

Département Océanographie, Dynamique des Ecosystèmes
UL- Laboratoire Environnement - Ressource du Languedoc Roussillon

Franck Lagarde
Serge Mortreux
Martin Ubertini
Marion Richard
Annie Fiandrino
Claude Chiantella

Marie Boj
Slem Meddah
Axel Leurion
Solenn Soriano
Marine Fuhrmann
Patrik Le Gall

Tom Berteaux
Jean-Louis Guillou
Stéphane Pouvreau
Emmanuelle Roque D'Orbcastel

Eureka-modélisation- Ismaël Bernard

Montpellier Université- Cécile Roques, Delphine Bonnet, Béatrice Bec

CRCM- Adeline Pérignon

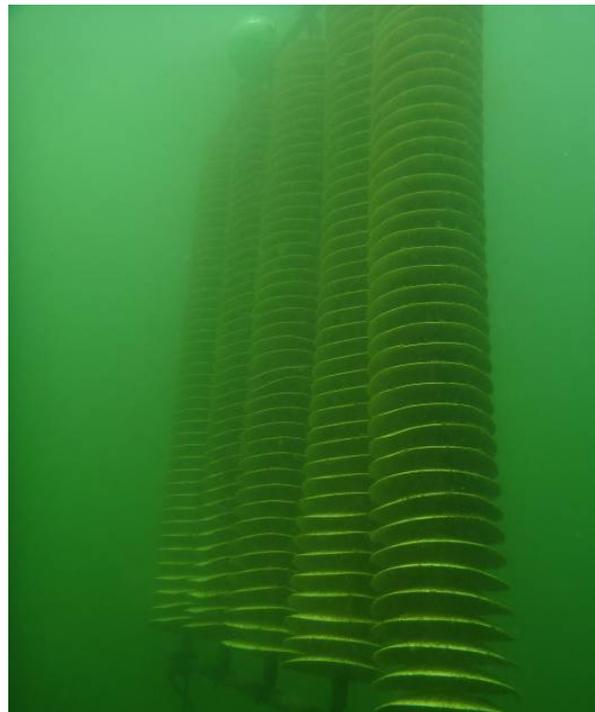
Cochet Environnement- Hélène Cochet

Cépralmar- Erika Gervasoni

Université de Moncton/Canada- Gilles Miron

Aout 2015 – RST ODE/UL/LERLR 2015-26

Déterminisme du recrutement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.



FICHE 4120132262
PRONAMED II –2012/2013/2014

Rapport final PRONAMED 2

Rédaction : Franck Lagarde, Annie Fiandrino, Marion Richard,
Ismaël Bernard



Déterminisme du recrutement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : 1/09/2015 nombre de pages : 50 bibliographie : oui illustration(s) : 36 figures langue du rapport : française
Validé par : René ROBERT Adresse électronique : René.Robert@ifremer.fr		
Titre de l'article : Déterminisme du recrutement larvaire de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> dans la lagune de Thau.		
Contrat n°2013-0608 Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal (aux) : Franck Lagarde, Annie Fiandrino, Marion Richard Ismaël Bernard		Organisme / Direction / Service, laboratoire UMR MARBEC/ Ifremer /ODE / UL / LERLR, Sète. Eureka Modélisation, Lézardrieux
Contributeur(s) : Serge Mortreux, Martin Ubertini, Marion Richard, Annie Fiandrino Claude Chiantella, Marie Boj Slem Meddah, Axel Leurion Solenn Soriano, Marine Fuhrmann Patrik Le Gall, Caroline Chiera Tom Berteaux, Jean-Louis Guillou Emmanuelle Roque D'Orbcastel Adeline Perignon Delphine Bonnet, Cécile Roque, Béatrice Bec Hélène Cochet Erika Gervasoni Gilles Miron Pouvreau Stéphane		UMR MARBEC/ Ifremer /ODE / UL / LERLR, Sète. CRCM, Mèze UMR MARBEC, UM, Montpellier Cochet-Environnement, Local Mendon CEPRALMAR, Montpellier Université de Moncton, Canada UMR LEMAR/Ifremer / RBE/ LPI/PFOM
Cadre de la recherche : Action Pronamed 2, FICHE 4120132262, PRONAMED II –2012/2013/2014		
Destinataires : FranceAgriMer, Région LR, Département 34, CRC Méditerranée, Cépralmar.		
Mots-clés Lagune, Recrutement, Naissain, Huître creuse, Ecologie larvaire, Cycle de reproduction, Captage naturel.		
Key words Lagoon, Recruitment, Spat, Pacific oysters, Larval ecology, Reproduction Cycle, Natural spat collection.		

Résumé

Depuis les évènements de surmortalité de naissains apparus en 2008, la filière conchylicole méditerranéenne cherche à exploiter le naissain d'huître creuse issu de captage naturel en lagune. Pour ce faire, le CRCM, le Cépralmar et l'Ifremer ont élaboré un projet de recherche, PRONAMED phase 1 et 2 - 2010-2014, dans le but de définir le potentiel économique de cette activité et améliorer les connaissances du cycle de reproduction dans ce contexte environnemental spécifique. Les résultats de travaux de recherche de ces 3 dernières années 2012, 2013 et 2014 montrent que les huîtres adultes ont la capacité de fournir des larves après maturation sexuelle et ponte. Une coïncidence a été remarquée entre phase lunaire (nouvelle et pleine lune) et ponte ainsi qu'un effet amplificateur des orages sur l'intensité des pontes dans certains cas (Ubertini *et al. in prep*).

Les travaux présentés ici portent sur le cycle larvaire et le recrutement de naissain. Les résultats montrent que la phase de développement larvaire jusqu'à la fixation des pédivéligères, sous influence de la température de l'eau et de l'abondance de *Chaetoceros sp*, ne rencontre pas de verrou biologique majeur. L'approvisionnement en larves des différentes zones de la lagune est régi par l'hydrodynamique et une nouvelle méthode d'évaluation de la connectivité larvaire plus adaptée au contexte lagunaire a dû être développée : la connectivité dynamique. Une bonne adéquation est à noter entre les zones de connectivité dynamique élevées et les stations de captage les plus efficaces (Lagarde *et al. 2015*). Il est montré que la survie pendant la métamorphose est sous influence de l'abondance de nanophytoplancton total (pico+nanophytoplancton) et que d'une manière générale, les zones conchylicoles sont moins favorables au captage naturel de naissains d'huîtres que certaines zones situées en dehors des parcs conchylicoles (Lagarde *et al. 2015*). Une expérience complémentaire portant sur la gestion de collecteur à coupelle montre qu'un déploiement des collecteurs, en zone conchylicole sous condition d'exondation, disposés en ligne (pas en fagot) et à l'horizontale est optimal.

Ce rapport constitue un premier travail d'exploration, d'explications et de synthèse du déterminisme de la reproduction et du recrutement larvaire de l'huître creuse en lagune méditerranéenne. L'objectif de la filière conchylicole est maintenant de pouvoir exploiter au mieux les capacités de la lagune de Thau à fournir du naissain d'huître creuse. Il conviendra maintenant de non seulement définir précisément le périmètre des zones de captage économiquement viables en lagune de Thau mais aussi caractériser les zones de nurserie dans les zones ostréicoles. D'un point de vue scientifique, le schéma conceptuel résultant de ces 3 années d'acquisition de données devra être testé par une analyse fine des traits de vie des cohortes larvaires enregistrées et fiabilisé en vue du développement de modèle de simulation, *in fine*. A l'interface entre demande sociétale et recherche, le projet PRONAMED permet les premiers pas vers un nouveau type d'exploitation sobre et durable d'une ressource conchylicole aujourd'hui encore en crise en lagune méditerranéenne.

Abstract

Since spat mortality events occurred in 2008, Mediterranean shellfish industry seeks to exploit the Pacific oyster spat from lagoon natural recruitment. To do this, the CRCM, the Ceparlmar and Ifremer developed a research project PRONAMED Phase 1 and 2 - 2010-2014, in order to define the economic potential of this business and improve knowledge of the reproductive cycle in this specific environmental context. The results of the past three year's study 2012, 2013 and 2014 show that adult oysters have the ability to provide larvae after sexual maturation and spawning. A coincidence was noted between moon phase (new and full moon) and spawns and an amplifying effect of storms on the intensity of spawns in that case (Ubertini *et al. In prep*).

The works presented here focus on larval cycle and the recruitment of spat. The results show that the larval development until pediveliger settlement, influenced by water temperature and abundance of *Chaetoceros sp*, faces no major biological lock. The supply of larvae from different areas of the lagoon is governed by hydrodynamics and a new method of lagoon larval connectivity assessment had to be developed: the dynamic connectivity. A good fit is noted between high dynamic connectivity areas and the most effective collection stations (Lagarde *et al. 2015*). It is shown that survival during metamorphosis is under influence of the abundance of total nanophytoplankton (pico + nanophytoplankton) and that in general, shellfish farming areas are less favorable natural oyster spat collection than certain areas located off shellfish farms (Lagarde *et al. 2015*). An additional experiment on the cup manifold management shows a deployment of collectors, in growing area under the condition of bank exposure, arranged in a line (not in a bundle) and the horizontal is great.

This report is a first work of exploration, explanation and synthesis of determinism of reproduction and larval recruitment of the hollow Mediterranean lagoon oyster. The objective of the shellfish industry is now able to exploit the capabilities of the Thau lagoon providing the oyster spat. It should now not only precisely defining the scope of economically viable catchment areas in Thau lagoon but characterize nursery grounds in oyster areas. From a scientific point of view, the resulting conceptual diagram of these three years of data acquisition should be tested by a detailed analysis of the life history of recorded larval cohorts and more reliable for the simulation model development, *in fine*. At the interface between social demand and research, PRONAMED project enables the first steps towards a new type of simple and sustainable exploitation of shellfish resource still in crisis in Mediterranean lagoon.

Sommaire

Fiche documentaire	3
Résumé	5
1. Introduction	9
2. Matériels et Méthodes	11
2.1. La lagune de Thau et les stations expérimentales	11
2.2. Abondance et survie des larves et naissain d'huître creuse	12
2.3. Abondance du plancton	14
2.4. Stratégies d'échantillonnage	15
2.5. Caractérisation des conditions météorologiques, hydrologiques et hydrodynamiques	16
2.1. Table d'exondation et méthode	18
2.2. Stratégie expérimentale pour la gestion des collecteurs	18
3. Analyse de données	19
3.1. Les variables d'intérêt : larves pédivéligères, postlarves et naissain	19
3.2. Lien entre stades de vie larvaire pélagique et benthique	22
3.3. Description spatiotemporelle des variables d'intérêts, pédivéligères, naissain et survie optimale	22
3.4. Lien entre les variables d'intérêts et l'environnement hydrologique	23
3.5. Analyse de l'effet du plancton sur les variables d'intérêts	23
3.6. Analyse des données météorologiques et hydrodynamiques	23
3.7. Optimisation de la gestion des collecteurs	26
4. Résultats	26
4.1. Lien entre stades de vie larvaire pélagique et benthique	26
4.2. Description spatiotemporelle des variables d'intérêts, pédivéligères, naissain et survie optimale	27
4.3. Lien entre les variables d'intérêts et l'environnement hydrologique	29
4.4. Analyse de l'effet du plancton sur les variables d'intérêts	31
4.5. Analyse des données hydrodynamiques	37
4.6. Optimisation de la gestion des collecteurs	40
5. Synthèse	42
6. Conclusions et perspectives	44
7. Bibliographie	46
8. Revue de presse	48
9. Transfert des résultats et participation à des colloques	54
10. Annexe	55



Avertissement

Ce projet de recherche portant sur l'amélioration des connaissances du déterminisme du recrutement larvaire dans la lagune de Thau a été proposé aux instances professionnelles en janvier 2012 et couvre les années 2012, 2013 et 2014. La maîtrise d'ouvrage était assurée conjointement par l'Ifremer, le Comité Régional de la Conchyliculture de Méditerranée et le Cépralmar. Les co-financements de FranceAgriMer et la Région Languedoc-Roussillon couvrent les travaux réalisés en 2013 et 2014. Le Laboratoire Environnement Ressources en Languedoc-Roussillon de l'Ifremer, maître d'œuvre du volet scientifique du projet, a également coordonné la collaboration scientifique avec les laboratoires partenaires.

Tous les résultats générés dans le cadre du projet de recherche ne sont pas présentés dans ce rapport mais feront l'objet de rapports et/ou publications à venir. Une suite sera donnée à ces travaux recherche dans le cadre du projet doctoral de Franck Lagarde (2015-2018).



1. Introduction

Les lagunes méditerranéennes sont connues pour accueillir de multiples usages comme le tourisme, la pêche, le nautisme et la conchyliculture, usage prioritaire défini par le Schéma de Cohésion Territoriale de la lagune de Thau depuis 2005. La conchyliculture méditerranéenne s'illustre par deux types d'activités, la mytiliculture (*Mytilus galloprovincialis*) et l'ostréiculture. L'huître creuse (*Crassostrea gigas*), espèce importée en France dans les années 1970, est aujourd'hui exploitée dans des écosystèmes côtiers et lagunaires. En Méditerranée, l'huître creuse est produite dans les lagunes de Thau, Leucate, le Prévost, et en Corse à Diana et Urbino.

Au niveau de la lagune de Thau, la pratique ostréicole commune est le grossissement des huîtres avec une orientation prise dans les années 2005, vers le développement à grande échelle du prégrossissement des huîtres d'écloserie. Plusieurs travaux de recherche (Deslous-Paoli *et al.* 1998, Gangnery *et al.* 2001, Gangnery *et al.* 2003, Gangnery *et al.* 2004) et réseaux d'observations (RESCO¹) ont révélé et quantifié le potentiel de croissance élevé de *C. gigas* dans le bassin de Thau avec des pratiques culturelles adaptées (huîtres collées sur cordes ou en pignes). Paradoxalement, très peu de travaux de recherche portent sur la reproduction, le cycle larvaire et le captage naturel de l'huître creuse en lagune méditerranéenne.

Les événements exceptionnels de surmortalité des naissains de *C. gigas* apparus en 2008 ont fortement impacté la filière ostréicole avec la raréfaction et l'augmentation des prix du naissain issu d'Atlantique et d'écloserie. Différentes voies de sortie de crise ont été envisagées en Méditerranée dont le développement d'une activité de captage naturel en lagune. Les professionnels du CRCM, le Cépralmar et l'Ifremer ont alors initié les projets de recherche PRONAMED² 1 et 2 avec pour objectif d'améliorer la connaissance et de développer la production de naissain issu du captage naturel en Méditerranée.

Les résultats de la Phase 1 du projet PRONAMED (2010-2011) ont montré que le développement d'une activité de captage naturel est possible mais que son intensité dans les zones ostréicoles du Bassin de Thau est extrêmement variable d'une année à l'autre.

La deuxième phase du projet PRONAMED (2012-2014) a pour objectif d'améliorer la compréhension des facteurs déterminants le succès ou l'échec du recrutement de l'huître creuse en poursuivant l'observation des processus de reproduction de *C. gigas* et du captage naturel sur l'ensemble de la lagune de Thau, dans les zones ostréicoles et en dehors de ces zones d'élevage. Pour ce faire, l'ensemble du cycle biologique de l'huître a été appréhendé dans le contexte écologique lagunaire méditerranéen de Thau. Des travaux concernant l'étude spatiotemporelle du recrutement du naissain d'huître creuse, le suivi de sa survie en 2012 et 2013 sur les zones conchyloles de la lagune de Thau et la gestion des collecteurs sont présentés dans le rapport de Lagarde *et al.* (2015). Ce rapport fait état de la découverte de gisements de naissains en dehors des zones de tables ostréicoles de Thau, d'une forte hétérogénéité des intensités de captage dans l'espace et le temps et d'une bonne survie du naissain natif de la lagune de Thau. Les phases de gamétogénèse, pontes et dispersion de larves sont décrites lors de conférences scientifiques et publications en cours de préparation à ce jour (Ubertini *et al.* 2014a, Ubertini *et al.* 2014b, Ubertini *et al.* *in prep.*)

Les travaux présentés ici portent sur **le déterminisme du recrutement larvaire, en particulier sur l'écologie larvaire, et l'exploration des facteurs favorisant l'approvisionnement en naissain**. Il s'agit non

¹ Réseau d'Observations Conchyloles : http://wwz.ifremer.fr/observatoire_conchylole

² PRONAMED : PROduction de NAissain d'huître creuse en MEDiterranée.

seulement de décrire et caractériser les facteurs environnementaux favorisant le captage naturel en lagune mais aussi de comprendre l'origine de l'hétérogénéité spatiotemporelle du recrutement larvaire. Pour ce faire, un diagnostic écologique large a été réalisé sur trois ans (2012, 2013 et 2014) pendant les phases larvaires et de captage grâce à l'acquisition de bases de données climatique, hydrologique et biotique (Figure 1).

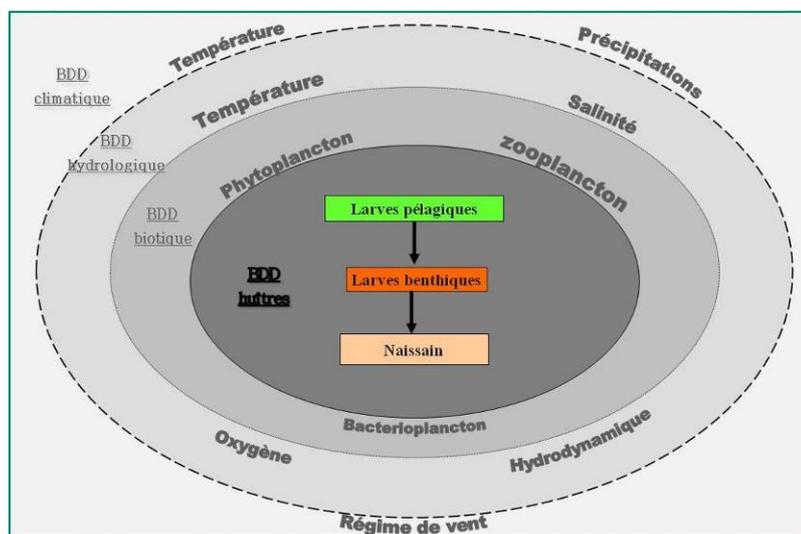


Figure 1 : Bases de données biotiques et abiotiques acquises dans le cadre du projet PRONAMED 2 dans l'objectif d'améliorer la connaissance des processus de reproduction et de captage de l'huître creuse en lagune méditerranéenne.

La définition des interactions entre les multiples facteurs étudiés à différents stades de développement larvaire permettra d'améliorer la connaissance des traits de vie de l'huître creuse en lagune méditerranéenne.

Le comportement hydrodynamique de l'écosystème est à la base de plusieurs processus liés aux traits de vie de l'huître creuse en lagune. Une étude des effets de la dispersion larvaire en lagune de Thau est présentée dans ce rapport faisant état de la circulation des masses d'eau selon des conditions météorologiques associées à des périodes de ponte et d'une nouvelle approche de la connectivité.

Enfin, il a été établi que l'exondation des collecteurs est une pratique absolument nécessaire dans le contexte lagunaire pour optimiser le captage naturel et limiter la compétition territoriale entre espèces benthiques (Rayssac *et al.* 2012). Le déploiement et la gestion des collecteurs à coupelle en lagune méditerranéenne sont à l'origine de beaucoup de questions émanant de la profession et il existe une disparité des méthodes de déploiement de collecteurs. Une expérimentation portant sur le déploiement des collecteurs selon plusieurs conditions (« fagot », « ligne », « collecteur horizontal », « collecteur vertical ») permet de proposer une méthode optimale de gestion de ces outils de captage.

2. Matériels et Méthodes

2.1. La lagune de Thau et les stations expérimentales

La lagune de Thau est la plus grande des lagunes du Languedoc Roussillon. D'une profondeur moyenne de 3,5 mètres, elle a une superficie de 7 500 hectares (19 km × 4.5 km) et est alimentée en eau de mer par des canaux (dénommés graus en occitan). Le bassin versant couvre une superficie de 25 000 hectares.

Huit stations expérimentales de captage ont été implantées dans la lagune (Figure 2) :

- Trois stations expérimentales ont été installées dans les zones ostréicoles (Bouzigues, Meze, Marseillan)
- Trois à cinq stations (selon les années) ont été déployées en dehors des zones ostréicoles (Marseillan_HT, Listel, Meze_HT, Bouzigues_HT, Balaruc_HT).

Le positionnement des stations a été fait selon un axe Nord-est/Sud-ouest en zones conchylicoles et en dehors des zones conchylicoles. Les stations Meze_HT et Listel ont été positionnées de manière à être sur des pentes bathymétriques du bassin principal de la lagune. Ces pentes contraignent la mise en place des cellules de circulation des masses d'eau (Ifremer 2004).

Différents types de diagnostics ont été réalisés au niveau de ces stations expérimentales :

- Hydrologique pour les suivis « Température », « salinité » en haute fréquence (3 stations : Bouzigues, Mèze et Marseillan)
- Abondance et survie des larves pélagiques d'huître creuse (six stations expérimentales ont été suivies en 2012, 7 stations en 2013 et 8 stations en 2014, comme précisé dans le Tableau 1)
- Abondance et survie des larves benthiques et naissains d'huître creuse (six stations expérimentales ont été suivies en 2012, 7 stations en 2013 et 8 stations en 2014, comme précisé dans le Tableau 1)
- Abondance du plancton (bactérie, protozooplancton, mésozooplancton, phytoplancton) pour le suivi de l'apport alimentaire, des compétiteurs et prédateurs des larves d'huîtres. En 2012, les stations Bouzigues, Mèze et Marseillan ont été suivies. En 2013 et 2014, le suivi sur Mèze a été arrêté pour être transféré sur la station Listel située en dehors des zones conchylicoles.

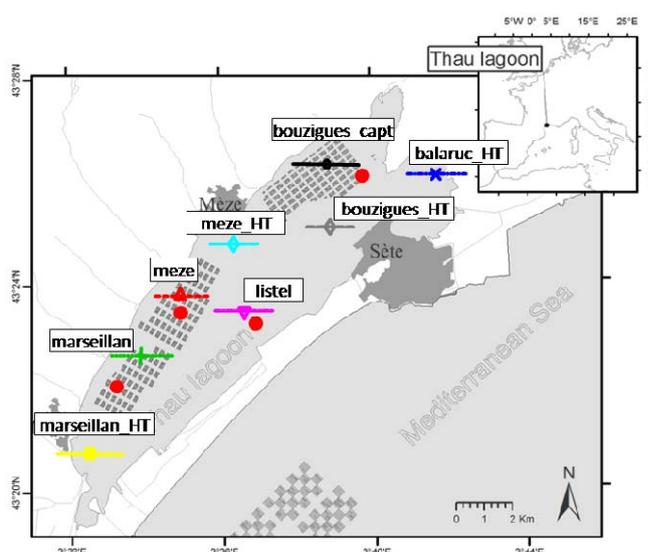


Figure 2 : Représentation cartographique de la lagune de Thau, de ses zones conchylicoles (zones grisées), des stations expérimentales dédiées au captage naturel et (●) des points de suivis hydrologiques.

Tableau 1 : Profondeurs, positions et année de suivi des stations expérimentales

Code station	Profondeur (m)	Coordonnées Lambert 2 étendu (m)		Coordonnées WGS84 (Degré décimal)		Suivi annuel		
		Est	Nord	Long	Lat	2012	2013	2014
Bouzigues_capt	8.0	705 955	1 827 083	3.64332690	43.4379778	X	X	X
Bouzigues hydro	8.5	707 689	1 826 701	3.66463	43.43429	X	X	X
Meze	3.2	701 156	1 822 531	3.58326056	43.3977765	X	X	X
Marseillan hydro	3.5	698 834	1 818 803	3.55394	43.36461	X	X	X
Marseillan_capt	3.8	700 214	1 820 441	3.57124851	43.3791309	X	X	X
Marseillan_HT	3.6	697 904	1 816 993	3.54214175	43.3484724	X	X	X
Listel	6.9	703 428	1 821 563	3.61106341	43.3887515	X	X	X
Balaruc_HT	5.2	709 897	1 826 476	3.69180552	43.4319240	X	X	X
Meze_HT	5.0	703 083	1 824 415	3.607380	43.414427		X	X
Bouzigues_HT	8.0	706 344	1 824 810	3.64766667	43.417500			X

2.2. Abondance et survie des larves et naissain d'huître creuse

2.2.1. Pêche de larves pélagiques

Les « pêches de larves » se font par pompage et filtration en filet à plancton (Auby *et al.* 2002, Pouvreau *et al.* 2015). Le suivi de l'abondance larvaire permet d'évaluer la date d'apparition, l'abondance et le bon déroulement du développement des larves émises dans la colonne d'eau et sur les collecteurs (Figure 3). Le seuil de détection de cette méthode est estimé à 50 larves pour 1.5 m³.

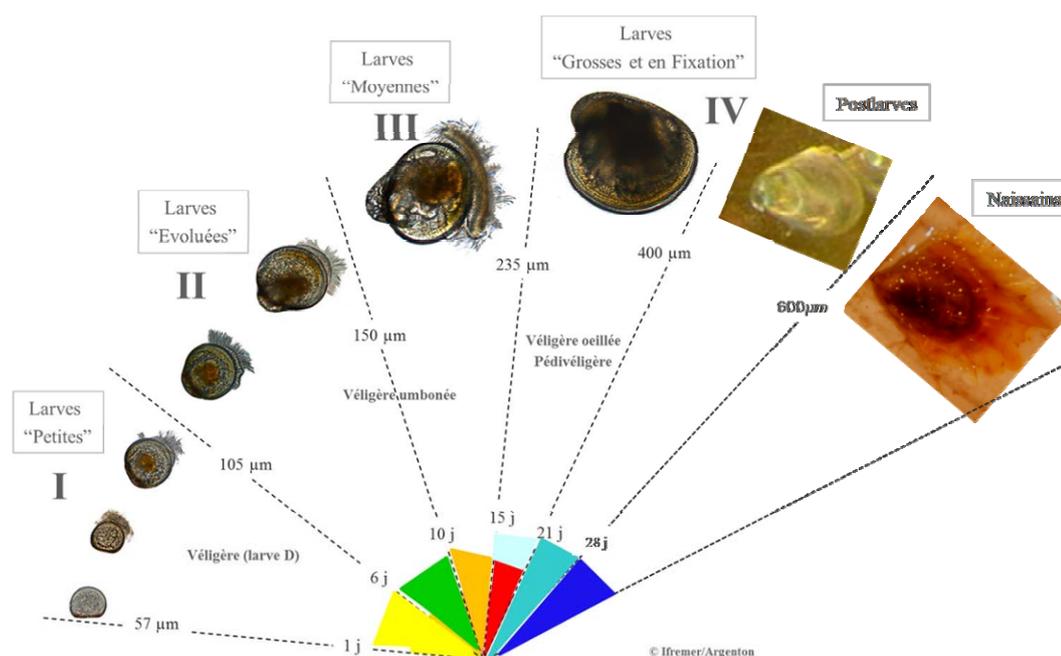


Figure 3 : Planche de détermination des stades larvaires chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Pennec (1978) et His (1991), Source Velyger (Pouvreau 2015), modifié par F. Lagarde 2015. Les durées de stades sont données à titre indicatif, ils sont fonction de la température et des concentrations en nourriture.

2.2.2. Collecte de naissains

Les collecteurs à coupelles sont utilisés pour collecter les larves d'huîtres creuses à différents stades de vie (pédiveligères, postlarves et naissains). Un collecteur est composé de 44 coupelles et mesure 110 cm (Figure 4a). Dans le cadre de l'expérience, l'unité d'échantillonnage est la coupelle. Les coupelles sont de couleur blanche et de diamètre 15 cm. Chaque collecteur est échantillonné à trois niveaux haut, milieu et bas (Figure

4a) Les coupelles sont repérées selon leur position de bas en haut (haut=39ème coupelle, milieu=22ème coupelle, bas=5ème coupelle).

La coupelle a deux faces « dessus » et « dessous », toutes deux observées à la loupe binoculaire pour compter les larves d'huitres présentes, ou macroscopiquement si possible. Chaque face de coupelle est divisée en 18 surfaces de même aire nommées « sous-unité de base » (Figure 4b). Les densités de larves sont évaluées, répliquées trois fois, sur des sous-unités de comptage allant de 1 à 4 sous-unités de base. Le choix du nombre de sous-unités de base constituant la sous-unité de comptage est basé sur la quantité de larves afin d'optimiser le temps de comptage.

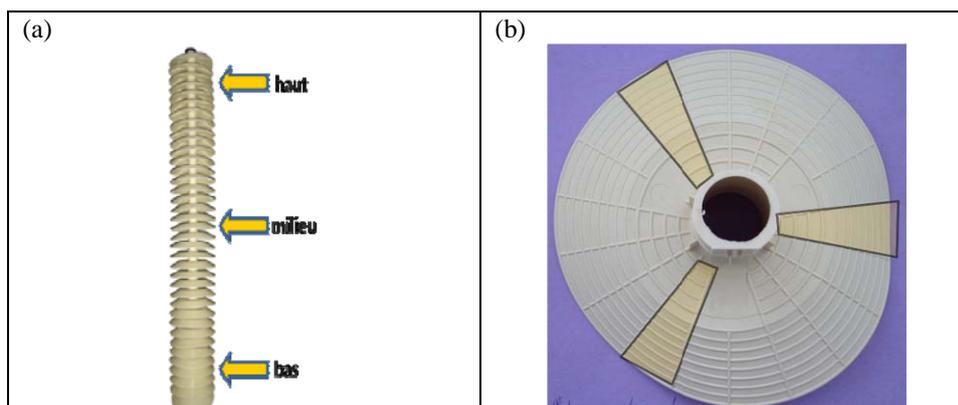


Figure 4 : (a) Photographie de collecteur à coupelles et (b) coupelle, vue de dessus, avec le tripliquat de sous-unités de comptage de 1 sous-unité de base dans cet exemple.

Les collecteurs à coupelle sont déployés à la verticale et répliqués trois fois (triplicat) sur chaque station expérimentale. Dans les zones conchylicoles, les collecteurs à coupelle sont immergés en suspension sous les tables à 2 mètres sous la surface. En dehors des zones conchylicoles, les collecteurs sont déployés par l'intermédiaire de systèmes de mouillage.

2.2.3. Les systèmes de mouillage pour les stations hors des zones conchylicoles

Les systèmes de mouillage utilisés sont dimensionnés pour que le haut des collecteurs soit positionné à 2.5 mètres sous la surface. Ils sont prévus pour supporter 2 collecteurs (Figure 5), le collecteur immergé durant « 2 semaines » et le collecteur immergé durant « 4 semaines ». Le mouillage est lesté par une chaîne de 35 kg, tendu par un flotteur subsurface de 3 litres et balisé en surface par un flotteur de surface et un fanion. Ces systèmes de mouillage concernent la station expérimentale Listel, Bouzigues HT, Meze HT, Balaruc HT et Marseillan HT. Il y a trois répliquats de mouillage par station expérimentale.

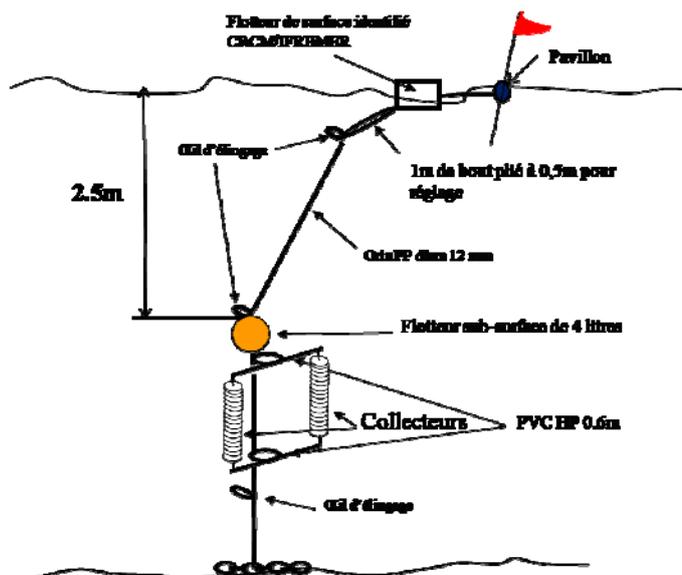


Figure 5 : schéma de système de mouillage hors-zone conchylicole.

2.3. Abondance du plancton

En 2012, les abondances de plancton ont été suivies aux stations Bouzigues, Mèze et Marseillan, toutes trois situées dans les zones conchylicoles. Cependant, en 2012, la station expérimentale Listel s'est illustrée par de fortes intensités de captage (Lagarde *et al.* 2015) et la nécessité de comprendre les processus à l'origine de ce succès a induit une adaptation de la stratégie d'échantillonnage : Pour les années 2013 et 2014, les échantillons en vue de l'analyse du plancton ont été prélevés aux stations Bouzigues et Marseillan dans les zones conchylicoles et Listel en dehors des zones conchylicoles. L'ensemble des protocoles et résultats liés aux analyses du plancton (hors flore totale) est décrit annuellement dans les rapports (Bec 2012, Bec *et al.* 2012, 2013, 2014).

Les analyses du plancton portent sur les abondances de bactérioplancton, la biomasse et les abondances de pico- (de taille inférieure à 3 μm), picoeucaryotes (PEUC) et picocyanobactéries (CYAN), de nano- (entre 3 et 20 μm , NANO) et de micro-phytoplancton (supérieur à 20 μm), les abondances de protozooplancton (Flagellés hétérotrophes et Ciliés), mésozooplancton et des flores totales.

Les flores totales permettent de connaître la composition taxonomique du phytoplancton et sont réalisées selon le protocole du réseau de surveillance du phytoplancton (REPHY) décrit par la norme « NF-EN-152014 de décembre 2006, guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée » (Méthode UTERMÔHL). La fréquence d'observation est hebdomadaire du 15 juin au 30 septembre des trois années de suivi 2012-2014. Les résultats de flore totale sont exprimés en nombre d'individus par litre.

La variable « Compétiteurs » représente l'abondance des espèces compétitrices trophiques. Cette variable est calculée par la somme des nauplius de copépodes, des larves d'annélides, de cirripèdes, d'ascidies et de gastéropodes.

La variable « Prédateurs » représente l'abondance des espèces prédatrices. Cette variable est la somme des individus arthropodes (*Penilia avirostris*, *Podon sp.*, *Evadne sp.*), des larves de décapodes, des mysidacées, de cnidaires hydrozoaires *Obelia sp.*

Les abondances bactériennes et phytoplanctoniques sont exprimées en 10^6 cellules l^{-1} . Les biomasses phytoplanctoniques sont exprimées en $\mu g l^{-1}$. Les résultats de protozooplancton et flore totale sont exprimés en nombre d'individus par litre. L'unité du mésozooplancton s'exprime en individus par mètre³.

2.4. Stratégies d'échantillonnage

2.4.1. Abondance et survie des larves pélagiques d'huître creuse

L'évaluation des abondances larvaires, «les pêches de larves », sont réalisées 2 fois par semaine de juin à septembre 2012, 2013 et 2014. Ce travail se fait de façon similaire sur les stations Bouzigues, Mèze, Marseillan et Listel avec néanmoins deux opérateurs différents. Les larves prélevées par Ifremer aux stations Bouzigues, Mèze et Marseillan sont diagnostiquées par Cochet Environnement dans le cadre du réseau « VELYGER » alors que les stations Balaruc HT, Bouzigues HT, Listel, Mèze HT et Marseillan HT sont prélevées et diagnostiquées par le CRCM.

2.4.2. Stratégies d'échantillonnage pour l'étude des larves benthiques et naissains d'huîtres creuses en lagune

L'étude spatiotemporelle des densités de larves benthiques à trois différents stades, pédivéligère, postlarve et naissain, a pour objectif de caractériser les intensités de captage selon des variables de l'environnement. L'expérience a été conduite sur trois années consécutives 2012, 2013 et 2014, et sur une vingtaine de semaines du 1er juin au 15 octobre. Sur cette période, toutes les deux semaines, des séries de collecteurs sont déployées pour une durée totale de 4 semaines. Les prélèvements de coupelle sont réalisés après 2 semaines d'immersion (pour évaluer les quantités de larves pédivéligères et postlarves) et après 4 semaines d'immersion (pour évaluer les quantités de naissain) (Figure 6).

Les données concernant les densités d'individus par coupelle sont des moyennes issues des comptages des sous-unités de comptage (cf. § 2.2.2) convertis en nombre d'individus par coupelle. Les intervalles de confiance associés aux moyennes sont calculés au niveau de confiance de 95%.

La variabilité des densités de pédivéligères et naissain par coupelle pourra être catégorisée en 4 catégories (Pouvreau *et al.* 2012) :

- Captage nul : pour 0 individu par coupelle
- Captage faible : de 0 à 20 individus par coupelle
- Captage moyen : de 20 à 200 individus par coupelle
- Captage excellent : de 200 à 2000 individus par coupelle
- Captage pléthorique : >2000 individus par coupelle

A chaque date de prélèvement (T1, T2, T3,...T8), les stations sont munies de :

- 1 série de 3 collecteurs témoin (3 réplicats témoin) mis en place sur la totalité de la durée de l'expérience. Ces témoins, non exondés, ne font l'objet de comptages de naissain qu'à la fin de la période de déploiement des collecteurs (non-étudiés ici).
- 1 série de 3 collecteurs (réplication 3 fois) pour estimation des quantités de larves pédivéligères et postlarves après une immersion de 2 semaines.
- 1 série de 3 collecteurs (réplication 3 fois) pour estimation des naissains après immersion de 4 semaines.



Chaque station de captage est donc équipée de 9 collecteurs en routine, à l'exception de T0 et T9 où sont présents 6 brins de coupelles, la série de témoins (3 brins) et 1 série de collecteurs (3 brins).

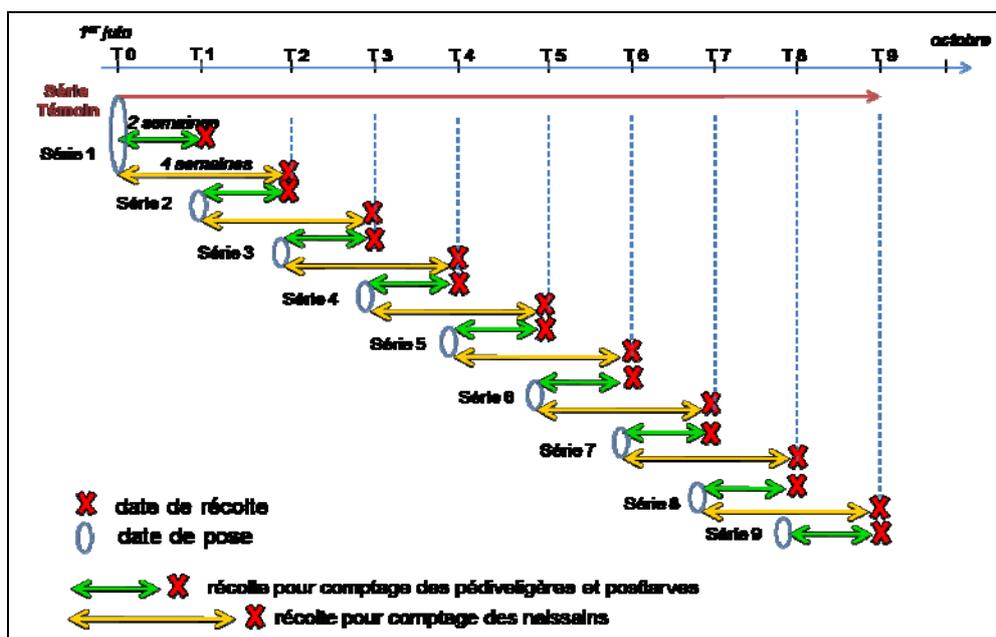


Figure 6 : Schéma de la stratégie d'échantillonnage des collecteurs sur la période d'observations.

2.4.3. Stratégies d'échantillonnage pour le plancton en lagune

Les stations ont été échantillonnées chaque semaine du 15 juin au 30 septembre, les années 2012, 2013 et 2014 pour les stations expérimentales Marseillan, Bouzigues. La station Mèze n'a été suivie qu'en 2012 et le suivi a été transféré au point Listel en 2013 et 2014.

2.5. Caractérisation des conditions météorologiques, hydrologiques et hydrodynamiques

2.5.1. Vent

En milieu lagunaire semi-fermé le vent constitue le principal moteur de la dynamique des masses d'eau : il contrôle donc, via les courants qu'il engendre, le transport et la dispersion des communautés pélagiques au sein de la lagune.

Depuis avril 2008, le vent (intensité et direction) est mesuré directement sur la lagune (à la station Marseillan sur la Figure 2) dans le cadre d'une collaboration entre l'Ifremer et le Centre National de la Recherche en Météorologie. Ces données sont acquises suivant le protocole défini par Météo-France (fréquence d'acquisition de 1 mn et moyennées sur 10 mn) (Pelletier 2008).

2.5.2. Température et salinité

Les paramètres hydrologiques « Température » et « Salinité » sont acquis en haute fréquence et en continu sur les trois stations Bouzigues, Mèze et Marseillan. La fréquence des mesures est de 30 minutes et la période d'acquisition s'étale du début du mois de mars jusqu'à la fin du mois de septembre pour 2012, 2013 et 2014. Les sondes NKE STPS® sont positionnées entre 1 m et 1,5 m sous la surface.

2.5.3. Oxygène

Les données d'oxygène utilisées sont issues de la base de données du suivi préventif « Malaïgue » orchestré entre 2006 et 2014 par l'Ifremer, associé au Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT), à la Communauté des Communes du Nord du Bassin de Thau (CCNBT) et au Comité Régional Conchylicole de Méditerranée (CRCM). Cette base rassemble des mesures *in situ* de température, salinité et oxygène prises sur 42 points de suivi. Les points de suivi ont été moyennés par zone (Bouzigues, Mèze, Marseillan) pour donner les tendances par zone géographique.

2.5.4. Courantométrie

Les mesures de courant ont été réalisées avec un courantomètre acoustique à effet Doppler Télédyne-RD Instruments, modèle Sentinel 1200KHz, dédié « petit fond » et « faible courant » positionné sur le point Listel. Cet appareil est posé au fond et acquiert des mesures de hauteurs d'eau, et des profils verticaux de courant (intensité et direction) à une fréquence de 5 minutes.

2.5.5. Hydrodynamique et connectivité potentielle

La circulation des masses d'eau, le transport et la dispersion de larves dans la lagune de Thau sont appréhendés à l'aide du modèle hydrodynamique MARS-3D (Lazure & Dumas 2008). Ce modèle est adapté à la simulation des écoulements des régions côtières de l'océan d'une échelle régionale à locale (golfe, estuaire, lagune...). L'application de ce modèle sur la lagune de Thau a été initiée au début des années 90 (Lazure 1992). Depuis, de nombreux travaux ont été menés afin de fiabiliser les résultats de simulation relatifs à la circulation induite par le vent (Aliaume *et al.* 2006, Fiandrino *et al.* 2009), au transport et à la dispersion de panaches d'eau douce et de contaminants associés (Cesmat *et al.* 2010), aux échanges avec la mer (Fiandrino A *et al. in prep.*).

Les levés bathymétriques utilisés pour définir la grille de calcul du modèle à une résolution horizontale de 100 mètres ont été acquis en 2010 par la Cellule Hydrographique des Services Portuaires de la Région Languedoc-Roussillon. Le trait de côte est issu des banques de données de l'IGN (BD carthage, 1998 ; BD cartho, 1997).

Le modèle hydrodynamique, forcé avec les séries temporelles de vent mesurées à la station Marseillan, permet de simuler le transport et la dispersion d'une substance dissoute conservative dont la source d'émission se situe dans un secteur prédéfini de la lagune. Une telle substance, émise dans les zones conchylicoles à un instant donné, est susceptible de représenter le devenir des larves durant leur phase de vie pélagique moyennant des hypothèses simplificatrices i) : le mouvement propre des larves (comportement natatoire et migration nyctémérale sur la verticale) est négligeable devant la dynamique des masses d'eau et ii) : les processus de mortalité ne sont pas pris en compte.

Ce modèle donne alors accès à la connectivité potentielle qui correspond à la probabilité qu'une larve émise dans une zone de ponte (e) soit transportée vers une zone de réception (r) à la fin de la durée de vie larvaire (Watson *et al.* 2010). Cette connectivité potentielle $P_{er}(t)$ est généralement basée sur le rapport entre $Q_{er}(t)$: la quantité de larves retrouvées dans le secteur de réception (r) à un instant (t) et provenant du site d'émission (e) et Q_e : la quantité totale de larves émises au site d'émission (e).



Figure 7 : Localisation, sur la grille de calcul du modèle hydrodynamique MARS-3D, des treize zones d'émission dans les trois zones conchylicoles de la lagune de Thau

Afin de caractériser la connectivité potentielle au sein de la lagune de Thau, treize secteurs d'émission ont été définis dans les trois zones conchylicoles (

Figure 7) en s'assurant que les volumes de tous les secteurs sont équivalents. Treize substances d'égale concentration sont « lâchées » instantanément sur toute la colonne d'eau dans chaque secteur à un instant T_0 (la faible inertie du milieu fait qu'un laps de temps de 3 jours entre T_0 et le début de la simulation est suffisant pour évacuer les conditions initiales et stabiliser les conditions hydrodynamiques du milieu).

Afin de prendre en compte i) : la variabilité des périodes de ponte (entre mai et septembre) et ii) : la variabilité des conditions environnementales durant la phase de vie pélagique, 50 simulations sont réalisées sur une année selon le plan d'échantillonnage suivant : $T_0(S_1) = 04$ mai pour la première simulation S_1 et $T_0(S_{50}) = 29$ septembre pour la dernière simulation (S_{50}). Les dates de lâcher sont décalées de 3 jours entre deux simulations successives ($T_0(S_2) = 7$ mai, ..., $T_0(S_{49}) = 26$ septembre ...). Chaque simulation couvre une période d'un mois après la date de lâcher et ce même protocole est réalisé sur 6 années entre 2008 et 2013. Au total 300 simulations ont donc été réalisées.

2.1. Table d'exondation et méthode

La table Ifremer est équipée d'un système d'exondation automatique, breveté par la société « MEDITHAU », développé par la société IPC Energies. L'installation comprend (i) trois perches motorisées, (ii) un automate programmable alimenté par des panneaux solaires, (iii) un concentrateur de données équipé d'un modem et (iv) un poste de conduite localisé à Sète au sein du Laboratoire Environnement Ressources/Languedoc Roussillon (LER/LR).

La planification des exondations de collecteurs a été élaborée pour réaliser une exondation hebdomadaire, de 7 heures à 9 heures, le lundi matin de juin 2014 à novembre 2014.

2.2. Stratégie expérimentale pour la gestion des collecteurs

Les collecteurs à coupelles ont été mis en place le 12 juin 2014, suspendus aux trois perches de la table d'exondation par lot de 6 collecteurs selon deux pratiques de captage. Dans un premiers cas, les 6 collecteurs étaient maintenus en ligne dans des cadres de PVC. Dans l'autre les 6 collecteurs étaient regroupés en amas et maintenus à l'aide de cordes (Fagot : Figure 4). Ces ensembles, appelés unités expérimentales ont été suspendus soit verticalement, soit horizontalement (Figure 8). Ainsi 4 conditions de pratiques culturales ont été testées : ie. Ligne/Vertical, Ligne/Horizontal, Fagot/Vertical, Fagot/ Horizontal (Figure 4). Chaque condition a été répliquée trois fois et réparties sur chacune des 3 perches. Ainsi un total de 12 unités expérimentales a été suspendu aux perches de la table.

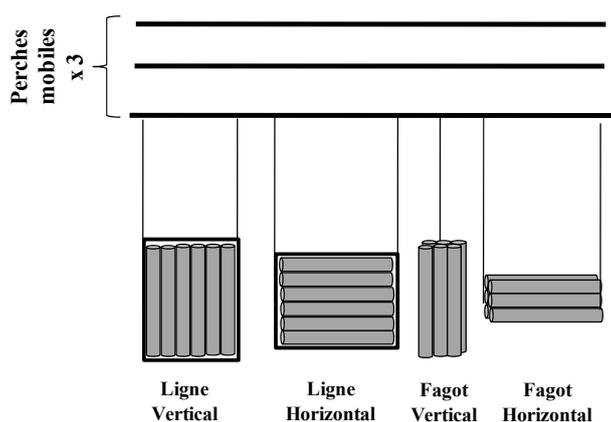


Figure 8 : Schéma du plan expérimental testant l'influence de 4 conditions de pratiques de captage répliquées trois fois à l'aide de 12 unités expérimentales réparties sur les 3 perches motorisées de la table de l'Ifremer.

L'échantillonnage a eu lieu le 12 novembre 2014. Trois collecteurs par unité expérimentale ont été récupérés. Sur chacun de ces collecteurs, trois coupelles ont été extraites le long du collecteur : en haut, au milieu et en bas. Ainsi 108 coupelles ont été échantillonnées pour cette expérience (4 conditions x 3 collecteurs.unité⁻¹ x 3 coupelles.collecteur⁻¹ x 3 réplicas de condition).

Sur chacune de ces coupelles, le nombre, le poids et la taille du naissain vivant ont été déterminés. Le taux de mortalité est le rapport entre nombre de naissain mort et au nombre total de naissain fixé par coupelle. Les coupelles ont été pesées au moment de l'échantillonnage (PTotal : épibiontes + huîtres) puis après détachement individuel des huîtres (PSansHuitre). La biomasse d'épibiontes par coupelle a été déterminée en soustrayant le PSansHuitre et le poids de la coupelle vierge au PTotal.

3. Analyse de données

Les analyses de données sont réalisées avec le logiciel de statistique R (Core Team 2015) distribué gratuitement par le CRAN (Comprehensive R Archive Network) associé au package Rcommander.

L'objectif premier est d'expliquer la variabilité de l'intensité du captage naturel de la lagune de Thau en fonction de variables de l'environnement lagunaire (météo-hydrologie, plancton).

La connexion entre les différentes bases de données des variables à expliquer (larves pélagiques, larves benthiques et naissains d'huîtres) et des variables explicatives de l'environnement (hydrologie et plancton) est établie par l'intermédiaire des dates et des périodes d'apparition des cohortes larvaires et du naissain selon la méthode d'intégration défini au §3.1.2.

3.1. Les variables d'intérêt : larves pédivéligères, postlarves et naissain

Les variables d'intérêts de cette étude sont le nombre de pédivéligères par coupelle, le nombre de postlarves par coupelle et le nombre de naissain par coupelle. Pour rappel, Les deux premières variables sont comptées 2 semaines après la mise à l'eau des collecteurs tandis que la dernière variable est comptée 4 semaines après la mise à l'eau.

La variable « pédivéligère » est une bonne variable pour décrire l'implantation précoce du naissain sur les capteurs illustrant l'approvisionnement en larves et la période de « Fixation ». Le lien entre les variables « pédivéligères » et « naissains » (Figure 9 & Figure 10) montre qu'il existe beaucoup de cas où ces premières fixations n'aboutissent pas à la formation de naissain. En outre, la variable « postlarve » est très

corrélée à la variable « naissain » ($\rho = 0.68$, $p \text{ value} = 2.2e^{-16}$) si ce n'est quelques points pour lesquels du naissain est vu sans que les quantités correspondantes de postlarves n'aient été comptées. Ceci suggère d'utiliser uniquement les variables « naissain » et « pédivéligères » pour la suite de l'étude.

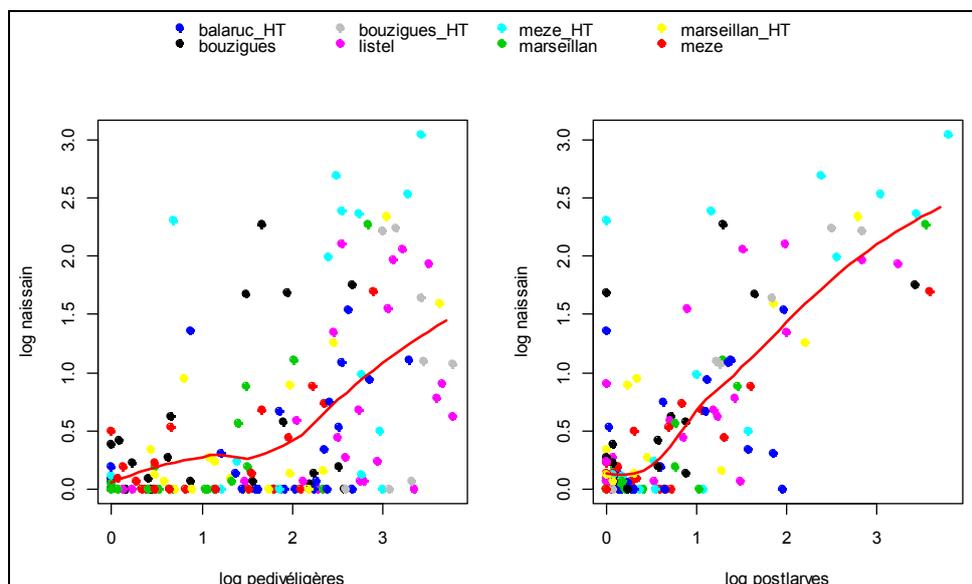
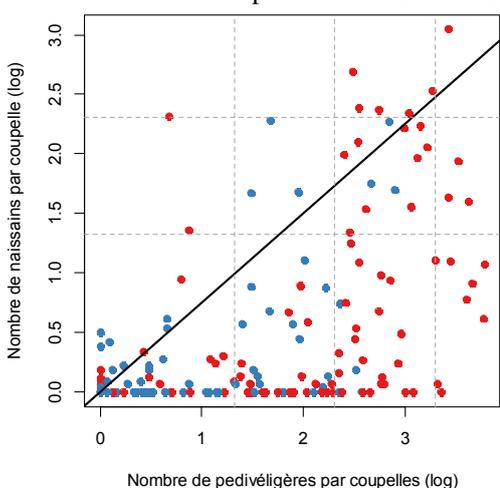


Figure 9 : Représentations graphiques des liens entre « pédivéligères et naissain » et « postlarves et naissain », en \log_{10} du nombre d'individus par coupelle sur les 8 différentes stations expérimentales sur les années 2012, 2013 et 2014. En rouge, courbe de régression polynomiale ajustée (LOESS)

3.1.1. Caractérisation de la survie entre naissain et pédivéligères

Le nuage de point créé par le tracé du lien entre le nombre de pédivéligères comptées au terme des 15 premiers jours d'immersion des collecteurs et le nombre de naissains comptés au terme des 2 semaines suivantes (Figure 9) montre que la phase d'installation des larves sur les collecteurs est problématique. En fixant le taux de survie optimal³ des pédivéligères à 75 % (coefficient directeur de la droite noire), beaucoup de cas s'éloignent de cet optimal, particulièrement hors-table. Il est ainsi possible de calculer un indicateur de la survie lors de cette phase d'installation en calculant la distance à la droite optimale des différents points.



Par convention, cette distance sera négative en cas de survie sous-optimale et positive en cas de survie sur-optimale.

Figure 10 : Représentations graphiques des liens entre « pédivéligères » et « naissain », en \log_{10} du nombre d'individus par coupelle sur les 8 différentes stations expérimentales sur les années 2012, 2013 et 2014, selon les conditions captage en zone de « Table » ou « Hors-Table » et matérialisation de la droite (ligne noire) de l'indicateur « le taux de survie optimal ».

³³ A noter qu'en Atlantique, la survie mesurée est de 100% entre larves grosses et naissain (Pouvreau *et al.* 2015)

3.1.2. Définition des périodes d'étude des stades larvaires

Il s'agit ici d'établir une méthode pour analyse moyenne, plus rapide mais moins pertinente qu'une analyse cohorte par cohorte qui sera entreprise ensuite dans le cadre du projet doctoral de Franck Lagarde (2015-2018).

Il convient d'établir le délai optimal pour une hypothétique corrélation entre la concentration en larves, petites ou grosses, et le nombre de pédivéligères comptées sur les coupelles. Ce délai définira la durée de vie larvaire entre les différents stades de vie et par conséquent, les périodes intéressantes à étudier. Des matrices de test de corrélation non-paramétrique (Spearman) sont calculées en faisant varier la période de calcul des maximums de concentrations larvaires aux différents stades larvaires d'intérêts afin de définir les durées moyennes entre les stades « larves petites » et « pédivéligères » et entre les stades « larves grosses » et « pédivéligères ».

Pour le lien entre pédivéligères et larves grosses, la corrélation apparaît la plus robuste entre 2 et 7 jours avant la date de pose : on choisira 4 jours avant (Figure 11a). La période d'étude des processus de fixation, entre le stade de larves grosses et le stade de pédivéligères commence donc 4 jours avant la date de pose et se termine à la date de récolte des pédivéligères, soit une période d'étude intégrée de 18 jours.

Pour le lien entre pédivéligères et larves petites, une corrélation significative n'apparaît que pour les stations situées dans les tables, seules ces stations ont donc été utilisées pour évaluer la période de vie larvaire. La matrice de probabilité montre un effet important du choix du nombre de jours avant la date de pose des collecteurs, avec un optimum autour de 8 jours avant la date de pose (Figure 11). Pour la vie larvaire, la période d'intégration utilisée est la période comprise entre 8 jours avant la date de pose des collecteurs et 8 jours avant la date de récoltes de coupelle pour compte des pédivéligères, soit une période de 14 jours.

Ainsi, la période maximale de vie larvaire et de fixation s'étend de 8 jours avant la date de pose à la première date de comptage, soit une période d'étude de 22 jours (suffixe des variable `_LARV`) tandis que la période pour étudier la métamorphose s'étend de la première date de comptage à la seconde, soit 14 jours (2 semaines- (suffixe des variable `_INS`).

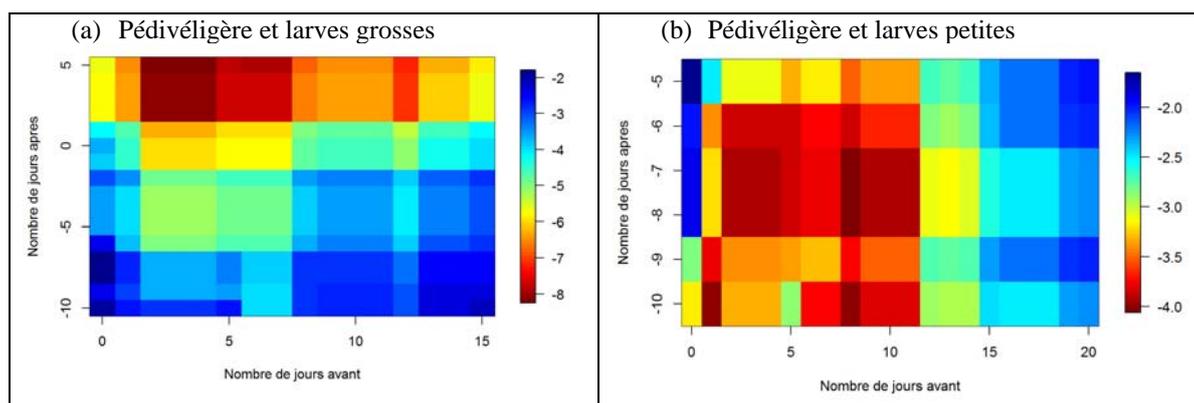


Figure 11 : Représentations graphiques des matrices de P-Value des tests de corrélation de Spearman entre variables d'intérêts (a) pédivéligère et larves « grosses » et (b) pédivéligère et larves « petites » selon le nombre de jours avant la date de pose des collecteurs et après la date de récolte (2 semaines d'immersion).

Le schéma de la Figure 12 permet de synthétiser la définition des périodes d'étude des stades de vie et des processus biologiques importants du cycle de vie (fixation, métamorphose) selon cette méthode des corrélations de maximum d'abondance à différents stade de vie.

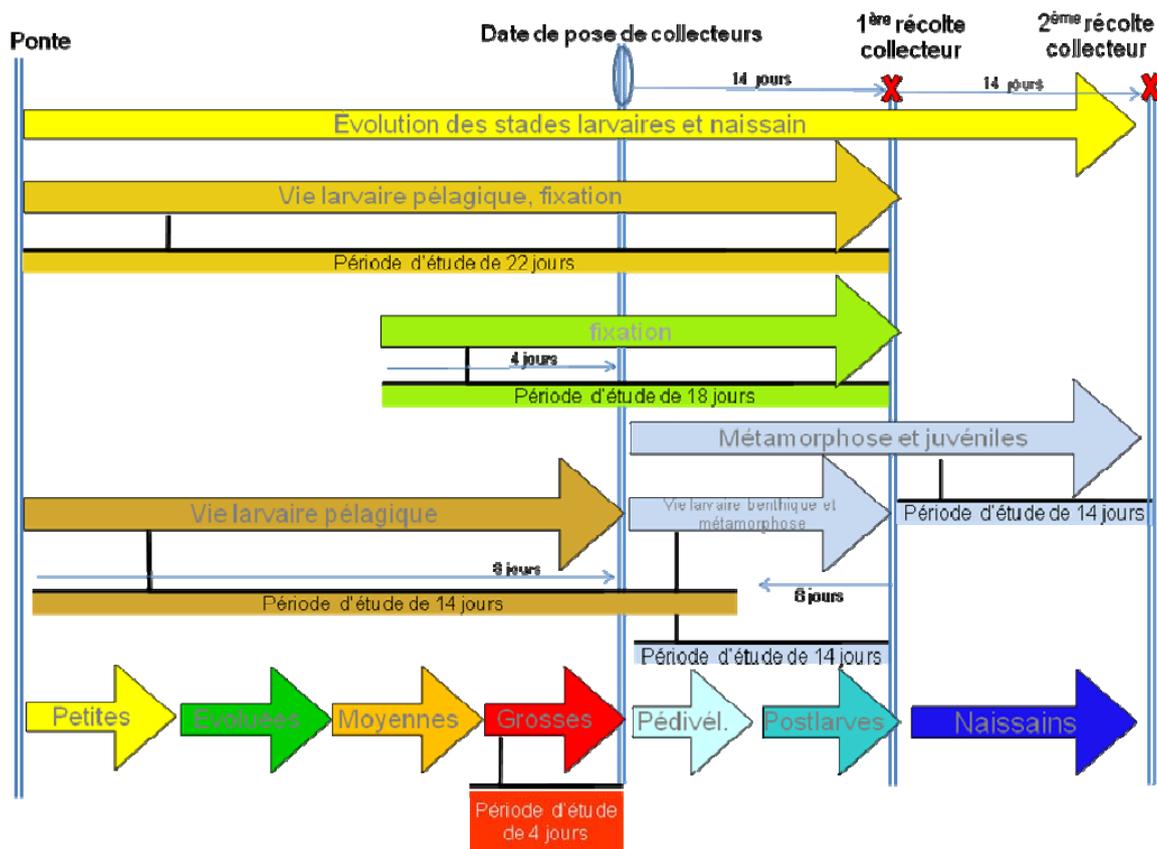


Figure 12 : Schéma explicatif de la définition des périodes d'études des différents stades de vie de l'huître creuse selon la méthode des corrélations d'intensités maximums d'abondance de larves et pédivelligères.

Méthodologie:

- ▶ La période d'étude de la vie larvaire pélagique est estimée à 14 jours.
- ▶ La période d'étude du processus de fixation allant du stade larve grosse au stade pédivelligère est estimée à 18 jours.
- ▶ La période d'étude du cycle larvaire allant de l'apparition des larves petites jusqu'à la métamorphose est estimée à une durée de 22 jours.
- ▶ La période d'étude de la métamorphose est de 14 jours.

3.2. Lien entre stades de vie larvaire pélagique et benthique

Une analyse graphique associée à des tests de corrélation non-paramétriques (Spearman) est réalisée pour qualifier le lien entre les différents stades de vie étudiés. L'intégration est basée sur une période de 22 jours pour les études de larves petites et pédivelligères et 18 jours pour larves grosses et pédivelligères.

3.3. Description spatiotemporelle des variables d'intérêts, pédivelligères, naissain et survie optimale

Des analyses de variance avec interaction et des comparaisons graphiques de moyenne permettent de réaliser les descriptions spatiotemporelles et discriminer les facteurs spatiaux et temporels ayant des effets sur les variables d'intérêt.

3.4. Lien entre les variables d'intérêts et l'environnement hydrologique

Des représentations graphiques associées à des tests de corrélation non-paramétriques (Spearman) sont réalisés pour caractériser les liens entre variables d'intérêts et variables de l'environnement.

3.5. Analyse de l'effet du plancton sur les variables d'intérêts

3.5.1. Caractérisation biotique des stations et des années

Pour caractériser l'environnement biotique des deux phases précédant le naissain, à savoir la vie larvaire et fixation puis la métamorphose, les variables biotiques ont été moyennées sur les périodes correspondantes à chaque comptage de naissain.

Deux ACP sont ainsi construites : la première caractérise la vie larvaire (période de moyennage de 22 jours à partir de 8 jours avant la date de pose collecteur) comme précisé dans le §3.1.2 et la seconde la phase de métamorphose (14 jours à partir de la date de pose du collecteur), une fois sur le collecteur.

3.5.2. Lien entre naissains et nourriture

La méthode de calcul des arbres de décision est choisie pour l'exploration, la sélection de variables et la définition de premiers critères reliant les variables d'intérêt et les variables potentiellement explicatives. Les algorithmes d'élaboration des arbres de décision calculent des classes de variables d'intérêts (nombre de pédivéligères, nombre de naissain et optimalité de la survie) à partir des variables explicatives de l'environnement pour mettre en relief les variables environnementales les plus importantes associées à des critères quantitatifs influents.

L'analyse est réalisée avec le package (party) fournie par le CRAN-R Project, avec la méthode des arbres inférenciels conditionnels (ctree) de Hothorn *et al.*, (2015).

3.6. Analyse des données météorologiques et hydrodynamiques

3.6.1. Vent

Des typologies de vent sont recherchées à partir des données de vent enregistrées à la station Marseillan sur la période d'avril 2008 à décembre 2014 en identifiant, dans un premier temps, les « périodes de vent établi ». On considère que le vent est établi dans un secteur directionnel donné lorsque, durant au moins 15 heures consécutives, 80 % des données de direction du vent restent dans ce même secteur (Figure 13). Une période de vent établi (i) est donc définie par : sa durée (d_i), le secteur directionnel dans lequel le vent souffle (θ_i) et l'intensité moyenne du vent (I_{v_i}) sur toute la durée de la période.

Les périodes entre deux périodes de vents établis sont qualifiées de « périodes de vents tournants ».

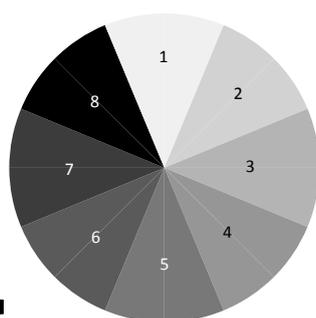


Figure 13 : (ci-contre) Découpage du cercle des directions de vent (direction d'où vient le vent) en 8 secteurs directionnels. (à titre d'exemple : le secteur 8 est centré sur des vents de N-O (315° N), le secteur 4 est centré sur des vents de S-E (135° N).

Une première analyse exploratoire des données acquises entre avril 2008 et décembre 2014 à la station Marseillan montre que les vents sont établis dans un secteur directionnel donné près de 85% du temps en moyenne sur une année hydrologique, avec une occurrence maximale en automne (93% du temps) et minimale en été (76% du temps). Dans ces périodes de vent établi, il apparaît (Figure 14) que :

- les vents sont majoritairement établis au secteur Nord-Ouest (secteur 8 - Figure 13) : ces vents soufflent près de 45% du temps sur l'année,
- les vents de secteurs Nord (secteur 1) et Nord-Ouest (secteur 2) présentent une variabilité saisonnière nette, avec des occurrences de 30% en automne et en hiver et inférieures à 10% au printemps et en été.
- les vents de secteurs Est (secteur 3) présentent également une variabilité saisonnière avec des occurrences proches de 20% au printemps et en été et inférieure à 10% en automne et en hiver.

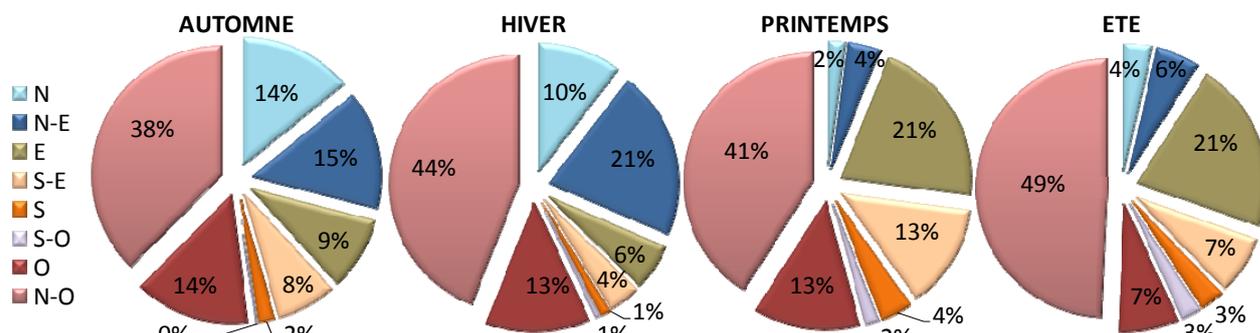


Figure 14 : Occurrence par saison des vents établis dans les 8 secteurs directionnels définis sur la Figure 13.

- les vents de secteur Ouest (secteur 7) ont des occurrences relativement constantes (13%) de l'automne au printemps et plus faibles en été (7%),
- les vents de Sud-Est, généralement associés à des événements pluvieux, sont peu représentés (8% en moyenne sur l'année),
- les vents de secteurs Sud et Sud-Ouest (secteurs 5 et 6) sont très peu représentés tout au long de l'année,

Des classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) sont effectuées sur les périodes de vent établi afin de mettre à jour des typologies de vent. Les variables d'intérêt pour la CAH sont la durée des événements (d_i), l'intensité moyenne du vent (I_{v_i}), le cosinus et le sinus de la direction moyenne du vent ($\cos \theta_i$, $\sin \theta_i$). La CAH est faite sous le logiciel R en utilisant la librairie « cluster ».

La typologie des « périodes de vent établi » est faite par saison sur la base de 4 classes (critère de Calinski). Les regroupements se font principalement sur la durée des périodes de vent établi (d_i) et l'intensité moyenne du vent « I_{v_i} ». Deux types d'événements sont communs aux quatre saisons (Tableau 2) :

- les événements **courts** et de **faible intensité**. Ces événements sont les plus fréquents (entre 46 % du temps en automne et 64% en été).
- Les événements **longs** et relativement **intenses**. Les occurrences de ces événements sont faibles (au maximum 14% du temps en automne).

Tableau 2 : Typologies des périodes de vent établi par saison.

Ev. long et intense

	AUTOMNE	HIVER	PRINTEMPS	ETE
Occurrence (% du temps)	14	8	3	8
Intensité (m/s)	6,3	6,3	6,1	6,1
Durée (jours)	5,2	7,1	8,1	5,4

Ev. court de faible intensité

	AUTOMNE	HIVER	PRINTEMPS	ETE
Occurrence (% du temps)	46	60	52	64
Intensité (m/s)	3,3	3,8	4,2	4,1
Durée (jours)	1,0	1,1	1,0	1,0

Evènements courts d'intensité moyenne ou forte

	AUTOMNE		HIVER	
	Moyenne	Forte	Moyenne	Forte
Occurrence (% du temps)	32	7	11	21
Intensité (m/s)	6,1	9,4	6,2	8,0
Durée (jours)	1,5	1,9	1,6	1,8

Evènements d'intensité moyenne de durée plus ou moins longue

	PRINTEMPS		ETE	
	Courte	Longue	Courte	Longue
Occurrence (% du temps)	13	32	9	18
Intensité (m/s)	6,8	6,3	6,9	6,0
Durée (jours)	1,2	3,3	1,2	2,9

Les deux autres typologies mises à jour par la CAH diffèrent selon les saisons. En automne et en hiver, les évènements ont une durée moyenne de 1,5 à 2 jours et les regroupements se font par classe d'intensité (Moyenne /Forte). Au printemps et en été les évènements ont une intensité moyenne de l'ordre de 6,5 m/s et les regroupements se font par classe de durée (Courte/Longue).

La CAH sur les périodes de vent tournant est faite uniquement avec les variables (d_i et Iv_i), le paramètre directionnel θ_i (direction moyenne sur toute la durée de la période) n'étant pas pertinent dans ce cas. Or, les brises thermiques (succession de vent de terre la nuit et de vent de mer le jour - Figure 15), qui constituent une typologie particulière de vent tournant, ne peuvent être identifiées que sur des critères directionnels : le vent doit être de secteur Nord la nuit et de secteur sud en début d'après-midi.

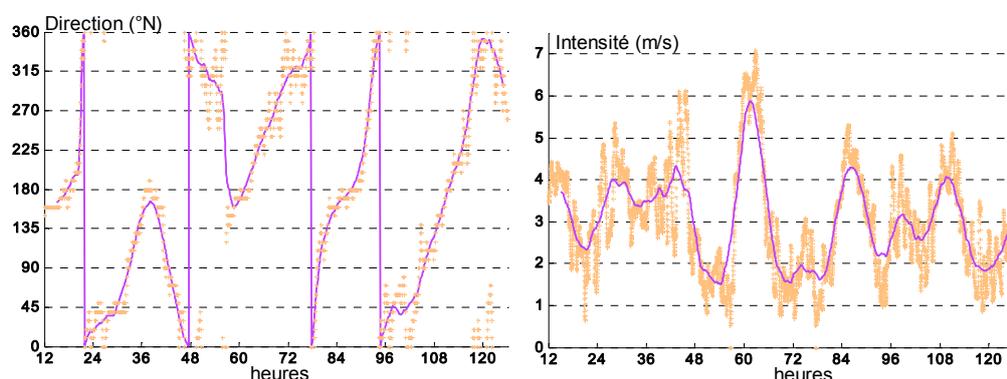


Figure 15 : Evolution temporelle de la direction (gauche) et de l'intensité (droite) du vent mesurées durant une brise thermique entre le 09 et le 14 juillet 2013 (l'axe des abscisses est repéré par rapport au 09/07/2013 à 0 h). Les données brutes (orange) sont lissées sur 6h (courbe magenta). Cet évènement de brise thermique est le plus long enregistré sur la période d'avril 2008 à décembre 2014.

Les brises thermiques durent 2 jours en moyenne avec des intensités maximales en journée (4 m.s^{-1}) et minimales la nuit (2 m.s^{-1}).

La CAH sur les périodes de vent tournant, basées sur les paramètres (Iv_i et d_i), ne met à jour aucune typologie claire. Exceptés les évènements de brise thermique, la plupart des périodes de vent tournant correspondent à des phases de transition entre deux périodes de vent établi ; elles durent en moyenne moins d'un 1,5 jour, ont une intensité moyenne de l'ordre de 3 m.s^{-1} et ne constituent pas des typologies de vent en tant que telles.

3.6.2. Connectivité dynamique

Les travaux menés dans le cadre de ce projet ont montré que la connectivité potentielle définie classiquement $P_{er}(t)$ (cf. § 2.5.5) n'est pas adaptée aux milieux lagunaires semi-fermés. En effet, dans la lagune de Thau, la période de fixation peut débiter 4 jours après la ponte et dure, en moyenne 18 jours (Figure 12). Or, la dilution et l'efficacité du mélange des substances dissoutes conservatives sont telles, qu'au bout d'une dizaine de jours, les concentrations de chacune des treize substances émises sont relativement homogènes à l'échelle de la lagune (Fuhrmann, 2013). La variabilité spatiale des quantités de substances est plus liée aux différences de profondeur qu'aux différences de concentrations. Les cartes de connectivité potentielle à T_0+10 jours sont donc fortement corrélées à la bathymétrie.

Un nouveau descripteur a été élaboré afin d'identifier les zones de la lagune dans lesquelles la probabilité de recrutement est la plus élevée au regard des conditions hydrodynamiques rencontrées durant la période de fixation. En se basant sur une représentation schématique du comportement larvaire, on peut supposer que dès lors qu'une larve est susceptible/capable de se fixer, un choix binaire s'offre à elle : « est-ce-que je me fixe où je suis ou est-ce-que je vais ailleurs ? » Ainsi, durant les phases de fixation, plus un secteur de la lagune est fréquenté par les larves, plus la probabilité de recrutement de ce secteur sera élevée. La connectivité dynamique calculée en chaque maille de la grille de calcul du modèle hydrodynamique est le résultat de l'intégration, sur la période de fixation, des flux de matière qui entrent dans une maille, divisée par la quantité totale de matière émise. Cette connectivité dynamique est sans dimension, elle peut être ramenée à une connectivité dynamique journalière (exprimée en j^{-1}). Sur la lagune de Thau il a été choisi de calculer la connectivité dynamique entre les pas de temps T_0+4 jours et T_0+22 jours.

3.7. Optimisation de la gestion des collecteurs

Une série d'analyses de variance à 2 facteurs (orientation « horizontale » ou « verticale », agrégation en « ligne » ou « fagot ») avec interactions a été réalisée sur la série de données disponibles. Des tests de Tukey ont été réalisés *a posteriori* pour comparer les moyennes entre elles.

4. Résultats

4.1. Lien entre stades de vie larvaire pélagique et benthique

Pour les larves petites, une relation significative existe avec les pédivéligères si on sélectionne les pêches de larves dans les tables ($\rho = 0.436$, $p = 9.02 \cdot 10^{-5}$). Il faut noter que certains pics de larves petites ne se retrouvent pas en pédivéligères. Ceci est compréhensible, aux vues de l'intégration de la période de vie larvaire et de la dispersion qui l'accompagne, plus aléatoire que la phase de fixation. A noter que, pour les zones hors-table, les pics de larves petites sont peu détectés.



La relation définie par la corrélation entre concentration en larves grosses et pédivéligères est significative ($\rho=0.376$, p value= $8.01 \cdot 10^{-7}$) mais présente une forte variabilité. Il apparaît ainsi qu'il est rare de ne pas retrouver de pédivéligères sur les coupelles lorsqu'une concentration importante de larves grosses est observée. À l'inverse, il est fréquent de retrouver des pédivéligères sur les coupelles sans avoir auparavant vu de larves grosses, particulièrement dans les zones hors-table. Il apparaît donc que certains pics de larves grosses ne sont probablement pas vus par les pêches de larves et que la phase de fixation sur coupelle ne semble pas être un verrou biologique au captage.

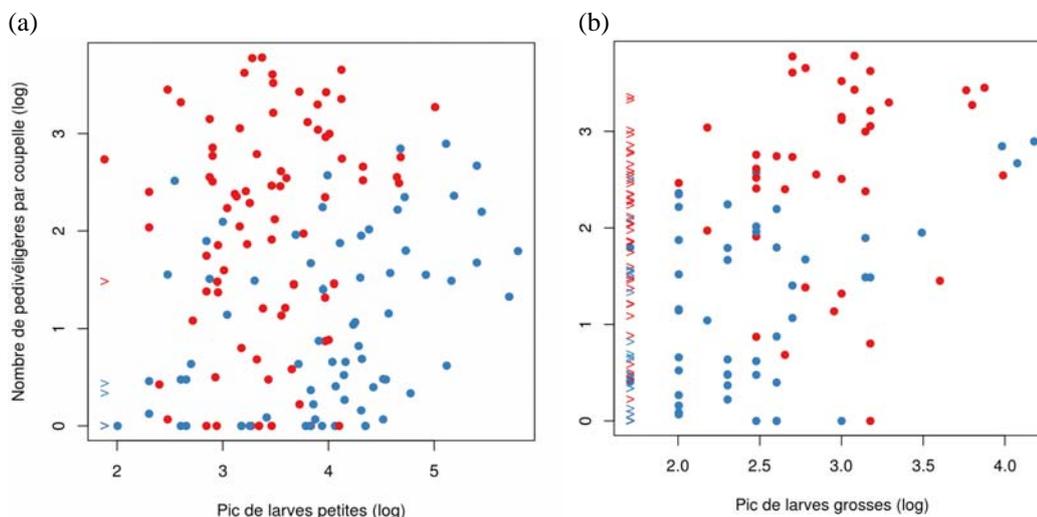


Figure 16 : Représentations graphiques des liens entre (a) « pédivéligères » et « larves petites » et (b) « pédivéligères » et « larves grosses », en \log_{10} du nombre d'individus par coupelle sur les 8 différentes stations expérimentales sur les années 2012, 2013 et 2014, selon les conditions de captage en zone de « Table » ou « Hors-Table ». Les symboles « > » représente les valeurs inférieures au seuil de détection des larves dans l'eau.

En conclusion :

- ▶ Il existe une corrélation forte entre abondance de larves petites, abondance de larves grosses dans la colonne d'eau et abondance de larves pédivéligères sur collecteur.
- ▶ Seulement un petit nombre d'apparitions de larves petites et grosses n'aboutissent pas à la collecte de pédivéligères. La phase de fixation sur collecteur ne semble pas être un verrou biologique du captage dans la lagune de Thau.

4.2. Description spatiotemporelle des variables d'intérêts, pédivéligères, naissain et survie optimale

Les résultats des analyses de variance montrent que le facteur « station » (signif <0.001 , p -value= $4.2 \cdot 10^{-07}$) est prépondérant devant les variations inter et intra annuelles du captage en pédivéligères (signif. <0.001 , p -value= $4.2 \cdot 10^{-07}$) comme en naissain (signif. <0.001 , p -value= $3.72 \cdot 10^{-04}$). L'importance de ce facteur « station » se transcrit alors naturellement sur le nombre de naissain. L'optimalité de la survie est également différente en fonction des stations (signif. <0.001 , p -value= $6.63 \cdot 10^{-04}$) mais aussi en fonction des années (signif. <0.01 , p -value= $7.67 \cdot 10^{-03}$), avec l'année 2013 qui se démarque par une survie plus proche de l'optimale.

Au niveau spatial, l'approvisionnement en larves pédivéligères est en moyenne assez hétérogène au niveau des stations expérimentales avec des maximums pour les stations hors table, Mèze hors-table, Bouzigues hors-table et Listel (Figure 17 a et b).

Le nombre de naissain moyen par site est bien fonction de la conjonction entre le nombre de pédivéligères en présence et de bons niveaux de survie (Figure 17b). Il existe cependant une certaine variabilité au sein de cette relation spatiale avec des sites qui comptabilisent plus de naissains que ce que laisserait attendre les nombre de pédivéligères, comme Meze hors-table ou Bouzigues. Cette différence résulte d'une meilleure survie : les sites de Bouzigues et de Meze hors-table présentent des survies supérieures aux autres. Dans les deux cas, la survie entre pédivéligères et naissains ne semble pas dépendre uniquement de la situation des stations dans les tables ou hors-tables.

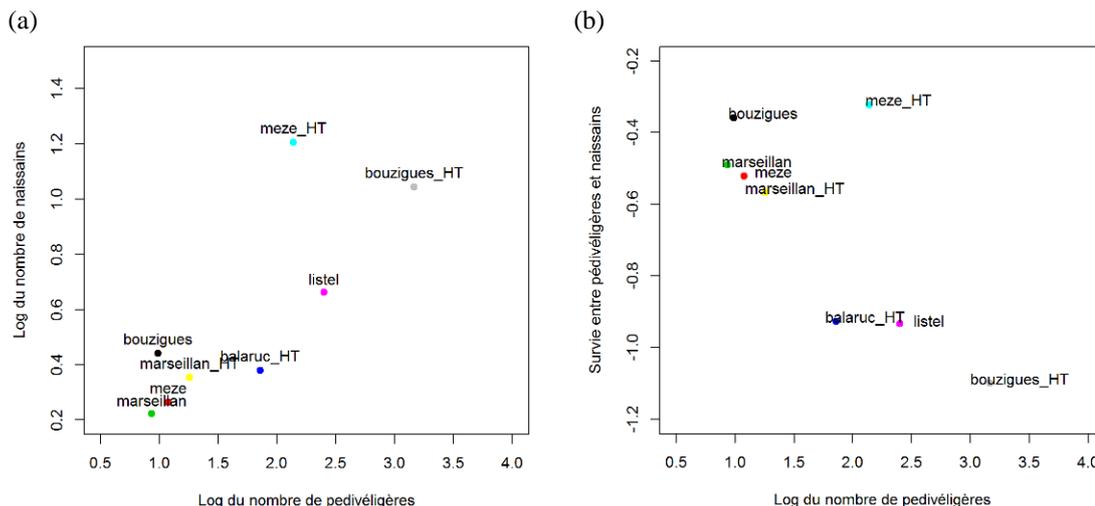


Figure 17 : Représentations graphiques des stations expérimentales selon le nombre de pédivéligères sur coupelle (log10) et (a) le nombre de naissain par coupelle et (b) la survie optimisée.

En analysant par site et par année, on observe une hétérogénéité des apports en pédivéligère en 2012 et 2014 supérieures à 2013. En 2014, les stations Mèze_HT, Bouzigues_HT et Listel montrent, en moyenne, de bons approvisionnements en larves et les meilleures abondances de naissains illustrant des niveaux de survie élevés. On retrouve la particularité de 2013, année pour laquelle les variations du nombre de naissain entre stations s'expliquent surtout par des différences de survie entre le stade pédivéligère et naissain (Figure 18).

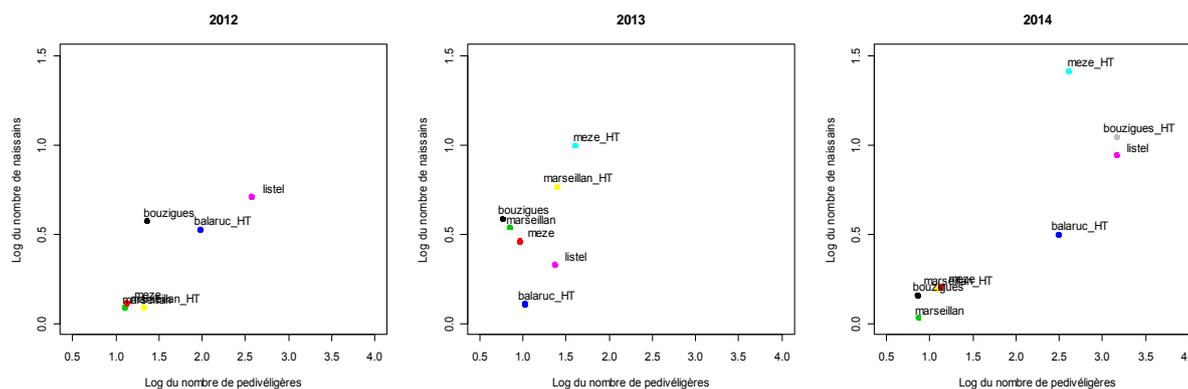


Figure 18 : Représentations graphiques du nombre moyen de pédivéligères et de naissain sur coupelle (log10) en 2012, 2013 et 2014 selon les stations expérimentales.

En conclusion :

- ▶ En lagune de Thau, le nombre de naissains sur les coupelles est déterminé par :
 1. l'approvisionnement en larves pélagiques puis en pédivéligères.
 2. la survie sur le collecteur pendant la phase de métamorphose

► Les intensités de collecte des larves pédivéligères et du naissain varient spatialement d'une station à l'autre et à l'échelle inter-annuelle pour la survie. Ces schémas de variabilité indiquent probablement une origine hydrodynamique pour l'approvisionnement en pédivéligères et une origine trophique pour la survie.

1. l'approvisionnement maximal en larves pédivéligères se retrouve au niveau des stations hors table, Mèze hors-table, Bouzigues Hors-table et Listel

2. les meilleures abondances de naissains se retrouvent sur les sites de Bouzigues et de Meze hors-table et présentent des survies supérieures aux autres

► La station expérimentale Mèze Hors-Table s'illustre par de bons approvisionnements en larves pédivéligères et très bons niveaux de survie des stades pédivéligères à naissain (métamorphose) en 2013 et 2014.

4.3. Lien entre les variables d'intérêts et l'environnement hydrologique

4.3.1. Pédivéligères et naissains

Les résultats de la Figure 19 montrent le lien qu'il existe entre les variables « température et « oxygène » et les variables d'intérêts (a & b) « pédivéligères » et (c & d) « naissains ».

Le nombre de pédivéligères, correspondant à l'approvisionnement en larves pélagiques, (phase larvaire et fixation) est influencé par deux variables hydrologiques : température ($\rho = 0.25$, p value = $1.7 \cdot 10^{-3}$) et concentration d'oxygène dissous dans l'eau ($\rho = -0.31$, p value = $2.6 \cdot 10^{-2}$) pendant les phases de développement larvaire et de fixation, sur la période comprise entre 8 jours avant la date de pose et la date de comptage des pédivéligères. Ces deux variables « température » et « oxygène » sont d'ailleurs également corrélées négativement entre elles sur cette période d'étude.

La relation apparaît faiblement significative entre « température et naissain » ($\rho = 0.19$, p value = $2.2 \cdot 10^{-2}$) alors que le lien entre « oxygène et naissain » apparaît plus important ($\rho = -0.51$, p value = $2 \cdot 10^{-4}$).

Aucun lien n'a été établi entre salinité et nombre de pédivéligères et naissain dans ce contexte expérimental.

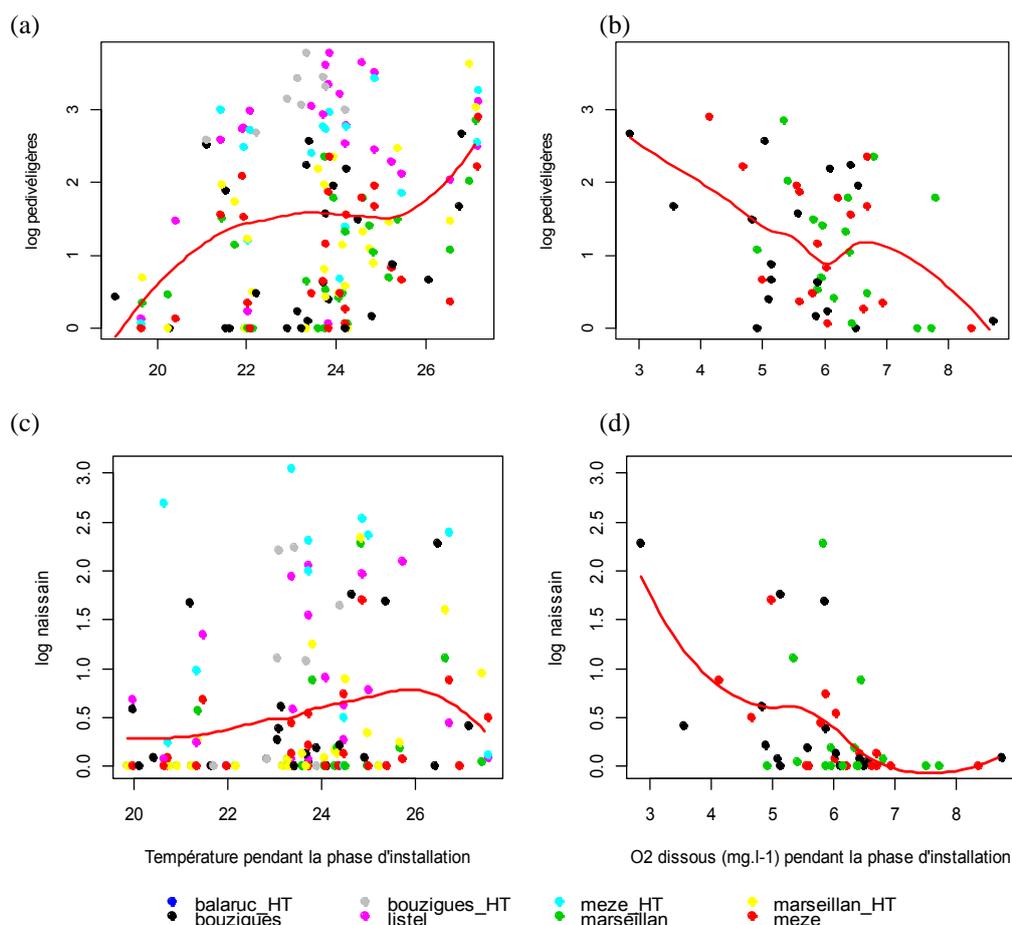


Figure 19 : Représentation graphique du lien entre variables d'intérêts et hydrologie. (a) température et larves pédivéligrères, (b) oxygène et larves pédivéligrères, (c) température et naissain, (d) oxygène et naissain.

En conclusion :

- ▶ L'approvisionnement en larves pélagiques en cours de fixation est sous influence positive de la température et sous corrélation négative des teneurs en oxygène.
- ▶ La température a un léger effet sur la quantité de naissain alors que les concentrations en oxygène de fond au niveau de la zone de Bouzigues sont corrélées négativement aux quantités de naissain au niveau des zones conchylicoles.

4.3.2. Survie entre pédivéligrères et naissain

Sur la base des mesures d'oxygène prises au niveau de la zone de Bouzigues, au fond, un effet de l'oxygène dissous sur l'optimalité de survie entre pédivéligrères et naissain se dessine au niveau des trois zones conchylicoles ($\rho = -0.36$, p value = 0.02). Cette relation inverse est surprenante (Figure 20) : moins il y a d'oxygène, plus la survie est optimale pour ce secteur. Cette relation n'est pas retrouvée pour les mesures d'oxygène acquises aux stations de Mèze et de Marseillan.

Les autres variables hydrologiques, température et salinité, ne sont pas corrélées significativement à la variabilité de la survie.

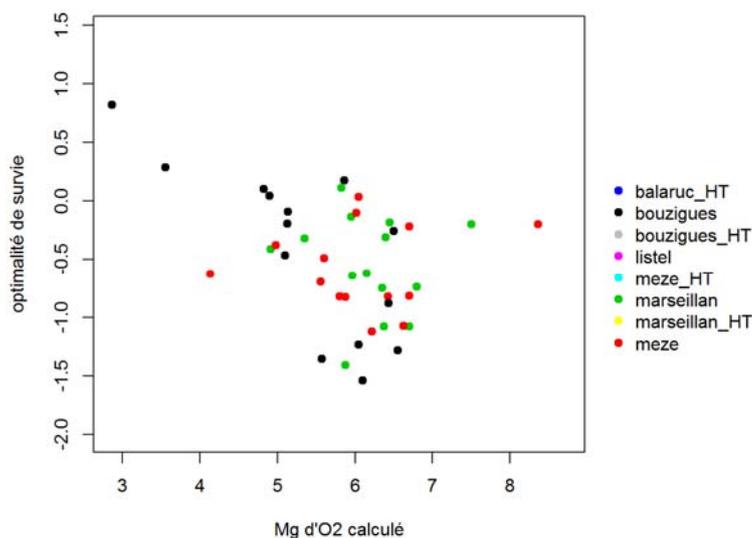


Figure 20 : Représentation graphique du lien entre teneur en oxygène et optimalité de survie entre pédivéligères et naissain.

En conclusion :

- ▶ Le nombre de pédivéligères semble lié au succès de la phase larvaire pélagique avec un effet classique de la température sur cette phase.
- ▶ Les corrélations négatives entre oxygène et nombres de pédivéligères et naissain sont spécifiques du fonctionnement de Thau. L'hypothèse de l'effet des déplétions d'oxygène est à mettre en lien avec les phénomènes de reminéralisation de fond (remise à disposition d'éléments nutritifs) et d'apparition d'efflorescences phytoplanctoniques post-hypoxie. Les teneurs en oxygène sont corrélées négativement avec la température, ce qui traduit l'apparition des périodes de déplétion d'oxygène lorsque la température de l'eau est élevée.
- ▶ La corrélation négative entre quantité d'oxygène dissous (mesure de fond en zone de Bouzigues) et la survie à Bouzigues lors de la métamorphose est une nouveauté. Les faibles concentrations d'oxygène traduisent un contexte environnemental favorable à la production primaire régénérée favorisant la survie des naissains. Cette relation est essentiellement vraie pour la station de Bouzigues.

4.4. Analyse de l'effet du plancton sur les variables d'intérêts

4.4.1. Comparaison des biocénoses⁴ « table » et « hors-table »

La présence des tables impacte fortement certaines variables potentiellement explicatives : il y a plus de bactéries, de ciliés et une plus forte proportion de pico-eucaryotes dans les tables mais moins de compétiteurs et de prédateurs des larves ainsi que de *Chaetoceros* (Annexe). Il y a également une plus faible proportion de nanoplancton dans les tables. Ainsi la présence d'huîtres impacte fortement le plancton présent dans la colonne d'eau au niveau des zones conchylicoles. L'Annexe montre les boîtes à moustache des variables induisant des différences significatives entre les deux types de biocénoses « zone conchylicole » et « Hors-zone ».

⁴ Biocoenose : ensemble d'êtres vivants de toutes espèces coexistant dans un espace défini (**le biotope**), et qui offre les conditions extérieures nécessaires à leur vie.

Il faut cependant nuancer cet effet table / hors-table car ce facteur est partiellement confondu avec le facteur station vu que les variables de nutrition n'ont été suivies qu'à la station Listel en hors-table.

En conclusion :

- ▶ Les deux types de biocénoses de la lagune de Thau « zones conchylicoles » et « hors zone conchylicole » sont différentes d'un point de vue hydrobiologique.
- ▶ La présence des mollusques bivalves filtreurs dans les zones conchylicoles modifie les compositions et abondances faunistiques et floristiques.

4.4.2. Caractérisation biotique des stations et des années

La première Analyse en Composante Principale représentée sur la Figure 22 est basée sur l'intégration de 65 observations de captage de naissain associées à 17 variables de données environnementales intégrées sur la période d'étude de vie larvaire et fixation (22 jours avant la première récolte de coupelle, cf. §3.1.2).

Le premier axe (24 % de la variance expliquée) est construit par l'opposition entre, d'une part, l'abondance de ciliés et dinoflagellés et d'autre part les abondances des picoeucariotes, cryptophycées, flagellés hétérotrophes, la biomasse de picophytoplancton <3µm, l'abondance des cryptophycées et de la salinité (Figure 21). On peut l'interpréter comme un axe exprimant les successions temporelles faunistiques, floristiques et hydrologiques au cours des périodes expérimentales. Ce premier axe oppose également l'année 2014 à l'année 2013 (Figure 22). Cet axe exprime donc les variations selon l'échelle mensuelle ou annuelle.

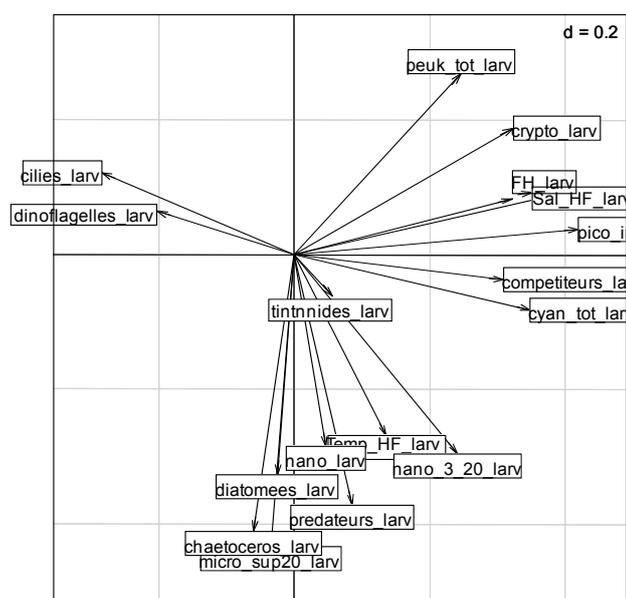


Figure 21 : Représentations graphiques de l'ACP représentant les variables hydrobiologiques pendant la période de développement larvaire et fixation sur coupelle (Intégration des données sur 22 jours).

Le second axe de cette première ACP (22 % de la variance expliquée) oppose les ciliés, les dinoflagellés, les picoeucaryotes, les cryptophycées au nanophytoplancton, à la biomasse microphytoplanctonique supérieure à 20 µm, aux diatomées, aux cyanophycées et aux prédateurs et compétiteurs des larves ainsi qu'à la température de l'eau : il semble traduire l'impact de l'effet des tables conchylicoles et du confinement lagunaire (gradient Est-Ouest) sur l'hydrobiologie avec l'opposition des biocénoses « zones conchylicoles » et « hors-zone ». C'est sur ce second axe que s'expriment majoritairement les différences entre sites mais aussi la distinction des différents niveaux de naissain obtenus sur les coupelles. Cet axe discrimine le site de

Marseillan et les évènements de captage nul. Il traduit complètement le gradient de captage naturel selon les classes Nul, Faible et Moyen.

Il faut noter que dans le cadre des trois ans de suivi, aucune collecte de naissain de classe pléthorique n'a été enregistrée sur aucun des trois points Bouzigues, Marseillan et Listel.

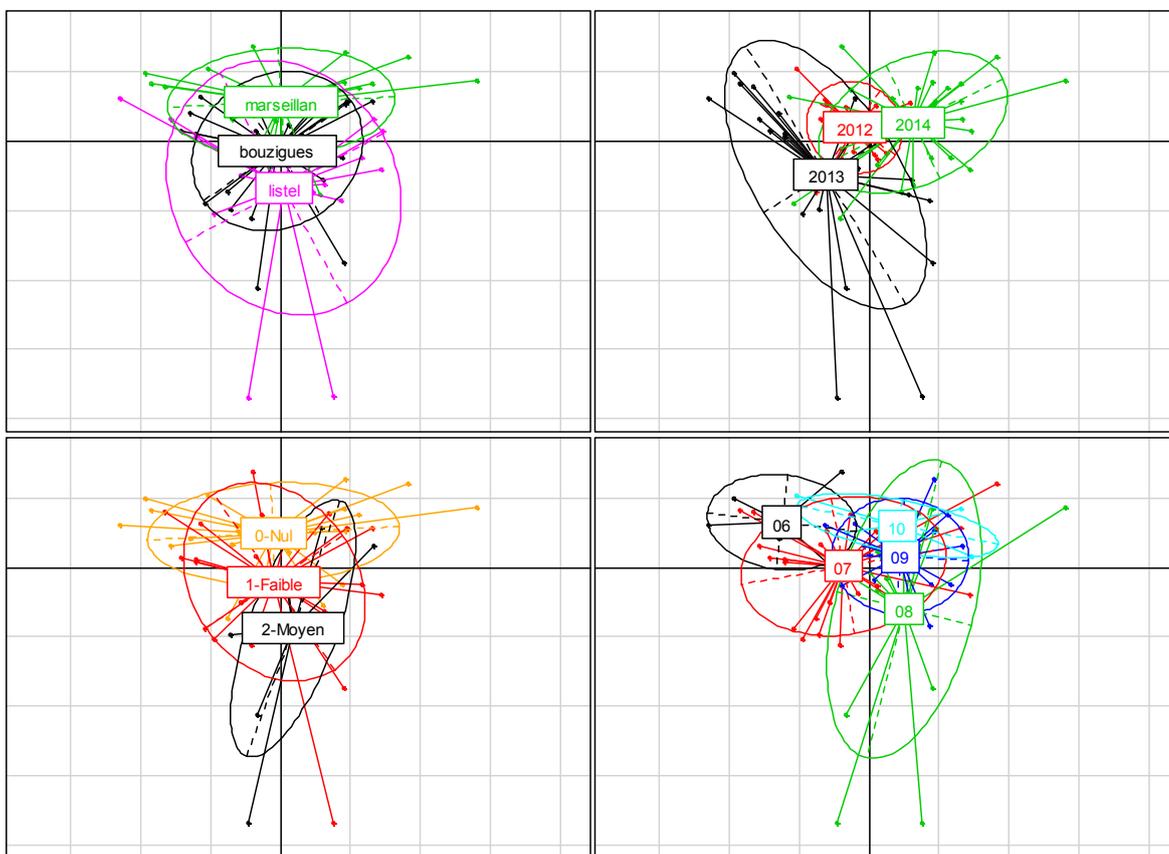


Figure 22 : Représentations graphiques de l'ACP représentant les variables du plancton pendant la période de développement larvaire et fixation sur coupelle (Intégration des données sur 22 jours) en lien avec (haut, gauche) les stations expérimentales étudiées, (haut, droite) les années d'étude, (bas, gauche) les catégories de collecte de naissain, et (bas, droite) les mois des périodes d'acquisition.

La seconde ACP (Figure 23) porte sur les périodes de métamorphose (intégration des données sur une période de 14 jours) et permet d'avoir une analyse de 56 observations de naissain associées à 17 variables de l'environnement. Bien que les axes soient inversés entre Figure 22 et Figure 23, la représentation des relations inter-variables est proche malgré les différences de durée d'intégration entre les deux ACP (22 jours pour première ACP et 14 jours pour deuxième ACP). On retrouve la construction de l'axe 1 opposant la présence de diatomées, de microphytoplancton de taille supérieure à 20 micromètres, l'abondance de *Chaetoceros sp* avec l'abondance de picoplancton transcrivant les successions temporelles.

L'axe 2 oppose le nanoplancton, les prédateurs et compétiteurs à la présence de ciliés. Comme décrit précédemment pour la phase de développement larvaire, l'axe 2 exprime le gradient de captage naturel et par conséquent le succès de la métamorphose que l'on peut mettre en lien avec la biomasse de nanophytoplancton de taille comprise entre 3 µm et 20 µm.

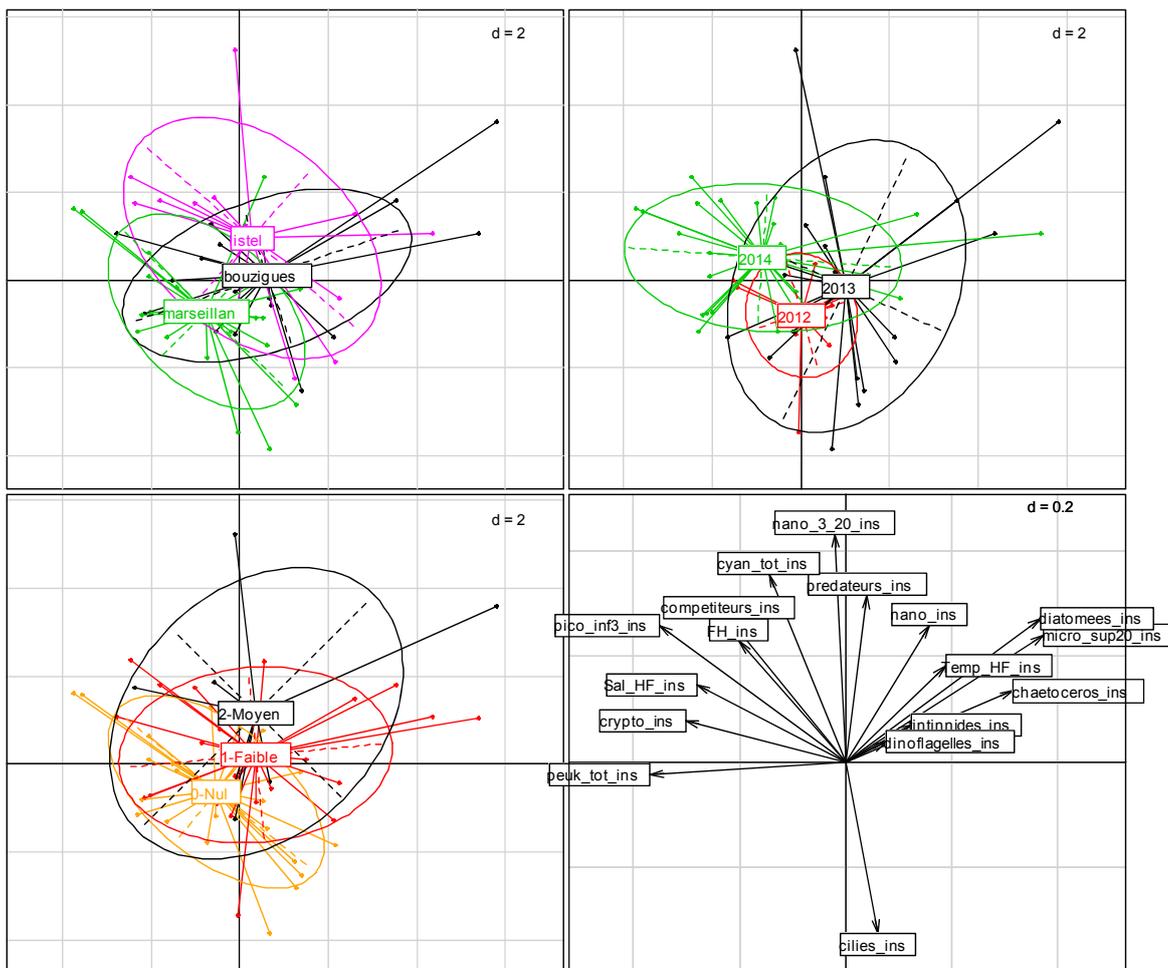


Figure 23 : Représentations graphiques de l'ACP représentant les variables du plancton pendant la période de métamorphose sur coupelle (Intégration des données sur 14 jours) en lien avec (haut, gauche) les stations expérimentales étudiées, (haut, droite) les années d'étude, (bas, gauche) les catégories de collecte de naissain, (bas, droite) les corrélations de variables explicatives.

En conclusion :

- ▶ Ces deux ACP confirment l'impact du nanoplancton, du *Chaetoceros* et de la température de l'eau sur les résultats de captage, avec les meilleurs résultats pour les sites et les périodes qui présentent de fortes abondances. La température et la nourriture sont importantes pour le stade larvaire mais seule la nutrition importe pour la métamorphose (biomasse de nanophytoplancton de taille >3µm et <20µm sur 14 jours).
- ▶ Un gradient d'intensité de captage de naissain apparaît selon le gradient écologique lié d'une part au confinement lagunaire (opposition Est-Ouest) et d'autre part, à la différence écologique entre les biocénoses de zones conchylicoles et les biocénoses « hors-zone conchylicole ».
- ▶ La catégorie de captage « pléthorique » n'est pas représentée dans l'analyse car non-détectée sur les stations étudiées pendant les périodes d'étude. Des études complémentaires sur les meilleures stations de captage devront être menées pour compléter l'analyse et caractériser les variables explicatives du captage naturel pléthorique sur les sites propices.

4.4.3. Lien entre stade larvaire et environnement

4.4.3.1. Pédivéligères et environnement

L'arbre de décision proposé en Figure 24 est basé sur l'analyse de 176 observations de larves pédivéligères au cours des trois ans d'étude. L'arbre représente, *in fine*, la variable « nombre de pédivéligère sur coupelle » et est segmentée dans un premier temps en deux sous groupes selon le nœud 1 [variable « Temp_HF_larv » (p-value=0.005) intégrées sur la période de vie larvaire et de fixation (22 jours)]. Cette variable représente la température de l'eau acquise en haute fréquence et en continu sur la période expérimentale. Le premier sous-groupe Temp_HF_larv ≤ 26.7°C comporte 165 observations contre 11 observations dans le second sous-groupe Temp_HF_larv > 26.7°C (nœud 13, feuille pure) représentant en majorité de fortes quantités de pédivéligères sur coupelle. Le nœud 2 segmente le premier sous-groupe selon la variable d'abondance de l'espèce *Chaetoceros sp.* « Chaetoceros_larv » au seuil de 200 000 cellules par litre.

Seules la température de l'eau et l'abondance de *Chaetoceros sp* ont un effet statistiquement significatif sur l'abondance de pédivéligères. Les autres variables présentées sur la Figure 24 (abondance de compétiteurs, de diatomées, de flagellées hétérotrophes) ont un lien plus faible, non significatif au seuil de 5 %. Parmi ces liens, l'effet des compétiteurs des larves est à noter car cette variable covarie avec le nombre de pédivéligères, donc sans effets négatifs des fortes abondances de compétiteurs.

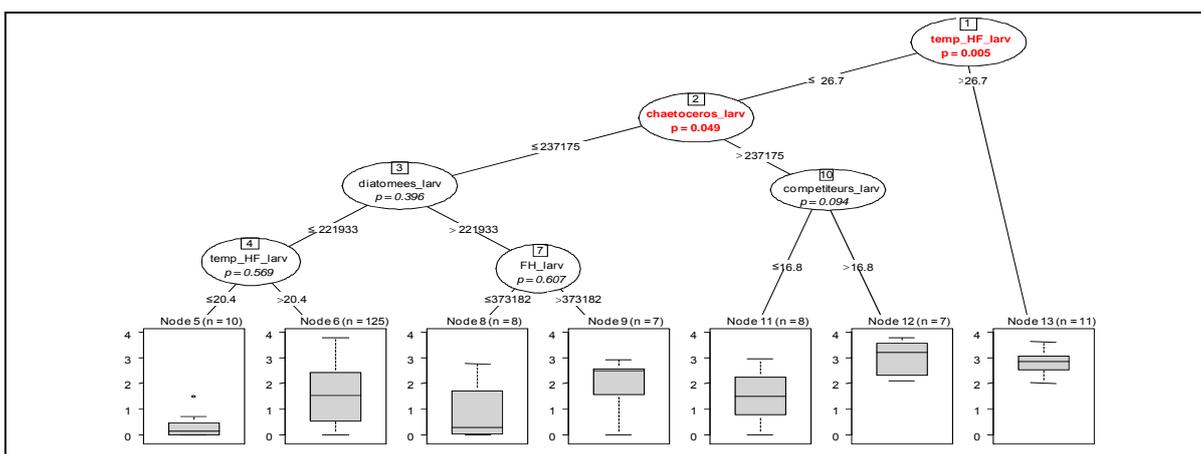


Figure 24 : Arbre de décision obtenu pour la variable log10« Abondance de pédivéligères sur coupelle ». Seules les variables « *chaetoceros_larv* » et « *temp_HF_larv* » ont un effet significatif sur la réalisation des sous-groupes.

En conclusion :

- ▶ L'analyse par arbre de régression confirme l'effet important de la température sur le nombre de pédivéligères et particulièrement des fortes températures. Cet effet est complété par un effet de nutrition porté par la variable abondance de *Chaetoceros sp.*
- ▶ Cette analyse vient ainsi appuyer l'effet de la reminéralisation qui intervient lors des températures élevées et l'importance d'une nourriture adéquate, par exemple *Chaetoceros sp.* pour le succès de la phase larvaire.

4.4.3.2. Naissain et environnement

L'arbre de décision de la Figure 25 regroupe l'analyse de 168 observations de captage de naissain sur la durée de l'expérience 2012, 2013 et 2014. L'arbre de décision basé sur les classes de captage de naissain fait apparaître un premier nœud régit par la variable température de l'eau « Temp_HF_larv », (intégrée sur 22

jours, p-value = 0.002) avec un seuil à 27°C. Le sous-groupe Temp_HF_larv >27°C (feuille pure de 8 observations) représente de meilleures classes de captage que le sous-groupe Temp_HF_larv ≤ 27°C. Les autres nœuds exposés dans la Figure 25 sont représentés par des variables non statistiquement significatives, mais présentées ici à titre d'information. On note que l'algorithme détecte une influence positive de l'abondance de diatomées et de l'abondance des compétiteurs trophiques (intégration sur 14 jours pendant la période d'étude de métamorphose et juvénile, cf. Figure 12) et de l'abondance de nanophytoplancton total (pico+nanophytoplancton) intégrée sur 22 jours.

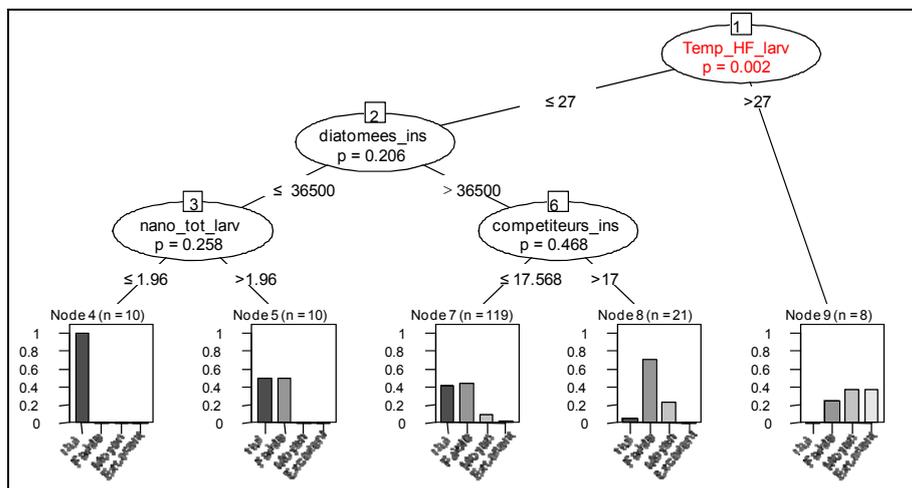


Figure 25 : Arbre de décision obtenu pour la variable « classe de captage de naissain ». Seule la variable « temp_HF_larv » a un effet significatif sur la réalisation des sous-groupes.

En conclusion :

- ▶ Dans le contexte expérimental et sur la base du jeu de données décrit, la variable explicative la plus pertinente des catégories de captage de naissain est la température de l'eau pendant la phase de vie larvaire et fixation avec un seuil à 27 °C.
- ▶ D'autres variables potentiellement explicatives des classes de naissains sont détectées par l'algorithme d'élaborations des arbres de décision telles que les abondances de diatomées et les abondances de pico et nanophytoplancton, sans robustesse statistique.

4.4.3.3. Survie et environnement

L'arbre de décision permettant d'expliquer la survie à partir du jeu de données classe les observations selon deux sous groupes (feuilles pures pour nœud 2 de 138 observations et feuilles pures pour nœud 3 de 9 observations) sur la base d'une seule et unique racine donnée par la variable « nano_tot_ins ». Cette variable représente l'abondance de nanophytoplancton et picophytopancton, de taille inférieure à 20 µm, intégrée sur une période de 14 jours pendant la métamorphose sur la base d'un seuil de 4.3 10⁶ cellules l⁻¹. L'analyse explique les meilleures survies par des abondances de nanoplancton fortes.

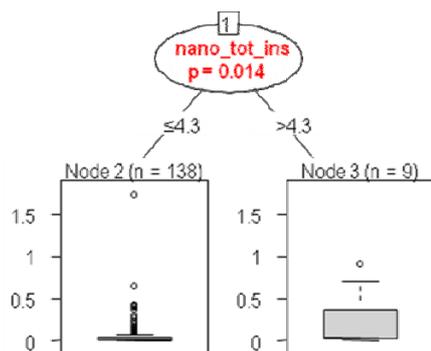


Figure 26 : *Arbre de décision obtenu pour la variable « survie ». Seule la variable « nano_tot_ins » a un effet significatif sur la partition des sous-groupes.*

En conclusion :

- ▶ La variable du jeu de données global agissant positivement sur la survie est l'abondance de pico+nanophytoplancton, composante importante du bol alimentaire des larves et naissain, intégrée sur 14 jours pendant la phase de métamorphose.
- ▶ Une fois la larve fixée sur le collecteur, la température n'a plus un impact aussi important et c'est bien alors la disponibilité en nourriture qui régulera en partie la survie des larves.

4.5. Analyse des données hydrodynamiques

4.5.1. Connectivité dynamique lors d'évènements de vent établi

Les cellules de circulation qui se mettent en place dans la lagune sont fortement contraintes par la bathymétrie et la direction du vent. L'impact des différentes typologies de vent établi (§ 3.6.1) sur la connectivité dynamique est donc analysé en distinguant, au sein des 4 typologies précédentes, les principaux secteurs directionnels du vent (Figure 13).

4.5.1.1. Vent de secteur nord-ouest et sud-est

Les vents de secteur nord-ouest (Figure 27-haut), perpendiculaires à l'axe principal de la lagune, engendrent une circulation marquée le long du lido. Une partie des flux remonte le long de la bordure ouest de la zone conchylicole de Bouzigues, longe la rive nord de la lagune et redescend le long de la bordure est de la zone conchylicole de Mèze. Une autre partie des flux re-circule dans la zone de Bouzigues. Une cellule plus isolée se forme à l'ouest de la zone conchylicole de Marseillan. Sous l'influence de ces vents de terre, les exports de larves du Grand Etang vers le Petit Etang sont importants et se font en longeant les rives de la pointe de Balaruc et du Barrou.

Les vents de secteur sud-est (Figure 27-bas), également perpendiculaires à l'axe principal de la lagune mais venant de la mer, ont tendance à « plaquer » les cellules de re-circulation le long des bordures sud des zones conchylicoles de Bouzigues et de Mèze, l'abattement du vent (et par conséquent du courant) par les tables conchylicoles limitant l'intrusion des larves dans les zones conchylicoles. La cellule de re-circulation à l'ouest de la zone conchylicole de Marseillan se déplace peu, car plus contrainte par la bathymétrie et le trait de côte. Sous l'influence de ce vent de mer, les exports de matière vers le Petit Etang sont plus limités.

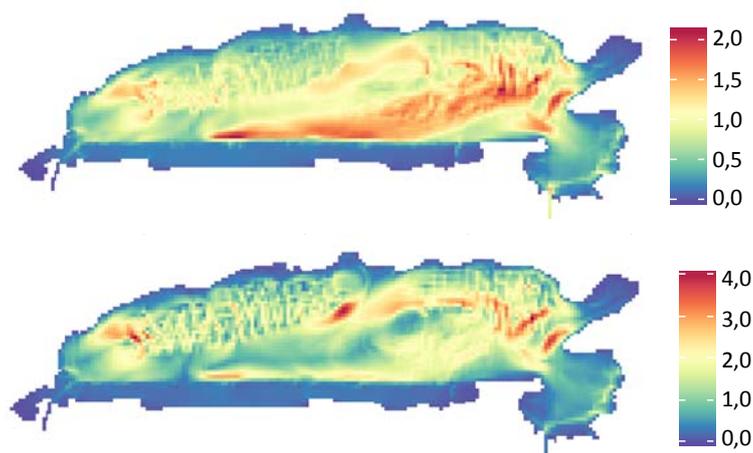


Figure 27 : Cartographies de la connectivité dynamique journalière (exprimée en $\% \cdot j^{-1}$) induite par : (en haut) un vent de nord-ouest long et intense (événement survenu en juillet 2010 : durée : 5,1 jours, intensité moyenne : $7,4 \text{ ms}^{-1}$) ; (en bas) un vent de sud-est court et intense (événement survenu en juin 2010 : durée : 3 jours, intensité moyenne : $6,6 \text{ ms}^{-1}$). Les échelles de couleur sont adaptées à chaque carte afin de mettre en évidence les cellules de re-circulation.

Si la direction du vent gouverne la structure de la circulation qui s’instaure dans la lagune, l’intensité du vent et la durée de l’événement gouvernent l’ordre de grandeur des flux d’eau et de larves : plus l’intensité est élevée, plus les larves « passent » fréquemment, plus la durée de l’événement est longue, plus les larves « passent » longtemps.

4.5.1.2. Vents de secteurs est et ouest

Les vents orientés quasi-parallèlement à l’axe principal de la lagune (secteurs est et ouest - Figure 28) engendrent une trajectoire à l’échelle du Grand Etang avec une connexion plus marquée entre les cellules de re-circulation de Bouzigues et de Marseillan. Les exports de larves vers le Petit Etang sont relativement limités et se font par le centre de la passe entre les pointes de Balaruc et du Barrou.

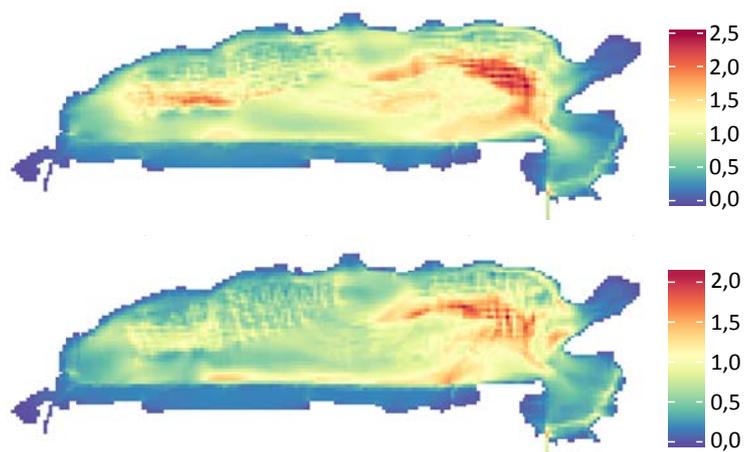


Figure 28 : Cartographies de la connectivité dynamique journalière (exprimée en $\% \cdot j^{-1}$) induite par : (en haut) un vent d’est long et intense (événement survenu en octobre 2010 : durée : 7,4 jours, Intensité moyenne : $6,6 \text{ ms}^{-1}$) ; (en bas) un vent d’ouest court et intense (événement survenu en mai 2013 : durée : 3,5 jours, Intensité moyenne : $6,2 \text{ ms}^{-1}$). Les échelles de couleur sont adaptées à chaque carte afin de mettre en évidence les cellules de re-circulation.

4.5.2. Connectivité dynamique lors d'une brise thermique (vent tournant)

Les régimes de vent tournant sont à l'origine de patrons de dispersion instables d'un point de vue de la connectivité dynamique. Les probabilités de passage dans les différents secteurs de la lagune sont faibles comparativement aux périodes de vent établi (Figure 29). Ce scénario météorologique de brise thermique est en lien avec des périodes de faible activité hydrodynamique.

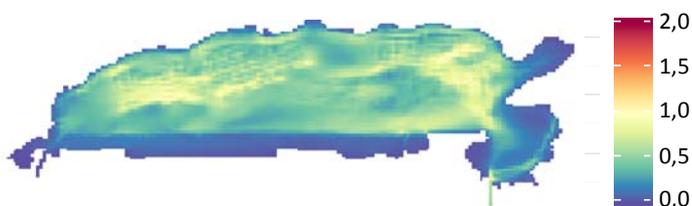


Figure 29 : Cartographie de la connectivité dynamique journalière (exprimée en $\% \cdot j^{-1}$) induite par une brise thermique (survenue entre le 09 et le 14 juillet 2013). Les échelles de couleur sont adaptées à chaque carte afin de mettre en évidence les cellules de re-circulation.

4.5.3. Connectivité dynamique suite à une ponte survenue en juillet 2012

A titre d'exemple, la connectivité dynamique est calculée sur la période de fixation qui suit une ponte survenue vers le 5 juillet 2012 dans les trois zones conchylicoles. Le T_0 est fixé au 5 juillet 2012 et la période de fixation de 18 jours s'étend du 09 juillet (T_0+4) au 27 juillet (T_0+22). Sur la majeure partie de la période de fixation (entre le 9 et le 23 juillet) plusieurs événements de secteur nord-ouest, courts et de faible intensité, se sont succédés (Figure 30 – en bas à gauche).

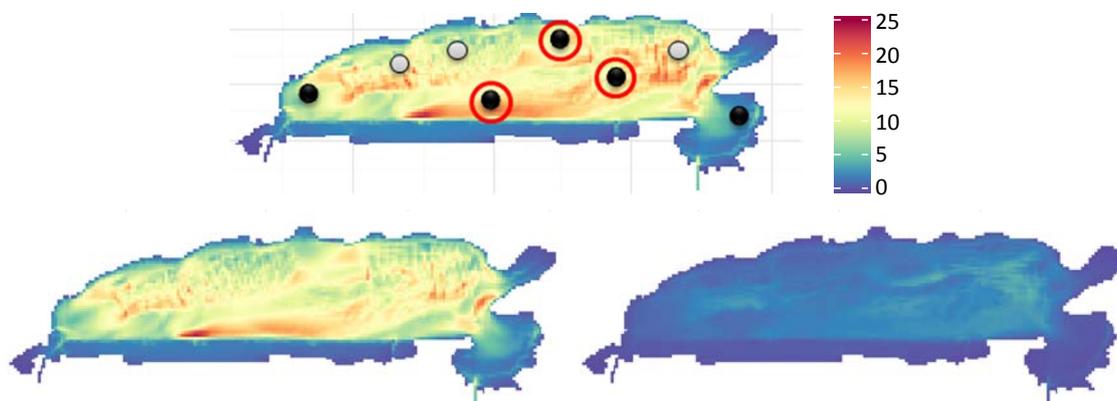


Figure 30 : Cartographies de la connectivité dynamique intégrée (exprimée en %) : (en haut) sur la période du 09 au 27 juillet 2012 ; (en bas à gauche) : sur la période du 09 au 23 juillet sous l'influence d'une succession de vents établi de secteur nord-ouest ; (en bas à droite) : sur la période du 24 au 27 juillet sous l'influence d'une succession de vents établi de secteur est. L'échelle de couleur est la même pour les trois figures. Les ronds matérialisent les stations expérimentales hors-table (noires) et dans les tables (gris). Les cercles rouges caractérisent les meilleures stations de captage suivie en 2012 durant cet événement (trait plein) et suivies en 2013 et 2014 (trait pointillé).

Le patron de la probabilité de passage intégrée sur ces 15 jours est caractéristique d'un événement de vent établi au secteur nord-ouest (Figure 27-haut) toutefois, l'ordre de grandeur de la probabilité journalière de passage n'excède pas $1,5 \% \cdot j^{-1}$ (contre $2,5 \% \cdot j^{-1}$ pour un vent long et intense). Sur les trois derniers jours de la période de fixation, le vent de faible intensité est établi à l'est (Figure 30 – en bas à droite). La probabilité de passage sur la période de fixation totale (Figure 30 – en haut) est donc la résultante de ces deux typologies

qui se sont succédées : l'événement d'est en fin de période accentue les patrons engendrés par l'événement de nord-ouest et favorise la connectivité entre les secteurs ouest et est de lagune. La station expérimentale Listel (rond noir cerclé de rouge sur la Figure 30 en haut) située dans un secteur où la probabilité de passage est élevée s'est avérée être la station pour laquelle le captage a été le meilleur.

En conclusion :

- ▶ Cette étude a permis le développement et la mise au point d'un nouvel indicateur hydrodynamique adapté au milieu lagunaire semi-fermé en régime nanotidal : la connectivité dynamique.
- ▶ La connectivité dynamique permet sur des périodes prédéfinies (vent établi, période de fixation suite à une ponte,...) de quantifier la probabilité de passage dans toute la lagune des larves émises depuis une ou plusieurs zones de ponte.
- ▶ Les patrons de « probabilité de passage » qui s'instaurent sous l'action des vents sont principalement contrôlés par la direction du vent. L'intensité du vent et la durée des événements contrôlent respectivement la fréquence et la durée de passage dans les différents secteurs.

4.6. Optimisation de la gestion des collecteurs

4.6.1. Naissain

Le nombre de naissain par coupelle varie entre 2 et 5 individus avec un maximum observé au niveau des collecteurs déployés en ligne et suspendus à l'horizontale (Ligne/Horizontal : Figure 31).

Le poids moyen du naissain est de 0.8 ± 1.04 g. Il mesure en moyenne 18.1 ± 9.6 mm de long. La taille et le poids du naissain ne varie pas significativement en fonction des pratiques de captage.

Le nombre et le poids de naissain vivant par unité sont significativement supérieurs au niveau des collecteurs répartis en ligne et suspendus à l'horizontale atteignant 1319 individus pour 1331 g par unité (Ligne/horizontal : Figure 32).

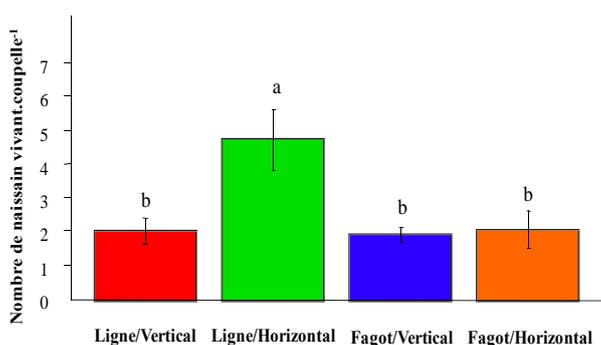


Figure 31 : Moyenne (\pm SE) du nombre de naissain par coupelle observé selon les différentes conditions de pratiques de captage (Ligne/Vertical, Ligne/horizontal, Fagot/Vertical, Fagot/Horizontal).

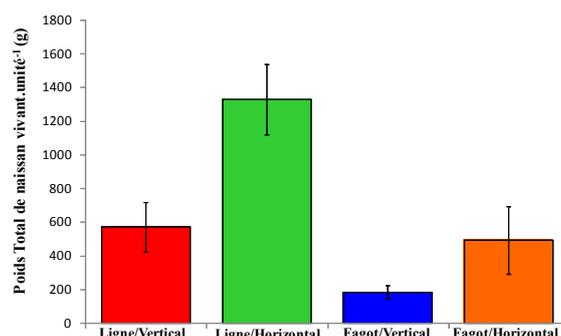


Figure 32 : Moyenne (\pm SE) du Poids Total de naissain vivant observé par unité expérimentale, décrite selon différentes conditions de pratiques de captage (Ligne/Vertical, Ligne/horizontal, Fagot/Vertical, Fagot/Horizontal).

Le taux de mortalité moyen varie entre 39,5 et 57,6% avec un maximum observé au niveau des coupelles des fagots déployés à l'horizontale et un minimum au niveau des fagots verticaux (Figure 33).

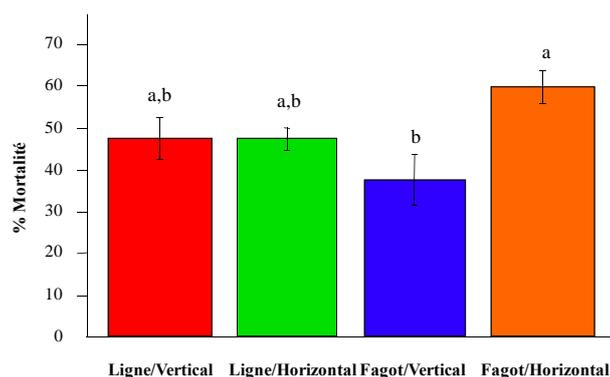


Figure 33 : Moyenne (\pm SE) de taux de mortalité observé au niveau des coupelles des collecteurs déployés selon différentes conditions de pratiques de captage (Ligne/Vertical, Ligne/horizontal, Fagot/Vertical, Fagot/Horizontal).

4.6.2. Epibiontes

Le poids d'épibiontes par coupelle varie significativement selon les conditions de pratiques de captage avec des poids supérieurs au niveau des unités suspendues à la verticale (Ligne et Fagot/Vertical - Figure 34). Les espèces épigées correspondent pour la plupart à des balanes, des ascidies solitaires et coloniales, des polychètes tubicoles, des moules et des anomies.

La contribution des épibiontes au poids des organismes fixés aux collecteurs varie entre 75 et 96% (Figure 35). Ainsi le poids du naissain d'huîtres correspond alors seulement à 4 à 25% du poids total des organismes fixés aux collecteurs.

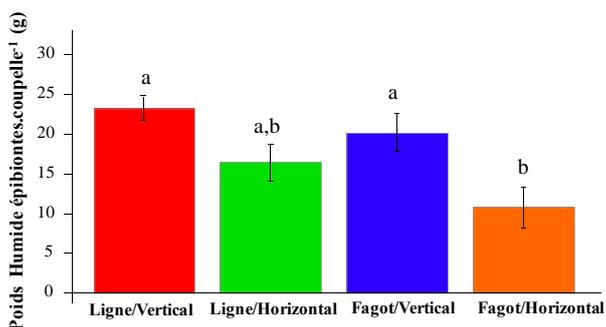


Figure 34 : Moyenne (\pm SE) du poids humide d'épibiontes observés par coupelle des collecteurs déployés selon différentes conditions de pratiques de captage (Ligne/Vertical, Ligne/horizontal, Fagot/Vertical, Fagot/Horizontal).

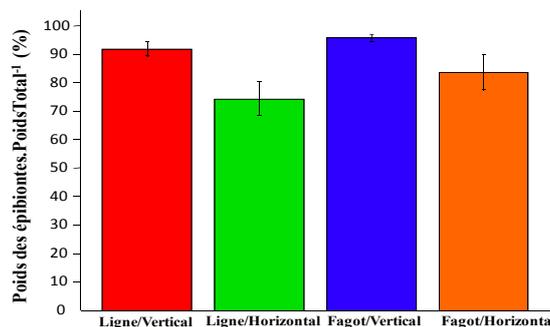


Figure 35 : Moyenne (\pm SE) de la contribution (%) des épibiontes au poids total d'organismes fixés au niveau des collecteurs déployés selon différentes conditions de pratiques de captage (Ligne/Vertical, Ligne/horizontal, Fagot/Vertical, Fagot/Horizontal).

Finalement aucune relation linéaire n'a été mise en évidence entre le poids des épibiontes et les caractéristiques du naissain (Nombre, Longueur, % Mortalité).

En conclusion :

- ▶ Le déploiement des collecteurs à coupelle en ligne et à l'horizontale permet d'avoir les meilleurs niveaux de captage dans le contexte expérimental décrit.
- ▶ Les taux de mortalité de naissain, issu du captage naturel, sont estimés entre 40 et 58% sur les collecteurs exondés, à la période automnale.

► L'exondation des collecteurs déployés à l'horizontale permet de limiter le développement des épibiontes compétiteurs territoriaux.

5. Synthèse

Le schéma conceptuel de la variabilité du captage naturel en lagune méditerranéenne proposé en Figure 36 est basé sur le schéma explicatif issu du réseau VELYGER et modifié selon les observations du projet PRONAMED 2 réalisé en 2012, 2013 et 2014. Ce schéma est un outil d'exploration et d'aide à la décision faisant état de l'état des connaissances à ce jour. Il aide à la compréhension de l'organisation de la chaîne de facteurs et des interactions et s'explique comme suit :

1. Les états physiologiques des stocks d'huîtres en élevage au niveau des 3 zones d'élevage sont déterminants. La maturation sexuelle et la fécondité sont conditionnées par les apports printaniers et estivaux en phytoplancton et en particulier certaines espèces de diatomées (Pernet *et al.* 2011, Ubertini *et al.* 2014b, Ubertini *et al. in prep*). Les apports en phytoplancton sont conditionnés par les apports en eau douce au printemps et par la production primaire régénérée en été. En outre, les phénomènes de malaïgues (hypoxie et anoxie en lagune) pendant la saison estivale induisent des processus de reminéralisation de matière organique à l'origine de relargage de nutriments azotés et phosphorés propice aux efflorescences phytoplanctoniques.
2. Les pontes sont déterminées par la température de l'eau avec un seuil à 23°C. Un synchronisme des pontes selon le cycle lunaire a été aperçu en 2012 et 2013 (pontes et apparitions de larves petites coïncidant avec des phases de pleine lune et de nouvelle lune). En outre, il a été remarqué que des évènements orageux coïncidant avec des évènements de pontes aboutissaient à des pontes de fortes intensités (Ubertini *et al.* 2014b, Ubertini *et al. in prep*). A Thau, le contexte méditerranéen fait que les pontes sont précoces et nombreuses par rapport aux autres bassins de captage. Cela induit de faibles niveaux de maturité sexuelle et de fécondité (Pernet *et al.* 2011, Ubertini *et al.* 2014b, Pouvreau *et al.* 2015, Ubertini *et al. in prep*).
3. L'approvisionnement en larves est conditionné, dans un premier temps, par la fécondité des élevages, le synchronisme des pontes, la température de l'eau et dans un second temps, par l'activité hydrodynamique (connectivité dynamique) et le transfert des larves en dehors des zones conchylicoles de grossissement. La vitesse de développement est fonction de la température et des apports alimentaires (Pouvreau *et al.* 2015).
4. La survie des larves est meilleure en dehors des zones conchylicoles et est positivement corrélée à l'abondance d'une certaine classe de phytoplancton (diatomées, *Chaetoceros sp.*).
5. La phase de métamorphose est une phase sensible dans la lagune de Thau. La variable environnementale qui apparaît essentielle (traduisant les bons niveaux de survie) est les abondances de pico et nanophytoplancton de taille < 20µm.

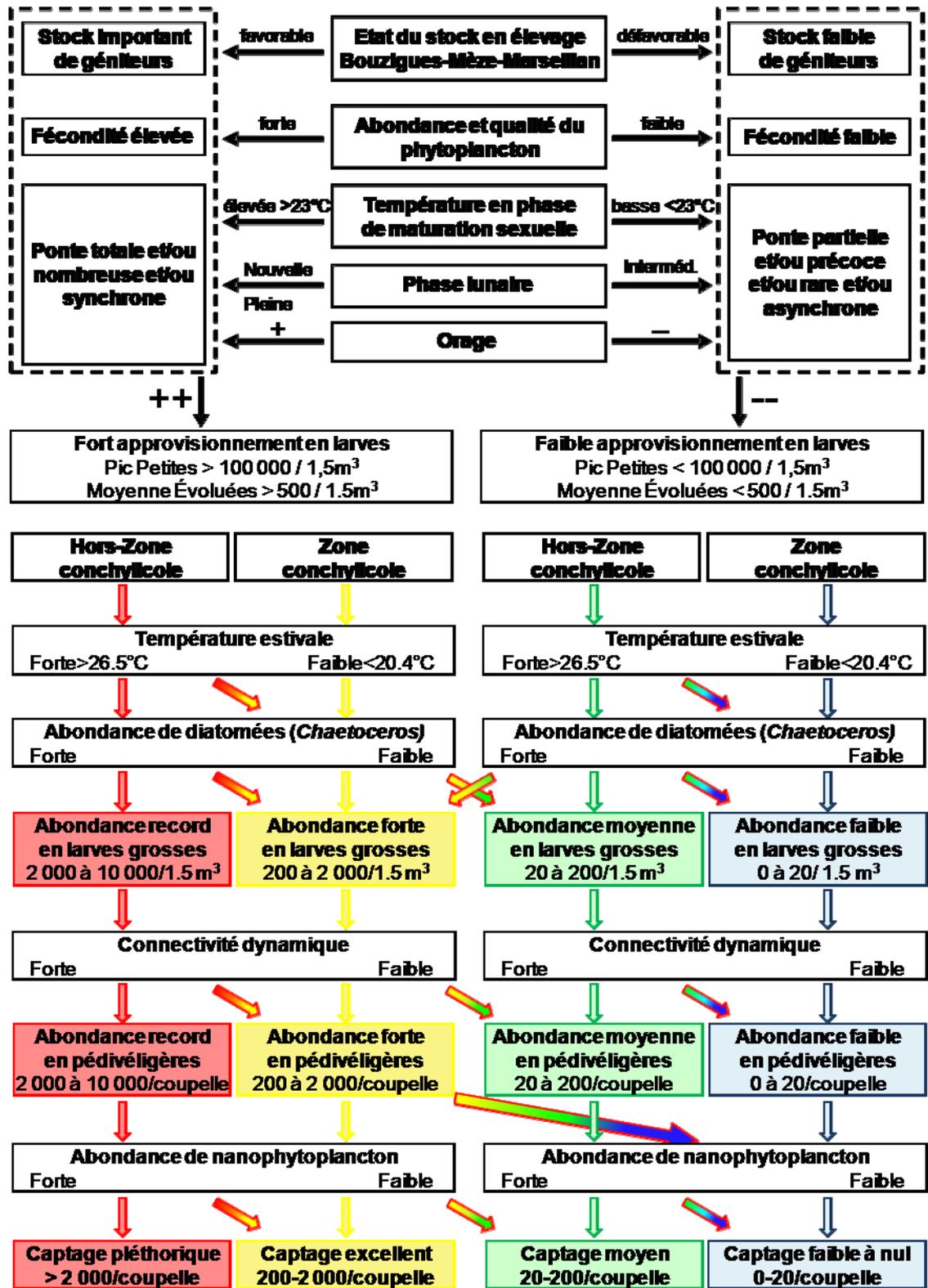


Figure 36 : schéma conceptuel expliquant la variabilité du captage de l’huître creuse (inspiré de (Pouvreau et al. 2015) en lagune méditerranéenne sur la base des observations acquises en 2012, 2013 et 2014, application à la lagune de Thau.

6. Conclusions et perspectives

L'ostréiculture méditerranéenne, principalement basée sur des élevages en lagune, a été fortement impactée par les surmortalités de naissain dès l'année 2008. Depuis 2010, cette filière a souhaité améliorer la connaissance du cycle de vie de l'huître creuse *Crassostrea gigas*, espèce principalement exploitée depuis son introduction en 1970. Bien que les processus de croissance, de dynamique des populations, les pratiques culturales et les phénomènes de surmortalité de naissains soient connus et étudiés, les traits de vie en lien avec la reproduction et le recrutement larvaire n'ont pas été étudiés jusqu'à 2010.

Le projet PRONAMED, dans ses phases 1 et 2, a été élaboré avec pour objectifs, la caractérisation du potentiel économique du captage naturel et l'amélioration des connaissances générales de la reproduction et du captage naturel de l'huître creuse en lagune méditerranéenne, en particulier sur Thau. Les résultats de ce projet ont permis de mettre au jour le potentiel économique du captage naturel en lagune méditerranéenne (Rayssac *et al.* 2012, Lagarde *et al.* 2015) et la grande variabilité de son succès induits par l'hétérogénéité des paramètres environnementaux de la lagune de Thau.

Le diagnostic écologique réalisé sur la durée du projet PRONAMED phase 2 prouve l'hétérogénéité de la lagune de Thau en terme de capacité à fournir du naissain d'huître creuse. Les principaux résultats de cette étude synthétisent trois ans d'observations et d'acquisitions de données. Ils permettent d'établir la gamme de conditions et de ressources régissant la reproduction de l'huître creuse. Au niveau des géniteurs, Ubertini *et al.* (*in prep*) ont caractérisé les patrons de gamétogénèse et de pontes pour aboutir à un schéma original d'une maturation sexuelle fortement influencée par la disponibilité des ressources alimentaires (diatomées) et des déclenchements de pontes de trois types : les pontes induites par les aléas thermiques, par un effet de synchronisme avec le cycle lunaire et les pontes amplifiées par les orages.

En outre, cette étude a permis le développement et la mise au point d'un nouvel indicateur hydrodynamique adapté au milieu lagunaire semi-fermé en régime nanotidal : la connectivité dynamique. Celle-ci permet sur des périodes prédéfinies (vent établi, période de fixation suite à une ponte,...) de quantifier la probabilité de passage dans toute la lagune des larves émises depuis une ou plusieurs zones de ponte. Les patrons de « probabilité de passage » qui s'instaurent sous l'action des vents sont principalement contrôlés par la direction du vent. L'intensité du vent et la durée des événements contrôlent respectivement la fréquence et la durée de passage dans les différents secteurs. Il faut noter une bonne adéquation entre les zones de connectivité dynamique élevée (forte probabilité de passage) et les intensités de captage élevées enregistrées sur certaines stations ces trois dernières années (Lagarde *et al.* 2015).

Par ailleurs, il est avéré que la phase de développement larvaire jusqu'à la fixation des larves pédiveligères ne rencontre pas de verrou biologique majeur. La majorité des cohortes larvaires pélagiques ont été retrouvée sur collecteur au stade pédiveligère. Les approvisionnements en larves par l'hydrodynamique sont variables selon les stations expérimentales et les années. Les meilleurs approvisionnements en larves sont trouvés sur les stations hors-table.

La survie pendant la métamorphose est hétérogène selon les stations expérimentales et est en lien avec les apports alimentaires. La température de l'eau et les ressources alimentaires (abondance de nanophytoplancton total pic+nanophytoplancton) apparaissent comme des variables corrélées à la survie et à la quantité finale de naissain. Le fonctionnement de la lagune de Thau fait que les fortes températures induisent des hypoxies de fond (sur la zone ostréicole de Bouzigues) favorisant la reminéralisation du



benthos, la mise à disposition d'éléments nutritifs azotés et phosphorés et par voie de conséquence, des développements de phytoplancton de type diatomées de petites tailles.

D'une manière générale, les zones conchylicoles apparaissent moins favorables au captage naturel de naissains d'huîtres que les biocénoses hors-zones conchylicoles. Les gradients écologiques mis en relief dans le cadre du diagnostic écologique permettent de caractériser les zones de préférendum pour les stades larvaires jusqu'à l'obtention de naissain. L'effet positif de la température de l'eau sur les intensités de naissain est avéré. Les apports alimentaires apparaissent être primordiaux, voir facteur limitant dans certains cas, pour le succès de la vie larvaire et de la métamorphose. Plus précisément, il s'agit des apports en particules et biomasses phytoplanctoniques de tailles comprises entre 3 et 20 μm , supérieures à 20 μm intégrant les diatomées et plus précisément *Chaetoceros sp.*

Concernant l'expérience d'optimisation de la gestion des collecteurs, le nombre de naissain par coupelle observé dans cette étude (2-5 individus. coupelle⁻¹) est jusqu'à 5 fois plus important que celui observé par les ostréiculteurs environnant sur des collecteurs déployés verticalement et de manière individuelle (Pouvreau *et al.* 2015). Ces résultats montrent que les pratiques culturales ont un rôle prédominant sur l'efficacité du captage d'huîtres. Les collecteurs disposés en ligne dans des cadres et suspendus à l'horizontale ont obtenu les meilleurs résultats en termes de captage avec un minimum de biomasse d'organismes épigés.

Ce rapport constitue un premier travail d'exploration et d'explications du déterminisme de la reproduction et du recrutement larvaire de l'huître creuse en lagune méditerranéenne. Les résultats présentés permettent de dresser le schéma conceptuel du cycle de reproduction en mettant en relief les variables clés des traits de vie. D'un point de vue de la filière conchylicole régionale, l'objectif à terme est de pouvoir exploiter pleinement les capacités de la lagune de Thau à fournir du naissain d'huître creuse. Pour ce faire, il convient maintenant :

- de définir le périmètre des zones de captage économiquement viables en lagune de Thau,
- de définir et caractériser les zones de nurseries dans les zones ostréicoles (zone pouvant recevoir les collecteurs garnis de naissain en assurant survie et croissance),
- d'avoir un outil d'aide à la gestion basé sur un modèle de simulation issu du schéma conceptuel expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse (Figure 36).

En ce qui concerne la poursuite de la démarche scientifique, les nouveaux résultats concernant les découvertes en lien avec le comportement reproducteur de l'huître creuse (Ubertini *et al.* 2014a, Ubertini *et al.* 2014b, Ubertini *et al. in prep*) et les gisements de naissains en lagune de Thau (Lagarde *et al.* 2013, Lagarde *et al.* 2014, Lagarde *et al.* 2015) ouvrent des nouvelles perspectives :

- La finalisation du diagnostic écologique de ces trois dernières années doit passer par l'intégration du nouvel indicateur hydrodynamique « connectivité dynamique » dans la base de données environnementales afin de tester son influence,
- La nécessité de tester des trajectoires de vie des cohortes larvaires (enregistrées et à venir) au sein du schéma conceptuel expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse pour vérifier sa robustesse.
- L'approfondissement du diagnostic écologique permettra de caractériser les zones géographiques de préférendum de larves et naissains en vue de la définition des zones de captage en dehors des zones conchylicoles et de nurseries dans les zones conchylicoles (stade d'élevage nécessitant l'exondation en lagune).
- Développer un modèle de simulation pour analyse de scénarios et, *in fine*, développer un outil d'aide à la gestion pour la filière conchylicole.

Le projet PRONAMED, à l'interface entre demande sociétale et recherche, constitue aujourd'hui le premier élan vers le développement d'une nouvelle activité économique durable de collecte de naissain d'huître creuse basée sur une exploitation sobre des ressources.

7. Bibliographie

Aliaume C, Bodini A, Bondavalli C, Careño Fructuoso MF, Chapelle A, Duarte P, ... , Zaldivar J-M (2006) Model benchmarks for coastal lagoons. In DITTY project. Luxembourg: European Communities. Retrieved from <http://bookshop.europa.eu/en/model-benchmarks-for-coastal-lagoons-pbLBN22216/>

Auby I, Maurer D, Valvason M-L, Guegen C, Guillard F (2002) Mise au point d'une nouvelle méthode de suivi de la reproduction de l'huître creuse. Comparaison avec la méthode traditionnelle. Rapport Scientifique et technique RST.DEL/02.01/ARCACHON., 37 p. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00079/19027/16605.pdf>

Bec B (2012) Rapport sur l'analyse du bacterioplancton (année 2012) dans le cadre du projet PRONAMED 2, Mars 2013. Rapport scientifique et technique UMR 5119 ECOSYM, UM2-CNRS-IFREMER-IRD, 4 p.

Bec B, Bonnet D, Roques C (2012) Rapport sur l'analyse du phytoplancton, protozooplancton et mésozooplancton (année 2012) dans le cadre du projet PRONAMED 2, Décembre 2012. Rapport scientifique et technique UMR 5119 ECOSYM, UM2-CNRS-IFREMER-IRD, 15 p.

Bec B, Bonnet D, Roques C (2013) Rapport sur l'analyse du phytoplancton, protozooplancton et mésozooplancton (année 2013) dans le cadre du projet PRONAMED 2, Novembre 2013. Rapport scientifique et technique UMR 5119 ECOSYM, UM2-CNRS-IFREMER-IRD, 21 p.

Bec B, Bonnet D, Roques C (2014) Rapport sur l'analyse du phytoplancton, protozooplancton et mésozooplancton (année 2014) dans le cadre du projet PRONAMED 2, Décembre 2014. Rapport scientifique et technique UMR 5119 ECOSYM, UM2-CNRS-IFREMER-IRD, 26 p.

Cesmat L, Fiandrino A, Derolez V, Serais O, Jeanne N, Lemarchand O, Laugier T (2010) Calibration et validation du modèle hydrodynamique MARS 3D couplé au modèle d'entérobactéries sur la lagune de Thau. OMEGA Thau. Phase 1 - Etape 3. Rapport final

Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

Deslous-Paoli JM, Souchu P, Mazouni N, Juge C, Dagault F (1998) Relations milieu-ressources : impact de la conchyliculture sur un environnement lagunaire méditerranéen (Thau). *Oceanologica Acta* 21:831-843

Fiandrino A, Ouisse V, Dumas F, Lagarde F, Malet N, Le Noc S, DeWit R (*in prep.*) Characteristic mixed volume: a hydrodynamics indicator for ecological studies.

Fiandrino A, Cesmat L, Dumas F, Jouan M, Laanaia N (2009) A 3D hydrodynamic model for Mediterranean lagoons: estimation of residence time in the Thau lagoon (France). 14-18 december. 4th European Conference on Coastal Lagoon Research. Poster.

Gangnery A, Bacher C, Buestel D (2001) Assessing the production and the impact of the cultivated oysters in the Thau lagoon (Mediterranean, France) with a population dynamics model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58:1012-1020

Gangnery A, Bacher C, Buestel D (2004) Modelling oyster population dynamics in a Mediterranean coastal lagoon (Thau, France): sensitivity of marketable production to environmental conditions. *Aquaculture* 230:323-347

Gangnery A, Chabirand J-M, Lagarde F, Le Gall P, Oheix J, Bacher C, Buestel D (2003) Growth model of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, cultured in Thau Lagoon (Mediterranean, France). *Aquaculture* 215:267-290

Ifremer (2004) Etude de l'hétérogénéité spatio-temporelle de la masse d'eau lagunaire de l'étang de Thau sous contraintes de contamination bactériologiques ou de phytoplancton toxique (*Alexandrium sp.*), Ifremer, Rapport final - Contrat Ifremer n°04/3210436, Sète, 59 p

Lagarde F, Gervasoni E, Pérignon A, Mortreux S, Meddah S, Leurion A, Le Gall P, Richard M, Ubertini M, Fiandrino A, Roque d'orbcastel E (2015) Recherche de gisements de captage naturel de *Crassostrea gigas* en lagune de Thau. Répartition spatiotemporelle du naissant, aspects techniques, culturels et économiques., Rapport scientifique et technique, Ifremer/ODE/UL/LERLR 2015-13, 33, <http://dx.doi.org/10.13155/37103>



Lagarde F, Roque D'Orbcastel E, Perignon A, Mortreux S, Fuhrmann M, Le Gall P, Leurion A, Chiantella C, Bec B, Roques C, Bonnet D, Cochet H, Boj M, Gervasoni E, Miron G, Fiandrino A, Pouvreau S, Pernet F (2013) Larval recrutement of *Crassostrea gigas* in a french Mediterranean lagoon. 40th CIESM Congress, 28 October - 1 November 2013, Marseille. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00165/27653/>

Lagarde F, Ubertini M, Mortreux S, Perignon A, Leurion A, Le Gall P, Chiantella C, Bec B, Roques C, Bonnet D, Cochet H, Bernard I, Gervasoni E, Miron G, Fiandrino A, Pouvreau S, Roque D'Orbcastel E (2014) New knowledges about determinism of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) larval recruitment in Mediterranean Thau Lagoon, Aquaculture Europe 2014, Donostia-San Sebastian, Spain, 15-17 Octobre 2014

Lazure P (1992) Etude de la dynamique de l'étang de Thau par modèle numérique tridimensionnel. Vie Milieu 42:137-145

Lazure P, Dumas F (2008) An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). Advances in Water Resources 31:233-250

Pellecuer G (2008) Hétérogénéité du vent sur le bassin versant de l'étang de Thau. Conception et mise en œuvre d'une chaîne d'acquisition et de traitement des données. , Rapport de stage de l'Ecole des Techniciens Supérieurs en Instruments et Installations de la Météorologie/Ifremer, 50 p.

Pernet F, Malet N, Pastoureaud A, Vaquer A, Quéré C, Dubroca L (2011) Marine diatoms sustain growth of bivalves in a Mediterranean lagoon. Journal of Sea Research 68:20-32

Pouvreau S, Bellec G, Le Souchu P, Queau I, Talarmain E, Alunno-Bruscia M, Auby I, Maurer D, Barbier C, Tournaire M-P, D'Amico F, Rumebe M, Fleury E, Langlade A, Bouget J-F, Collin K, Fortune M, Hitier B, Bedier E, Robert S, Guilpain P, Grizon J, Seugnet J-L, Guesdon S, Lagarde F, Le Gall P, Messiaen G, Roque D'Orbcastel E, Gohin F, Bryere P, Quemener L, Repecaud M, Bucas K, Barbot S, Guillemot A, Nonnotte L, Duros W, Bonnat A, Tarot S, Mille D, Geay A, Bouquet A-L (2012) Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger. Rapport annuel 2012

Pouvreau S, Petton S, Queau I, Haurie A, Le Souchu P, Alunno-bruscia M, Palvadeau H, Auby I, Maurer D, D'Amico F, Passoni S, Barbier C, Tournaire M-P, Rigouin L, Rumèbe M, Fleury E, Foullaron P, Bouget J-F, Pépin J-F, Robert S, Grizon J, Seugnet J-L, Chabirand J-M, Le Moine O, Guesdon S, Lagarde F, Mortreux S, Le Gall P, Messiaen G, Roque d'Orbcastel E, Quemener L, Repecaud M, Mille D, Geay A, Bouquet AL (2015) Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger, 57 p

Rayssac N, Perignon A, Gervasoni E, Pernet F, LeGall P, Lagarde F (2012) Evaluation du potentiel d'approvisionnement naturel en naissains d'huîtres creuses en Méditerranée - Rapport Final - Projet PRONAMED 2010-2011, 63

Ubertini M, Fiandrino A, Bernard I, Thomas Y, Dumas F, Pouvreau S, Roque D'Orbcastel E, Lagarde F (2014a) Oyster (*c. gigas*) recruitment in Mediteranean lagoons ; new approaches for studying larval connectivity using MARS3D modeling tools, Aquaculture Europe 2014, WAS, 14-16 octobre 2014, Donostia San Sebastian, Spain

Ubertini M, Lagarde F, Le Gall P, Mortreux S, Pernet F, Fiandrino A, Pouvreau S, Roque D'Orbcastel E (2014b) Effect of environmental drivers on the reproduction of the pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Mediterranean: The case of the Thau lagoon, World Aquaculture Society 2014, 7-11 juin 2014, Adelaide, Australia

Ubertini M, Lagarde F, Mortreux S, Le Gall P, Chiantella C, Fiandrino A, Roque d'Orbcastel E, Bernard I, Pouvreau S (*in prep*) Effect of environmental variables on the reproduction of the pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Mediterranean: A case study in the Thau lagoon.

Watson JR, Mitarai S, Siegel Da, Caselle JE, Dong C, McWilliams JC (2010) Realized and potential larval connectivity in the southern California bight. . Mar Ecol Prog Ser 401:31-48



8. Revue de presse

La Gazette n° 303 - Décembre 2014

PAGE 20-21:
"ÇA NE SERA PAS SUFFISANT"

PAGE 22:
ANNIE CASTALDO,
LA PIONNIÈRE

DOSSIER

REPÈRES

LES OSTRÉICULTEURS DE L'ÉTANG DE THAU

- Ils sont environ 600
- Ils représentent à eux seuls 90 % des producteurs de méditerranée.
- Les ostréiculteurs de la lagune de Thau utilisent différentes sources d'approvisionnement en naissains :
- 40 % environ s'approvisionnent en huîtres naturelles.
- 60 % environ s'approvisionnent auprès d'écloseries.

Les écloseries, ce sont des laboratoires spécialisés dans la production de naissains. Un peu comme des supermarchés, ils offrent une large gamme de produits, tout au long de l'année et ce de manière constante.

L'HUÎTRE TRIPLOÏDE

- 25 % environ des ostréiculteurs de l'étang de Thau cultivent l'huître triploïde.
- Cette huître a été conçue par le laboratoire Ifremer, à la demande des ostréiculteurs poussés par le marché.
- Les restaurateurs souhaitent satisfaire leur clientèle d'été qui n'appréciait pas l'huître "laitueuse" (durant la période de reproduction, l'été).
- Cette huître, dénommée aussi huître des "quatre saisons", a subi une modification du nombre de ses chromosomes pour être stérile et donc consommable toute l'année sans les désagréments de la laitance.
- Mais elle n'est pas considérée comme un OGM.

ET SI LES HUÎTRES NAISSAIENT À THAU ?

Qu'elles soient naturelles ou issues d'écloseries, les jeunes huîtres sont introduites dans la lagune pour l'élevage. Rendant les ostréiculteurs tributaires des cours du marché. Élever un jour une huître native de Thau en grande quantité ? Le rêve ! L'Ifremer travaille sur le sujet et dévoile ses premiers résultats. L'avenir semble prometteur.



Franck Lagarde est ingénieur de recherche, spécialisé en écologie marine et océanographie côtière, à l'Ifremer, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, de Sète. Il dirige le projet de recherche concernant l'étude de la reproduction naturelle

de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.

Comment ce projet de recherche s'est-il décidé ?

En 2008, l'ostréiculture a connu sur nos côtes une importante crise de mortalité, en lien avec l'apparition d'agents pathogènes, touchant le naissain ("bébé" huître) et les huîtres juvéniles. Ce phénomène a conduit à une baisse des stocks de naissains disponibles en France. Contrairement aux autres bassins de production sur la façade atlantique, la lagune de Thau n'a jamais été exploitée pour la production de naissains issue de captage naturel local. L'augmentation du coût du naissain, liée à la crise des surmortalités, a amené les producteurs méditerranéens à vouloir développer un approvisionnement en naissains local. En 2010, les ostréiculteurs se sont posé la question suivante : "pourquoi n'y a-t-il pas de captage naturel dans la lagune" ? (Méthode qui permet de recueillir les naissains naturellement en vue de l'élevage.) Le CRCM (Comité régional de conchyliculture de Méditerranée situé à Méze) a pris l'initiative de faire un programme de recherche pour tenter de répondre à la question et a fait appel à Ifremer pour l'assistance scientifique. Ce premier projet, nommé Pronamed, s'est déroulé sur deux ans (2010-2011). Pour cela, des collecteurs à coupelles ont été placés sur les zones ostréicoles, au niveau des tables d'élevage, pour capter naturellement les petites huîtres, avec un suivi de la qualité des eaux. En 2010, ils ont fait un carton ! En 2011, ils ont fait chou blanc !

Face à ces résultats montrant une variabilité extrême d'une année à l'autre, le CRCM a fait appel à Ifremer pour tenter de comprendre, dans le détail, l'origine de ces différences annuelles. Nous avons décidé de monter un nouveau projet de recherche sur 3 ans (2012-2013-2014) pour observer le cycle biologique des huîtres (en particulier la reproduction) dans la lagune de Thau. Ce nouveau projet s'appelle donc Pronamed 2.

Comment avez-vous défini le programme de recherche Pronamed 2 ?

Franck Lagarde : Nous nous sommes, dans un premier temps, appuyés sur les données récoltées durant les deux années d'étude réalisée par le CRCM en 2010 et 2011.

20 | LA VILLE EN PARLE

La Gazette n° 303 - Décembre 2014

DOSSIER HUITRES

Puis nous avons décidé d'étudier le maximum de paramètres concernant les huîtres et leurs conditions environnementales sur ces trois nouvelles années.

Comme toute étude environnementale, les choses sont complexes. Ce projet combine donc le travail de plusieurs partenaires incluant des organismes de recherche (université de Montpellier, université de Moncton/Canada, Ifremer), des bureaux d'études privés, le centre technique régional (Cepralmar, association pour le développement de l'aquaculture) et les professionnels de la filière conchylicole.

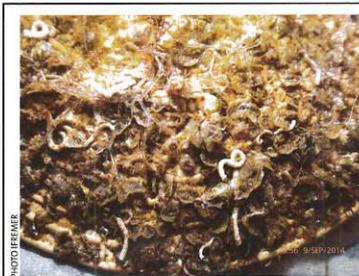
À Sète, le laboratoire Ifremer LER/LR a mobilisé ses forces vives et a permis à Martin Ubertini, un jeune chercheur, écologue et océanographe, d'effectuer un travail colossal d'analyse des données recueillies. Pour la première fois, il est proposé d'étudier précisément la reproduction de l'huître sur les côtes méditerranéennes françaises.

Qu'entendez-vous par conditions environnementales de l'huître ?

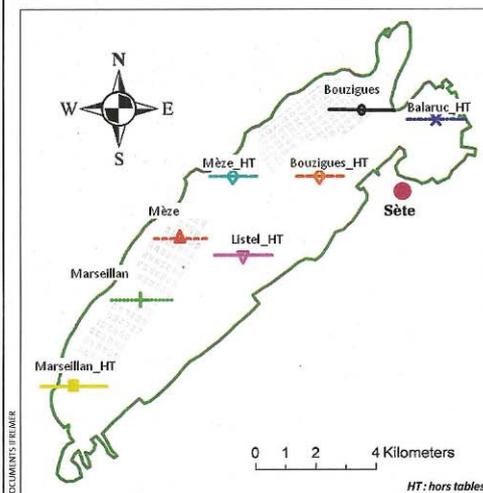
Nous avons décidé d'étudier l'écosystème "Lagune de Thau" dans sa globalité. Nous avons étudié en particulier la météorologie, l'hydrodynamique, c'est-à-dire la circulation du courant, la qualité de l'eau et en particulier le plancton. Le plancton représente un ensemble d'organismes aquatiques qui sont inaptes à lutter contre les courants. De petite taille, le plancton regroupe non seulement les organismes potentiellement prédateurs et compétiteurs des larves d'huîtres, mais il compose aussi l'alimentation des huîtres adultes. Comme je vous le disais précédemment, nous nous sommes également intéressés au cycle biologique de l'huître dans sa globalité. Plus précisément nous avons étudié les adultes géniteurs, les larves planctoniques après la ponte, la métamorphose et les naissains qui sont destinés à être mis en élevage.

Concrètement, comment avez-vous procédé ?

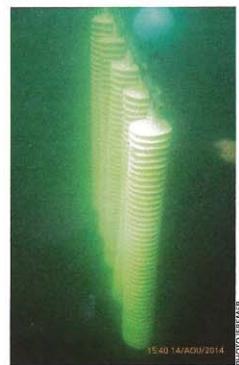
Il s'agissait de trouver les meilleures périodes et les meilleurs endroits pour poser les capteurs à "bébés" huîtres. Afin de trouver les zones les plus favorables, nous avons fait appel à notre intuition et à une technique de modélisation hydrodynamique mise au point par Martin Ubertini et la physicienne de l'équipe, Annie Fiandrino. Nous avons trouvé certaines zones intéressantes. Durant trois ans, les capteurs ont été posés du mois de juin au mois d'octobre, selon un protocole précis, sur des zones ostréicoles mais aussi au large de ces zones. Nous les avons observées très régulièrement tous les quinze jours.



Couppelle pleine de bébés huîtres ramassées sur l'étang de Thau par l'Ifremer.



Les points de couleur représentent les zones où les capteurs de bébés huîtres ont été posés sur l'étang de Thau. Les 3 sites qui ont donné de bons résultats : Listel, Mèze et Bouzigues.



Un technicien d'Ifremer a mis au point un procédé de fixation afin de placer les capteurs à coupelles hors des tables d'élevage ostréicole.

Le cycle de l'huître

- La larve trocophore est une larve ciliée, qui se déplace en tournoyant sur elle-même. C'est la première larve de l'huître. Elle a une vie pélagique (elle vit en pleine eau).
- La larve D est appelée ainsi, car elle a une forme très particulière : elle ressemble à la lettre D majuscule. Ce "D" correspond à la future coquille de l'huître. Il va servir de guide pour la coquille qui se formera dessus. Elle possède toujours des cils, mais également un velum qui lui permet de se déplacer. Ce velum sera totalement formé chez la larve véligère (prochaine étape de son cycle).
- La larve véligère est toujours pélagique. Ces cils et le velum (qui termine sa formation à ce stade) lui permettent

Quinze jours, c'est le temps nécessaire aux larves pour se poser et se métamorphoser en naissains. Les larves se déplacent dans l'eau puis elles se posent et se métamorphosent alors pour devenir des "bébés" huîtres.

Et qu'avez-vous constaté ?
La maturation sexuelle des adultes se fait bien sur la lagune de Thau. Les quantités de larves sont de même intensité qu'en Atlantique, dans les bassins ostréicoles où le captage naturel est traditionnel. En ce qui concerne le développement du naissain, nous nous sommes aperçus qu'à certains endroits en dehors des zones ostréicoles les résultats sont bien meilleurs. Il semble qu'il y ait un meilleur taux de réussite à certains endroits où il n'y a pas d'huîtres adultes.

Quels sont ces endroits ?
En 2012, le point qui a bien marché

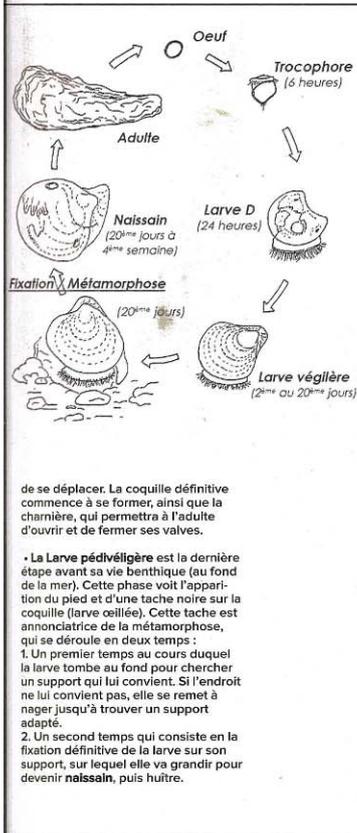
était au large de la zone conchylicole de Mèze, et vers Listel. En 2013 et 2014, nous avons travaillé en face de la ville de Mèze et entre Bouzigues et Sète. Nous avons alors trouvé un niveau de captage proche de celui de l'Atlantique les bonnes années. Le paramètre qui semble être à l'origine du succès du captage est le nanophytoplancton, une particule végétale qui mesure entre trois et vingt micromètres (0,001 mm). C'est la nourriture idéale pour les bébés huîtres, "les petits pots" dont raffolent les huîtres adultes aussi.

Quelle analyse faites-vous de ces résultats ?
Nous sommes obligés de rester prudents face à ces résultats intéressants. Ce naissain capté pendant l'étude a été mis en élevage. En 2013, nous avons constaté une perte proche de 90 % une fois ce naissain installé dans les zones

d'élevage. Les agents pathogènes semblent être en cause. Mais ce qui est encourageant, c'est que 90 % des huîtres survivantes sont arrivées à une taille commercialisable. D'autre part, les capteurs posés dans les zones ostréicoles ont moins de naissains qu'à certains endroits en dehors des zones ostréicoles. Comme je vous le disais, le nanophytoplancton semble être très important. Or, ce nanophytoplancton est mangé par les huîtres adultes dans les zones d'élevage et il ne reste probablement pas grand chose pour les larves et le naissain. L'étude montre que la lagune est très hétérogène dans l'espace, donc l'étude des mouvements de l'eau qui transportent les particules et notamment les larves est très importante pour nous. Savoir quel chemin parcourent les larves effectivement, connaître leur comportement et quels sont les endroits où elles trouveront leur ali-



Déterminisme du recrutement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.



mentation idéale est le prochain défi.

Pensez-vous que le captage naturel soit possible sur la lagune ?

L'étude a permis de mettre en relief un gisement potentiel de naissains d'huître creuse dans notre lagune de Thau. Mais nous avons travaillé à une petite échelle expérimentale. Il faut voir ce que cela donnerait à plus grande échelle, voire à un niveau industriel. Pour l'instant, il faut rester prudent. Le captage naturel constitue un potentiel économique qui intéresse la profession, mais il faut poursuivre les travaux. Il semble que les conchyliculteurs aient la volonté de continuer, de poursuivre la compréhension du captage naturel, car cela pourrait conduire au développement d'une nouvelle pratique de l'ostréiculture sur la lagune de Thau. —

Sarah Oliver

“Ça ne sera pas suffisant”

Adeline Perignon du Comité régional conchylicole de Méditerranée estime que le captage dans la lagune de Thau tel que l'expérimente l'Ifremer ne suffira pas à lui seul, à l'approvisionnement des ostréiculteurs.

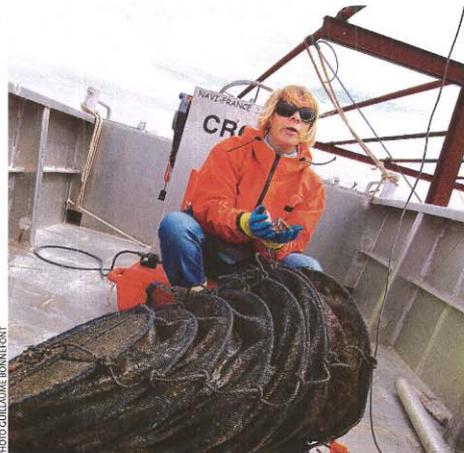


PHOTO GUILAUME BONNIFONT

Qu'est-ce qui vous a poussé à mener l'initiative du premier programme de recherche Pronamed en 2010 et 2011 ?

C'est après la crise de mortalité de 2008 qui a touché de plein fouet les ostréiculteurs. Certains professionnels ont perdu près de 90 % de leur production ! On a voulu tester la production de naissains en Méditerranée pour rendre les ostréiculteurs moins dépendants de la variabilité des coûts d'approvisionnement. En 2010, le captage a été surabondant. Mais en 2011, ça a été le flop ! C'est pourquoi nous nous sommes adressés à Ifremer pour poursuivre les recherches avec Pronamed 2.

Au vu des premiers résultats révélés par Ifremer, croyez-vous au captage dans la lagune de Thau ?

Après trois années de suivi, le captage est satisfaisant dans les zones hors tables ostréicoles. À l'inverse, il y a très peu de survivance aux endroits où se trouvent les tables d'élevage. Le captage dans la lagune de Thau ne suffira pas, à lui seul, à l'approvisionnement des ostréiculteurs. Cela restera un complément

de l'Atlantique. Et puis il reste à obtenir les autorisations de l'administration pour capter durant trois mois, de juin à septembre, en dehors des zones de conchyliculture. C'est à dire dans les zones de pêche. Comme cela se fait au Japon.

Les ostréiculteurs sont-ils nombreux à essayer le captage ?

En 2011, après le succès de 2010,

environ soixante-dix ostréiculteurs ont tenté l'expérience du captage naturel. Mais depuis, beaucoup se sont découragés. Il y en a une vingtaine aujourd'hui qui s'accrochent dans l'aventure du captage. Pour les ostréiculteurs, c'est un gros investissement, cela représente beaucoup de travail et le résultat reste aléatoire. Cependant, les résultats demeurent encourageants pour ceux qui veulent se lancer dans la production.

Pensez-vous poursuivre la recherche concernant le captage naturel ?

Poursuivre l'étude comme celle que nous venons de réaliser paraît difficile, car les financeurs ne pourront pas nous suivre. On va se débrouiller seuls, avec le mas d'expérimentation qui vient d'être inauguré à Méze. —

Depuis 1950, le CRCM (Comité régional conchylicole de Méditerranée) est une organisation professionnelle qui rassemble l'ensemble des conchyliculteurs de Méditerranée (de Leucate jusqu'à la Corse, 90 % d'entre eux sont concentrés sur la lagune de Thau).

Elle représente les professionnels, dans leurs relations avec l'État et ses représentants ainsi qu'avec les usagers des étangs, lagunes et mer, elle a pour mission de défendre leurs intérêts et promouvoir leurs produits.

UN OUTIL POUR LA DIVERSIFICATION SUR LA LAGUNE

Mas expérimental conchylicole : le 18 novembre, André Vezinhét, président du Conseil général, inaugure le mas d'expérimentation du Comité régional conchylicole de Méditerranée (CRCM) au port départemental du Mourre-Blanc à Méze. Le bâtiment, d'une surface de 130 m², bénéficie des équipements nécessaires au divers programme de recherche. Le coût de l'opération s'élève à 176 834 € dont 22 104 € financés par le Département, 12,5 % par la Région, 25 % par l'Etat et 50 % par le Fonds européen pour la pêche. Le CRCM aura ainsi les outils nécessaires pour réaliser différents projets d'étude et de recherche expérimentale : poursuite de la recherche sur le captage naturel, relance de la culture de l'huître plate emblématique française *Ostrea edulis*, quasiment disparue depuis les années 70-80, la relance du violet (ou biju) qui s'est raréfié.



Déterminisme du recrutement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.

Annie Castaldo, pionnière de Thau

Depuis cinq ans, l'emblématique ostréicultrice de Marseillan expérimente le captage naturel d'huîtres dans la lagune. Avec conviction, comme tout ce qu'elle fait.



PHOTO SARAH OLIVER

Marseillan, sur les rives de la lagune baignée de soleil. Une douce sérénité règne sur le mas conchyicole d'Annie Castaldo. L'opération de collage des petites huîtres nées dans la lagune a lieu aujourd'hui. Les mains consciencieusement s'appliquent autour des cordages. Deux à deux les jeunes huîtres bichonnées depuis une année sont placées de chaque côté de la corde, le ciment posé scellera la troisième placée sur le dessus. Après une nuit de séchage, les colliers seront placés sur les tables en suspension dans l'eau de la lagune pour une année et demi environ. Le temps nécessaire à l'épanouissement des huîtres avant qu'elles puissent être dégustées. Annie Castaldo s'active en cuisine, elle enfourne une truffade préparée pour régaler toute l'équipe à l'heure du déjeuner. Attentive aux soins prodigués à ses bébés, elle donne quelques consignes au-dehors. Des années de travail lui auront été nécessaires avant qu'on puisse lire la satisfaction sur

son visage. Passionnée, elle raconte : "Ce sont les huîtres qui ont été captées en 2013. J'ai commencé l'expérience du captage naturel en 2009, après la crise de mortalité qui a touché les naissains en 2008. Ce qui a conduit à une spéculation sur les naissains d'huîtres naturelles, les ostréiculteurs de l'Atlantique en ont bien profité. À ce moment-là, je ne pouvais plus sortir un salaire. C'est ce qui m'a poussée à essayer toute seule. Cinq ans d'apprentissage ont été nécessaires pour finaliser ma méthode. Le captage se fait dans des coupelles placées à l'horizontale par fagots de cinq sur une table tournante pour une dizaine de mois, de juin à février.

J'ai embauché

Une fois par semaine, on crée une marée en sortant les tables hors de l'eau durant deux à trois heures. En février on sort les coupelles de l'eau, les huîtres ont différentes tailles. On procède alors au criblage, les plus grosses sont collées, les petites qui mesurent de deux à trois millimètres sont placées dans des poches de pré-

grossissement. On met environ deux verres dans une poche, ce qui représente des milliers de bébés huîtres. C'est comme une pouponnière ! Puis tous les mois, on sort les poches pour

les dédoubler afin de laisser de la place aux huîtres qui ont grossi. En été on n'y touche pas, on les laisse tranquilles, car les jeunes huîtres peuvent pondre dès leur première année. Le captage, c'est incroyable ! C'est aussi parce que j'y ai cru que cela a été possible. On fait tout de A à Z. C'est une responsabilité, un engagement avec la nature. La mortalité est présente tout au long du travail. J'ai constaté que les huîtres qui résistent, celles qui sont collées ne meurent pas. La sélection naturelle s'étant faite, seules les plus résistantes ont survécu. De 2010 à 2013 cela a représenté environ 70 % de ma production. Cette année, le captage n'a pas bien marché, je vais devoir acheter des naissains à mes amis ostréiculteurs traditionnels du bassin d'Arcachon qui travaillent l'huître comme moi. Nous avons constitué une association pour demander un étiquetage national. Car il faut le savoir, l'huître est le seul produit de l'agroalimentaire à n'avoir aucune traçabilité d'élevage. C'est un métier nouveau qui demande beaucoup de travail, car on ne réussit pas tous les ans. Mais il ne faut pas se décourager, ne pas abandonner. Le captage naturel, c'est ce que je conseillerais à un jeune qui s'installe. Grâce à cette pratique, j'ai pu embaucher un salarié cette année." —

Annie Castaldo, Ultra Marine
chemin de Fontaurie - La Bézarde Est
34340 Marseillan
Tél. 06 08 06 84 43.



Les petites huîtres nées à Thau sont, après qu'elles aient grossi, traitées comme leurs cousines qui viennent de l'extérieur.

PHOTO SARAH OLIVER



Ifremer

Déterminisme du recrutement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.

"Cultures Marines" - N° 270 - Octobre 2013

méditerranée

Actualité

Avis favorable pour le Scot de Thau

La commission d'enquête sur le projet de Scot (schéma de cohérence territoriale) de Thau a rendu ses conclusions le 9 août. Le projet, lancé il y a déjà 8 ans, a reçu un avis favorable au terme d'un mois d'enquête publique. « L'organisation du développement territorial respecte un scénario vertueux selon les critères du développement durable. » La commission a cependant émis trois réserves, dont deux concernent directement Thau : les 35 ha de la zone

des Condamines, entre la lagune et l'autoroute A9, doivent être exclus du projet de zone logistique portée par le port de Sète. Les conchyliculteurs s'étaient émus de la proximité annoncée de la lagune avec de nombreux entrepôts et des norias de camions.

La commission estime aussi que l'urbanisation sur l'ancienne usine d'engrais en bordure de Thau, à Balaruc-les-Bains, est à proscrire pour cause de pollution. Elle encourage le maintien d'un ruban végétal

entre les villes. Le syndicat mixte du bassin de Thau (SMBT), porteur du Scot, doit encore organiser cinq réunions publiques. Puis l'État rendra un dernier avis, avant l'approbation définitive du SMBT.

Le document fixe les orientations pour les 20 ans à venir : logement, économie, cadre de vie, habitat. Il s'appliquera alors aux 14 communes du SMBT.

Hélène SCHEFFER

La commission a émis une réserve sur l'urbanisation de l'ancienne usine d'engrais en bordure de la lagune.



Captage : une saison satisfaisante

« Cette année, le captage a été bon surtout en bordure de la lagune. » Au comité régional conchylicole de Méditerranée, on se félicite de la poursuite du programme de captage de juvéniles Pronamed 2, lancé il y a 5 ans et désormais intégré dans le programme national Velyger (lire page 9).

Nouveauté pour l'été 2013 : des capteurs ont été installés hors des tables conchylicoles. Avec des résultats très encourageants,

notamment face à Marseillan et face aux champs de vignes de Listel, sur la rive est de la lagune. Cette idée a été expérimentée après plusieurs captages intéressants l'an dernier, à l'extérieur des zones d'élevage.

Une explication ? Les larves d'huîtres, qui flottent dans les courants, seraient avalées par les coquillages qui filtrent tout ce qui passe, lorsqu'elles transitent entre les tables. À l'extérieur des tables, elles seraient ainsi moins soumises à déperdition

avant de pouvoir se fixer. « Nous n'avons pas, comme à Marennes ou Arcachon, des canaux qui circulent dans les estrans, explique le CRC. Les larves ne peuvent pas circuler dans des couloirs d'eau spécifiques. » Le CRC coordonne aussi des prélèvements et des analyses sur les planctons-fourrages. « Plus il y a du plancton, meilleur est le captage, comme cette année », témoigne le CRC.

H. S.

Le préfet rencontre les ostréiculteurs à Thau

Le préfet de l'Hérault a rencontré les conchyliculteurs de Thau, le 17 septembre, chez Josian Alexandre, dans le port du Mourre Blanc. Il a pris connaissance des grandes thématiques qui occupent la profession : mortalités ostréicoles des juvéniles « et depuis deux ans, des grosses » comme l'a précisé Philippe Ortin, le président du CRC, prédatons des daurades sur les moules, diversification en mer ou label pour les huîtres exondées.

Le projet d'une éclosérie régionale a également été évoqué : une solution « pour éviter que 10 millions d'euros ne quittent le territoire vers l'Atlantique » a insisté Karine Caussel, membre du bureau du CRC.

Ainsi Pierre de Bousquet a bénéficié d'un panorama de la filière. « L'été s'est bien passé, a résumé le préfet. Il n'y a plus de souci sanitaire depuis longtemps. Les prévisions de vente en fin d'année semblent rassurantes, les cours

sont soutenus. Pour l'éclosérie, il n'est pas illégitime qu'on arrête d'acheter des juvéniles loin. Il faut maintenant faire un travail collectif pour éliminer les deux soucis du moment. »

H. S.



À 10 h du matin, le préfet a préféré les huîtres au café !

► Accident mortel : un an avec sursis

Le 15 juillet, un conchyliculteur qui naviguait sur Thau avec sa barge chargée de moules a percuté une petite vedette de location, provoquant la mort d'une touriste (« Cultures marines » n° 269). Selon son avocat, le parqueur reconnaît sa responsabilité mais ne s'explique toujours pas l'accident. Jugé responsable par « maladresse, inattention et imprudence » le 22 août, par le tribunal correctionnel de Béziers, il a écopé d'un an de prison avec sursis. Le professionnel, qui a 30 ans de métier, a bénéficié d'un courrier de soutien du comité régional conchylicole de la Méditerranée. Les juges lui ont laissé le droit de conduire son navire et de travailler.

► Ouverture de la boutique de producteurs

Pour la 1^{ère} fois en France, une boutique de producteurs accueille des produits de la mer. Lieu collectif de vente en circuit court, Entre terre et mer, a ouvert pendant l'été à Mèze. Les 18 producteurs du groupement (viande, miel, fromages...) ont investi près de 120 000 euros en matériel, sans compter l'achat du bâtiment et du terrain. « Les clients voient que nous sommes de vrais producteurs, se félicite Alain Sacaze, ancien président de l'OP conchylicole de Thau et cheville ouvrière de ce projet. Cela permet aussi d'installer des jeunes et de les accompagner pendant leurs premières années de commercialisation, les plus délicates. »

► Bons bilans des fêtes de l'huître

Marseillan, Mèze, Bouzigues : les foires et fêtes de l'huître ont fait le plein. À Mèze, plus de 4 000 personnes étaient présentes et 2 500 repas préparés par 70 bénévoles ont été vendus. À Bouzigues, quatre tonnes de coquillages - deux tonnes d'huîtres et deux tonnes de moules - ont été dégustées, alors que les touristes pouvaient se tester dans un concours d'écailler (gagné par un Ardéchois). Le 31 août, c'était la première d'Ostrea Fiesta à Sète. Organisée par le comité de quartier en partenariat avec les conchyliculteurs du Barrou, la soirée a elle aussi fait le plein en cette veille de rentrée scolaire.

Cultures MARINES n°270 - octobre 2013

23

L'EXPRESS

BIENTÔT DES HÙTRES NÉES DANS LA LAGUNE



PHOTOS : G. LEFRANCO/ANDIA

BÉBÉS
Annie Castaldo,
ostréicultrice,
présente
ses naissains.

« A l'origine, il n'y a pas d'hùtres dans la lagune. On les a fait venir de la façade océanique pour les élever dans l'étang, explique l'ostréicultrice Annie Castaldo. Comme partout ailleurs, nos hùtres adultes font des œufs chaque été. On peut voir les bébés se coller naturellement sur nos cordes. Mais personne ne connaissait le métier de naisseur, alors on n'a jamais récupéré les larves nous-mêmes. » Et ce métier n'est pas le même qu'en pleine mer. Dans la lagune, tout est différent, à commencer par l'absence de marée! Conseillés et encadrés par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), les ostréiculteurs se sont lancés dans l'aventure. Tester

différentes méthodes, compter, comparer, réessayer... Les premiers résultats d'Annie lui laissent espérer qu'elle n'aura peut-être plus besoin d'acheter des naissains à ses collègues d'Arcachon. Une victoire qu'elle savoure seule, les autres participants ayant des retombées moins spectaculaires : « J'ai respecté le protocole et je me suis investie à 100 %. C'est une histoire de volonté », estime-t-elle. En attendant que tous partagent son approche, le CRCM souhaiterait développer une écloserie pouvant répondre à la moitié des besoins de l'étang, soit 150 millions d'hùtres par an.

N° 3296 / 3 septembre 2014



Ifremer

Déterminisme du recrutement larvaire de l'hùtre creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.

avril 2016

9. Transfert des résultats et participation à des colloques

Date	Rencontre	Lieu	Type de présentation Conférencier*	Titre	Public*	Nbre de participants
23/01/2013	Journées Conchylicoles Ifremer	Roscoff (29)	Présentation orale FL	Nouveaux éléments du déterminisme du recrutement naturel de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> dans la lagune de Thau.	S	~100
05/04/2013	Comité de pilote PRONAMED	Mèze (34)	Présentation orale FL	Nouveaux éléments du déterminisme du recrutement naturel de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> dans la lagune de Thau.	P	~10
28/05/2013	Réunion Publique PRONAMED	Mèze (34)	Présentation orale FL	Nouveaux éléments du déterminisme du recrutement naturel de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> dans la lagune de Thau.	P	~20
08 et 09/06/2013	Journée Portes Ouvertes	Palavas (34)	Poster FL	L'émergence d'une nouvelle activité, Captage naturel d'huître creuse et lagune de Thau	GP	~800
01/11/2013	Colloque CIESM	Marseille (13)	Poster Présentation orale FL	Larval recruitment of <i>Crassostrea gigas</i> in a french Mediterranean lagoon	S	~100
09/01/2014	Journées de l'Observation Nationale Conchylicole	Nantes (44)	Présentation orale FL	Années 2012 et 2013, amélioration des connaissances de la reproduction et du recrutement de <i>Crassostrea gigas</i> en lagune de Thau	S	~100
10/06/2014	World Aquaculture Society	Adelaide (Austr.)	Présentation orale MU	Effect of environmental drivers on the reproduction of the pacific oyster <i>Crassostrea gigas</i> in the Mediterranean: The case of the Thau lagoon.	S	~200
01/07/2014	Réunion Publique	Mèze (34)	Présentation orale FL & MU	Années 2012 et 2013, amélioration des connaissances de la reproduction et du recrutement de <i>Crassostrea gigas</i> en lagune de Thau	P	~20
15/10/2014	European Aquaculture Society	Donostia-San Sebastian (SP)	Présentation orale FL	New knowledges about determinism of pacific oysters (<i>Crassostrea gigas</i>) larval recruitment in the mediterranean Thau lagoon	S	~50
15/10/2014	European Aquaculture Society	Donostia-San Sebastian (SP)	Présentation orale MU	Oyster (<i>C. gigas</i>) recruitment in Mediteranean lagoons ; new approaches for studying larval connectivity using MARS3D modeling tools	S	~50
13/11/2014	Jeu du CRH	Sète (34)	Présentation orale FL & MU	New knowledges about determinism of pacific oysters (<i>Crassostrea gigas</i>) larval recruitment in the mediterranean Thau lagoon	S & P	~50
09/12/2014	Délégation Société Franco-japonaise d'océano./Fisheries and Research Agency	Sète (34)	Présentation orale FL	New knowledges about determinism of pacific oysters (<i>Crassostrea gigas</i>) larval recruitment in the mediterranean Thau lagoon	S	8
03/04/2015	Journée scientifique Réseau Mer LR	Montpellier (34)	Présentation orale FL	New knowledges about determinism of pacific oysters (<i>Crassostrea gigas</i>) larval recruitment in the mediterranean Thau lagoon	S	~50
À venir Octobre 2015	Atelier thématique, GDRI Franco-Canadien RECHAGLO	Canada	Présentation orale FL	New knowledges about determinism of pacific oysters (<i>Crassostrea gigas</i>) larval recruitment in the mediterranean Thau lagoon	S	~
À venir Novembre 2015	16ème symposium Franco-Japonais d'océanographie	Japon	Présentation orale FL	New knowledges about determinism of pacific oysters (<i>Crassostrea gigas</i>) larval recruitment in the mediterranean Thau lagoon	S	~

* : FL Franck Lagarde, MU Martin Ubertini

** S: Scientifiques, P: Professionnel, GP: Grand Public,

Intervention vidéo et documentaire

Interventions dans documentaire « Au menu des fêtes : huîtres diploïdes ou triploïdes ? », <http://www.actu-environnement.com/ae/news/huitres-etiquetage-origine-diploides-triploides-ifremer-23539.php4>

Apparition dans **Ora Maritima**, Premières assises du territoire de Thau sur le thème de l'eau : film "Une journée à Thau" sur le thème de l'eau. Diffusion le 26 septembre 2015. Mise en ligne en septembre 2015.



Ifremer

Déterminisme du recrutement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans la lagune de Thau.

10. Annexe

Annexe 1 : Boîtes à moustache des variables environnementales marquant la différence entre les zones de tables conchylicoles (T) et les zones en dehors des tables conchylicoles (HT)

