin d'Arcachon ont été réalisés durant deux années consécutives, du 1^{er} mars au 1^{er} août 2018 et du 27 février au 29 août 2019, sur les parcs ostréicoles de Bélisaire, Courbey, Grand-Banc et Piquey pour le secteur Ouest, et de Humeyre, Mapouchet et Tès pour le Secteur Est (Figure 2). Sur chaque parc, la pose et la relève successives de deux cordes de coco neuves sont réalisées au niveau d'une

table ostréicole. Le niveau bathymétrique de ces parcs correspond à un coefficient de marnage compris entre 80 et 95. Le plan expérimental définit deux périodes d'échantillonnages distinctes et représentatives de la dynamique de reproduction de cette espèce dans le BA :

- Première pose : au début de la saison de reproduction, entre fin février et la première quinzaine de mars. Le choix de cette période a pour but d'intégrer la majeure partie des recrues de moules issues des pontes majoritaires des bancs naturels (pic de fixation) ;
- Seconde pose : Disposée directement après la relève de la première corde, cette seconde période d'échantillonnage permet de relever l'intensité du captage à la fin de la période de reproduction et de mettre en évidence l'apparition d'un éventuel pic de fixation secondaire.

De plus, sur chaque parc (hormis Bélisaire), des cordes ont été disposées à deux niveaux bathymétriques différents (notés localisation BP = Bas de parc et HP = Haut de parc) afin de déterminer l'effet de la hauteur du parc sur le captage de la moule commune. Finalement, le jeu de données comporte 138 observations, réparties selon les années, le secteur, le site d'échantillonnage, la période de pose et le niveau bathymétrique (Annexe 47). Chaque observation correspond à la **densité cumulée** de recrues obtenue depuis la date de pose de la corde. Contrairement à la partie III.3, l'utilisation de valeurs pseudo-répliquées a été nécessaire dans le cadre de l'exploration de ces données (*i.e.* utilisation des tronçons de 10 cm de corde).

4.1. Exploration des données de recrutement

A l'échelle du Bassin d'Arcachon, la densité de naissains de moules communes captés sur les cordes lors de la première pose était équivalente entre les deux années (p -value < 0,05), avec 7 600 (\pm 5 300) ind/m en 2018 et de 7 200 (\pm 6 900) ind/m en 2019. Cette densité est significativement supérieure (p -value < 0,001) à celles obtenues à l'issue de la seconde pose de corde, dont les densités de naissains s'élevaient à 490 (\pm 470) ind/m et 1 070 (\pm 1 340) ind/m en 2018 et 2019, respectivement. La quantité de naissain captés lors de la seconde pose représente entre 3 et 16 % de la quantité totale des recrues mesurées sur l'ensemble des périodes de suivi, sauf pour le site de Bélisaire en 2019, où ce rapport s'élève à 24%. Ce résultat s'explique par le fait que la relève de la seconde corde sur ce site a été réalisé à la fin du mois d'août 2019, près de 45 jours après la relève des autres sites. Ce temps d'immersion plus long a probablement favorisé la fixation des dernières larves présentes dans la colonne d'eau. Ce premier résultat justifie que l'analyse des données soit effectuée en séparant les deux dates de pose des cordes de captage.

a. Première pose

La densité de naissains captés lors de la première pose de corde a été de 7 400 (\pm 6 200) ind/m sur l'ensemble du BA, indépendamment de l'année de suivi et de la localisation sur le parc (p -value > 0,05 ; Figure 45ab). Cette première corde est restée immergée en moyenne 75 jours, du 7 mars au 22 mai. D'un point de vue spatial, le captage dans le secteur Ouest a été significativement plus important qu'à l'Est, avec 9 100 (\pm 7 000) ind/m contre 5 100 (\pm 4 000)

respectivement (p -value < 0,05 ; Figure 45c). Cette différence s'observe également à l'échelle des sites de chaque secteur. Dans le secteur Ouest, le site de Grand-Banc a eu le captage le plus abondant, près de 18 000 ind/m, alors que celui du site de Piquey était le plus faible, avec 2 400 ind/m. Les sites de Bélisaire et de Courbey présentent des valeurs intermédiaires de captage autour de 8 000 ind/m (Figure 45d). Dans le secteur Est, le site d'Humeyre se distingue significativement de Mapouchet et de Tès, avec 10 000 ind/m contre 4 900 ind/m pour les deux sites, respectivement (p -value < 0,01 ; Figure 45d).

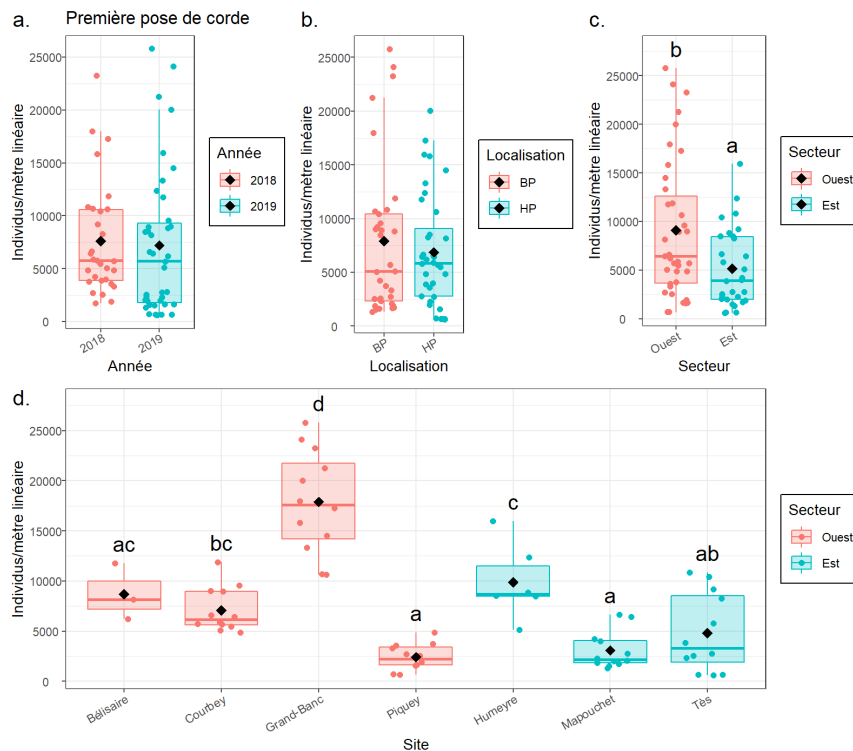


Figure 45 : Densités de naissains de moule commune captés dans le Bassin d'Arcachon au cours de la première pose de corde en fonction de a. l'année, b. la localisation sur le parc, c. le secteur de captage et d. le site de captage. BP = bas de parc et HP = haut de parc. Le cas échéant, les lettres au-dessus des boxplot représentent les différences significatives entre les niveaux des facteurs testés.

b. Seconde pose

La seconde corde a été installée aux alentours du 25 mai (jour 145) pendant 60 jours avant qu'elle ne soit relevée le 24 juillet (jour 204). La densité de naissains captés a atteint 820 ($\pm 1\ 100$) ind/m en moyenne dans le BA, sans qu'aucune différence significative entre les deux années de suivi, la localisation sur le parc et le secteur du bassin ne soit mise en évidence (p -values > 0,05 ; Figure 46abc). A l'échelle des sites, Bélisaire et Grand-Banc (sites les plus à l'Ouest) se distinguent avec une valeur moyenne de 2 200 ind/m contre 660 ind/m pour les autres (Figure 46d).

Tous ces résultats, et d'autant plus ceux faisant référence à la seconde période de pose, sont fortement soumis à un biais temporel généré par des dates de pose et de relèvement de corde asynchrones. En effet, des temps d'immersion différents et des dates de pose/relèvement précoces ou tardives, sont susceptibles d'expliquer une plus grande part de la variabilité du recrutement entre deux parcs, que les caractéristiques intrinsèques de ces parcs ou du nuage larvaire sus-jacent. A titre d'exemple, la seconde corde posée sur le site de Bélisaire en 2019 a été disposée

le jour 136 et relevée le jour 241, correspondant à 105 jours d'immersion. Pour les parcs de Piquey et Humeyre, équipés à la même date que Bélisaire, le temps d'immersion n'a été que de 62 jours (relève le jour 198). En fonction de l'état des cohortes larvaires (e.g. densités, stades), ces différences de temps d'immersion sont d'autant plus de chance pour les futures recrues de se fixer sur le collecteur.

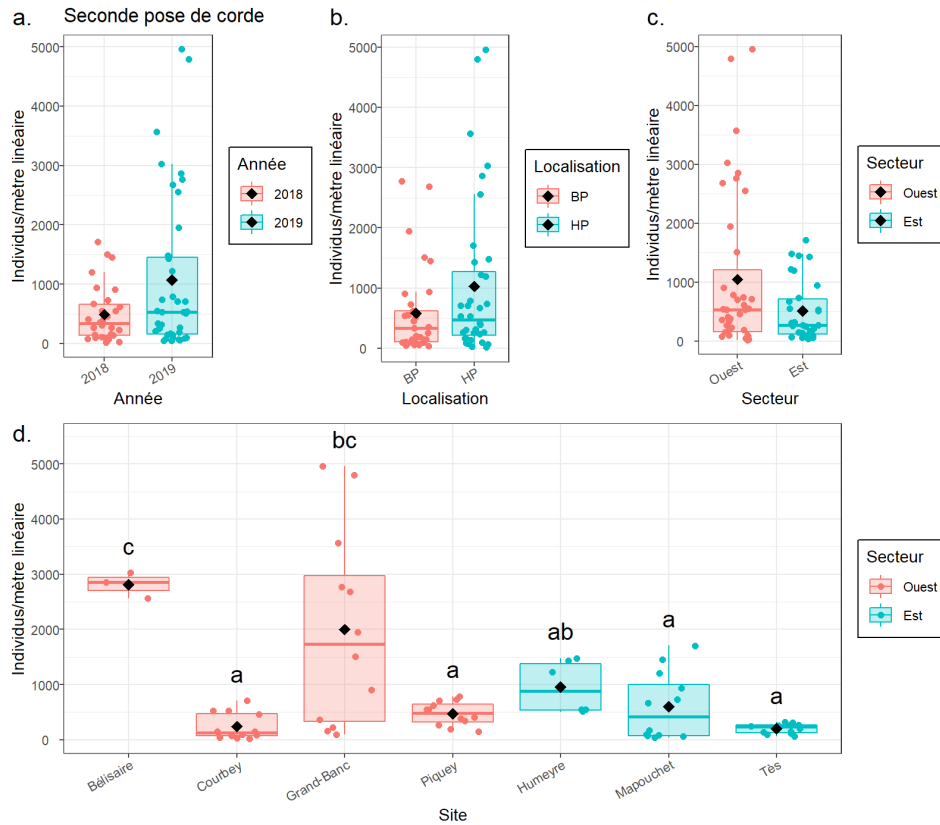


Figure 46 : Densités de naissains de moule commune captés dans le Bassin d'Arcachon au cours de la seconde pose de corde en fonction de a. l'année, b. la localisation sur le parc, c. le secteur de captage et d. le site de captage. BP = bas de parc et HP = haut de parc. Le cas échéant, les lettres au-dessus des boxplot représentent les différences significatives entre les niveaux des facteurs testés.

c. Effet de la hauteur sur parc

Au regard des données disponibles, aucun effet strict de la bathymétrie sur la densité de naissains captés sur corde ne peut être mis en évidence à l'échelle du bassin. En effet, que ce soit pour la première ou la seconde pose de corde, les densités de naissains mesurées en haut et en bas des parcs ne peuvent être différenciées statistiquement dans la majorité des cas. Néanmoins, lors de la première pose de corde, le nombre de naissains captés en bas du parc de Grand-Banc (20 500 ind/m) est en moyenne supérieur à celui obtenu en haut de ce parc (15 200 ind/m ; Figure 47). A l'inverse, sur le parc de Mapouchet, près de 2 fois plus de naissains ont été captés sur la partie haute de ce parc (4 000 ind/m) contrairement à la partie basse (2 100 ind/m ; Figure 47). Au terme de la seconde pose de corde, uniquement les parcs d'Humeyre et de Tès présentent des différences significatives de densité de naissains entre les deux localisations. Dans ces deux cas, le captage est plus abondant en haut qu'en bas de du parc en question (Figure 47).

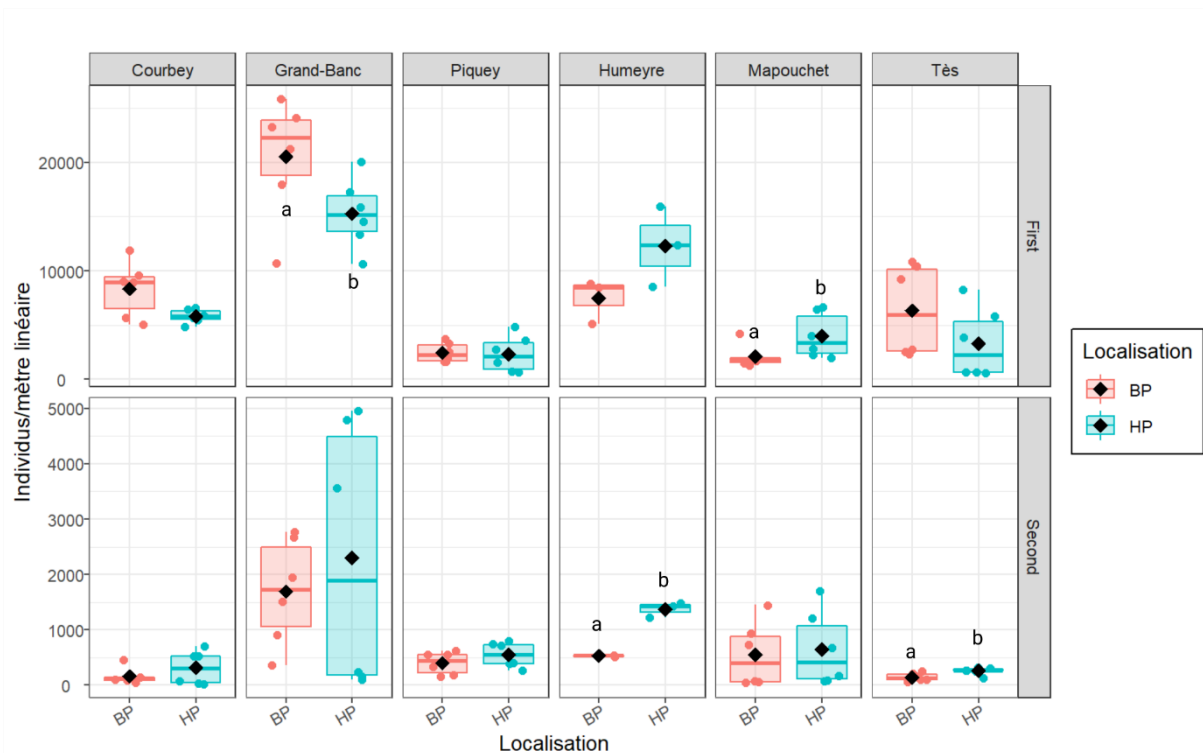


Figure 47 : Densités de naissains de moule commune captés au cours des deux années de suivi en fonction de la période de pose des cordes et du site de captage. BP = bas de parc et HP = haut de parc. First = Première pose et Second = Deuxième pose. Le cas échéant, les lettres au-dessus des boxplot représentent les différences significatives entre les deux localisations.

A première vue, les différences bathymétriques au sein d'un parc de semblent pas influencer la densité de naissains captés. Néanmoins, ces résultats sont sujets à **d'importantes fluctuations** liées à la **période de pose et de recapture des cordes** et **aux différences de bathymétrie à l'échelle d'un parc**. Les parcs sont compris entre des coefficients de marnage de 80 à 95 en moyenne. Sans pour autant connaître précisément l'altitude des deux localisations dans chacun des parcs, il est probable qu'une localisation en « bas de parc » sur le site de Grand-Banc (coeff. moyen de 85) corresponde à la localisation « haut de parc » sur le site d'Humeyre (coeff. moyen 95). De nouvelles années de suivis permettraient de confirmer ou non une tendance quant à l'effet de la hauteur d'un parc sur le captage de moules.

4.2. Définition d'indices larvaires

Le jeu de données utilisé pour définir les indices larvaires de la moule commune dans le Bassin d'Arcachon correspond aux suivis des années 2018 et 2019. Des échantillonnages hebdomadaires ont été réalisés sur les sites d'Arguin, Ferret, Courbey, Piquey et Humeyre (Figure 2), de la fin du mois de janvier au début du mois de juillet, représentant entre 20 et 26 sorties par campagne annuelle. Ces données sont acquises dans le but de comprendre la dynamique de la population de la moule commune dans le bassin et la répartition des bancs naturels. De plus, ce suivi permet de fournir une information aux ostréiculteurs pour améliorer leurs parcours zootechniques en limitant le captage de naissains de moules dans les poches à huitres. Les échantillonnages sont réalisés par prélèvement de 1,5 m³ d'eau de mer filtrée sur 40 µm. Au regard de l'antériorité des données, les indicateurs larvaires définis pour chaque site ne permettent pas d'analyser finement leur relation avec les données de captage. Les

résultats des suivis larvaires de la moule commune obtenus pour les sites du Bassin d’Arcachon sont représentés dans l’annexe 48.

Comme précédemment (III.3.3), 8 indices ont été définis, permettant de caractériser les dynamiques larvaires à l’échelle d’une saison de recrutement (Tableau 14). Tous les indices sont calculés à l’échelle des sites de prélèvement hormis l’indice 7 qui est calculé à l’échelle du Bassin d’Arcachon. Les indices 1 à 4 sont déclinés en fonction des 3 stades larvaires (« Petite », « Moyenne » et « Grosse »).

Au total, ce sont 16 variables qui ont été identifiées, réparties selon 3 niveaux pour les indices 1 à 4 ; 1 niveau pour les indices 5 à 8 (Tableau 14). La Figure 48 correspond à la représentation graphique des indices 1 à 4 et 6 à 8, la Figure 49 représente l’indice 5 de survie larvaire. L’indice 7 de synchronisme des pontes a été de 60 jours en 2018 et de 122 jours en 2019.

Tableau 14 : Indices larvaires calculés pour les larves de moules communes dans le Bassin d’Arcachon.

| Indice | Définition | Unité | Echelle spatiale | Echelle temporelle | Stade larvaire | Remarques |
|-----------------|---|---------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|---|
| Indice 1 | Moyenne des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | 5 Sites | 2 années | Petite Moyenne Grosse | |
| Indice 2 | Date d’observation du maximum de concentration des stades larvaires | Numéro du jour de l’année | 5 Sites | 2 années | Petite Moyenne Grosse | Position du jour dans l’année en considérant le 1 ^{er} au 01 janvier et le 365 ^{ème} au 31 décembre (ou 366 ^{ème} si année bissextile) |
| Indice 3 | Valeur maximum de concentration des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | 5 Sites | 2 années | Petite Moyenne Grosse | |
| Indice 4 | Somme des concentrations des stades larvaires | Ind/1,5m ³ | 5 Sites | 2 années | Petite Moyenne Grosse | |
| Indice 5 | Survie larvaire | % | 5 Sites | 2 années | | Abattement de concentration entre les stades grosse et petite (SumG/SumP)*100 |
| Indice 6 | Durée de vie larvaire | Nombre de jour | 5 Sites | 2 années | | Etendue entre les dates d’observation du maximum de concentration des stades petite et grosse |
| Indice 7 | Synchronisme des pontes | Nombre de jour | Bassin d’Arcachon | 2 années | | Etendue entre les dates d’observation du maximum du stade petite |
| Indice 8 | Temps de présence des larves grosses | Nombre de jour % | 5 Sites | 2 années | | Nombre de jours d’observation des larves grosses Pourcentages des jours d’observation des larves grosses par rapport à la durée de la campagne |

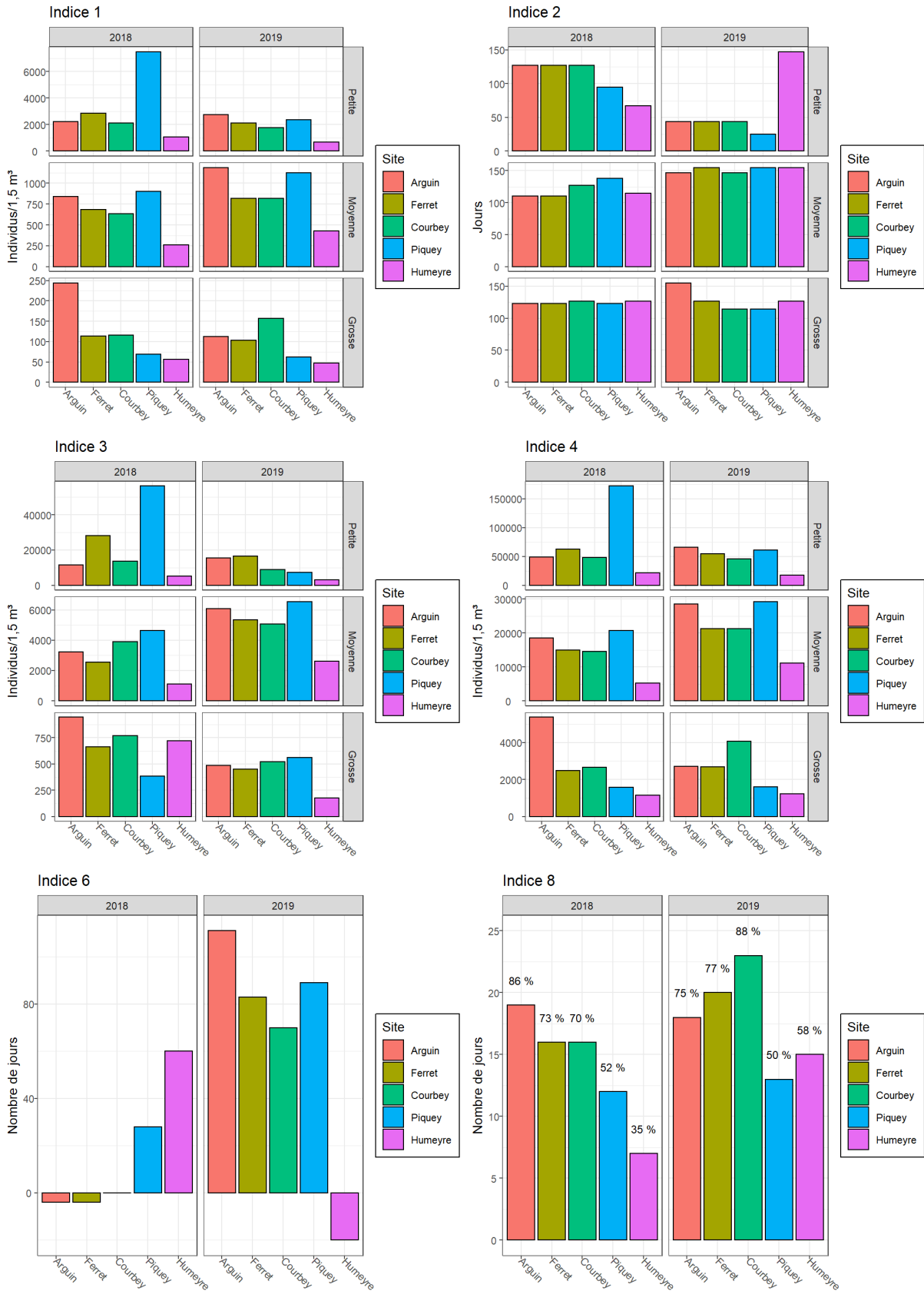


Figure 48 : Représentation des indices larvaires 1 à 4, 6 et 8 (Tableau 14) en fonction des sites de prélèvements des larves de moules communes dans le bassin d'Arcachon en 2018 et 2019.

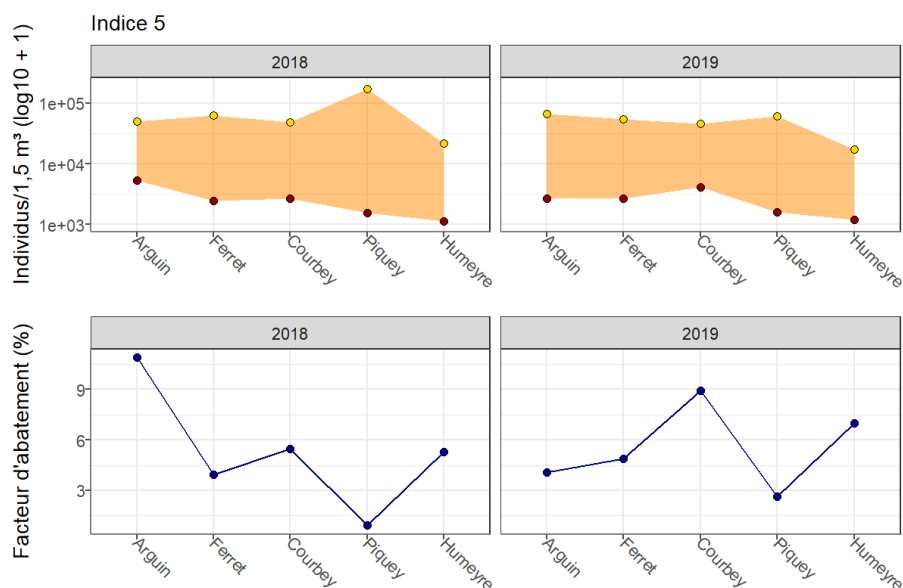


Figure 49 : Indice 5. Survie larvaire (%) en fonction des sites de prélèvement en 2018 et 2019 dans le Bassin d’Arcachon (BA). La survie larvaire est définie par la facteur d’abattement (graphiques du bas) correspondant au rapport entre la somme des concentrations (ind/1,5 m³) de larves au stade grosse et petite (graphiques du haut).

4.3. Exploration visuelle entre les indices larvaires et le captage

L’interprétation visuelle des relations entre les données de captage (Figure 50) et les indices larvaires (Figure 48 ; Figure 49) doit être réalisée au regard de la situation géographique des sites d’échantillonnages (Figure 2) et des forçages hydrodynamiques s’exerçant dans le Bassin d’Arcachon. De façon générale, le captage issu de la première pose de corde semble plus important dans les parcs situés directement à l’embouchure de la baie (e.g. Bélisaire, Courbey et Grand-Banc) que dans ceux les plus internes (e.g. Piquey, Humeyre, Mapouchet et Tès). Cette observation est d’autant plus remarquable en 2019 (Figure 50a).

Le parc de Piquey, bien qu’il soit considéré du secteur Ouest, a obtenu des densités de captages relativement faibles et comparables aux parcs les plus à l’Est comme le Tès ou Mapouchet (Figure 50). Le nuage larvaire observé sur ce même point a obtenu, les deux années de suivi, les plus grandes concentrations de larves petites du bassin (Indices 1, 3 et 4 ; Figure 48). Ceci suggère que la ponte et la fécondation externe des gamètes se sont déroulées à proximité de ce parc, laissant penser qu’un banc naturel pourrait s’y trouver. Cependant, c’est également sur ce site où les quantités de larves grosses, prêtes à se fixer, ont été les plus faibles, menant à une survie larvaire des plus basses à l’échelle du bassin (entre 2 et 3 % ; Figure 49) et à un faible temps de présence de ce stade larvaire dans la colonne d’eau (présence de larves grosses 50 % du temps ; Indice 8 Figure 48). Ainsi, la dynamique des cohortes larvaires observées sur ce point traduirait une production autochtone de larves, à partir d’un banc source, qui s’exporterait vers d’autres zones du bassin, probablement vers le Sud par le chenal de Piquey.

La situation inverse s’observe au niveau du parc de Grand-Banc et, dans une moindre mesure, sur les parcs de Bélisaire et de Courbey. Avec un temps d’immersion des cordes dans la moyenne des autres sites, le parc de Grand-Banc a obtenu les valeurs de captage les plus élevées au cours des deux années. Les cohortes larvaires associées au site de pêche le plus

proche (*i.e.* Courbey) ont montré des caractéristiques opposées à celles de Piquey. Dans cette zone, les quantités de larves petites étaient les plus faibles, autour de 2 000 ind/1,5m³ les deux années, alors que les quantités de grosses étaient les plus importantes, 110 et 160 ind/1,5m³ en 2018 et 2019. En supposant que l'ontogénèse se déroule de la même manière pour les larves émises en tout point du bassin (*e.g.* même taux de pertes, pression de prédation), la mesure d'une des meilleures survies larvaires sur ce site (entre 6 et 9 % ; Indice 5 Figure 49) provient certainement d'un apport de larves grosses allochtones. Le nombre de jours d'observation de larves grosses sur ce site, 70 % en 2018 et 88 % en 2019 (Indice 8 Figure 48), corroborent l'hypothèse que des larves, déjà développées et issues de bancs extérieurs, viennent enrichir le nuage larvaire du secteur de Grand-Banc. Finalement, ce site est directement sous l'influence des courants tidaux, au centre d'une zone de brassage des eaux extérieures au bassin (passant par le banc d'Arguin) et des eaux intérieures acheminées par les deux chenaux principaux de Piquey (axe Nord-Sud) et de Teychan (axe Ouest-Est).

Le captage de moules sur les sites du secteur Est du bassin a été moins important que dans l'Ouest en 2019. Néanmoins, le site d'Humeyre se démarque des deux autres (Mapouchet et Tès) avec un nombre moyen de naissains 4 fois plus important, équivalent aux valeurs obtenues pour Bélisaire et Courbey cette même année. Pour autant, le nuage larvaire sur le site de pêche de larves du secteur Est (site d'Humeyre ; Figure 2), faisant référence aux trois parcs de captage de ce secteur, a été caractérisé par de faibles quantités de larves grosses, se traduisant par une valeur moyenne de 50 ind/1,5 m³ (Indice 1), un maximum inférieur à 200 ind/m³ (Indice 3) observés au début du mois de mai 2019 (Indice 2) et uniquement 58 % de temps de présence de ce stade larvaire (Indice 8 Figure 48). Malgré ces caractéristiques, une durée de vie larvaire négative a été calculée sur ce site, s'expliquant par l'observation du maximum de grosses larves antérieure à celle des larves petites, traduisant potentiellement d'un apport extérieur de larves développées sur ce secteur. Ainsi, avec des caractéristiques du nuage larvaire, peu favorables à un captage abondant, identiques sur les parcs d'Humeyre, Mapouchet et Tès, et des temps d'immersion des cordes équivalents, les différences de captage entre ces trois parcs pourraient s'expliquer par le niveau bathymétrique de ces derniers. En effet, le parc d'Humeyre, exondé à un coefficient de marée de 95, est le plus bas des trois parcs, alors que ceux du Tès et de Mapouchet correspondent à un coefficient de 90 et 85, respectivement (communication par des ostréiculteurs utilisant ces parcs). Cette différence bathymétrique entraîne un temps d'immersion des cordes de captage plus important sur le site d'Humeyre, permettant aux larves de moules de se fixer en priorité (plus tôt et plus longtemps) sur les structures disponibles. Matel et al. (2014), montre que plus la phase de fixation-métamorphose des larves de la moule commune est précoce, plus la densité de naissains captés sera importante car les jeunes post-larves bénéficieraient d'un meilleur état physiologique pour assurer leur survie. Néanmoins, la seule variable bathymétrique ne peut expliquer l'entièreté des variations du recrutement. De nombreux facteurs, biotiques et abiotiques, sont imbriqués dans le bouquet de variables environnementales affectées par le positionnement sur l'estran.

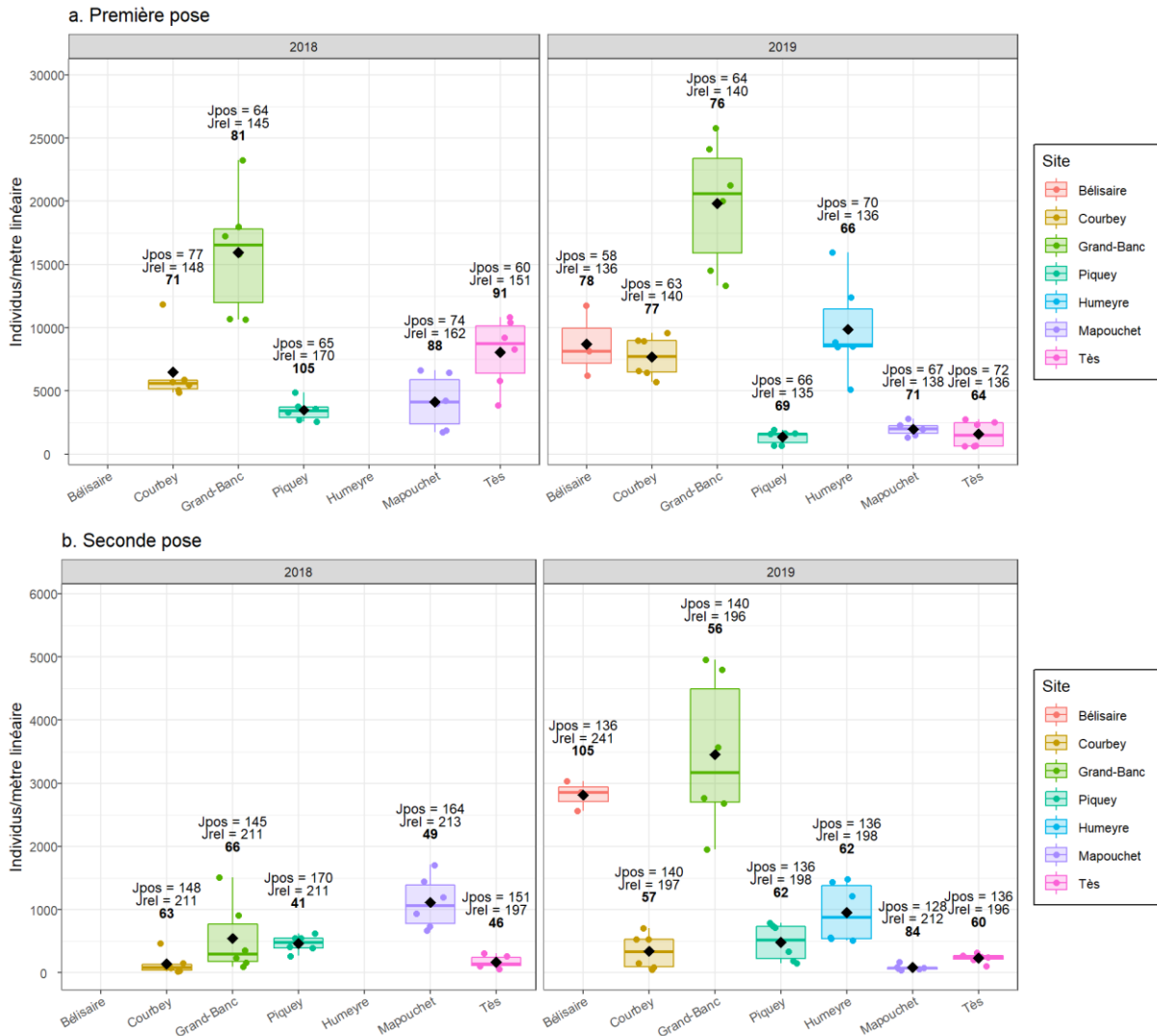


Figure 50 : Densité de naissains de moule commune (ind/m) dans le Bassin d’Arcachon en fonction de l’année et du site de suivi, à l’issue de la première pose (a.) et de la seconde pose de corde (b.). Les dates de pose (Jpos) et de relève (Jrel) des cordes sont indiquées au-dessus des boxplot, ainsi que le nombre de jours d’immersion (en gras).

4.4. Proposition d’indicateurs larvaires du captage de moules communes dans le Bassin d’Arcachon

Dans l’attente de nouvelles données issues des suivis des larves et du captage de la moule commune dans le Bassin d’Arcachon, il n’est pas possible de définir précisément des indicateurs larvaires permettant de décrire les variations interannuelles du recrutement. Au cours des années 2018 et 2019, des fluctuations importantes des caractéristiques associées aux nuages larvaires ont été observées entre les années et les sites échantillonnés. Ces fluctuations affectent principalement les indices larvaires liés aux quantités de larves (*i.e.* valeur moyenne, maximale, somme des individus des stades larvaires et facteur d’abattement) et, dans une moindre mesure, les indices relatifs à la temporalité des cohortes (*i.e.* Dates d’observation des maximums de larves petites et grosses, durée de vie larvaire ; Tableau 14). De manière pragmatique, **les variations quantitatives qui s’opèrent au sein des nuages larvaires sont plus susceptibles d’affecter la dynamique de recrutement des moules dans le**

Bassin d’Arcachon, au regard du recul procuré par les données analysées. Ainsi, il est conseillé d’apporter une **attention particulière sur les quantités** d’individus des différents stades larvaires mesurés au niveau des points de prélèvements et de les **associer aux forçages hydrodynamiques intra- et extra-bassin** pour en comprendre la dispersion.

IV. Conclusion générale et perspectives

1. Niveaux de référence de captage

Les jeux de données historiques du captage de l’huître creuse, acquis par CAPENA dans le BMO et le BA, ont permis la définition de niveaux de référence pour juger à long terme de l’effort de reproduction et de l’intensité du recrutement annuel. Les niveaux de captage ont été définis selon des métriques mathématiques, traduisant la réalité biologique, mais ces propositions doivent être confrontées aux ressentis des professionnels conchyliculteurs des différents secteurs ciblés. A l’échelle des deux bassins conchylicoles, les dynamiques interannuelles de captage présentent deux profils distincts, qui expliquent les différences importantes entre les seuils des niveaux de référence proposés.

En Charente-Maritime, les densités de naissains captés divergent fortement entre les secteurs (e.g. Seudre vs. Embouchure de Charente) mais les ordres de grandeur des variations interannuelles au sein des secteurs sont relativement stables. Cette caractéristique se reflète par le fait que la valeur moyenne et médiane soit proche et que les seuils de niveaux de captage soient restreints (Tableau 15). A titre indicatif, le seuil des niveaux de captage « Très faible » (24 ind/coupelle) et « Très élevé » (123 ind/coupelle), se différencie d’un facteur 5, uniquement. Cette homogénéité relative se reflète également au sein de chaque secteur (Tableau 2), pour lesquels les niveaux de référence ne varient que d’un facteur 2 au maximum.

Dans le Bassin d’Arcachon, le profil de captage de l’huître creuse peut se résumer par une alternance, non-régulière, d’années avec un captage très faible et d’autres avec un captage surabondant (Figure 27cd). Ce grand écart interannuel, se traduit par une valeur moyenne de captage nettement supérieure à la valeur médiane et, par conséquent, par des seuils de niveaux de référence beaucoup plus amples que pour le BMO (Tableau 15). A ce titre, les deux seuils des niveaux de référence les plus extrêmes diffèrent d’un facteur de 42. A l’échelle intra-bassin, la dynamique entre les deux secteurs est similaire d’une année sur l’autre, seules les quantités moyennes diffèrent entre l’Est et l’Ouest.

Tableau 15 : Comparaison des niveaux de référence proposés pour le captage de l’huître creuse (ind/coupelle) dans les bassins de Marennes-Oléron (BMO) et d’Arcachon (BA).

| | BMO | BA |
|--------------------|----------|-----------|
| Très faible | ≤ 24 | ≤ 7 |
| Faible | 25 à 41 | 8 à 26 |
| Modéré | 42 à 78 | 27 à 127 |
| Elevé | 79 à 123 | 128 à 294 |
| Très élevé | ≥ 123 | ≥ 294 |
| <i>Moyenne</i> | 81 | 189 |
| <i>Médiane</i> | 61 | 60 |

Concernant le captage de la moule commune, les jeux de données disponibles dans les deux bassins sont issus de protocoles expérimentaux différents, ne permettant pas de définir des niveaux de référence comparables.

En Charente-Maritime, la pose unique de corde et la récupération fréquente d'un échantillon, procure des résultats interprétable selon deux visions différentes mais complémentaires. En effet, le « maintien d'un bon niveau de captage » est interprété d'un point de vue conchylicole par le nombre de naissains disponibles pour les mytiliculteurs avant le garnissage de leurs structures d'élevage. D'après les résultats présentés dans cette étude, cette variable est indépendante de la dynamique de recrutement d'une saison de reproduction. En effet, le nombre de naissains utilisés par les professionnels sera relativement constant (généralement inférieur à 30 000 ind/m ; Figure 35) même si la quantité d'individus en fixation varie sensiblement au cours des années (de 40 000 à 100 000 ind/m ; Figure 35), traduisant un effort de reproduction et de caractéristiques biologiques différentes des populations de moule commune. Ainsi, les deux approches, « biologique » et « professionnelle » doivent être considérées au regard de la finalité de « maintien d'un bon niveau de captage ».

Cette situation n'est pas répliquée dans le Bassin d'Arcachon puisque qu'il y n'a pas d'activité mytilicole. L'ancienneté des suivis ne permet pas de définir des niveaux de recrutement, mais les résultats suggèrent des variations d'intensité du captage, susceptibles d'affecter les ostréiculteurs en fonction des parcs d'élevage, de la localisation sur le parc et de la période de présence des poches d'huîtres sur ce dernier.

2. Indicateurs larvaires

L'étude du couplage pélagobenthique, entre les caractéristiques des nuages larvaires de la colonne d'eau et le stock de recrues fixées sur un support, a mis en évidence deux situations contrastées entre les bassins de production. L'ancienneté et la répliquabilité des protocoles de suivi du captage de l'huître creuse ont permis de faire ressortir des indices larvaires de nature différentes, expliquant une partie de la variabilité de renouvellement des populations des bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon.

Les résultats montrent en premier lieu que, pour expliquer les variations de captage des huîtres creuses, la temporalité du nuage larvaire est le meilleur proxy à utiliser en Charente-Maritime, alors que la quantité de grosses larves sera plus déterminante à Arcachon. En effet, la quantité de larves grosses est un des paramètres larvaires les plus variables d'une année sur l'autre à Arcachon, et donc potentiellement un des plus limitant. Dans ce secteur, le nombre moyen de grosses larves, variant de moins de 10 à plus de 100 ind/1,5m³, influence également le nombre de jour de présence de ce stade larvaire dans le milieu (Tableau 8). Sur le littoral charentais, les quantités de larves sont relativement stables entre les années et sont d'un ordre de grandeur compris dans l'intervalle de celles d'Arcachon. Avec des quantités constantes et suffisantes de larves prêtes à se fixer, c'est la date d'apparition de celles-ci dans le milieu qui déterminera l'intensité du captage, que ce soit à l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron ou de ses secteurs (Tableau 4). Les deux cas de figures présentés semblent refléter deux situations décrites en écologie larvaire. A Arcachon, la théorie du « *supply-side ecology* » (Lewin, 1986 ; Underwood and Fairweather, 1989) semblent s'appliquer, puisque le renouvellement de la population d'huître creuse peut s'expliquer principalement par la disponibilité larvaire (Bernard 2011). En Charente-Maritime, le recrutement semble répondre à la théorie du « *match-*

mismatch » (Cushing 1990), supposant que plus tôt les larves prêtes à se fixer sont dans le milieu, plus elles auront de chance de rencontrer les conditions environnementales favorables à leur établissement sur un substrat.

Ce contraste est également observable, dans une moindre mesure, pour les moules communes. En effet, l'intensité du captage maximale (vision biologique) sur les cordes des Saumonards, dépendra notamment de la date d'apparition des grosses larves dans le milieu. A l'inverse, il semble que ce soit la quantité des grosses larves dans la colonne d'eau qui influence principalement le captage sur les parcs ostréicoles du Bassin d'Arcachon.

Que ce soit pour les huîtres creuses ou les moules communes des deux bassins d'études, l'interconnexion entre les zones émettrices de larves (*i.e.* bancs naturels et sites d'élevage) et les sites de captage complexifie la compréhension du lien entre la composition des cohortes larvaires à un point donné et les quantités de naissains captés sur le substrat sous-jacent. Les résultats obtenus lors du traitement des indices larvaires à l'échelle intra-bassin préjugent du rôle prépondérant des conditions hydrodynamiques dans les échanges de larves entre les différents secteurs.

Décrit dans les travaux de Bernard (2011), le Bassin de Marennes-Oléron est un milieu ouvert soumis à des flux intrants de larves venues de l'extérieur. Ces apports constants sont fortement dépendants des conditions de vent, qui peuvent expliquer les faibles variations interannuelles de captage mais aussi les années pléthoriques dans les secteurs autour de l'embouchure de la Charente. A l'inverse, le Bassin d'Arcachon est un système fermé, dont l'importation de larves océaniques est restreinte. Ainsi, le succès du recrutement dépendra préférentiellement de l'effort de reproduction des populations intrinsèques au bassin qui généreront des quantités de larves plus ou moins importantes en fonction des conditions environnementales de l'année (Bernard 2011).

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude corroborent en partie ceux issus du modèle de dispersion larvaire de Bernard (2011). En Charente-Maritime, ces conclusions s'appliquent particulièrement pour le captage dans le Sud du bassin (*i.e.* Seudre, Centre, Embouchure Charente) avec les indices larvaires des autres secteurs. A titre d'exemple, la corrélation entre les indices larvaires de l'embouchure de la Charente et le captage en Seudre (Figure 17b) s'expliquerait par l'échange de larves entre ces deux secteurs sous l'effet des contraintes hydrodynamiques. A l'inverse, l'hypothèse d'une relation directe entre les larves émises au Sud du bassin et le captage dans le secteur de Ré – La Rochelle ne peut être vérifiée. Entre ces zones, une relation indirecte entre le stock de larves et le captage peut être privilégiée. La nature de cette relation serait associée à des variables environnementales intégratrices de l'ensemble du littoral charentais et qui traduiraient de la qualité de l'effort de reproduction globale de cette zone côtière. Du côté du Bassin d'Arcachon, le fonctionnement hydrologique se schématise par un flux d'eau selon l'axe Est-Ouest favorisant l'export des larves vers l'extérieur du bassin. Des bancs de géniteurs étant présents dans les deux secteurs, le mélange des cohortes larvaires se fait aisément. Cette situation justifie l'implication d'indicateurs des secteurs Est et Ouest pour expliquer l'intensité du captage dans ces mêmes zones. Néanmoins, malgré la configuration du Bassin d'Arcachon en baie semi-fermée, l'apport extérieur de larves océaniques est à considérer avec une importance particulière, d'autant plus lors des années où le captage est pléthorique mais que les caractéristiques larvaires ne semblent pas favorables (*e.g.* 2014 et 2020 pour l'huître creuse ; Figure 22).

3. Perspectives

Les niveaux de référence de captage définis dans ce document doivent être validés au regard de l'approche utilisée pour justifier du « maintien d'un bon niveau de captage » dans les années futures. La notion de « bon niveau de captage » peut être plus ou moins éloignée selon que l'approche utilisée soit « professionnelle » et « biologique ». Ainsi, il serait préconisé de définir plusieurs « références » en fonction du bassin et de l'espèce considérée, si les deux visions ne sont pas harmonisées (cas des moules en Charente-Maritime). Une fois que les niveaux de référence sont statués, il conviendrait de réanalyser les liens entre les indices larvaires et le captage, en ne considérant plus le nombre de naissains par collecteur mais bien les classes des niveaux de référence (e.g. « Faible », « Modéré », « Fort »). Cette nouvelle procédure ne devrait pas modifier la nature des principaux indicateurs larvaires identifiés, mais plutôt améliorer la robustesse de ces modèles.

Les conclusions de cette étude sont associées à des incertitudes ne permettant pas d'expliquer clairement le fonctionnement du couplage pélagobenthique entre les larves et les recrues des deux espèces considérées. Une des sources principales de variations concerne la localisation des bancs naturels émetteurs de larves, le positionnement des zones d'élevages ostréicoles et mytilicoles étant connus. La connaissance de ces bancs naturels couplée à une description précise de l'hydrodynamisme côtier le long du littoral néo-aquitain et vendéen, permettrait de comprendre le potentiel de dispersion larvaire et les échanges interbassins. En effet, la contribution des apports de larves allochtones est une variable non négligeable pour décrire les fluctuations interannuelles du captage. A l'intérieur des bassins de production, le débit des fleuves devrait être pris en considération, particulièrement ceux de la Charente et de la Seudre en Charente-Maritime et de la Leyre dans le Bassin d'Arcachon. Par ailleurs, le rôle de l'estuaire de la Gironde et de son panache sédimentaire pourrait avoir une place majeure dans la structure des nuages larvaires du Bassin d'Arcachon et du littoral charentais (en plus de la contribution des populations vendéennes ; Bernard 2011). Outre ce contexte hydrodynamique restant à définir, de nombreuses variables biotiques (e.g. ressource trophique) et abiotiques (e.g. température, salinité, pluviométrie) affectent la relation entre les larves et le captage. De nouvelles analyses devront être réalisées pour définir la force de la relation existante entre ces variables environnementales, les indices larvaires et le captage et éventuellement permettre la définition d'indicateurs environnementaux (e.g. indicateur trophique).

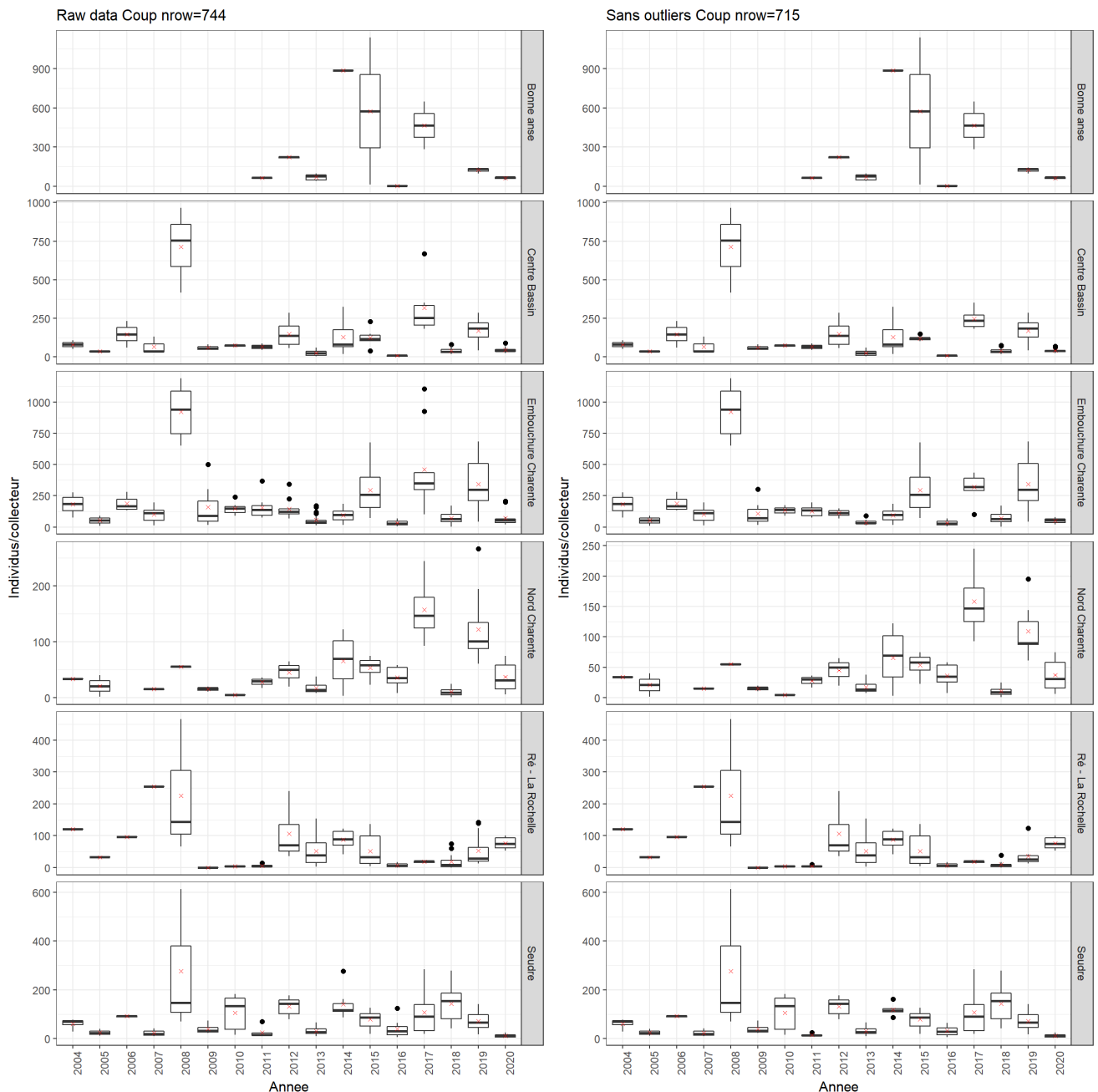
V. Bibliographie

- Barbier P (2016) Déterminisme du recrutement des bivalves sous contraintes environnementales et anthropiques. Thèse Muséum National d'Histoire Naturelle, 272 p
- Bayne, B. L. 1964. Primary and secondary settlement in *Mytilus edulis* (Mollusca). *Journal of Animal Ecology* 33:513–523
- Bernard I (2011) Ecologie de la reproduction de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, sur les côtes françaises : vers une explication de la variabilité du captage. Thèse Université La Rochelle, 193 p.
- Brandt G, Wehrmann A, Wirtz KW (2008) Rapid invasion of *Crassostrea gigas* into the German Wadden Sea dominated by larval supply. *JSR* 59:279–296 <https://doi.org/10.1016/j.seares.2008.03.004>
- Cushing DH (1990) Plankton production and year-class strength in fish populations - An update of the match/mismatch hypothesis. *Advances in Marine Biology* 26:249-293
- Fleury E., Petton S., Benabdelmouna A., Corporeau C., Pouvreau S. et coll. (2021) Observatoire national du cycle de vie de l'huître creuse en France. Rapport annuel 2021. Convention DPMA 2020 – IFREMER
- Forêt M, Barbier P, Trembley R, Meziane T, Neumeier U, Duveillbourg E, Olivier F (2018a) Trophic cues promote secondary migrations of bivalve recruits in a highly dynamic temperate intertidal system. *Ecosphere* 9(12). <https://dx.doi.org/10.1002/ecs2.2510>
- Forêt M, Tremblay R, Neumeier U, Olivier F (2018b) Temporal variation of secondary migrations potential: concept of temporal windows in four commercial bivalve species. *Aquat. Living Resour.* 2018, 31, 19. <https://doi.org/10.1051/alr/2018007>
- Gaitán-Espitia JD, Quintero-Galvis JF, Mesas A & D'Elía G (2016). Mitogenomics of southern hemisphere blue mussels (Bivalvia: Pteriomorpha): Insights into the evolutionary characteristics of the *Mytilus edulis* complex. *Sci Rep* 6, 26853. doi: 10.1038/srep26853
- Gasmi S (2017) Ecologie trophique et reproduction d'une population sauvage d'huître creuse *Crassostrea gigas* dans un écosystème macrotidal, peu profond : cas du Bassin d'Arcachon. Thèse Université Bordeaux, 175 p.
- Lagarde F, Roque d'orbcastel E, Ubertini M, Mortreux S and others (2017) Recruitment of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in a shellfish-exploited Mediterranean lagoon: discovery, driving factors and a favorable environmental window. *Mar Ecol Prog Ser* 578:1-17. <https://doi.org/10.3354/meps12265>
- Lewin R (1986) Supply-Side Ecology : Existing models of population structure and dynamics of ecological communities have tended to ignore the effect of the influx of new members into the communities. *Science*, 234 (4772) : 25–27. <https://doi.org/10.1126/science.234.4772.25>
- Madani I (1989) Dynamique des populations et processus de recrutement chez quatre espèces de Bivalves appartenant aux genres *Abra* et *Cerastoderma*, dans le Bassin d'Arcachon. Thèse Doctorat Univ. Bordeaux 1, 152 p.
- Marshall, D. J., and Keough, M. J. (2003) Variation in the dispersal potential of non-feeding invertebrate larvae: the desperate larva hypothesis and larval size. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 255, 145–153. <https://doi.org/10.3354/meps255145>

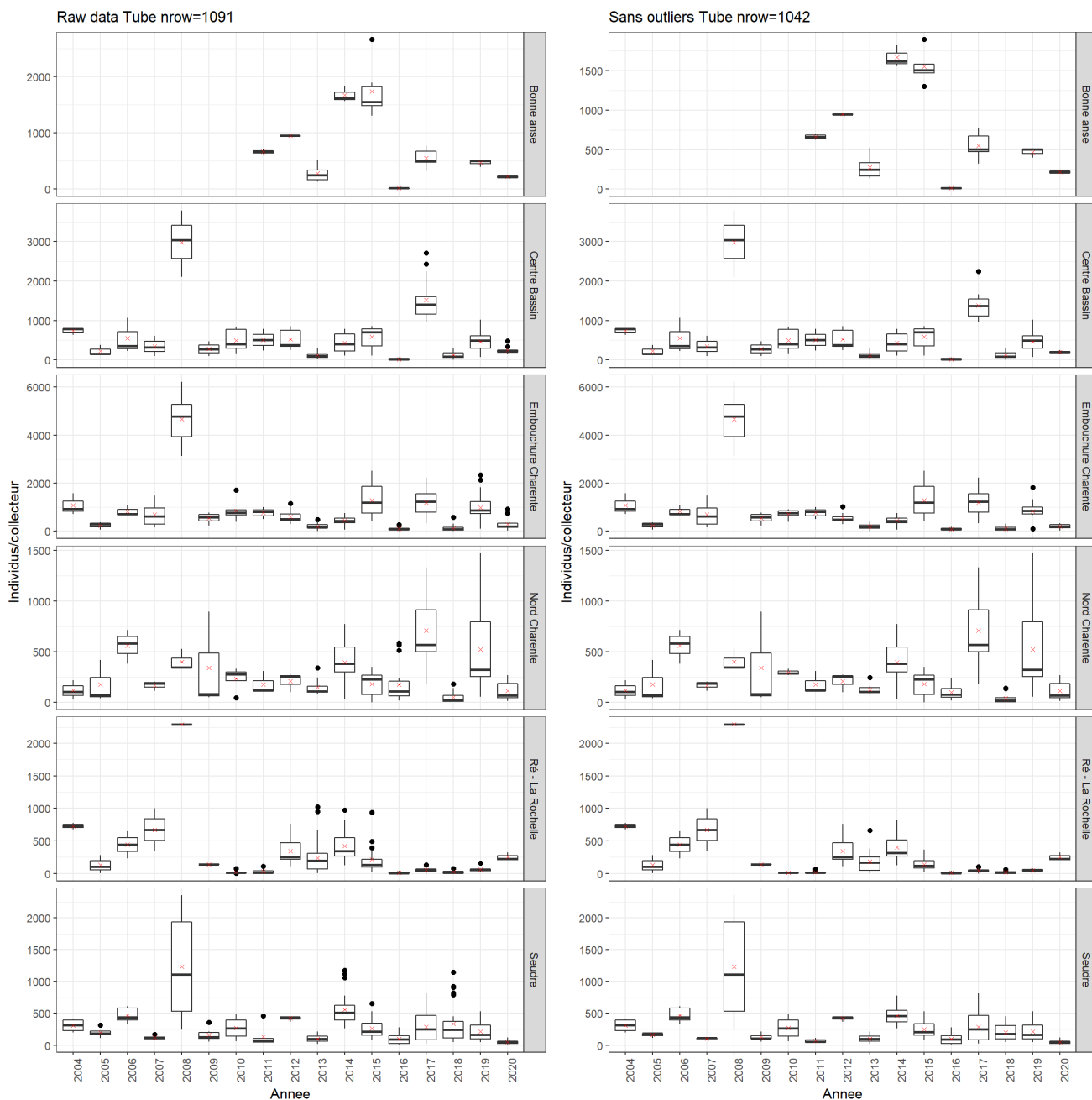
- Martel L, Tremblay R, Toupoint N, Olivier F, Myrand B (2014) Veliger size at metamorphosis and temporal variability in prodissoconch II morphometry in the Blue Mussel (*Mytilus edulis*): Potential impact on recruitment. *Journal of Shellfish Research* 33:443;455
- Morgan SG (2021) Coupling and Decoupling of Reproduction and Larval Recruitment. *Estuaries and Coasts* 45:272-301 <https://doi.org/10.1007/s12237-021-00956-9>
- Pedersen TM, Hansen JLS, Josefson AB, Hansen BW (2008) Mortality through ontogeny of soft-bottom marine invertebrates with planktonic larvae. *Journal of Marine Systems* 73:185;207
- Philippart CJM., van Aken HM, Beukema JJ, Bos, Oscar G, Cadée GC, Dekker R (2003) Climate-related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography*, 6. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.6.2171>
- Plus M, Dumas F, Stanisière JY, Maurer D (2009) Hydrodynamic characterization of the Arcachon Bay, using model-derived descriptors. *Continental Shelf Research*, 29:8 <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.12.016>
- Plus M, Maurer D, Stanisière JY, Dumas F (2006) Caractérisation des composantes hydrodynamiques d'une lagune mésotidale, le Bassin d'Arcachon. PNEC – Chantier Littoral Atlantique : Mode de fonctionnement des systèmes semi-fermés du littoral Atlantique. Thème 1 : Caractérisation des forçages hydrodynamiques. IFREMER, 54 p.
- Pouvreau S, Maurer D, Auby I, Lagarde F, Le Gall P, Cochet H, Bouquet AL, Geay A, Mille D (2021) VELYGER Database: The Oyster Larvae Monitoring French Project. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/41888>
- Sinclair M, Iles TD (1989) Population regulation and speciation in the oceans. *ICES Journal of Marine Science*, 45-2:165-175 <https://doi.org/10.1093/icesjms/45.2.165>
- Sinclair M., Tremblay MJ (1984) Timing of spawning of Atlantic herring (*Clupea harengus*) populations and the match–mismatch theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41:1055–1065.
- South PM, Delorme, NJ, Skelton BM, Floerl O, Jeffs AG (2021) The loss of seed mussels in longline aquaculture. *Rev Aquac.*; 14:440-455. <https://doi.org/10.1111/raq.12608>
- Stanisière JY, Dumas F, Plus M, Maurer D, Robert S (2006) Caractérisation des composantes hydrodynamiques d'un système côtier semi-fermé : Le Bassin de Marennes-Oléron. PNEC – Chantier Littoral Atlantique : Mode de fonctionnement des systèmes semi-fermés du littoral Atlantique. Thème 1 : Caractérisation des forçages hydrodynamiques. IFREMER, 112p.
- Toupoint N, Gilmore Solomon L, Bourque F, Myrand B, Pernet F, Olivier F, Tremblay R (2012a) Match/mismatch between the *Mytilus edulis* larval supply and seston quality: effect on recruitment. *Ecology* 93:1922–1934
- Toupoint N, Mohit V, Linossier I, Bourgougnon N, Myrand B, Olivier F, Lovejoy C, Tremblay R (2012b) Effect of biofilm age on settlement of *Mytilus edulis*. *Biofouling* 28:985;1001
- Underwood AJ, Fairweather PG (1989) Supply-side ecology and benthic marine assemblages. *Trends in Ecology & Evolution* 4(1):16–20 [https://doi:10.1016/0169-5347\(89\)90008-6](https://doi:10.1016/0169-5347(89)90008-6)

VI. Annexes

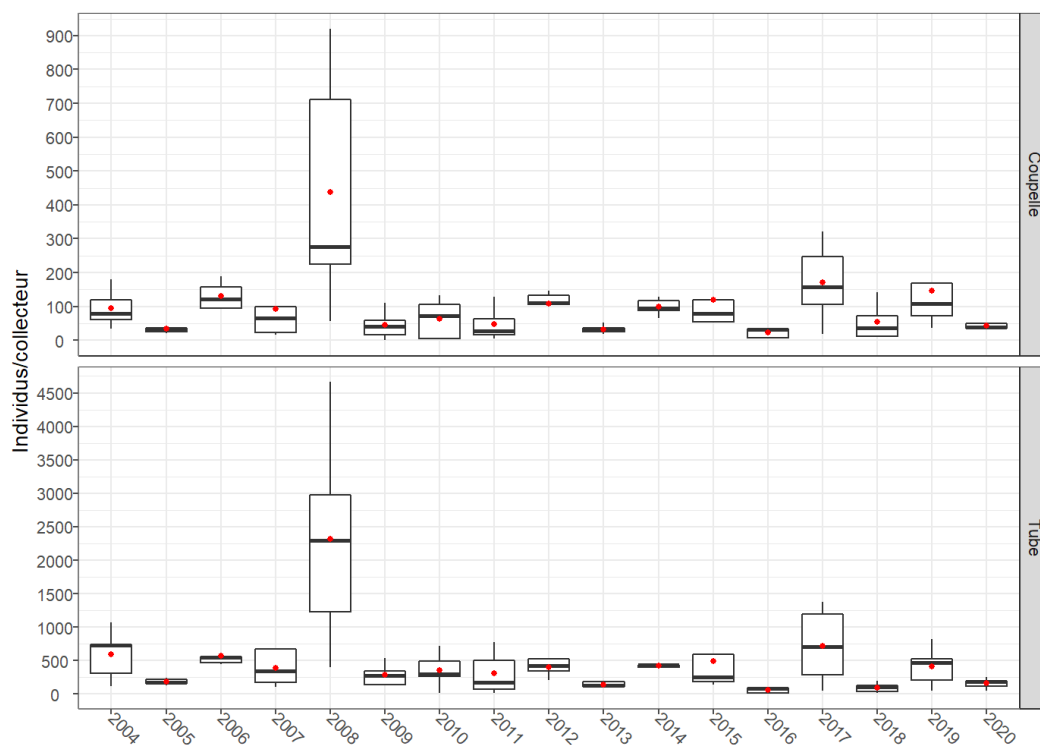
Annexe 1 : Données brutes (gauche) et nettoyées (droite) du captage, sur coupelle, des huîtres creuses en Charente-Maritime, de 2004 à 2020. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles, les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représentent respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles et les points représentent les valeurs aberrantes. nrow = nombre d'observations par jeu de données.



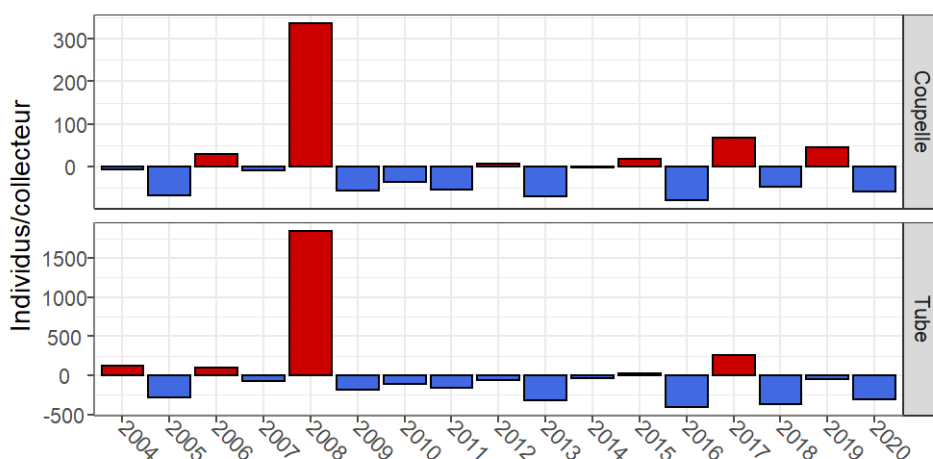
Annexe 2 : Données brutes (gauche) et nettoyées (droite) du captage, sur tube, des huîtres creuses en Charente-Maritime, de 2004 à 2020. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles, les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représentent respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles et les points représentent les valeurs aberrantes. nrow = nombre d'observations par jeu de données.



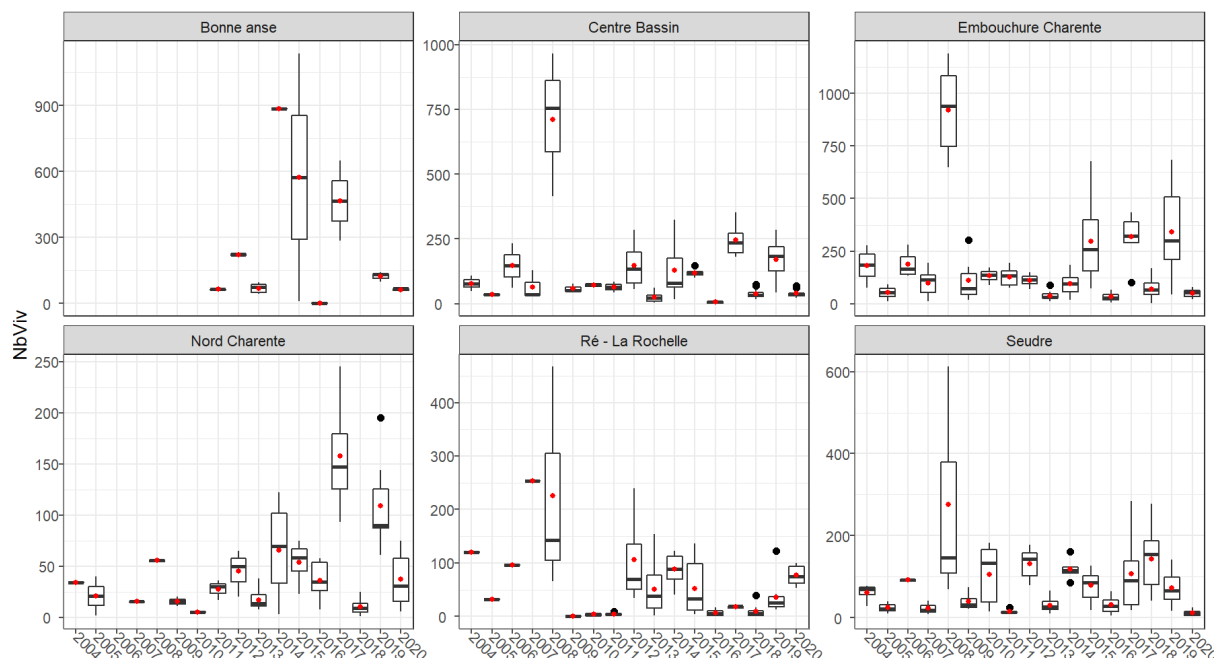
Annexe 3 : Nombre de naissains vivants comptés par type de collecteur dans l'ensemble des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. Les données du secteur de Bonne Anse ne sont pas prises en compte. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représente respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles



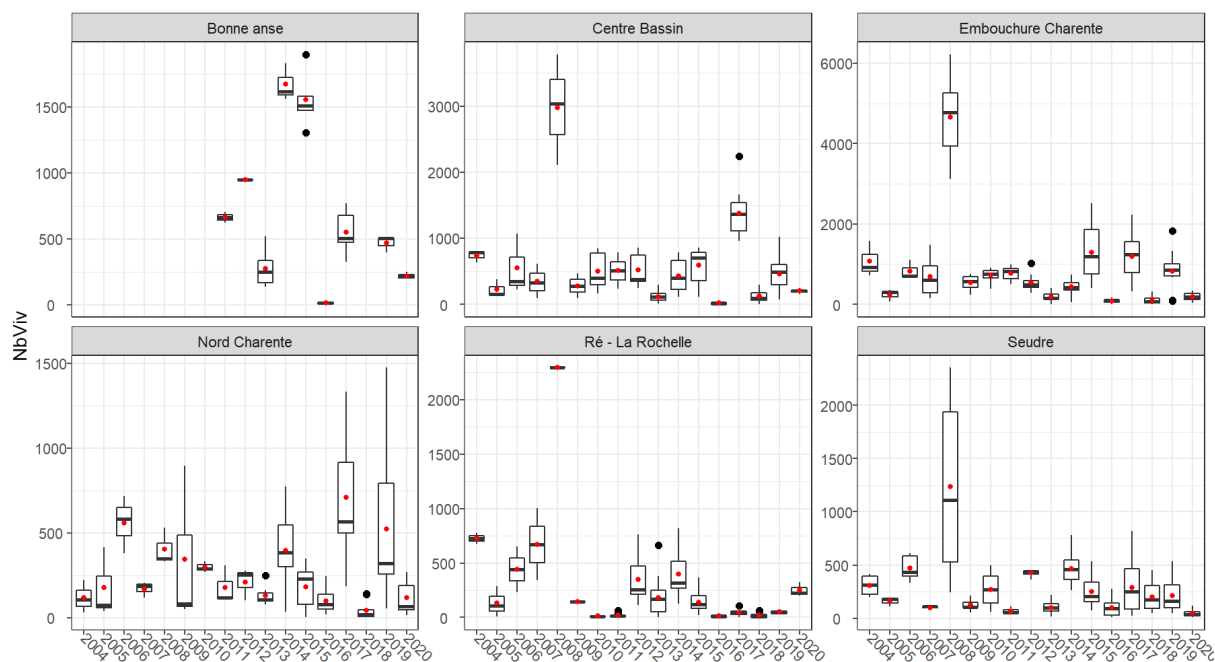
Annexe 4 : Anomalies par rapport à la moyenne du captage moyen par type de collecteur dans l'ensemble des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. Les données du secteur de Bonne Anse ne sont pas prises en compte. Les barres rouges et bleues représentent un captage supérieur et inférieur à la moyenne, respectivement.



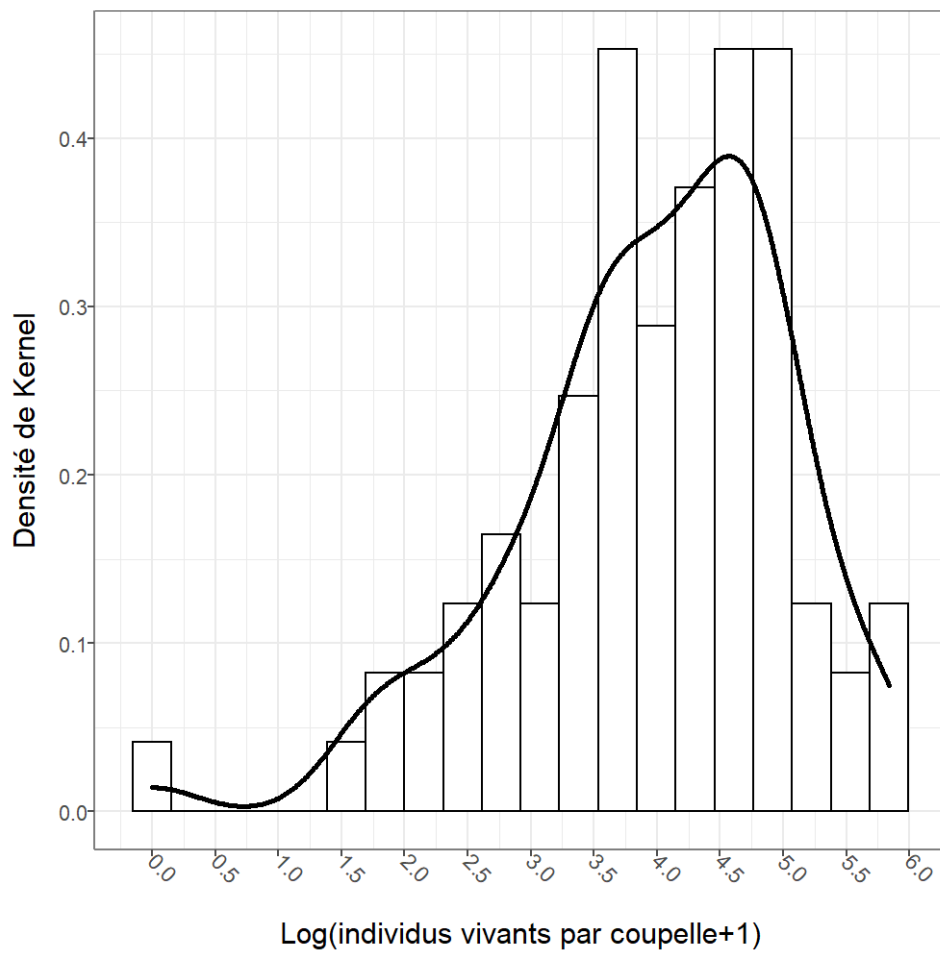
Annexe 5 : Nombre de naissains vivants comptés par coupelle en fonction des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représentent respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.



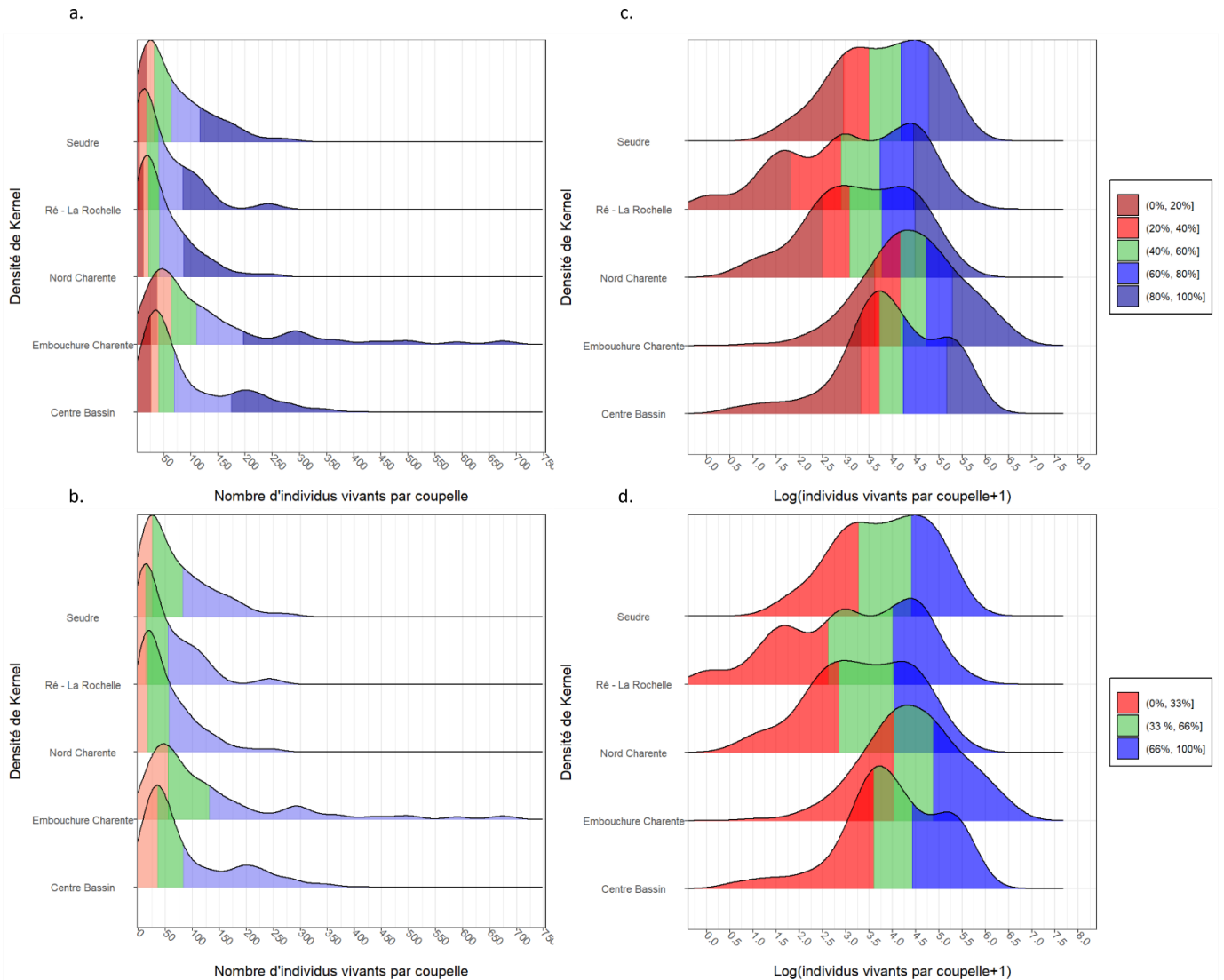
Annexe 6 : Nombre de naissains vivants comptés par tube en fonction des secteurs de la Charente-Maritime entre 2004 et 2020. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles et les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représentent respectivement le 10^{ème} et 90^{ème} quantiles.



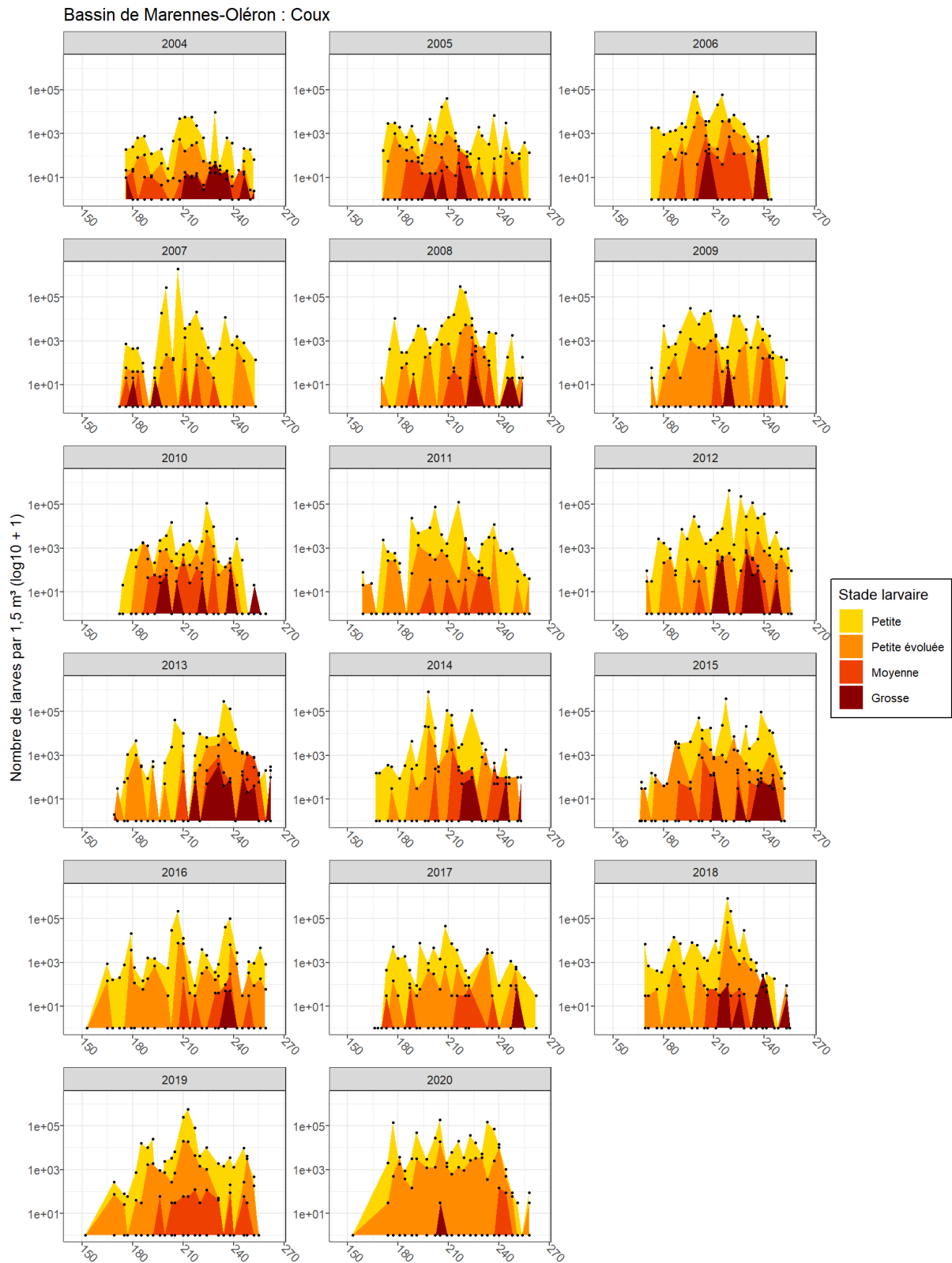
Annexe 7 : Distribution des densités de naissains transformée en $\text{Log}(x+1)$ représentée en histogramme et par la densité de Kernel, pour les huîtres creuses de Charente-Maritime.



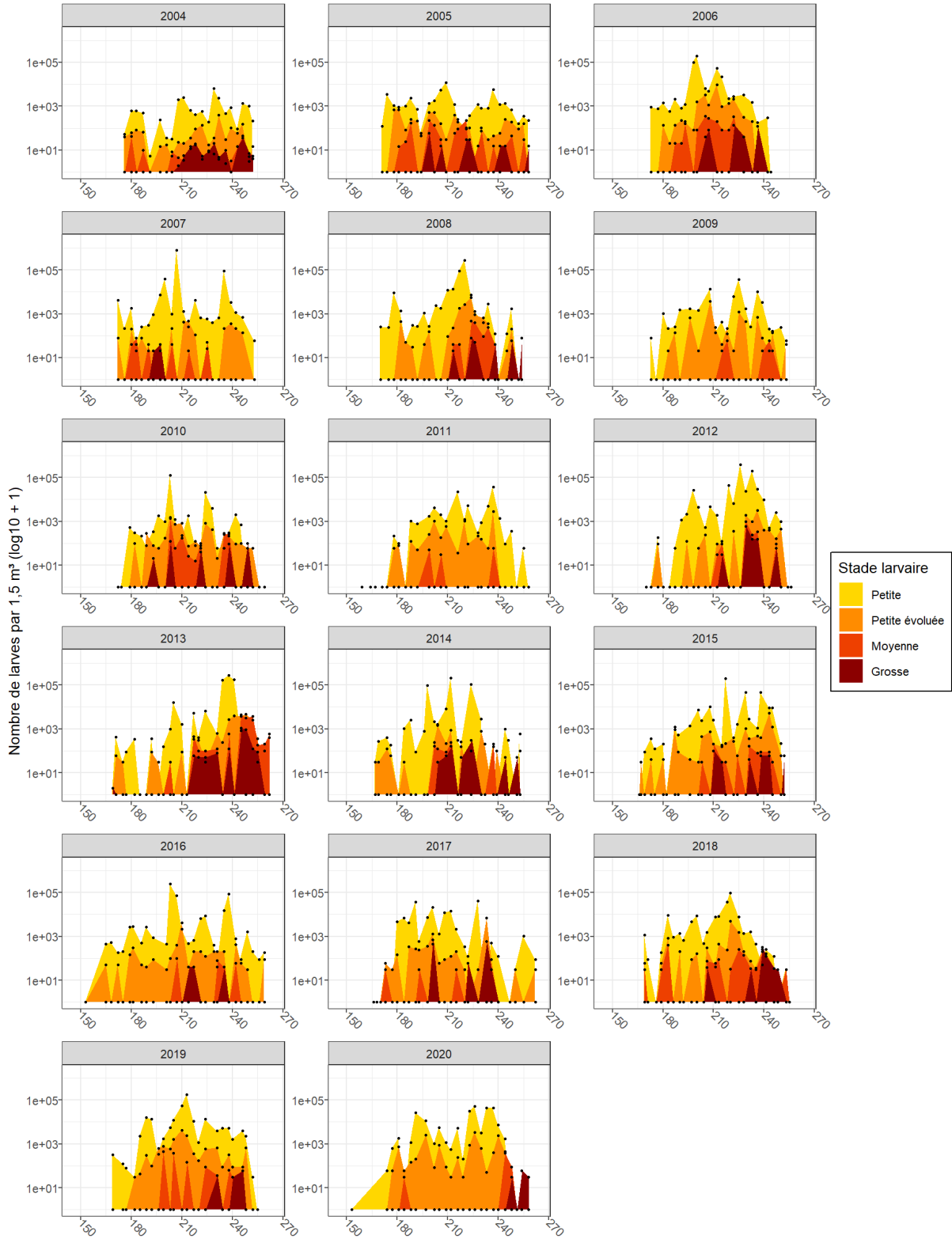
Annexe 8 : Distribution des densités de naissains sur coupelle en Charente-Maritime en fonction des secteurs. Représentation des valeurs brutes (a et b) et transformées en Log(x+1) (c et d). Sont représentés : 5 niveaux de référence (a et c) en utilisant les seuils des quantiles 20 %, 40 %, 60 % et 80 % et 3 niveaux de référence (b et d) en utilisant les quantiles 33 % et 66 %.



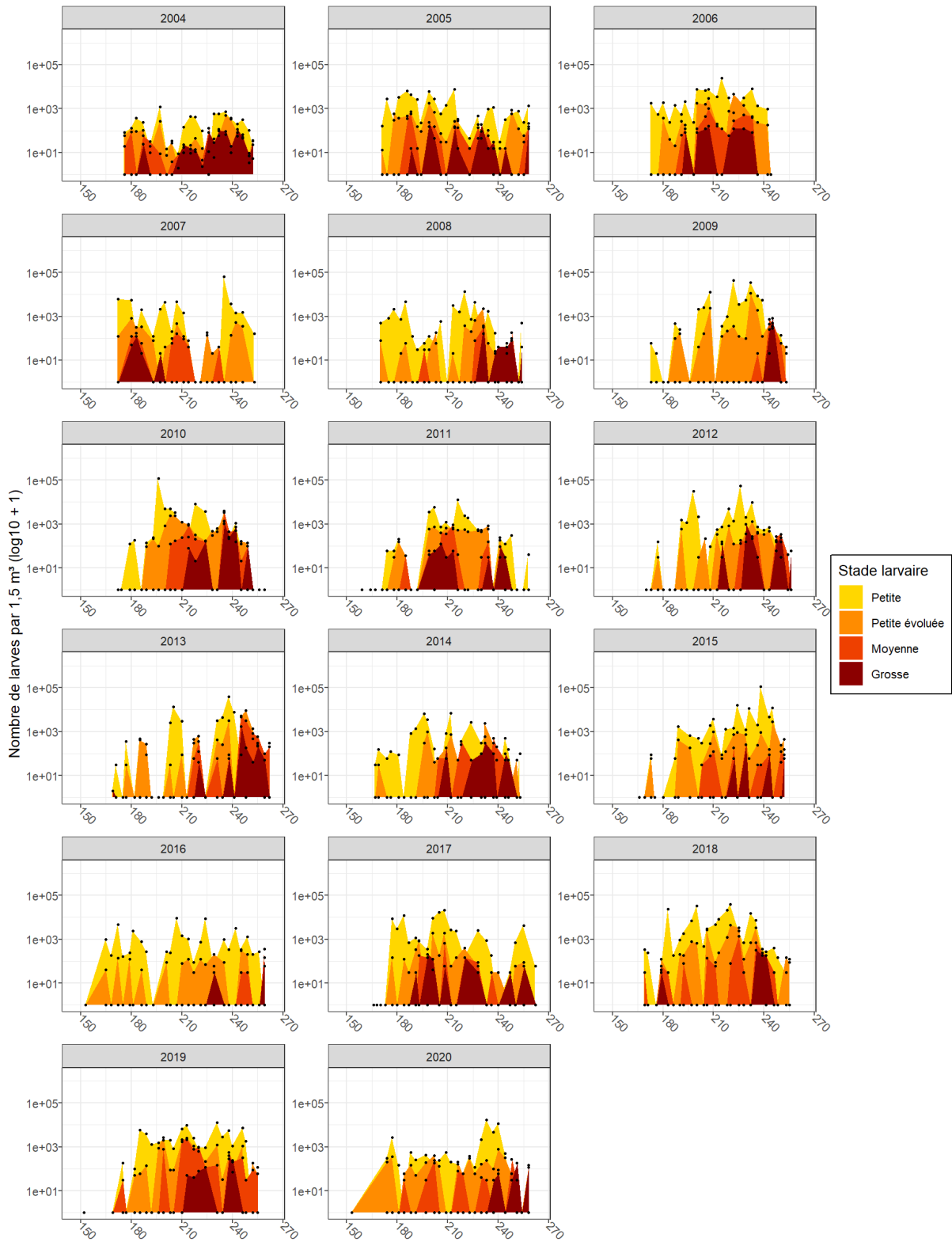
Annexe 9 : Suivi des larves d'huîtres creuses dans le Bassin de Marennes-Oléron, de 2004 à 2020 en fonction des sites de prélèvements. L'axe des abscisses représente le numéro du jour de l'année.



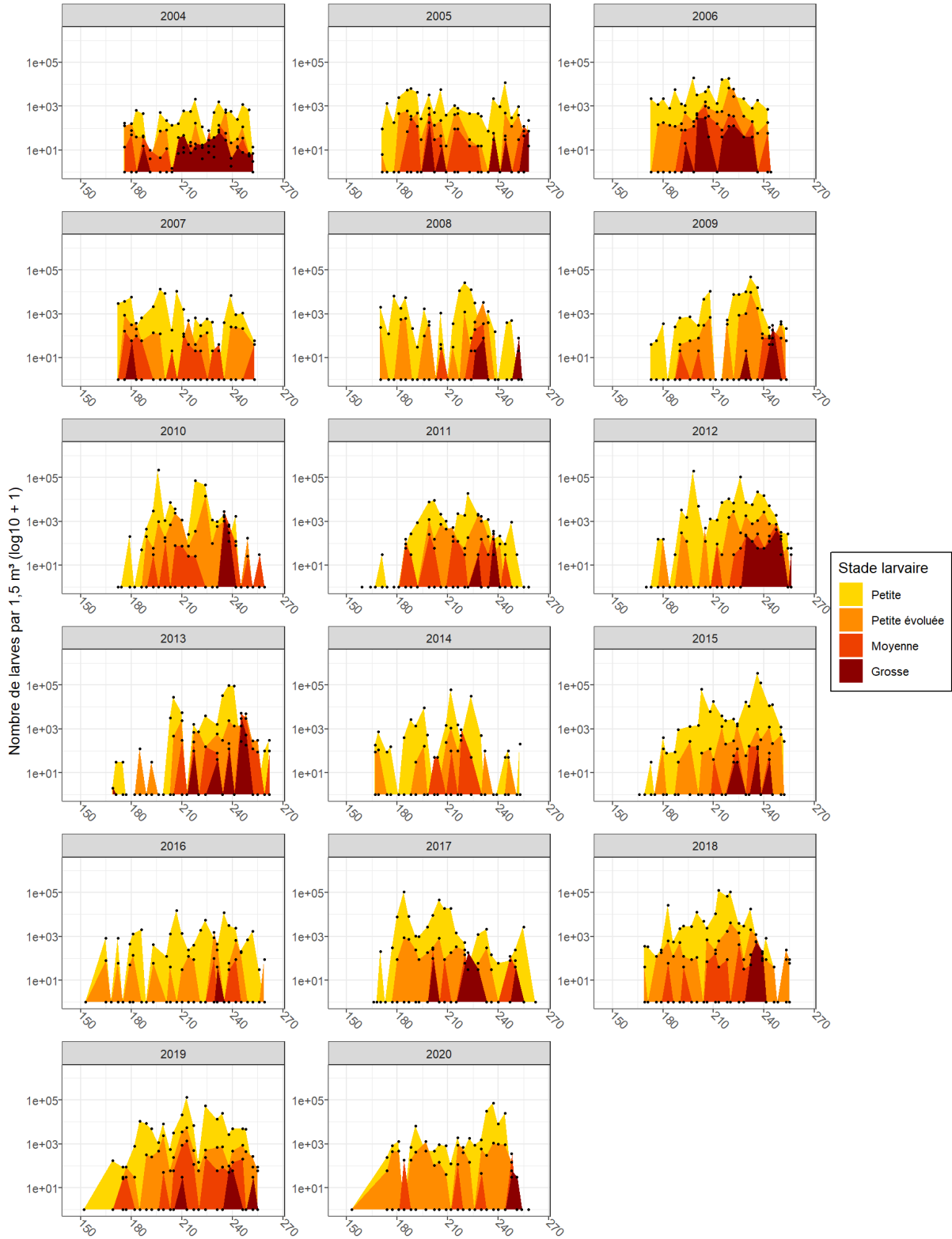
Bassin de Marennes-Oléron : Les Faulx



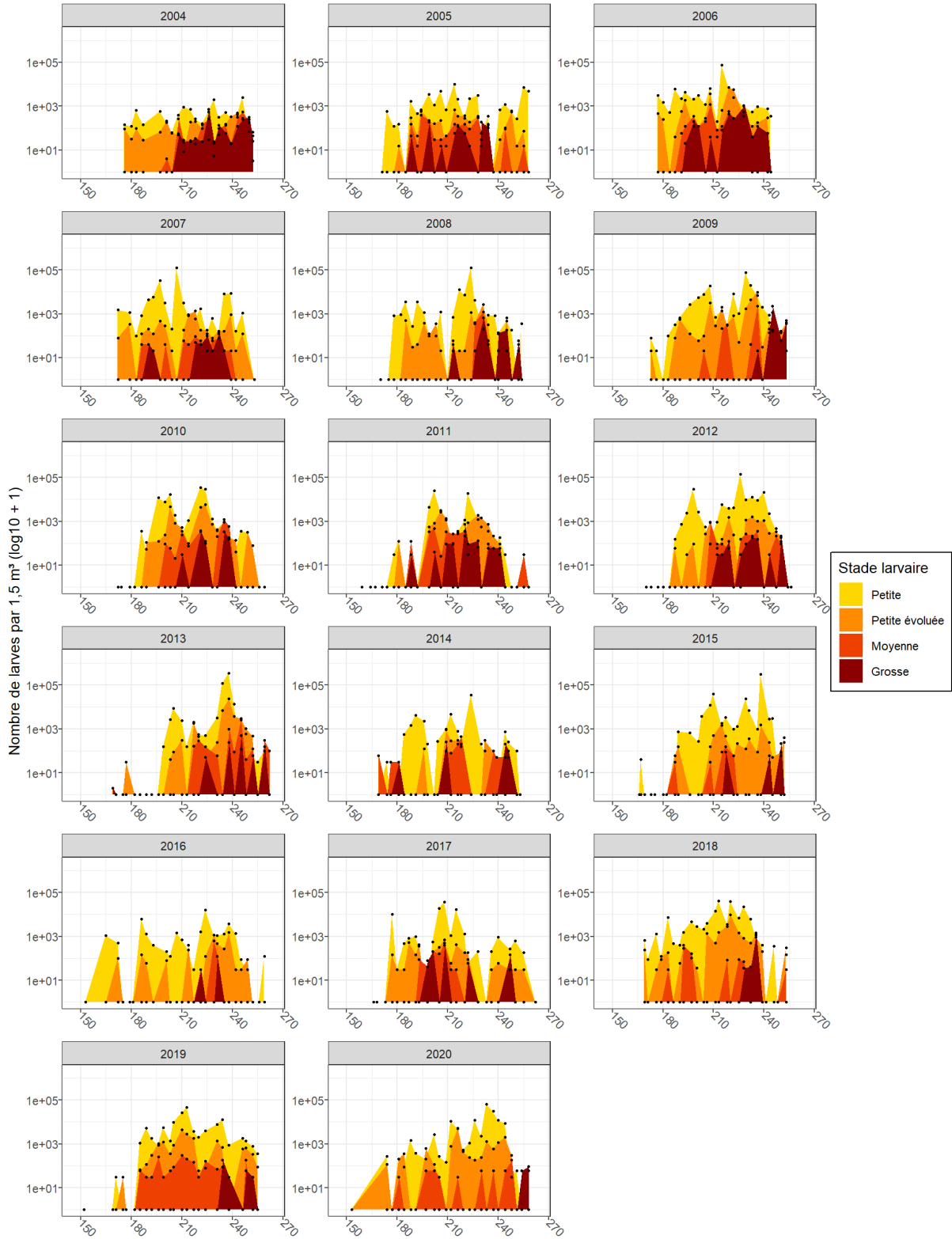
Bassin de Marennes-Oléron : Les Doux



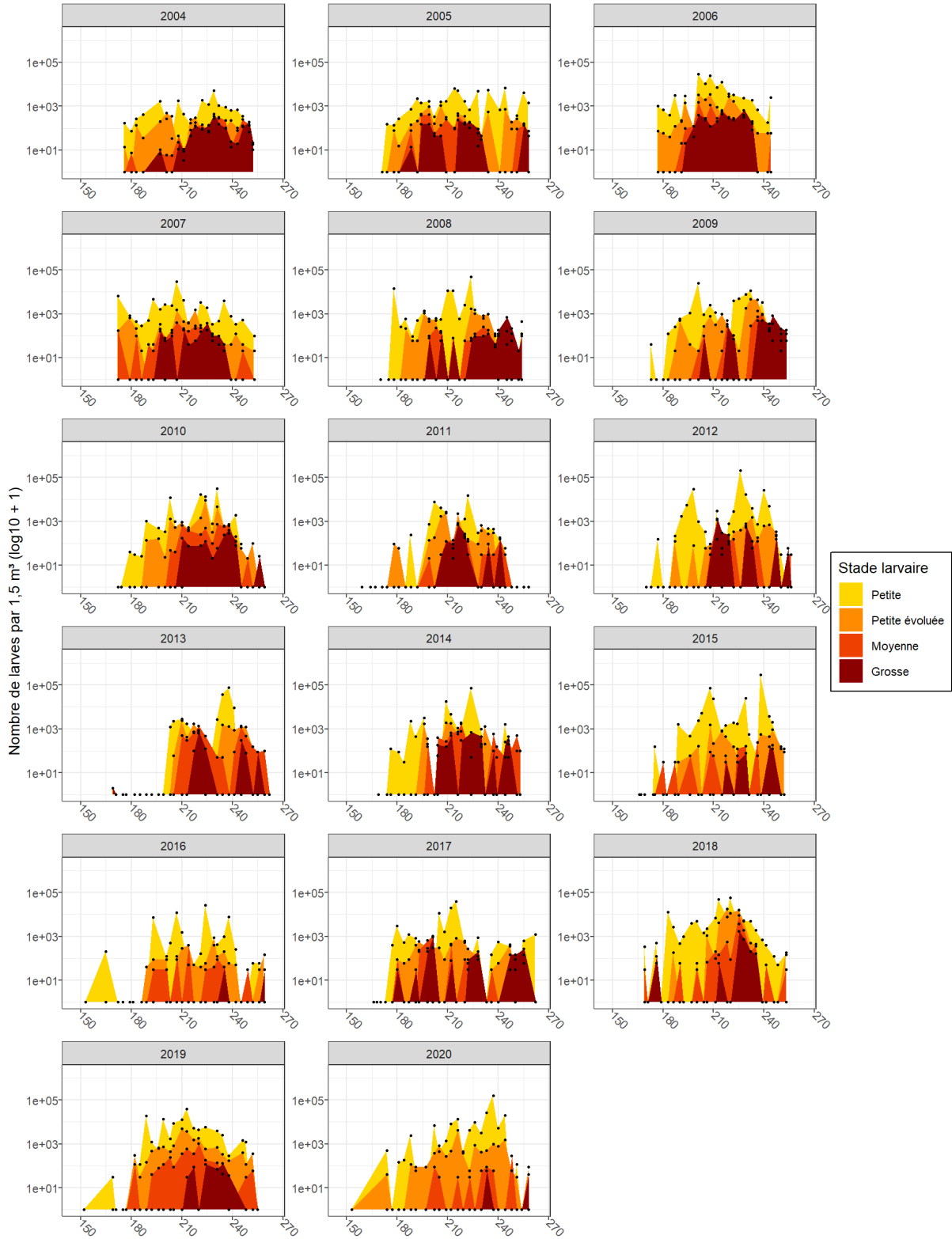
Bassin de Marennes-Oléron : Mérignac



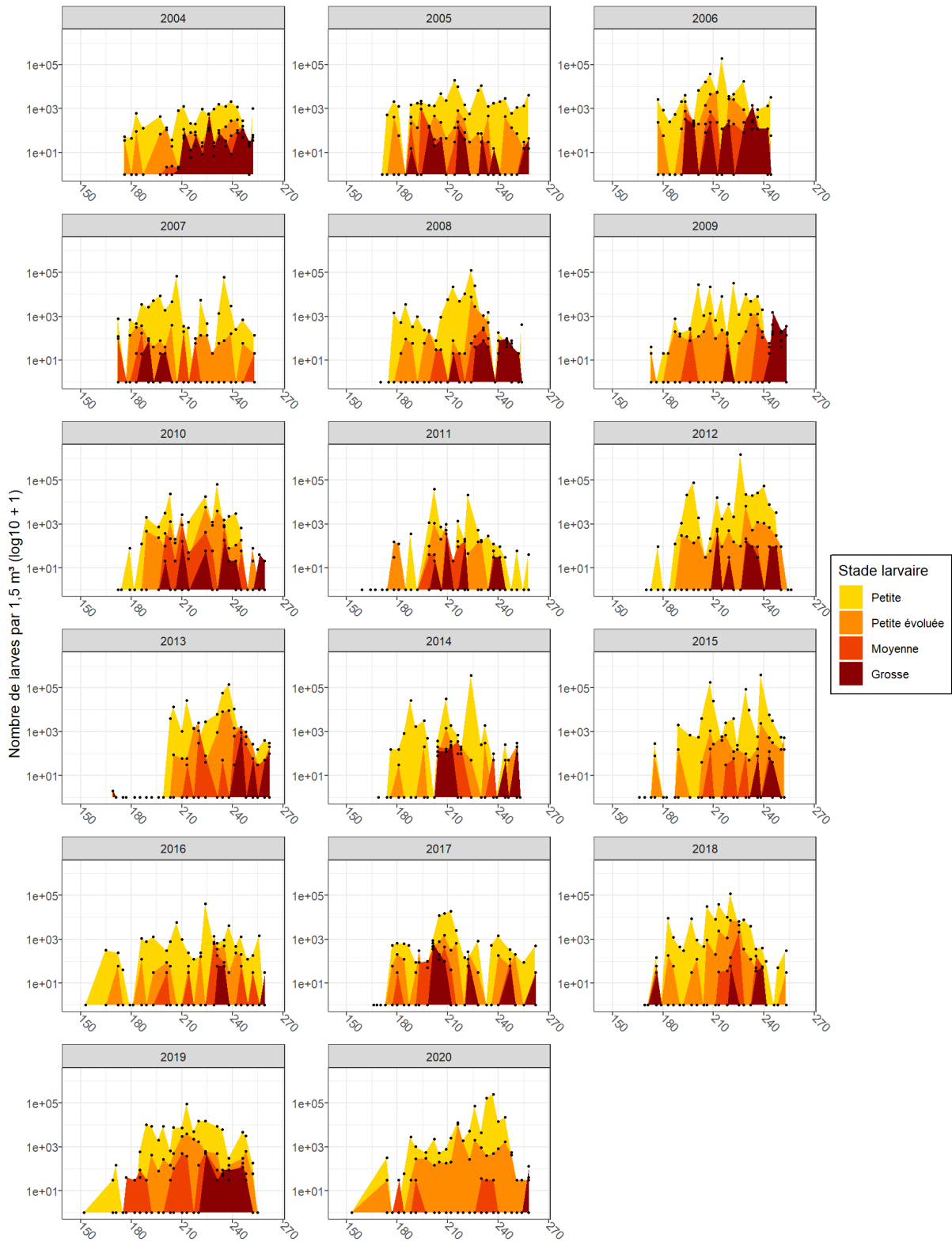
Bassin de Marennes-Oléron : Les Palles



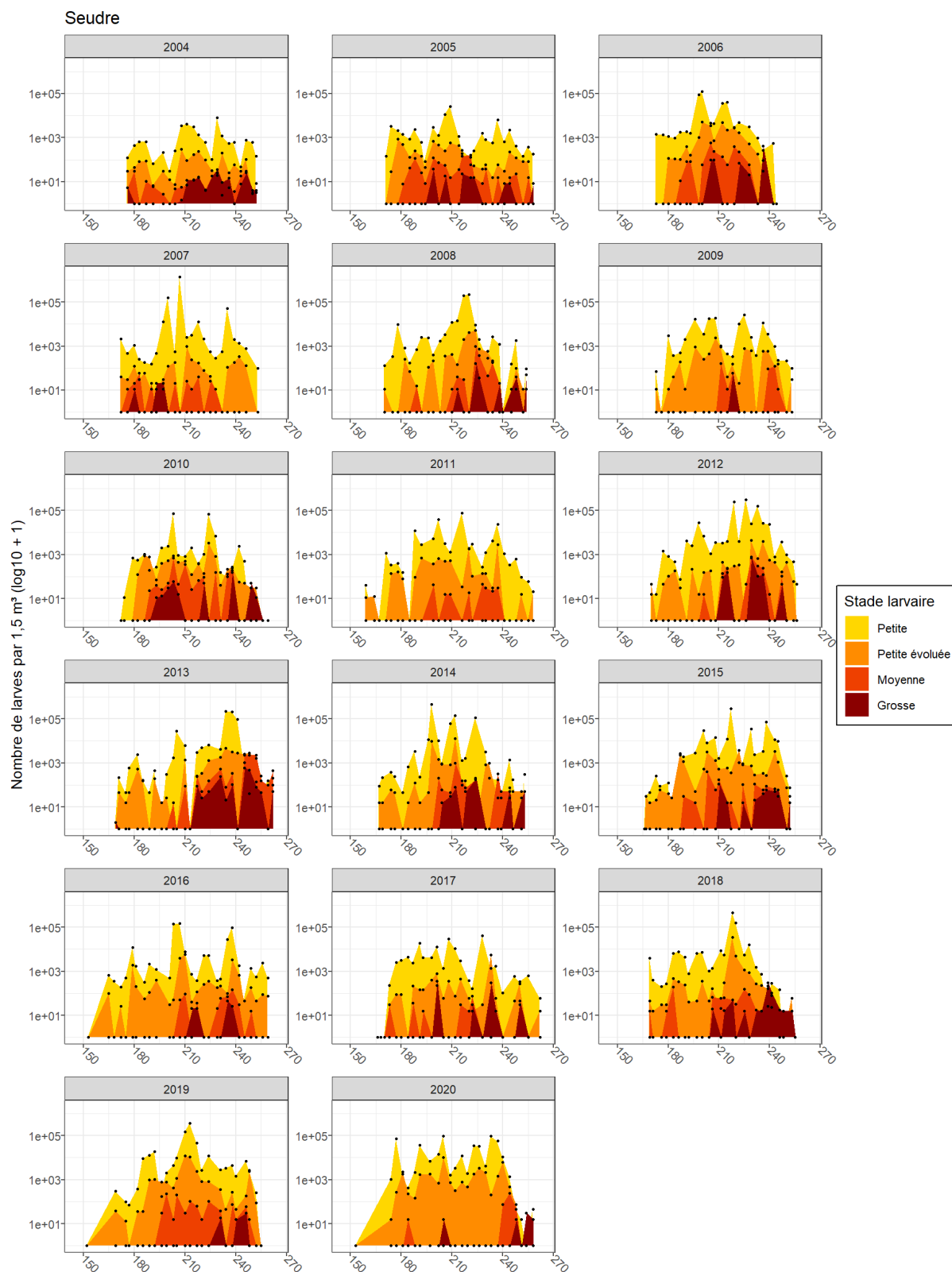
Bassin de Marennes-Oléron : Fouras



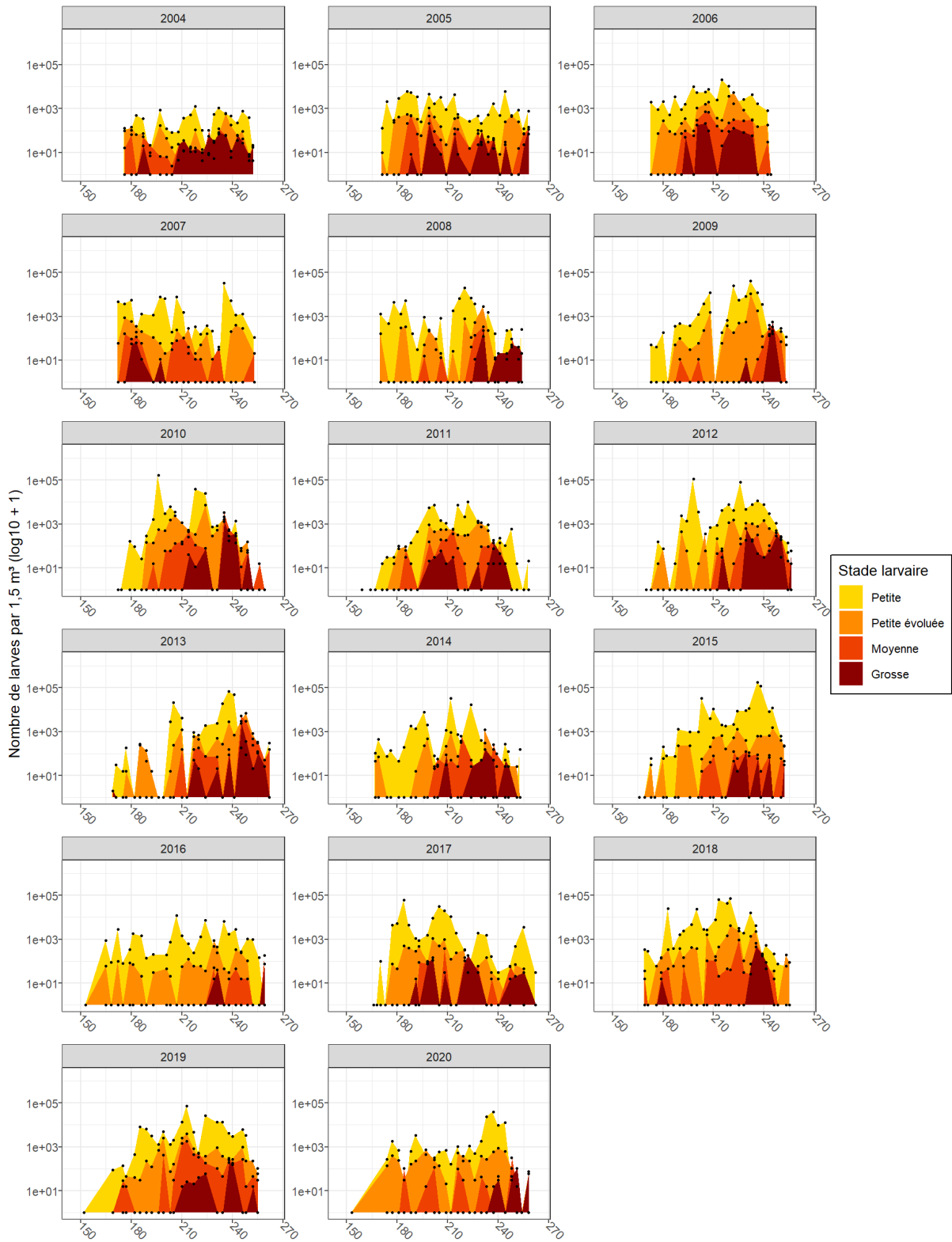
Bassin de Marennes-Oléron : La Moulière



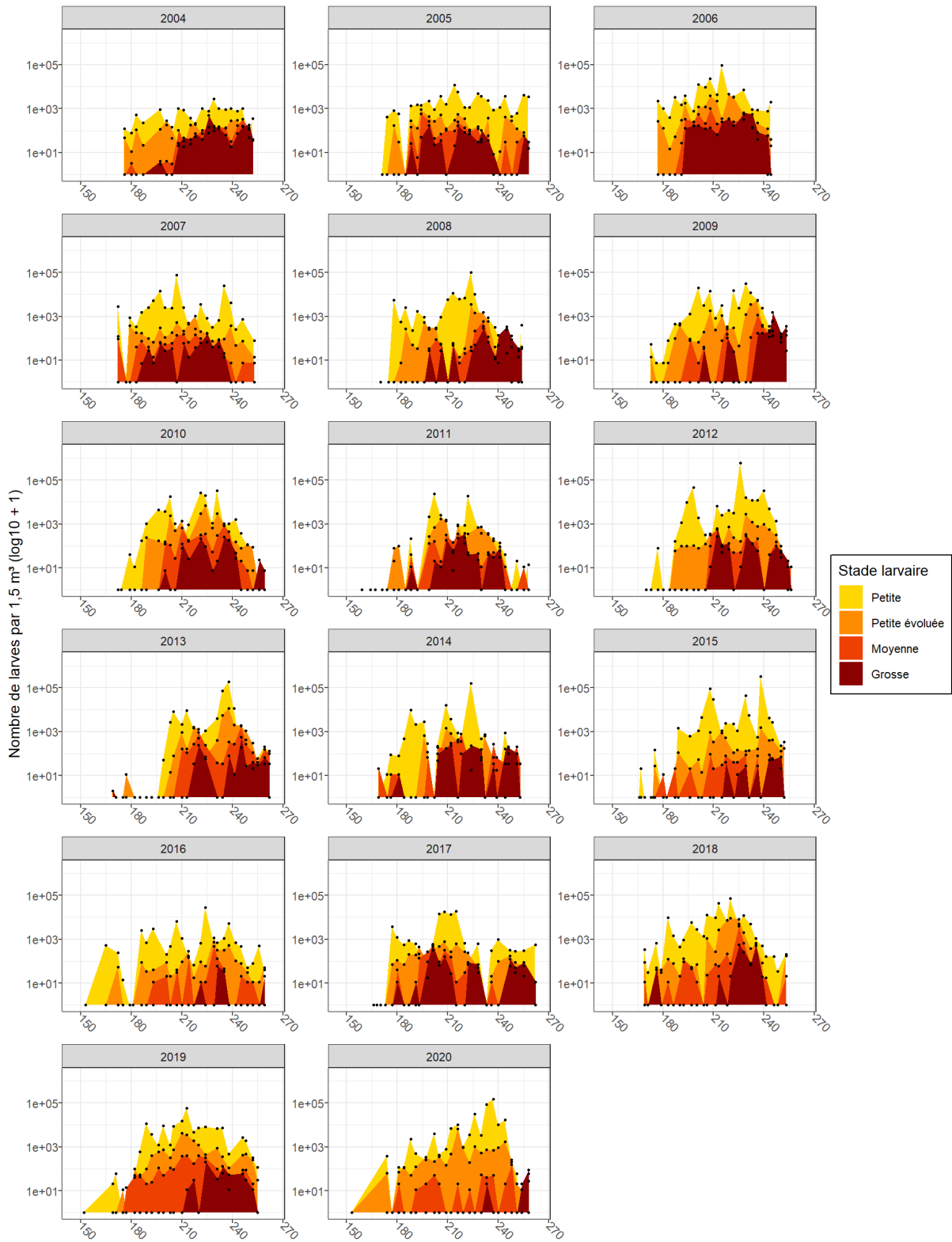
Annexe 10 : Suivi des larves d’huîtres creuses dans le Bassin de Marennes-Oléron, de 2004 à 2020 en fonction des secteurs du bassin. L’axe des abscisses représente le numéro du jour de l’année.



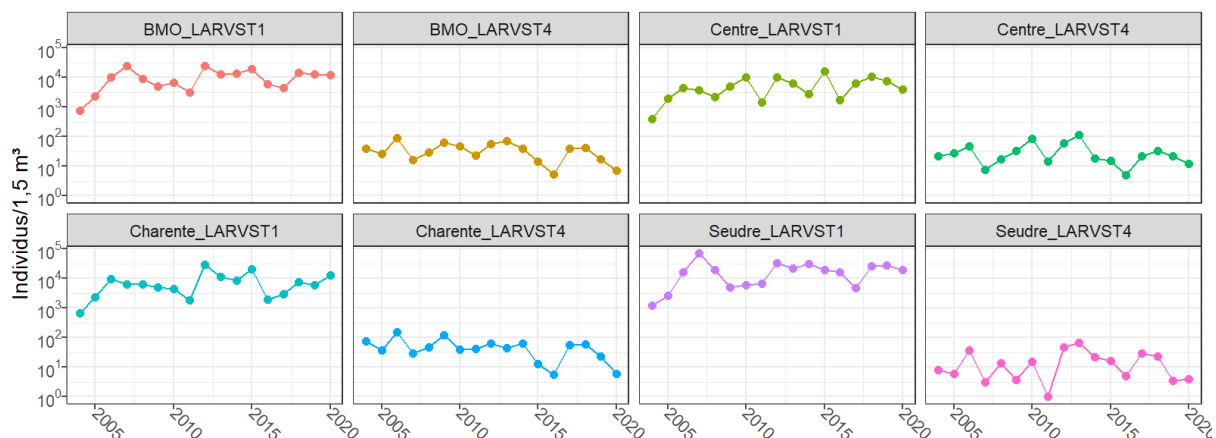
Centre du Bassin



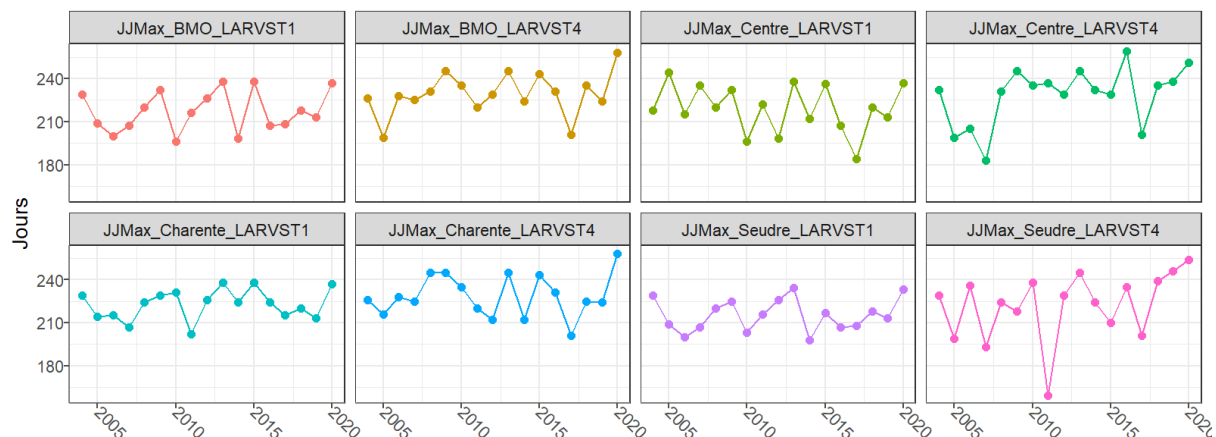
Embouchure Charente



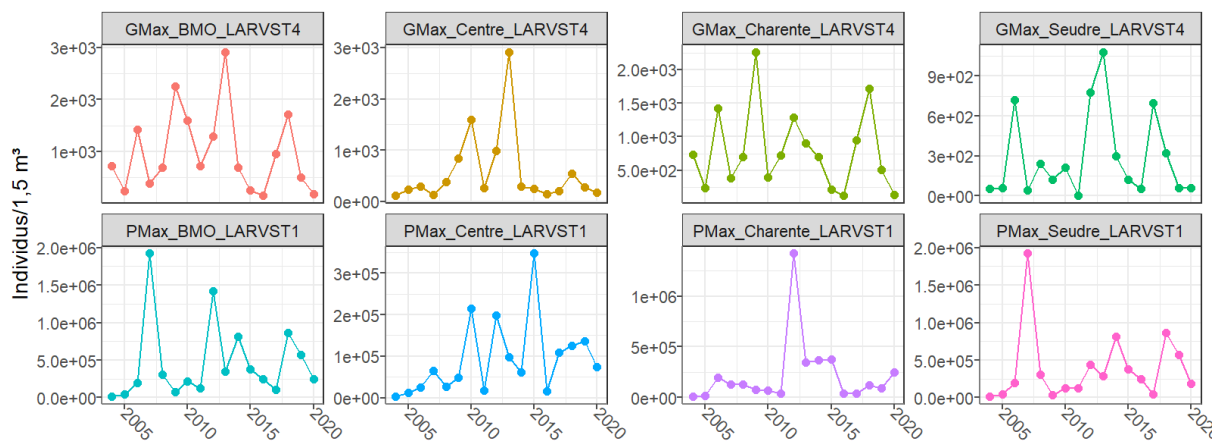
Annexe 11 : Indice 1. Concentration moyenne (ind/1,5 m³) des 4 stades larvaires, en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2004 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). LARVST1 = stade petite ; LARVST2 = stade petite évoluée ; LARVST3 = stade moyenne ; LARVST4 = stade grosse.



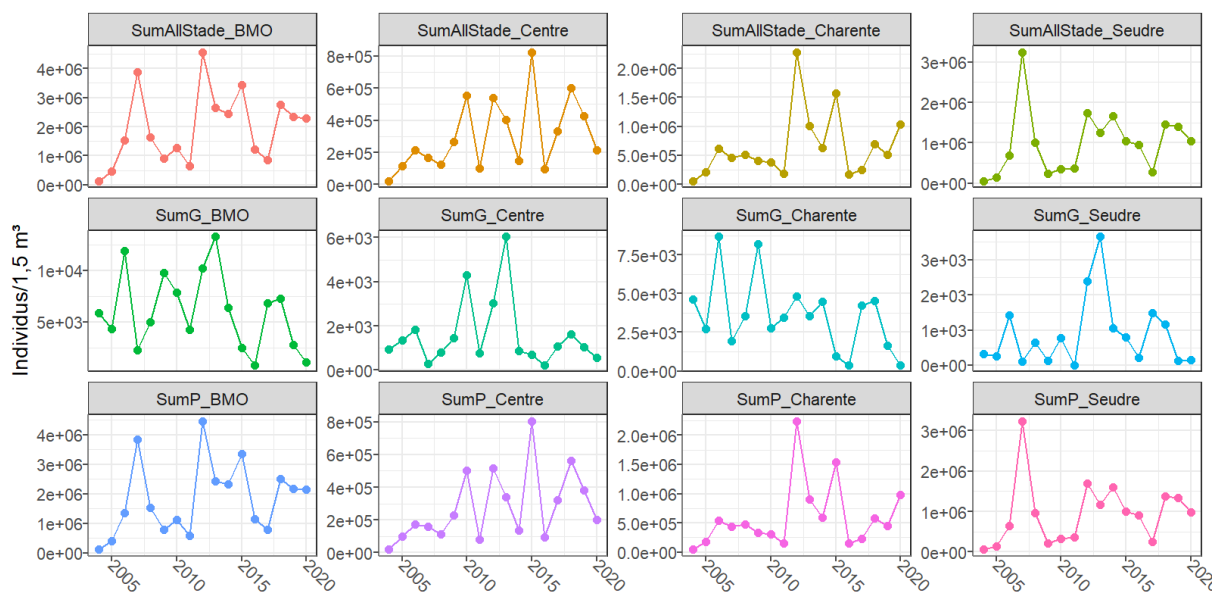
Annexe 12 : Indice 2. Jours d'observation du maximum de concentration de larves au stade petite (LARVST1) et grosse (LARVST4) en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2004 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). A titre d'exemple, le 1^{er} juin correspond au jour 152, le 14 juillet au jour 195 et le 31 août au jour 243.



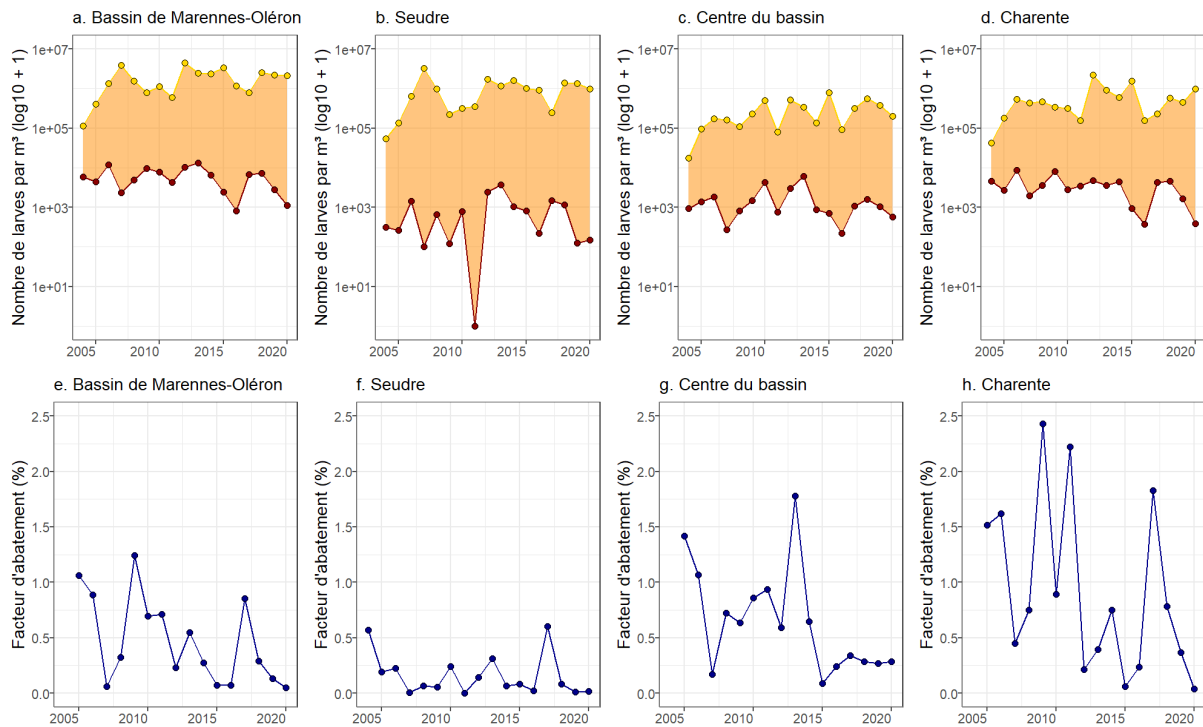
Annexe 13 : Indice 3. Concentrations maximales (ind/1,5 m³) des stades petite (LARVST1) et grosse (LARVST4), en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2004 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO).



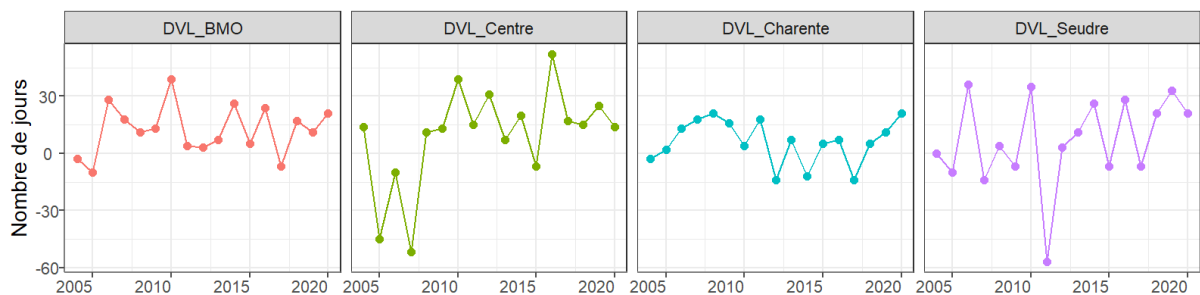
Annexe 14 : Indice 4. Somme des concentrations (ind/1,5 m³) des larves des 4 stades (SumAllStade), du stade grosse (SumG) et du stade petite (SumP), en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2004 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO).



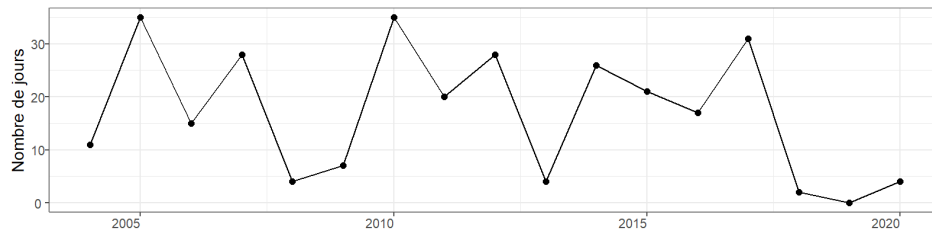
Annexe 15 : Indice 5. Survie larvaire (%) en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2004 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). La survie larvaire est définie par le facteur d'abattement (% ; e.-h.) correspondant au rapport entre la somme des concentrations (ind/1,5 m³) de larves au stade grosse et petite (a.-d.).



Annexe 16 : Indice 6. Durée de vie larvaire (Nombre de jour ; DVL) en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2004 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). La DVL correspond à l'écart de jour entre l'observation des maximums de concentrations des larves aux stades grosses et petites.

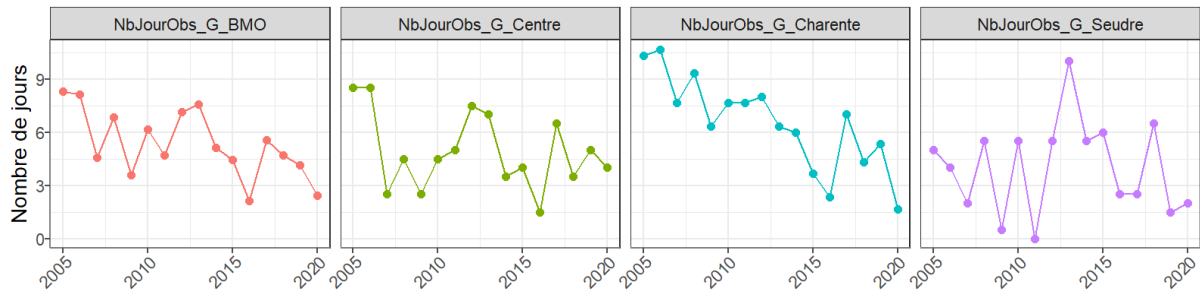


Annexe 17 : Indice 7. Synchronisme des pontes. Etendue (Nombre de jours) entre les dates d'observation des concentrations maximums de larves aux stades petite à l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron de 2004 à 2020.

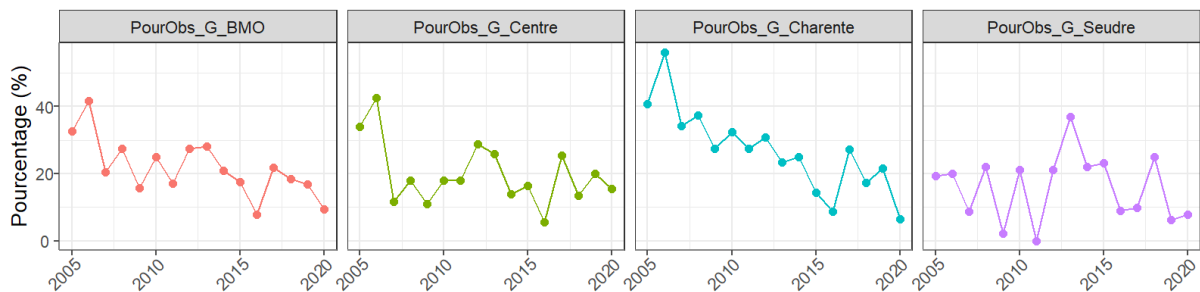


Annexe 18. Indice 8. Durée de présence de larves au stade grosse en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2004 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). a. Nombre de dates d'observation de larves grosse. b. Proportion (%) du nombre de dates d'observation de larves grosse par rapport au nombre total de dates de prélèvement.

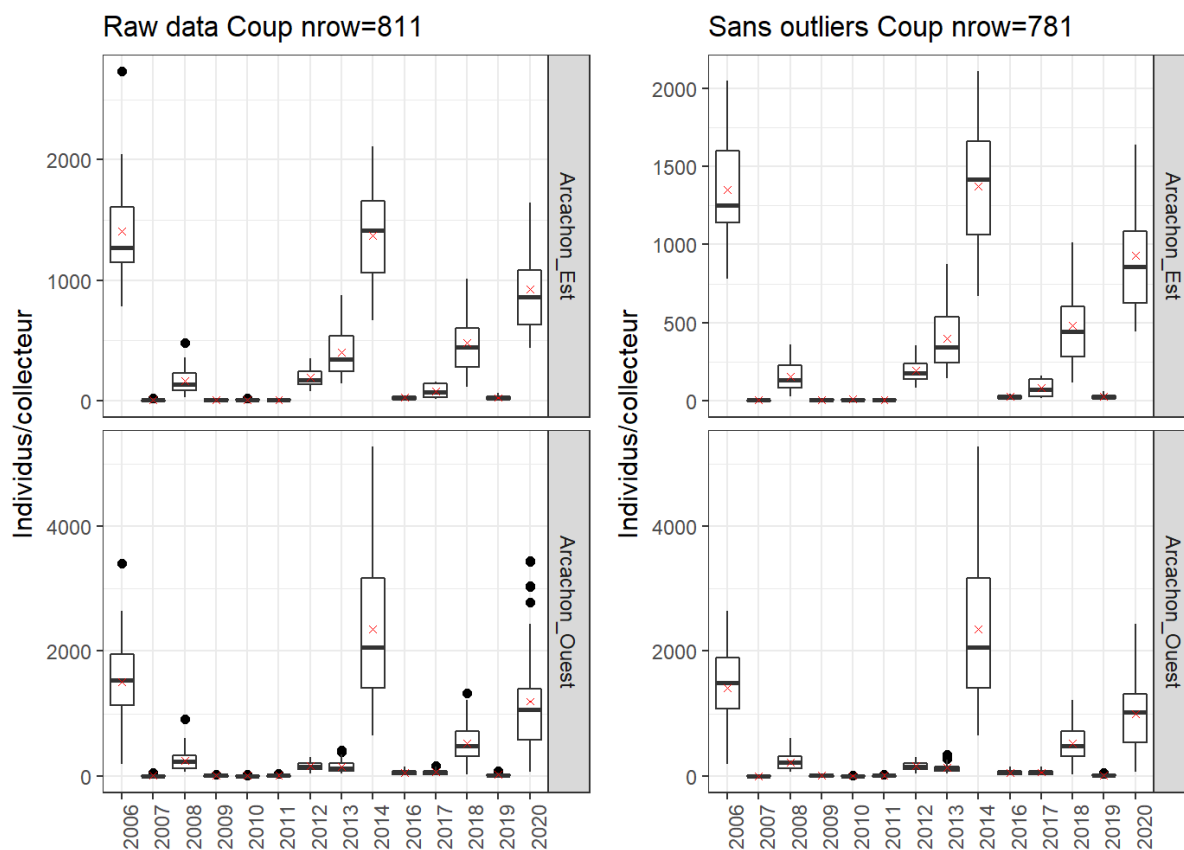
a.



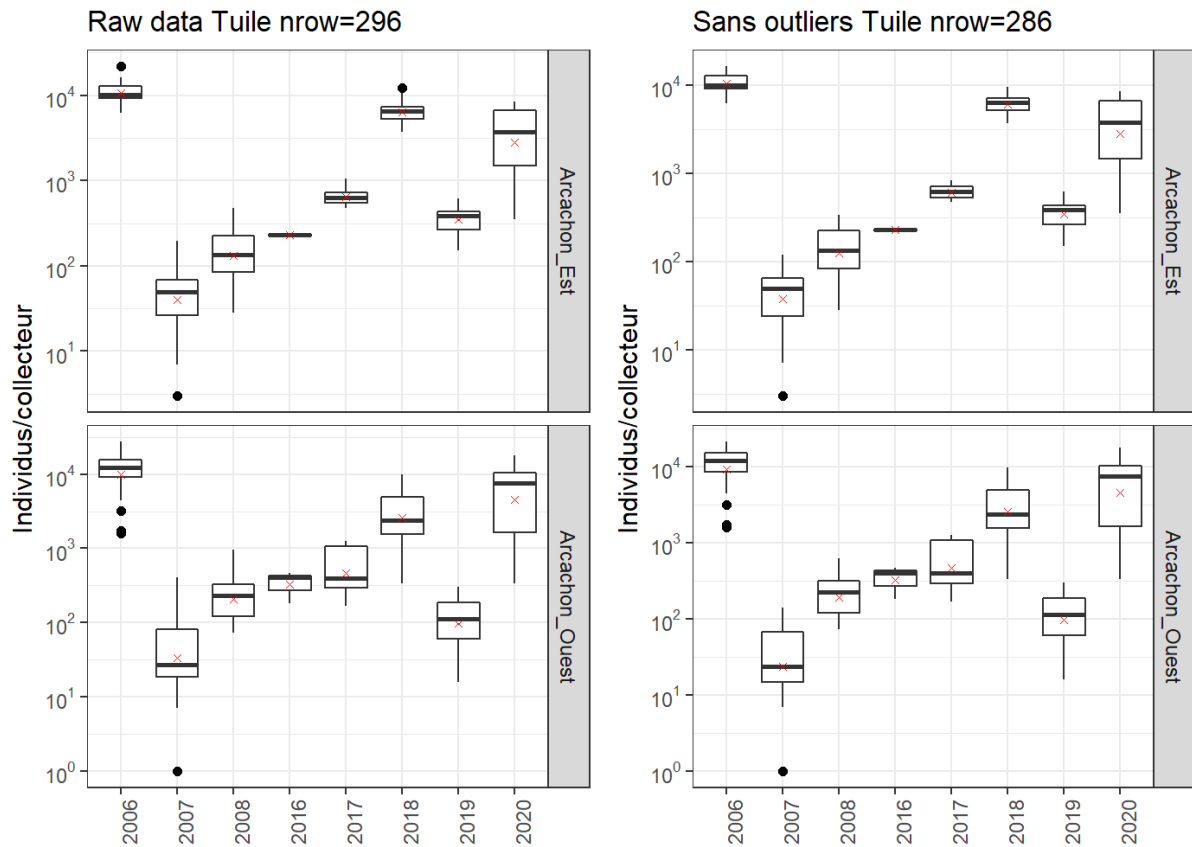
b.



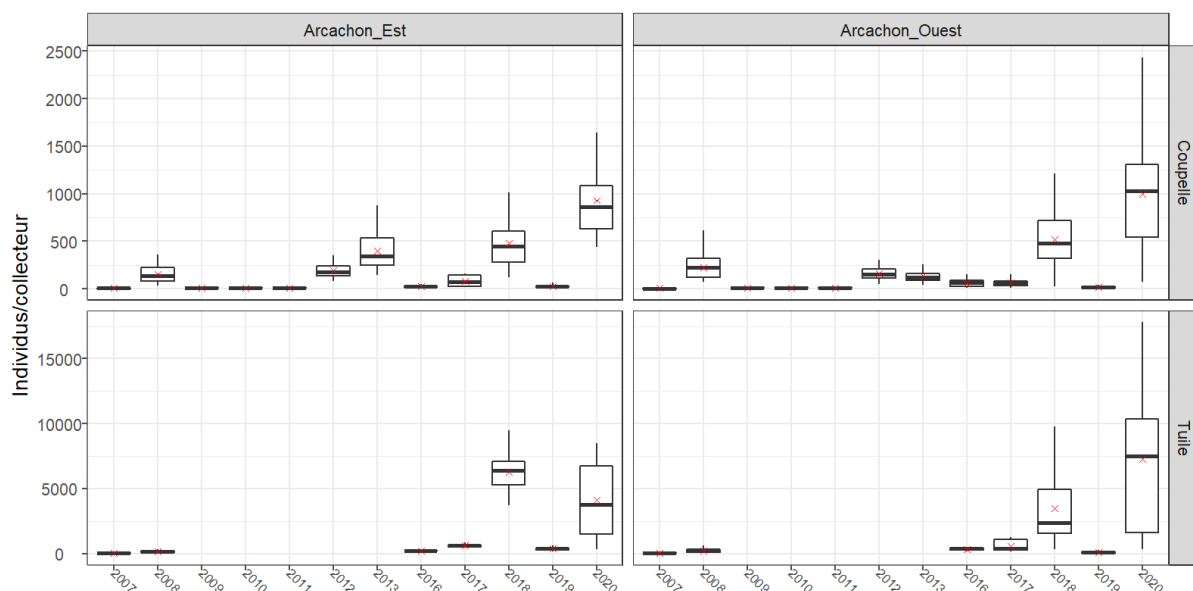
Annexe 19 : Données brutes (gauche) et nettoyées (droite) du captage, sur coupelle, des huîtres creuses dans le bassin d’Arcachon, de 2006 à 2020. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1er et le 3ème quartiles, les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représentent respectivement le 10ème et 90ème quantiles et les points représentent les valeurs aberrantes. nrow = nombre d’observations par jeu de données



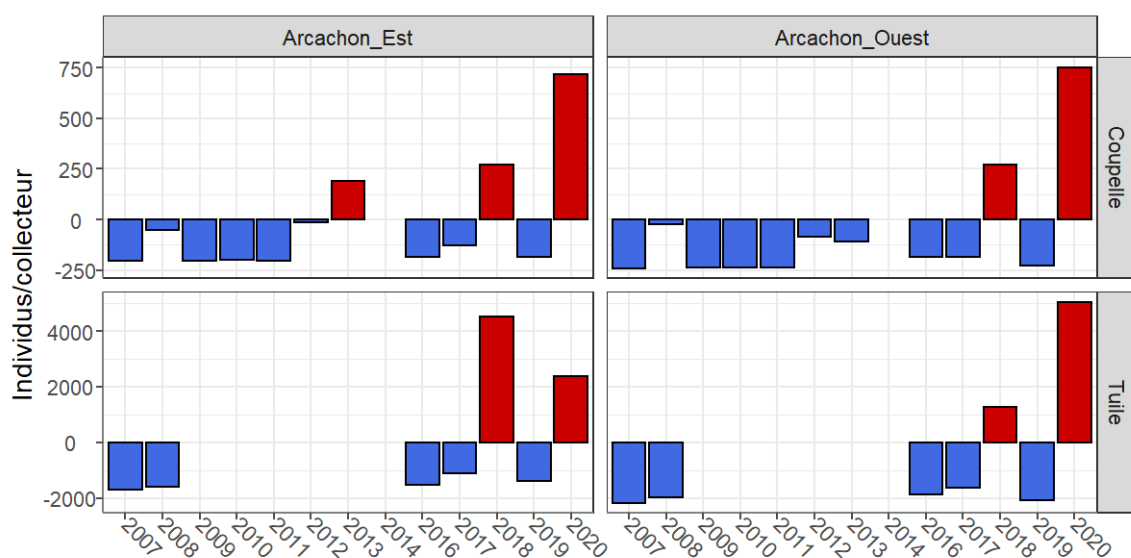
Annexe 20 : Données brutes (gauche) et nettoyées (droite) du captage, sur tuile chaulée, des huîtres creuses dans le bassin d’Arcachon, de 2006 à 2020. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1er et le 3ème quartiles, les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représentent respectivement le 10ème et 90ème quantiles et les points représentent les valeurs aberrantes. nrow = nombre d’observations par jeu de données. L’axe des ordonnées est sous forme logarithmique.



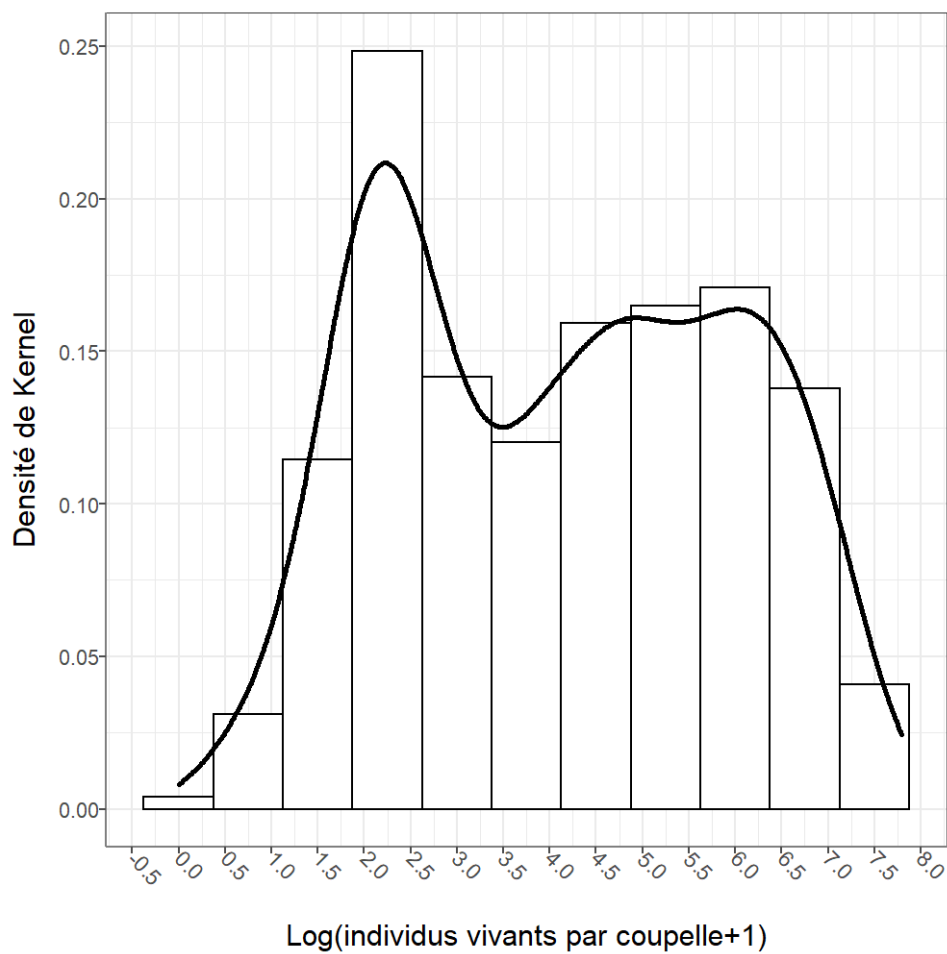
Annexe 21 : Nombre de naissains vivants comptés par type de collecteur dans les deux secteurs du bassin d’Arcachon entre 2007 et 2020. Les données des années 2006 et 2015 ne sont pas prises en compte. La ligne horizontale noire représente la médiane, la croix rouge représente la moyenne, les limites inférieures et supérieures du rectangle représentent respectivement le 1er et le 3ème quartiles et les limites inférieures et supérieures de la ligne verticale représentent respectivement le 10ème et 90ème quantiles.



Annexe 22 : Anomalies par rapport à la moyenne du captage moyen par type de collecteur dans le bassin d’Arcachon entre 2007 et 2020. Les données des années 2006, 2014 et 2015 ne sont pas prises en compte. Les barres rouges et bleues représentent un captage supérieur et inférieur à la moyenne, respectivement.



Annexe 23 : Distribution des densités de naissains transformée en $\text{Log}(x+1)$ représentée en histogramme et par la densité de Kernel, pour les huîtres creuses du Bassin d'Arcachon.



Annexe 24 : Seuils et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane du nombre de naissains vivants comptés par coupelle dans le Bassin d’Arcachon. Plusieurs niveaux d’appréciation sont proposés en fonction du nombre de seuils pris en compte. Les données des années 2006, 2014 et 2020 ne sont pas prises en compte. IC99 et IC95 = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure

| Valeur seuil | Nb. ind. vivant par coupelle | 2 niveaux | 3 niveaux | 3 niveaux |
|----------------------------|------------------------------|-----------|--------------|--------------|
| IC ₉₉ Lim. inf. | 23 | | | < 23 |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 48 | < 118 | < 48 | |
| Moyenne | 118 | | 48 < x < 188 | 23 < x < 214 |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 188 | > 118 | > 188 | |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 214 | | | > 214 |

| Valeur seuil | Nb ind vivant par coupelle | 2 niveaux | 3 niveaux | 5 niveaux | 3 niveaux |
|----------------|----------------------------|-----------|--------------|--------------|-------------|
| Quantile 10 % | 6 | | | < 7 | < 6 |
| Quantile 20 % | 7 | | < 10 | | |
| Quantile 33 % | 10 | < 43 | | 7 < x < 21 | |
| Quantile 40 % | 21 | | | 21 < x < 74 | 6 < x < 382 |
| Médiane | 43 | | 10 < x < 138 | 74 < x < 188 | |
| Quantile 60 % | 74 | > 43 | | > 188 | |
| Quantile 66 % | 138 | | > 138 | | |
| Quantile 80 % | 188 | | | | |
| Quantile 90 % | 382 | | | | > 382 |

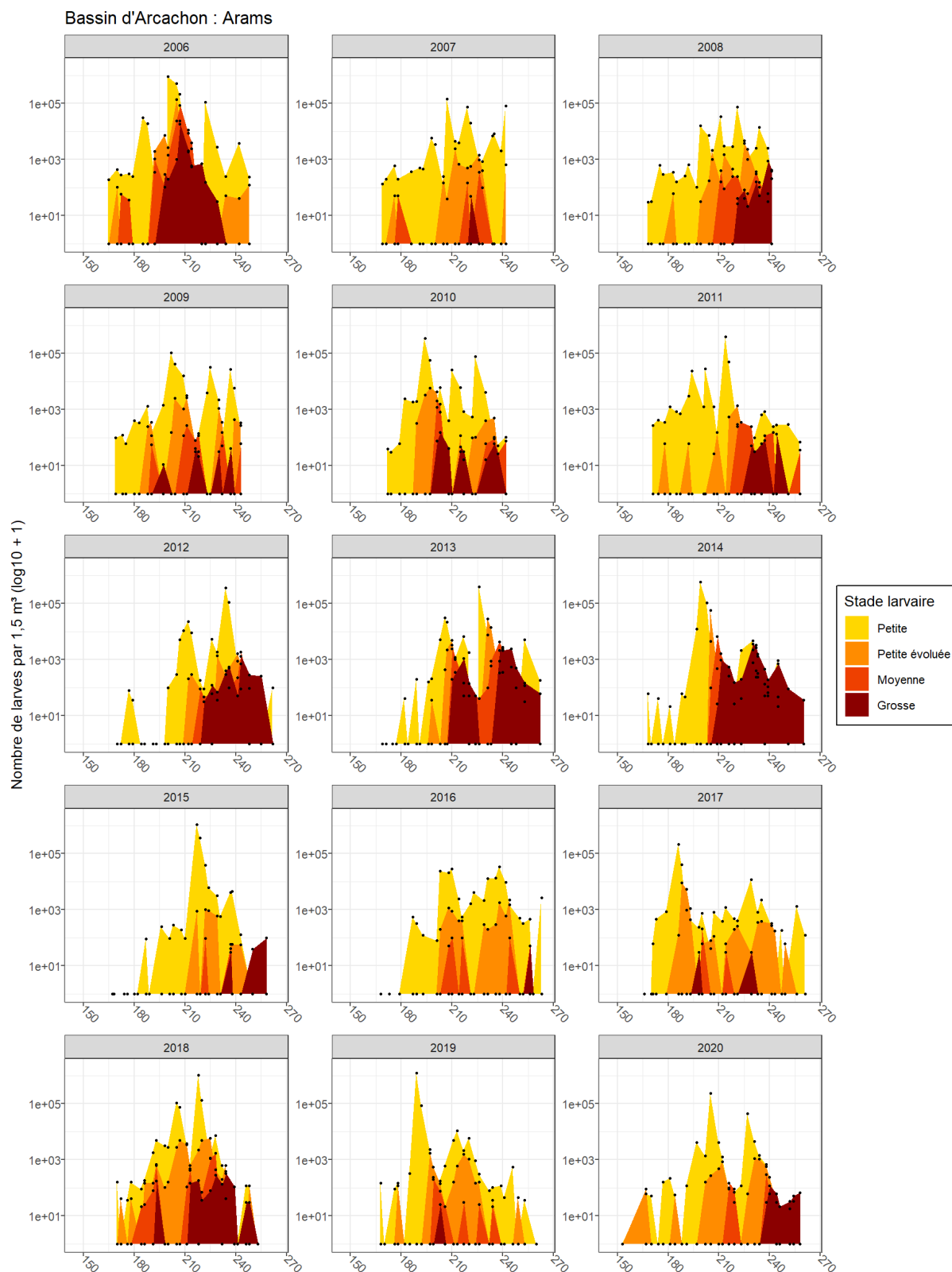
| | | | | | |
|--|-------------|--------|--------|-------|------------|
| | Très faible | Faible | Modéré | Elevé | Très élevé |
|--|-------------|--------|--------|-------|------------|

Annexe 25 : Seuils (Nombre de naissains par coupelle) et niveaux de référence établis à partir de la valeur moyenne ou de la médiane du nombre de naissains vivants comptés par coupelle pour les deux secteurs de captage du Bassin d’Arcachon. Les données des années 2006 et 2014 ne sont pas prises en compte. IC99 et IC95 = Intervalle de confiance à 99 et 95 %, Lim. sup. et inf. = Limites supérieure et inférieure

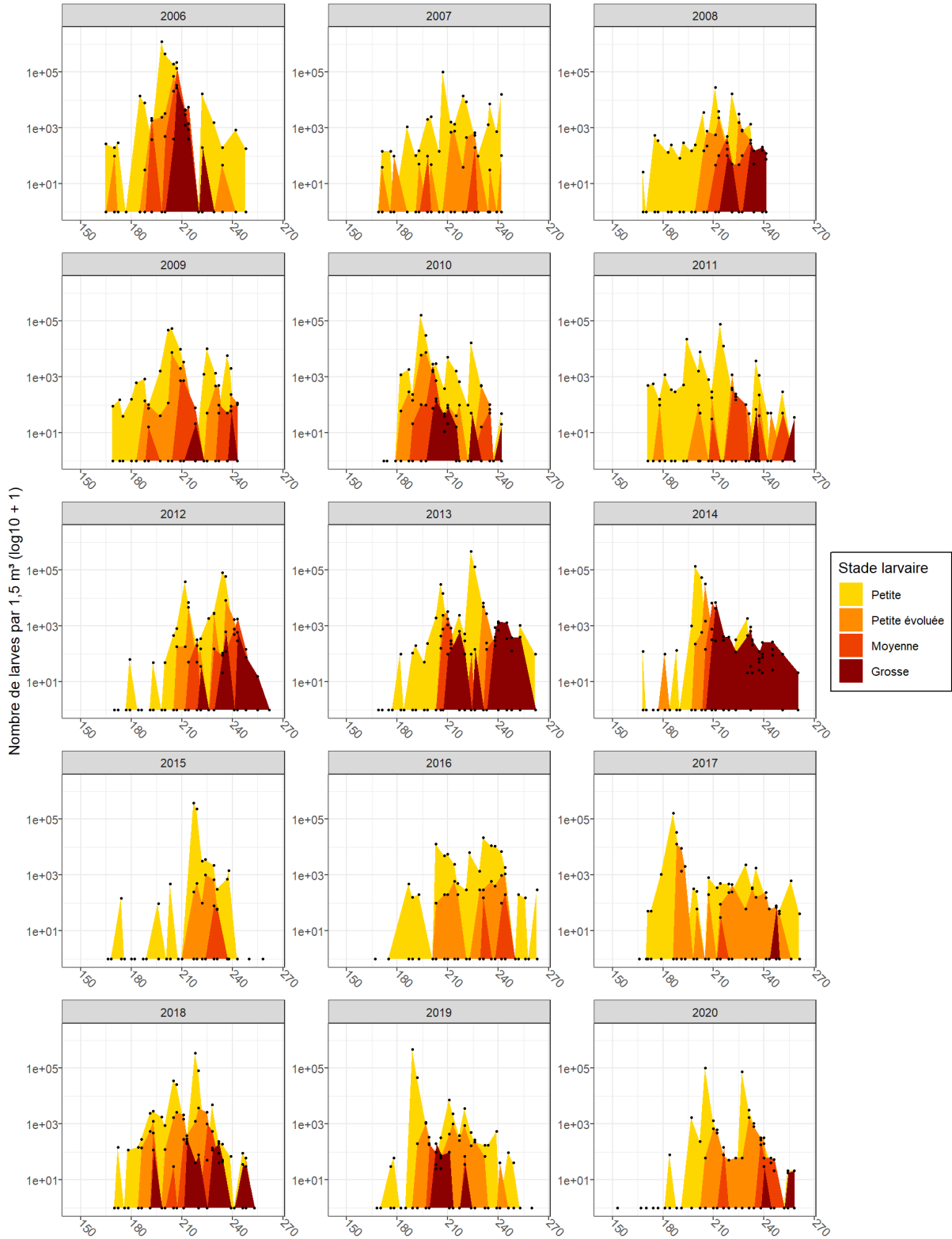
| | Arcachon Ouest | Arcachon Est |
|----------------------------|----------------|--------------|
| IC ₉₉ Lim. inf. | 199 | 156 |
| IC ₉₅ Lim. inf. | 211 | 169 |
| Moyenne | 246 | 210 |
| IC ₉₅ Lim. sup. | 282 | 251 |
| IC ₉₉ Lim. sup. | 294 | 264 |

| | Arcachon Ouest | Arcachon Est |
|----------------|----------------|--------------|
| Quantile 10 % | 6 | 4 |
| Quantile 20 % | 9 | 7 |
| Quantile 33 % | 20 | 11 |
| Quantile 40 % | 37 | 15 |
| Médiane | 68 | 42 |
| Quantile 60 % | 115 | 132 |
| Quantile 66 % | 174 | 168 |
| Quantile 80 % | 448 | 359 |
| Quantile 90 % | 783 | 664 |

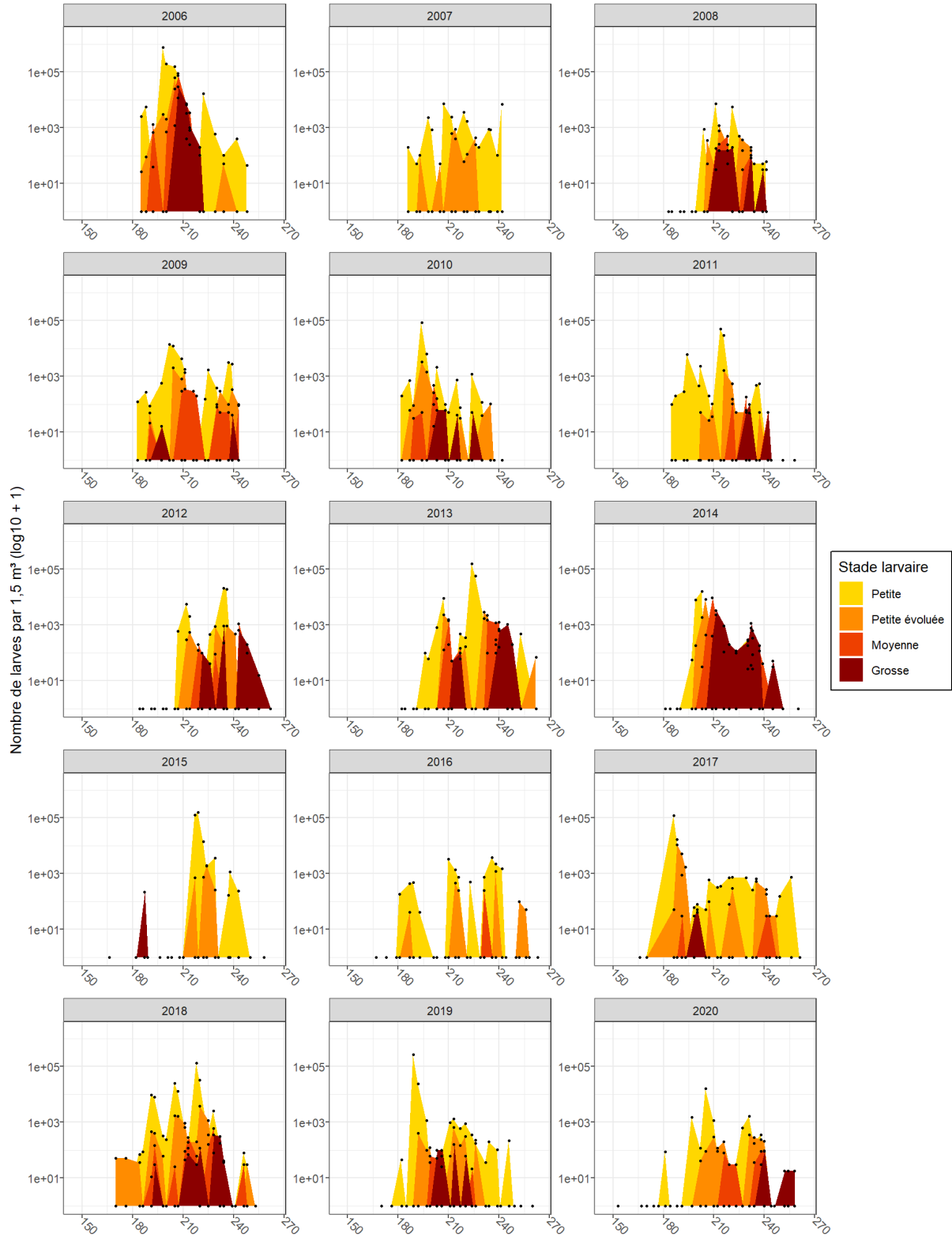
Annexe 26 : Suivi des larves d'huîtres creuses dans le Bassin d'Arcachon, de 2006 à 2020 en fonction des sites de prélèvements. L'axe des abscisses représente le numéro du jour de l'année.



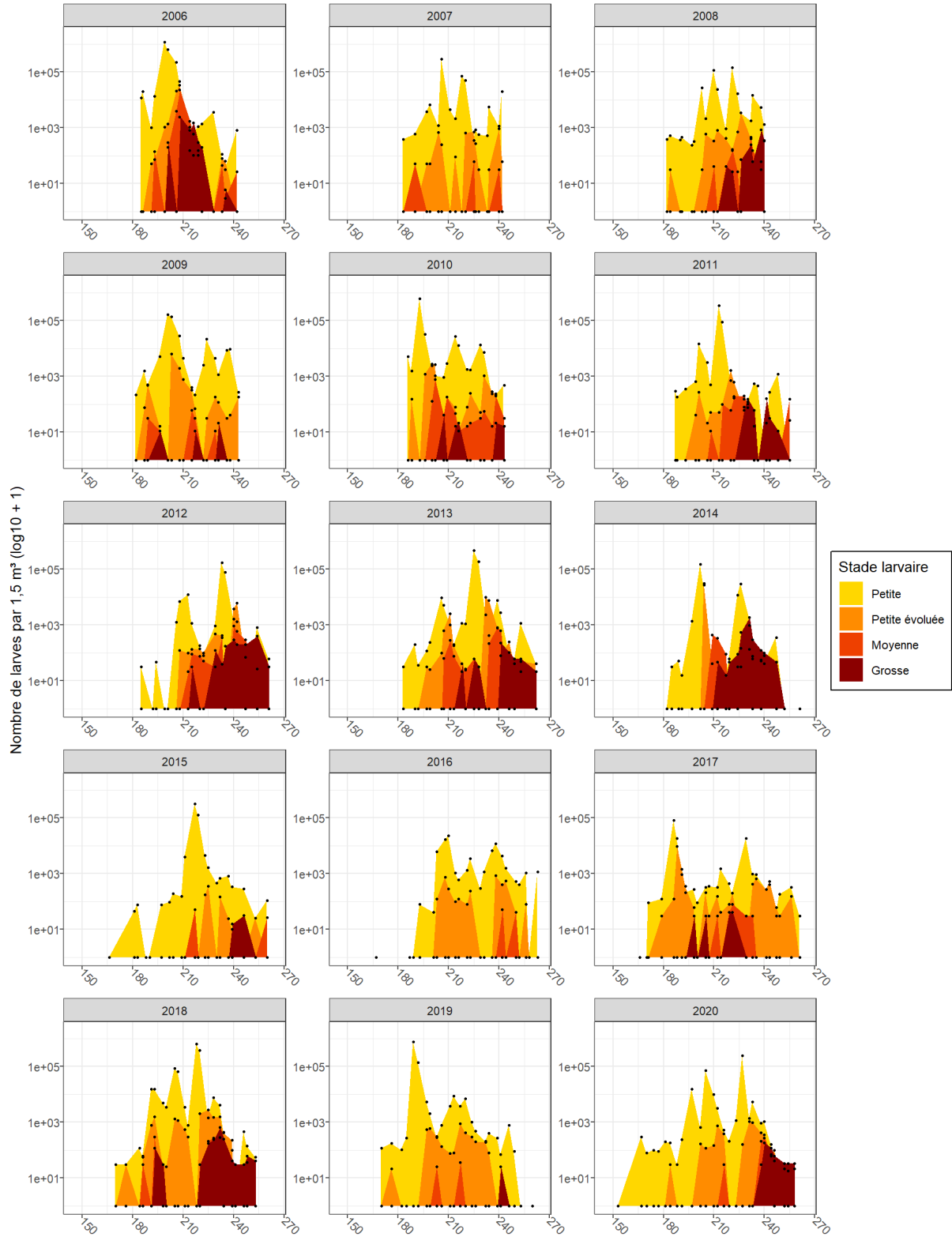
Bassin d'Arcachon : Comprian



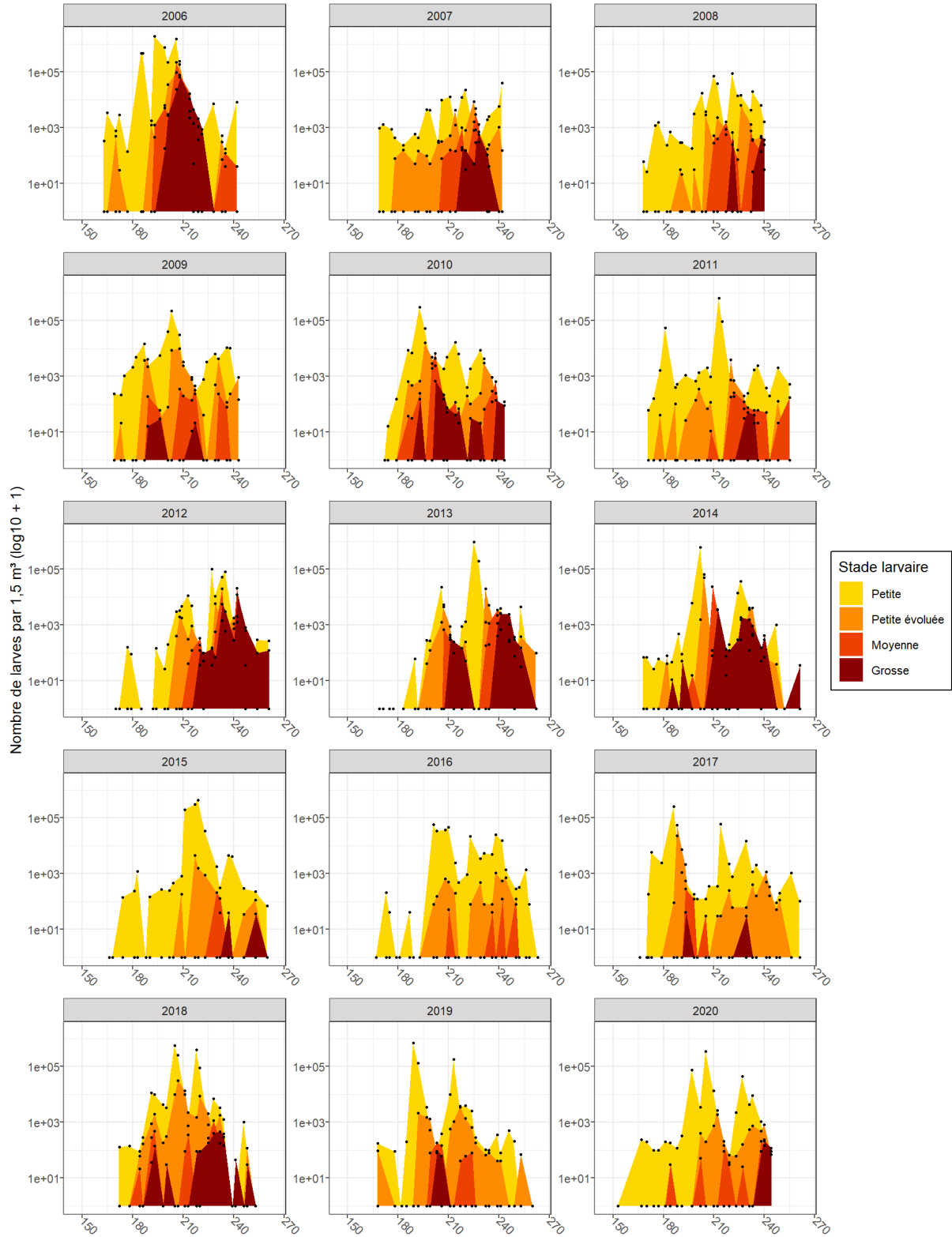
Bassin d'Arcachon : Gujan



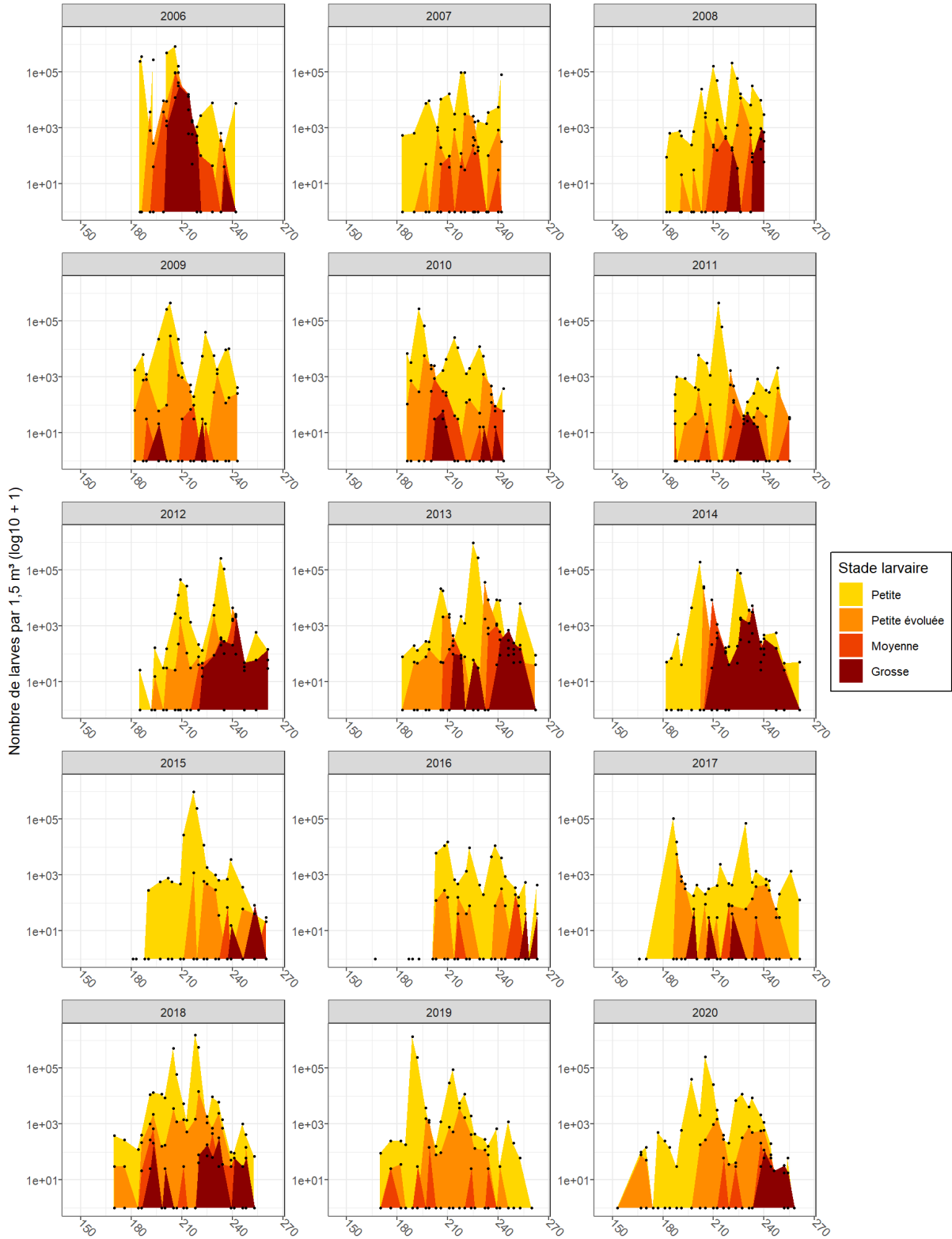
Bassin d'Arcachon : Courbey



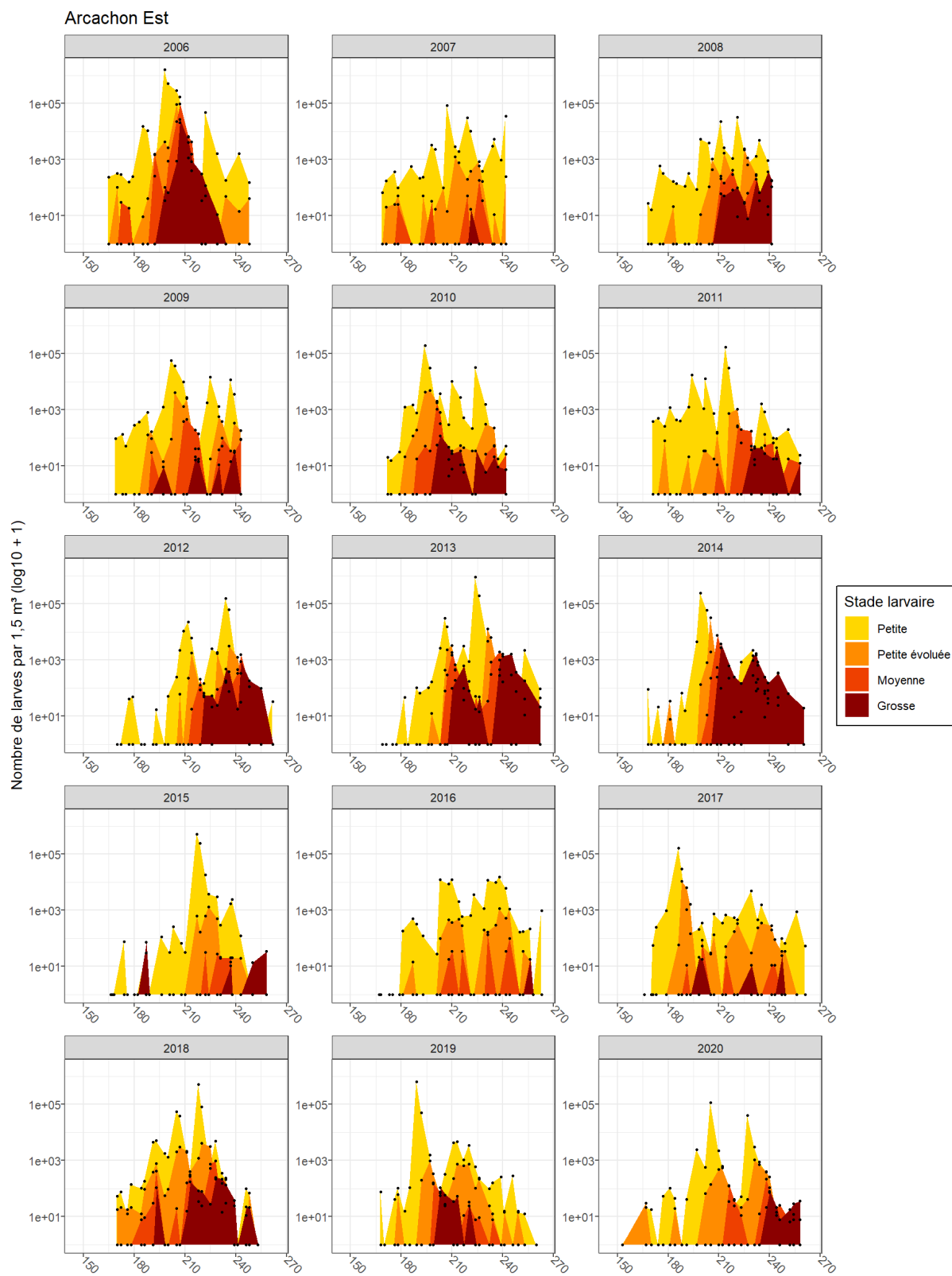
Bassin d'Arcachon : Jacquets



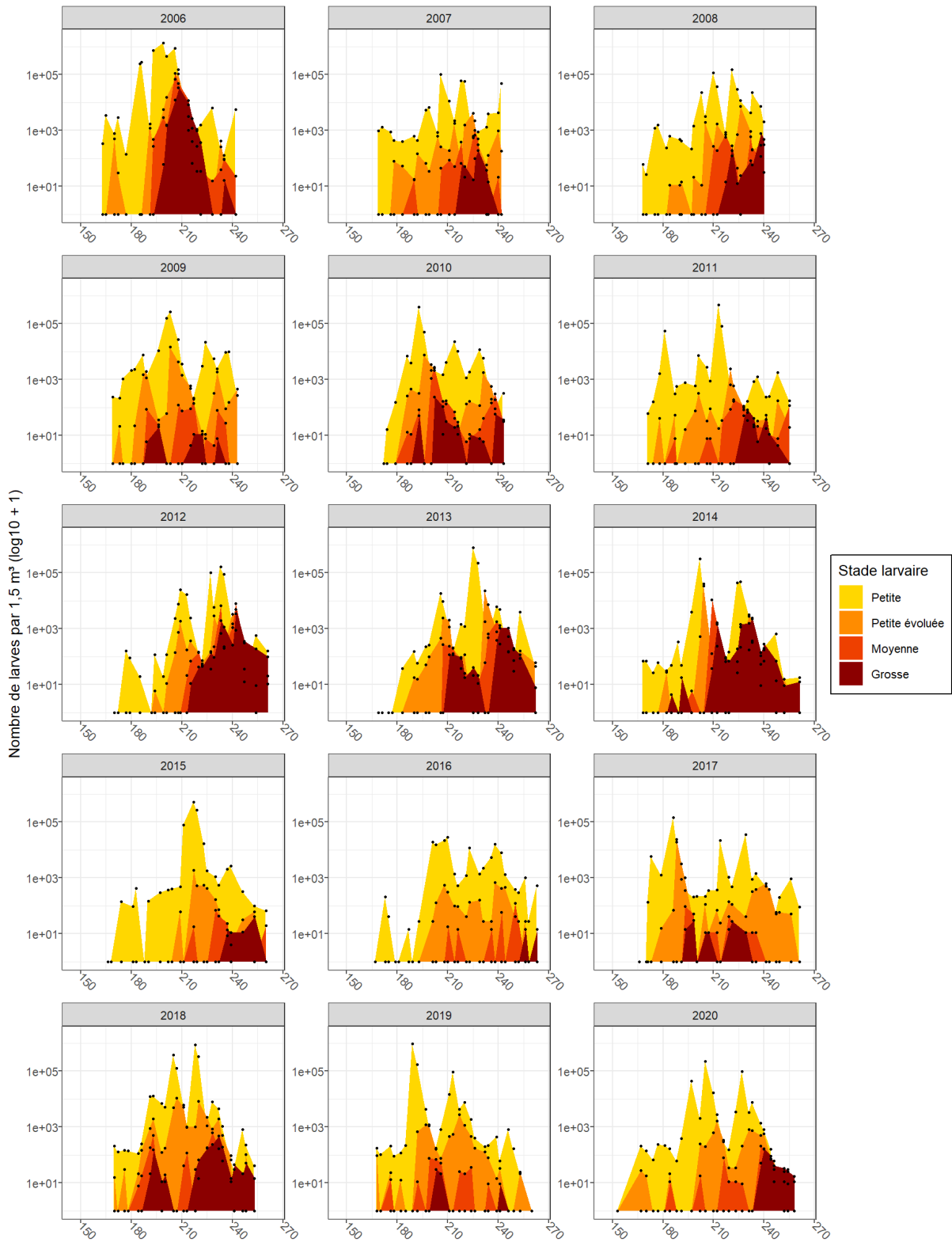
Bassin d'Arcachon : Piquey



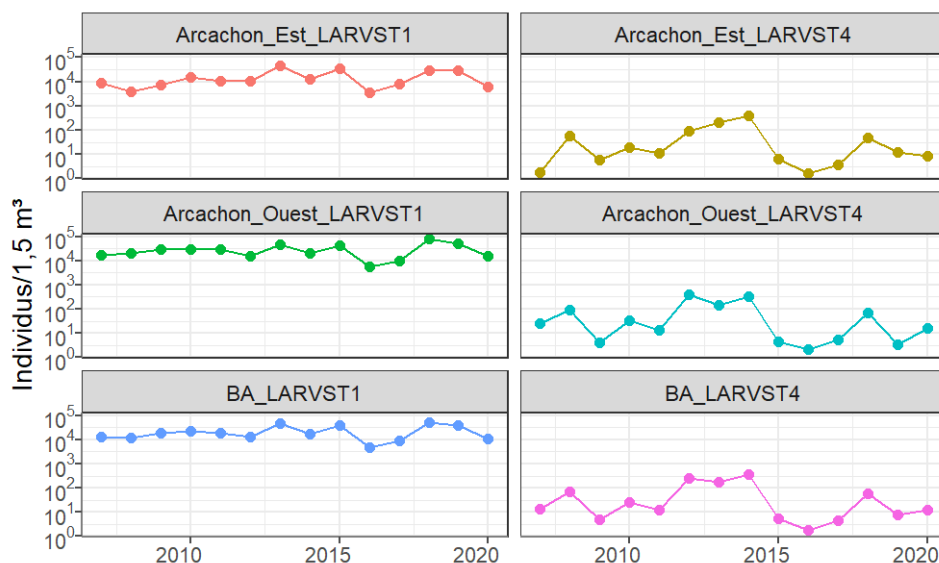
Annexe 27 : Suivi des larves d'huîtres creuses dans le Bassin d'Arcachon, de 2006 à 2020 en fonction des secteurs du bassin. L'axe des abscisses représente le numéro du jour de l'année.



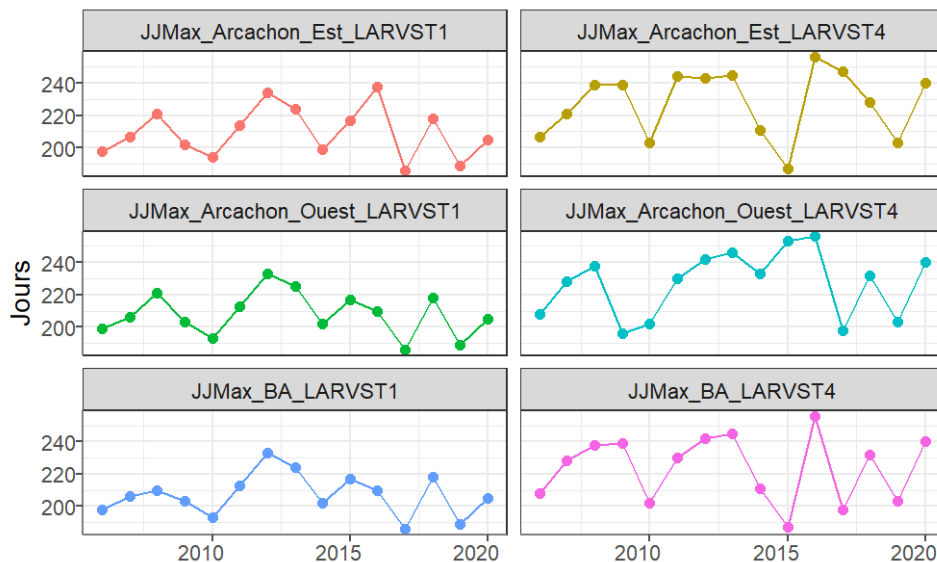
Arcachon Ouest



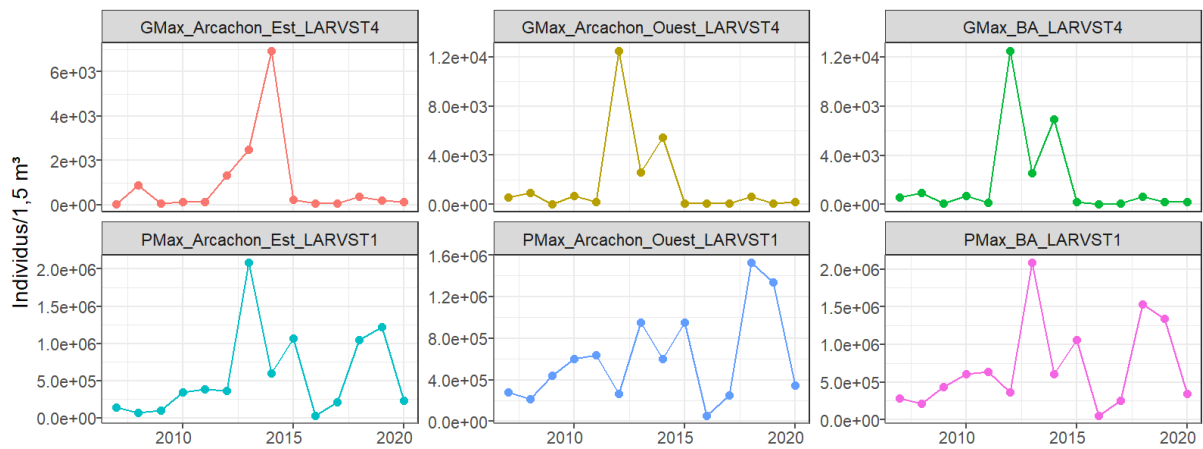
Annexe 28 : Indice 1. Concentration moyenne (ind/1,5 m³) des 4 stades larvaires, en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin d'Arcachon (BA). LARVST1 = stade petite ; LARVST2 = stade petite évoluée ; LARVST3 = stade moyenne ; LARVST4 = stade grosse.



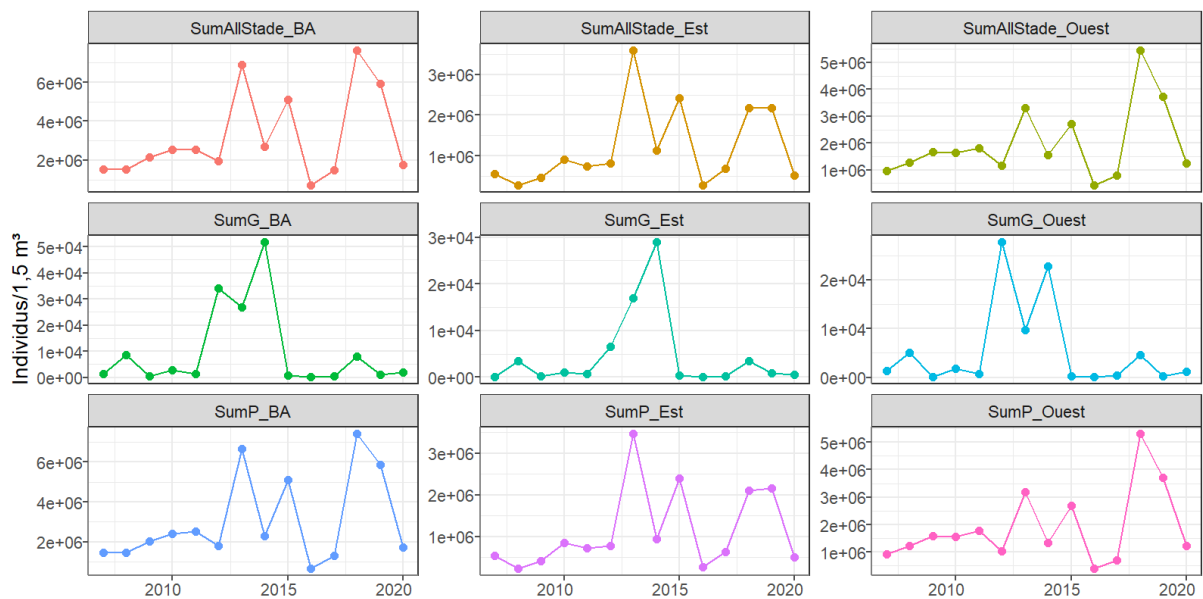
Annexe 29 : Indice 2. Jours d'observation du maximum de concentration de larves au stade petite (LARVST1) et grosse (LARVST4) en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin d'Arcachon (BA). A titre d'exemple, le 1^{er} juin correspond au jour 152, le 14 juillet au jour 195 et le 31 août au jour 243.



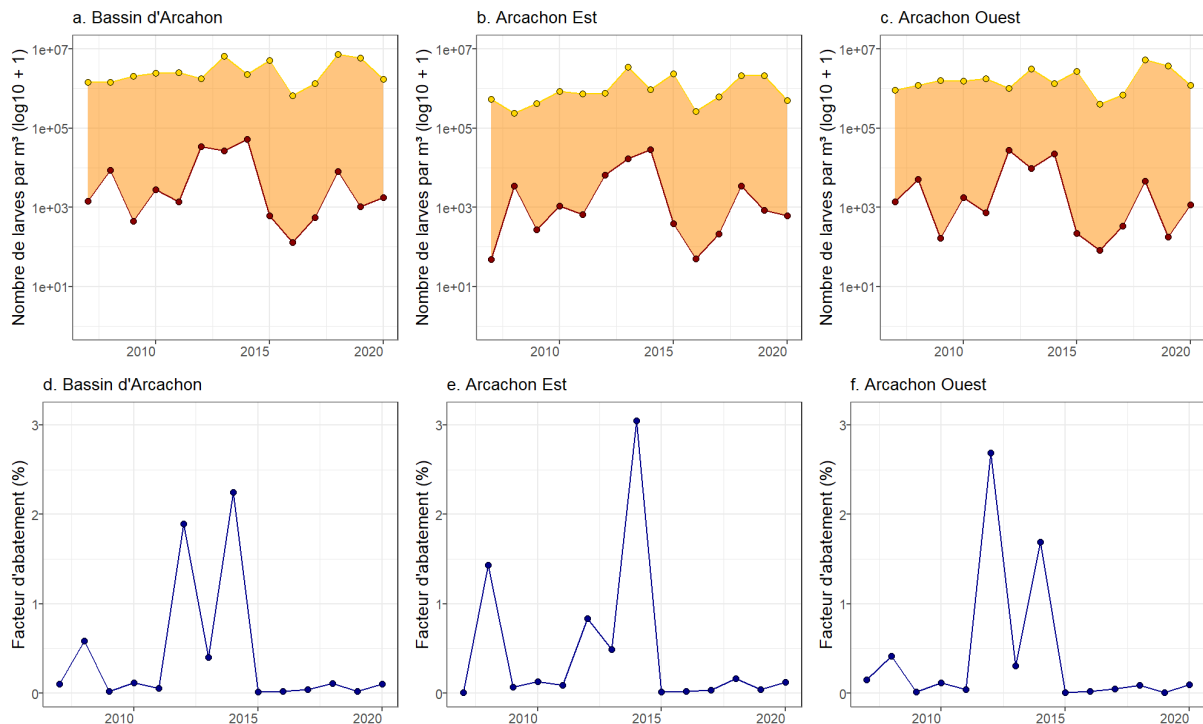
Annexe 30 : Indice 3. Concentrations maximales (ind/1,5 m³) des stades petite (LARVST1) et grosse (LARVST4), en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin d’Arcachon (BA).



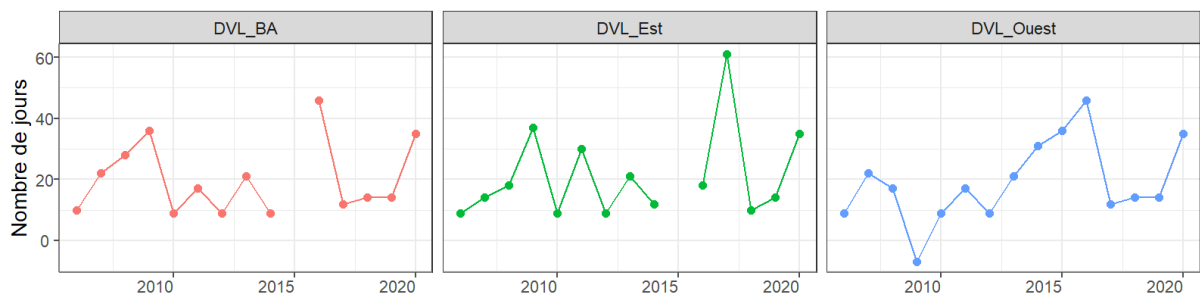
Annexe 31 : Indice 4. Somme des concentrations (ind/1,5 m³) des larves des 4 stades (SumAllStade), du stade grosse (SumG) et du stade petit (SumP), en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin d’Arcachon (BA).



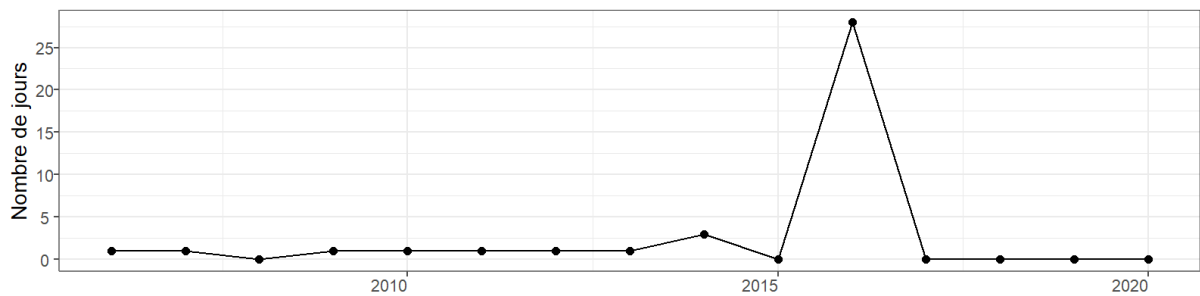
Annexe 32 : Indice 5. Survie larvaire (%) en fonction des secteurs de prélèvement entre 2007 et 2020 dans le Bassin d’Arcachon (BA). La survie larvaire est définie par le facteur d’abattement (% ; d.-f.) correspondant au rapport entre la somme des concentrations (ind/1,5 m³) de larves au stade grosse et petite (a.-c.).



Annexe 33 : Indice 6. Durée de vie larvaire (Nombre de jour ; DVL) en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin d’Arcachon (BA). La DVL correspond à l’écart de jour entre l’observation des maximums de concentration des larves aux stades grosse et petite.

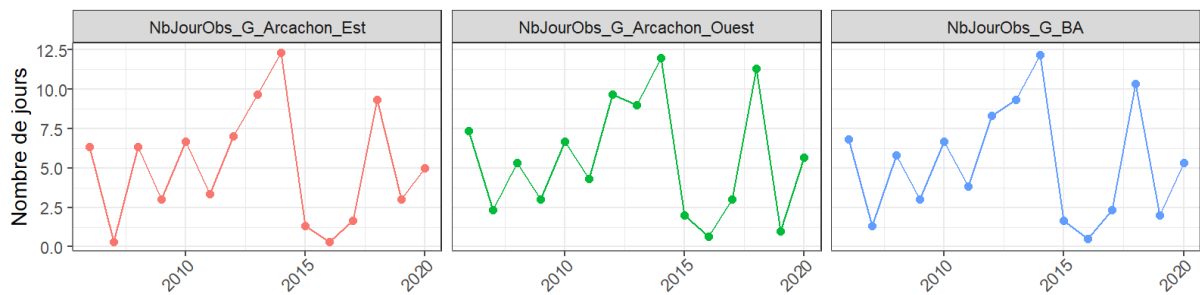


Annexe 34 : Indice 7. Synchronisme des pontes. Etendue (Nombre de jours) entre les dates d'observation des concentrations maximums de larves aux stades petites à l'échelle du Bassin d'Arcachon de 2007 à 2020.

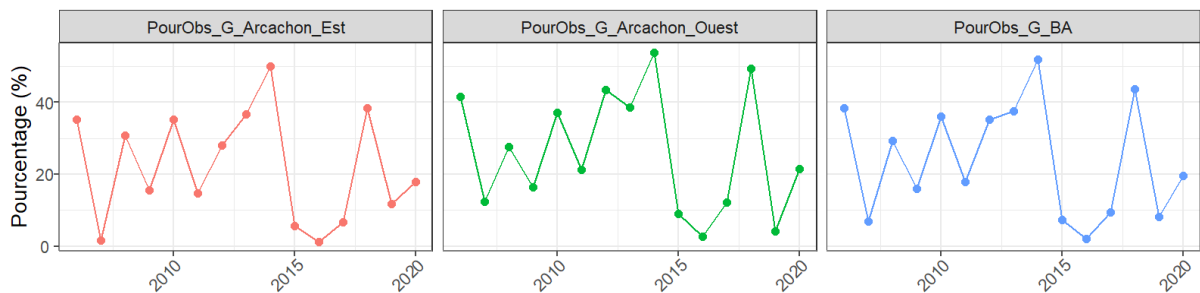


Annexe 35. Indice 8. Durée de présence de larves au stade grosse en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin d'Arcachon (BA). a. Nombre de dates d'observation de larves grosse. b. Proportion (%) du nombre de dates d'observation de larves grosse par rapport au nombre total de dates de prélèvement.

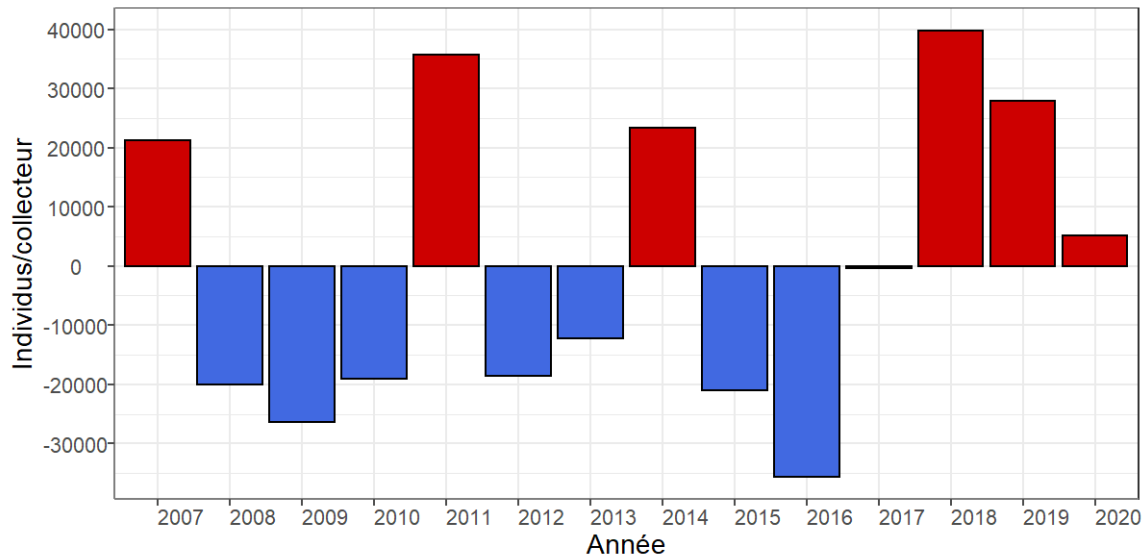
a.



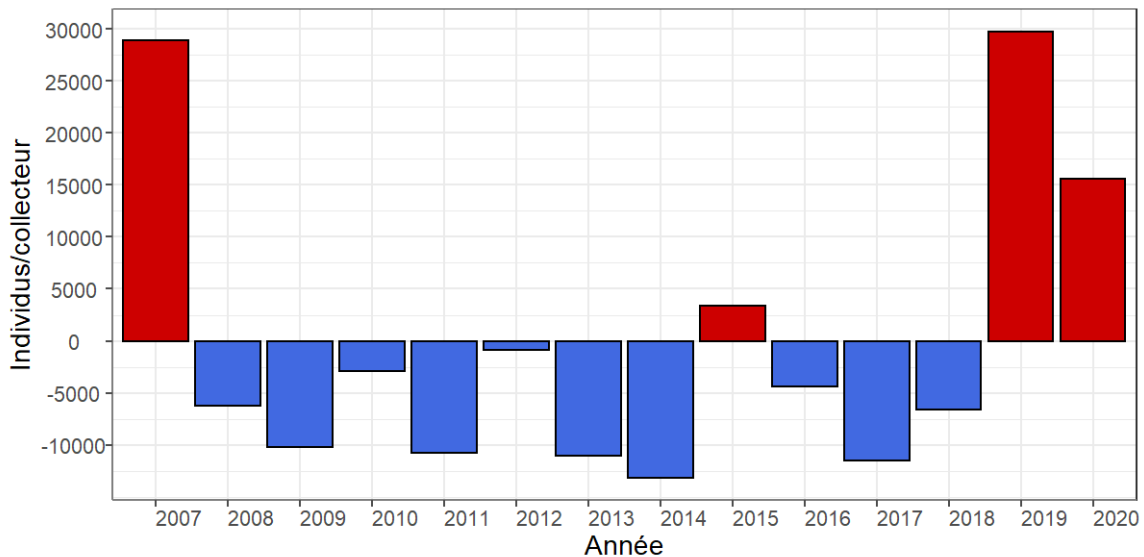
b.



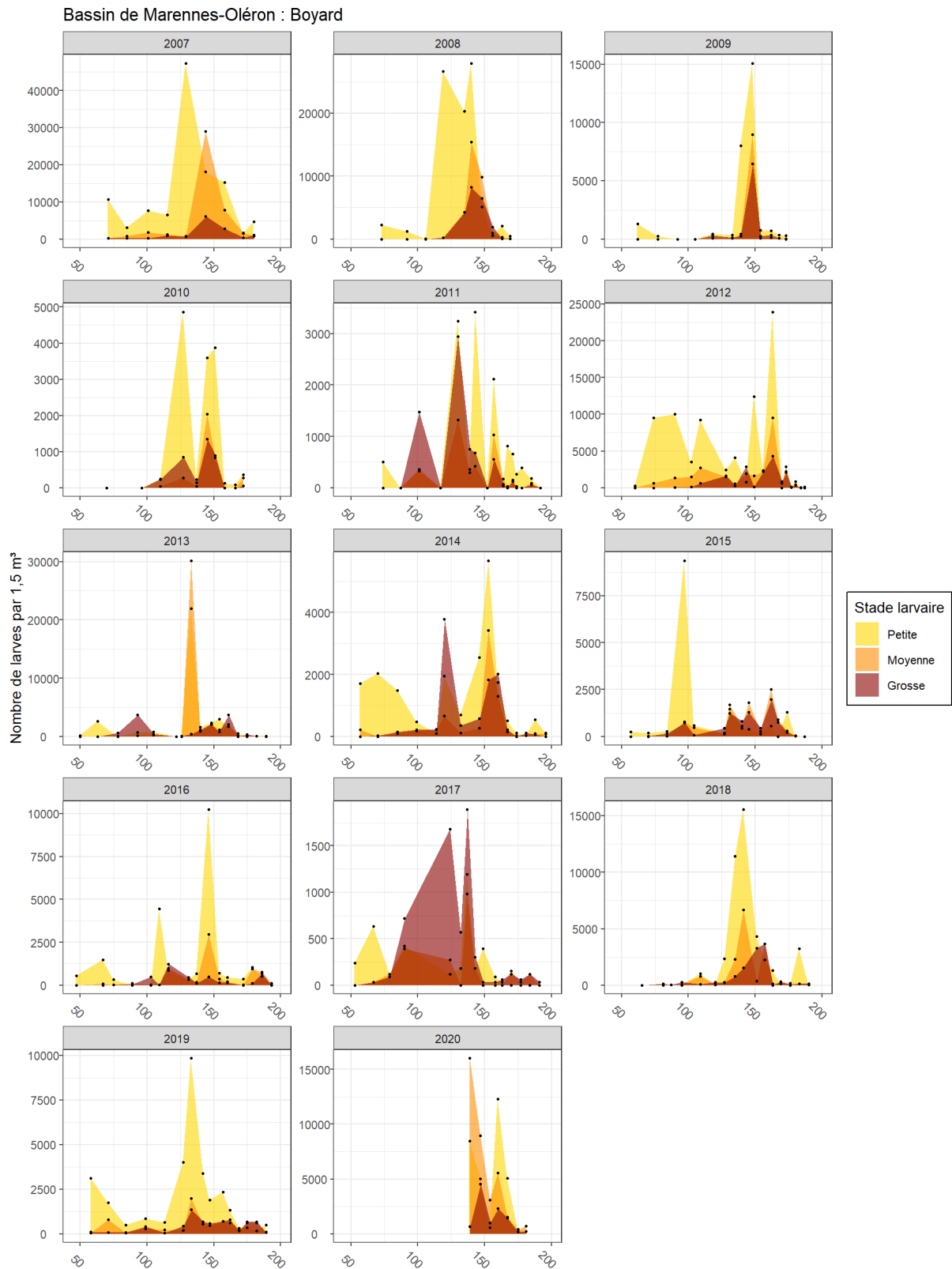
Annexe 36 : Anomalies par rapport à la moyenne de la densité maximale de naissains captés sur corde dans le bassin de Marennes-Oléron (site des Saumonards) entre 2007 et 2020. Les barres rouges et bleues représentent une densité maximale supérieure et inférieure à la moyenne, respectivement.



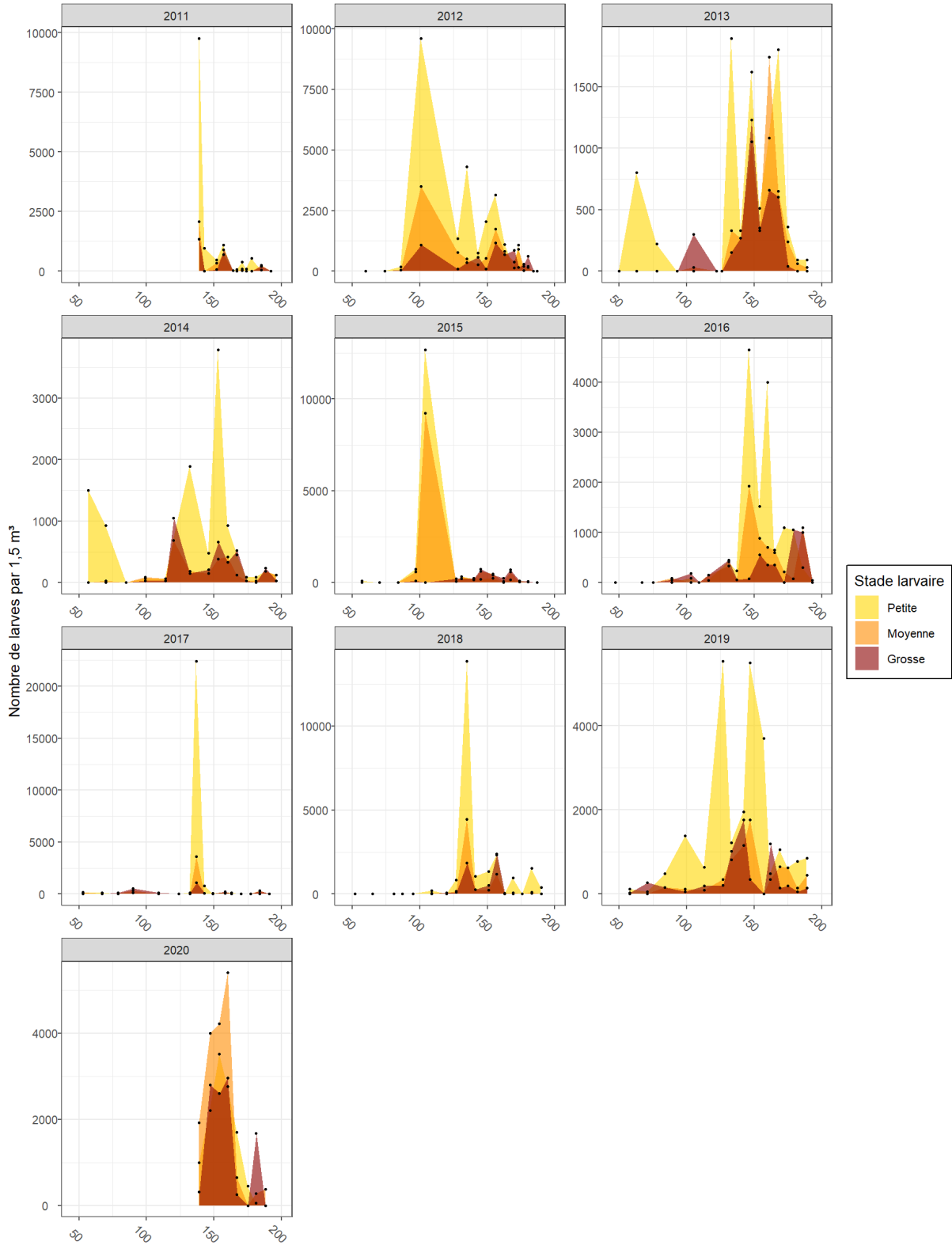
Annexe 37 : Anomalies par rapport à la moyenne de la densité finale de naissains captés sur corde dans le bassin de Marennes-Oléron (site des Saumonards) entre 2007 et 2020. Les barres rouges et bleues représentent une densité finale supérieure et inférieure à la moyenne, respectivement.



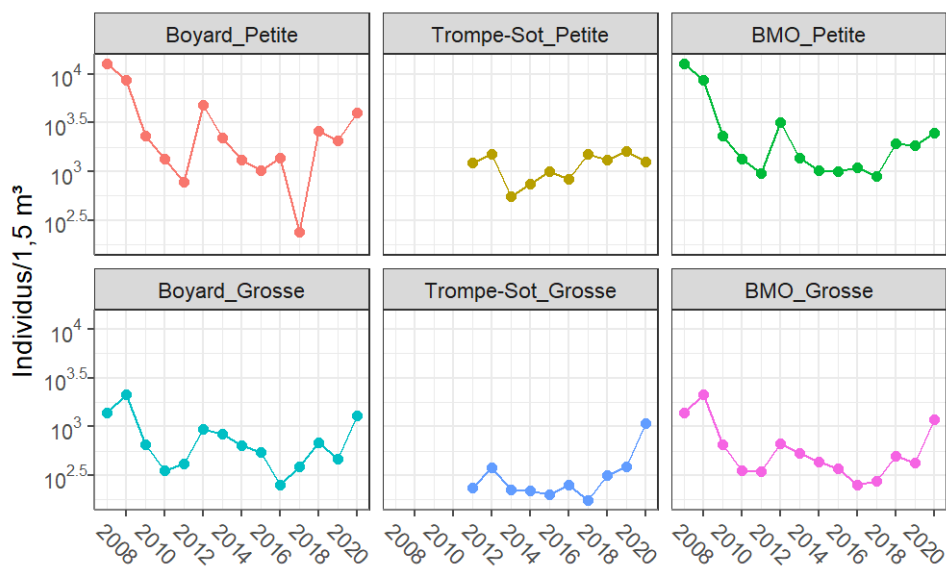
Annexe 38 : Suivi des larves de moules communes dans le Bassin de Marennes-Oléron, de 2007 à 2020 sur le site de Boyard et de 2011 à 2020 sur le site de Trompe-Sot. L'axe des abscisses représente le numéro du jour de l'année.



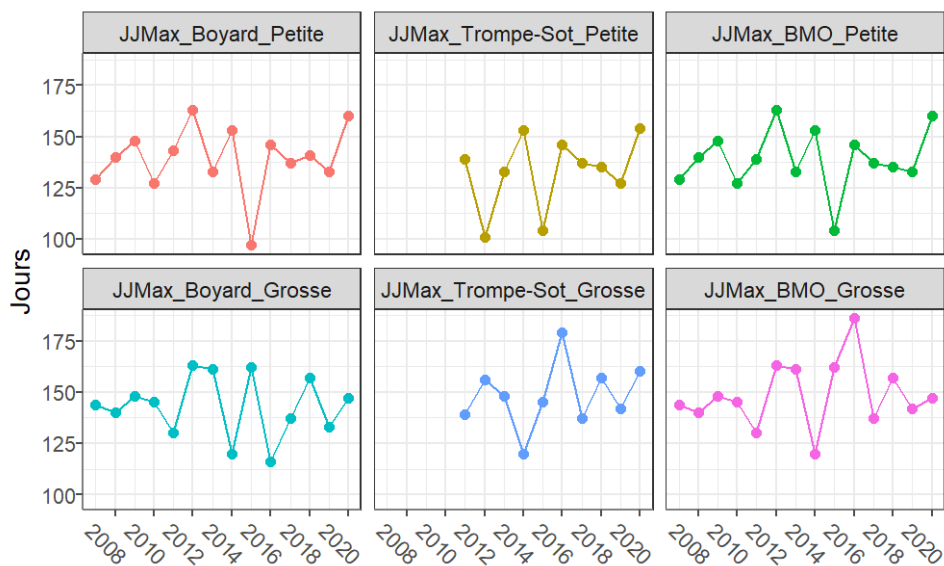
Bassin de Marennes-Oléron : Trompe-Sot



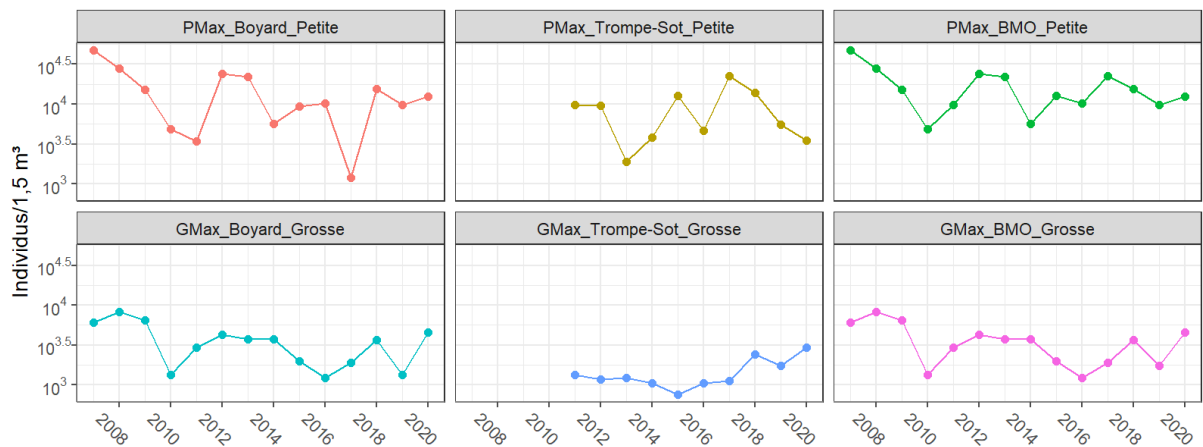
Annexe 39 : Indice 1. Concentration moyenne (ind/1,5 m³) des 4 stades larvaires, en fonction des secteurs de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). Les stades « Petite » et « Grosse » sont représentés.



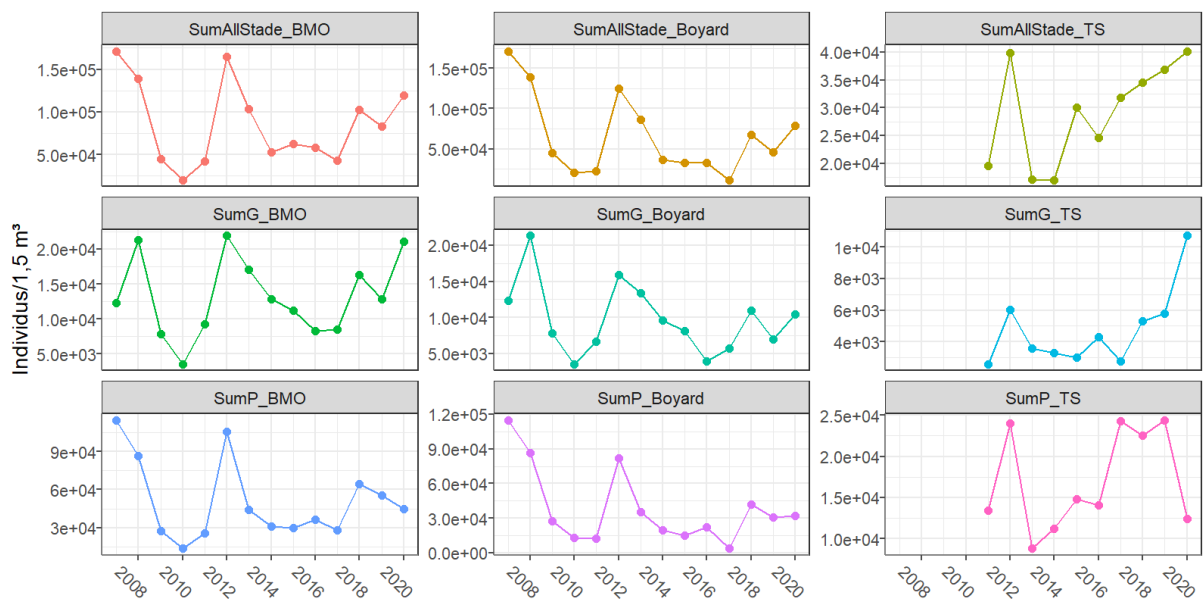
Annexe 40 : Indice 2. Jours d'observation du maximum de concentration de larves au stade petite et grosse en fonction du site de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). A titre d'exemple, le 30 mai correspond au jour 150.



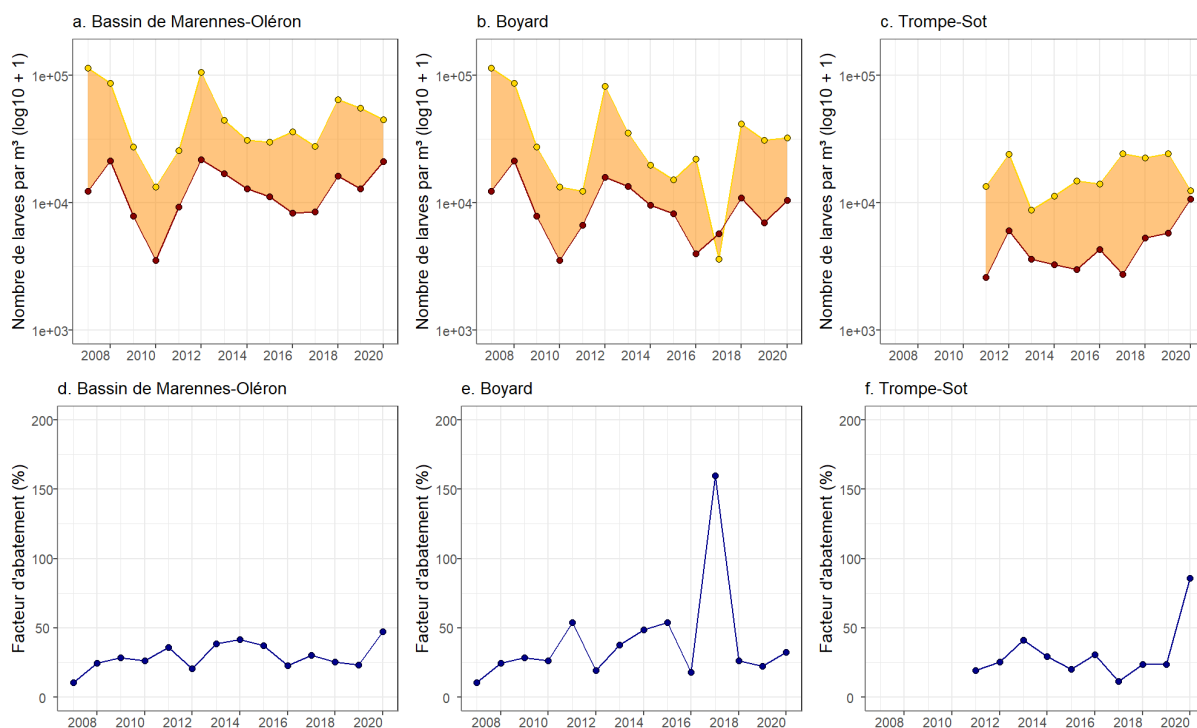
Annexe 41 : Indice 3. Concentrations maximales (ind/1,5 m³) des stades petite (PMax) et grosse (GMax), en fonction du site de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO).



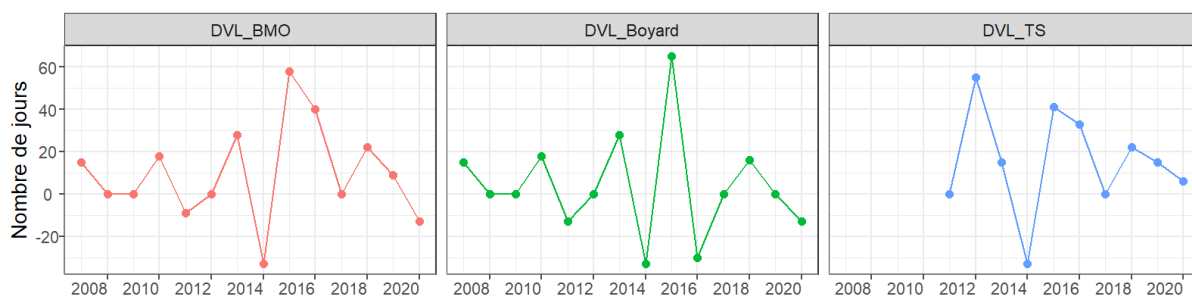
Annexe 42 : Indice 4. Somme des concentrations (ind/1,5 m³) des larves des 3 stades (SumAllStade), du stade grosse (SumG) et du stade petite (SumP), en fonction du site de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). TS = Trompe-Sot.



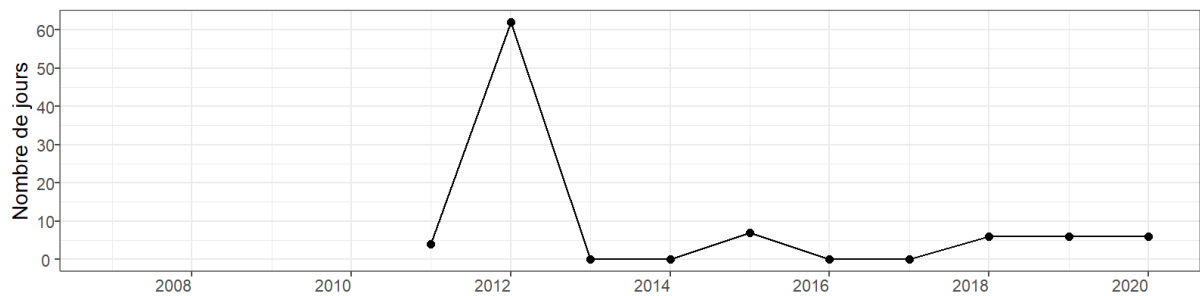
Annexe 43 : Indice 5. Survie larvaire (%) en fonction des sites de prélèvement entre 2007 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). La survie larvaire est définie par le facteur d'abattement (% ; d.-f.) correspondant au rapport entre la somme des concentrations (ind/1,5 m³) de larves au stade grosse et petite (a.-c.).



Annexe 44 : Indice 6. Durée de vie larvaire (Nombre de jour ; DVL) en fonction des sites de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). La DVL correspond à l'écart de jour entre l'observation des maximums de concentrations des larves aux stades grosse et petite. TS = Trompe-Sot.

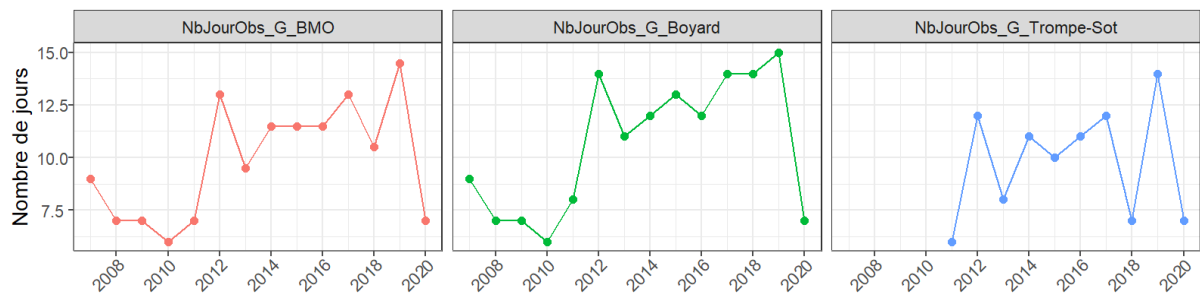


Annexe 45 : Indice 7. Synchronisme des pontes. Etendue (Nombre de jours) entre les dates d'observation des concentrations maximums de larves aux stades petite à l'échelle du Bassin de Marennes-Oléron de 2007 à 2020.

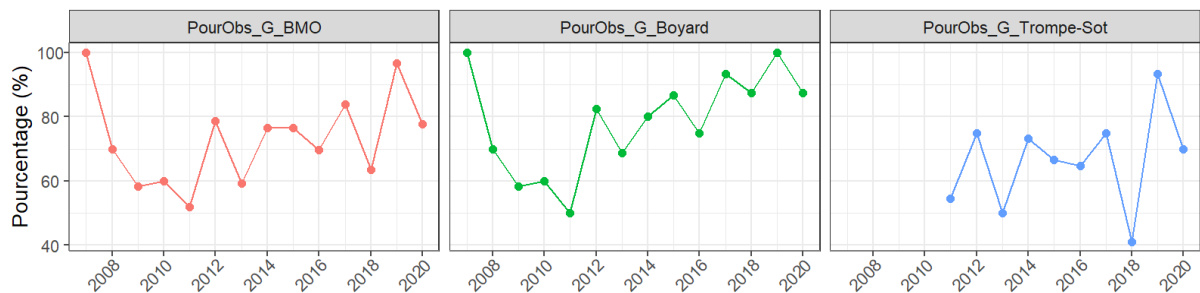


Annexe 46. Indice 8. Durée de présence de larves au stade grosse en fonction des sites de prélèvement, entre 2007 et 2020 dans le Bassin de Marennes-Oléron (BMO). a. Nombre de dates d'observation de larves grosse. b. Proportion (%) du nombre de dates d'observation de larves grosse par rapport au nombre total de dates de prélèvement.

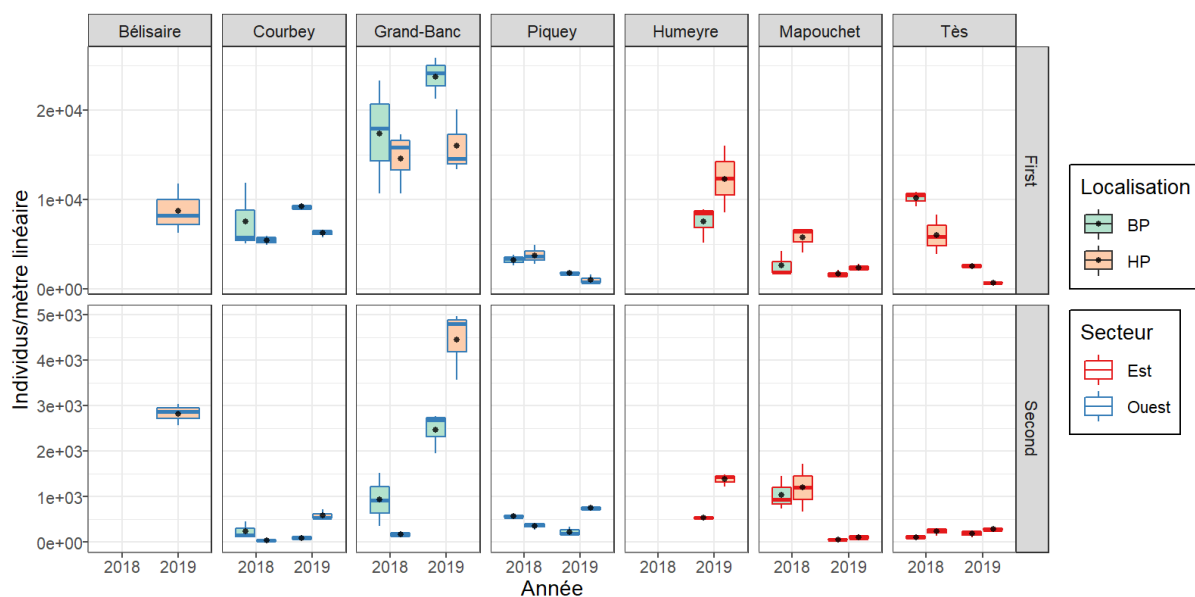
a.



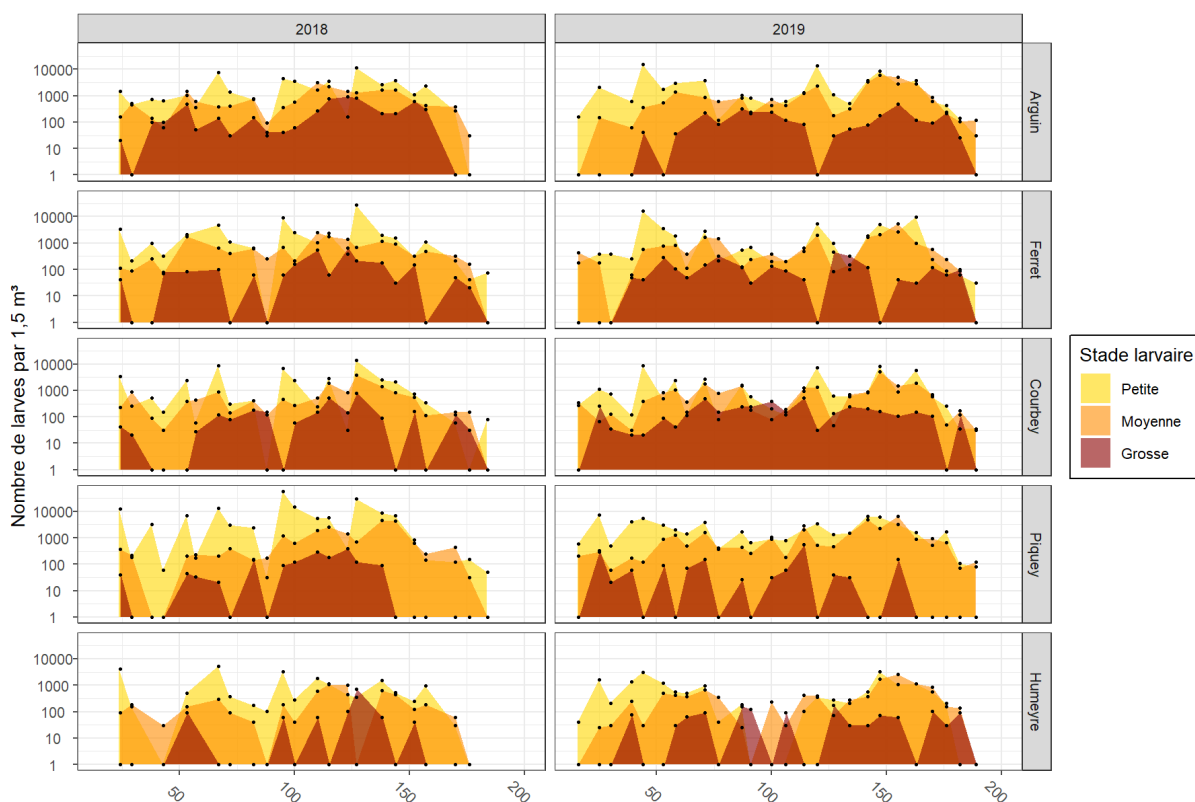
b.



Annexe 47 : Densité de naissains de moule commune (ind/m) dans le Bassin d’Arcachon en fonction de l’année de suivi, du parc, de la période de pose et de la hauteur sur le parc. « First » et « Second » sont la première et la seconde période de pose, respectivement. BP = bas de parc et HP = haut de parc.



Annexe 48 : Suivi des larves de moules communes dans le Bassin d’Arcachon en 2018 et 2019 sur les sites d’Arguin, Ferret, Courbey, Piquey et Humeyre. L’axe des abscisses représente le numéro du jour de l’année.





Pierrick Barbier

Référent scientifique aquaculture
p.barbier@cape-na.fr

CAPENA – Expertise et Application

Prise de Terdoux 17480 Le Château d'Oléron
T : 05 46 47 51 93



Estuaire de la Gironde
Mer des Pertuis



Bassin d'Arcachon