

Département 'Ressources Biologiques et Environnement' - RBE  
 Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin (LEMAR)  
 UMR 6539 CNRS/UBO/IRD/Ifremer

S. Pouvreau, S. Petton, M. Huber, V. Le Roy, I. Queau, P. Le Souchu, M. Alunno-bruscia, P. Boudry  
 Unité 'Santé, Génétique et Microbiologie des Mollusques - SG2M  
 Laboratoire 'Sécurisation des Productions en Conchyliculture' - LSPC  
 H. Palvadeau

Département 'Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes' - ODE  
 Unité 'Laboratoires Environnement Ressources' - LER

Laboratoire 'Environnement-Ressources Arcachon' - LER AR  
 I. Auby, D. Maurer, F. D'Amico, S. Passoni, C. Barbier, M.P. Tournaire, L. Rigouin, M. Rumèbe  
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Morbihan Pays de Loire' - LER MPL  
 E. Fleury, G. Bellec, J.F. Bouget  
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Poitou-Charentes' - LER PC  
 J.F. Pépin, S. Robert, J. Grizon, J.L. Seugnet, J.M. Chabirand, O. Le Moine, S. Guesdon  
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Languedoc-Roussillon' - LER LR  
 F. Lagarde, S. Mortreux, P. Le Gall, G. Messiaen, E. Roque d'Orbcastel

Département 'Ressources physiques et Ecosystèmes de fond de Mer' - REM  
 Unité 'Recherches et Développements Technologiques' - RDT

Service 'Développements de Systèmes Mécaniques Instrumentaux' - DSMI  
 L. Quemener, M. Repecaud

Centre Régional Expérimentation et Application Aquacole - CREAA

AL. Bouquet, A. Geay, D. Mille

Réf : R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2016-1



## Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France :

### Le Réseau Velyger



- Rapport annuel 2015 -

Coordination - Rédaction : Stéphane Pouvreau

Mars 2016

Convention DPMA 2015 - IFREMER 14/1211577/F



**Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la  
reproduction et du recrutement  
de l'huître creuse en France :**

**Le Réseau Velyger**

**Rapport scientifique annuel du réseau national  
Velyger, convention DPMA-Ifremer 2015**

# Préambule

Le Réseau Velyger a été créé en 2008 suite à sollicitation du Comité National de la Conchyliculture (CNC). Piloté par l'Ifremer, ce projet a bénéficié pour son lancement de financements par la direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) et de financements européens pour la Pêche et l'Aquaculture (FEP) ainsi que d'une aide supplémentaire accordée par le conseil scientifique du SMIDAP (Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire) et financée par la région des Pays de la Loire en 2009 et 2010. Depuis 2011, le maintien et la gestion de ce réseau sont exclusivement soutenus par des financements nationaux de la DPMA et de l'Ifremer.



Construit comme une fédération de suivis régionaux, ce réseau fait appel à :

- la collaboration du Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole (Creaa) ;
- la prestation des bureaux d'étude : Cochet Environnement, Armeria et AEL Plancton ;
- la participation d'ostréiculteurs dans chaque site atelier.



L'analyse et l'interprétation des données de ce réseau national fait aussi appel à d'autres données régionales et à d'autres réseaux nationaux. Il s'agit :

- **pour le bassin de Marennes Oléron**, des données acquises annuellement par le Creaa dans le cadre d'une contractualisation avec le Comité Régional Conchylicole de Poitou-Charentes.
- **pour le bassin d'Arcachon**, des données acquises depuis plusieurs années dans le cadre d'une convention entre le Comité Régional Conchylicole Arcachon-Aquitaine et la Station Ifremer d'Arcachon.
- **pour la baie de Vilaine**, des données de larves et de recrutement acquises dans le cadre d'une convention locale entre le CRC Bretagne sud et le bureau d'étude Cochet-environnement.
- **pour l'hydrologie et le phytoplancton**, des données acquises par le REPHY, complété par le réseau SOMLIT du CNRS ainsi que, le cas échéant, par des analyses supplémentaires.
- **pour la climatologie**, des données météorologiques des stations proches de nos sites d'étude vendues par Météo-France.

**En savoir plus sur le Réseau Velyger:**

<http://www.ifremer.fr/velyger>

Le réseau Velyger est associé au réseau RESCO (anciennement REMORA) afin de constituer l'Observatoire National de la Conchyliculture, dont l'objectif principal est de caractériser, chaque année et au plan national, l'évolution et la dynamique spatio-temporelle des performances de survie, de croissance et de reproduction de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Le réseau Velyger vient donc compléter au niveau de la reproduction et du recrutement dans les principaux bassins de captage, les descripteurs recueillis dans le cadre du RESCO sur la survie et la croissance.

**En savoir plus sur le Réseau RESCO:**

[http://www.ifremer.fr/observatoire\\_conchylicole](http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole)





# Fiche documentaire

<b>Numéro d'identification du rapport :</b> <b>Diffusion :</b> libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> <b>Validé par :</b> Pierre Boudry, responsable unité PFOM <b>Adresse électronique :</b> pboudry@ifremer.fr		<b>date de publication :</b> 30/03/2016 <b>nombre de pages :</b> 57 <b>bibliographie :</b> oui <b>illustration(s) :</b> 35 figures <b>langue du rapport :</b> Français
<b>Titre du rapport :</b> Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger		
Contrat n° 14/1211577/F      Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Auteur principal :</b> S. Pouvreau  <b>Contributeurs :</b> S. Petton, M. Huber, V. Le Roy, I. Queau, P. Le Souchu, M. Alunno-bruscia, P. Boudry, H. Palvadeau, I. Auby, D. Maurer, F. D'Amico, S. Passoni, C. Barbier, M.P. Tournaire, L. Rigouin, M. Rumèbe, E. Fleury, G. Bellec, J.F. Bouget, J.F. Pépin, S. Robert, J. Grizon, J.L. Seugnet, J.M. Chabirand, O. Le Moine, S. Guesdon, F. Lagarde, S. Mortreux, P. Le Gall, G. Messiaen, E. Roque d'Orbcastel, L. Quemener, M. Repecaud, D. Mille, A. Geay, AL. Bouquet.	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> Département Ressources Biologiques et Environnement Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins Laboratoire des sciences de l'environnement marin UMR 6539 LEMAR Laboratoire de Physiologie des Invertébrés	
<b>Cadre de la recherche :</b>  Réseau national VELYGGER- Convention DPMA-Ifremer 2015		
<b>Destinataire :</b>	DPMA-Ifremer	

## Résumé

La conchyliculture, et principalement l'élevage de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, constitue la principale activité aquacole française. Cette activité repose, en grande partie, sur le recrutement naturel de l'espèce qui assure 60 à 70% des besoins en jeunes huîtres (naissain) : cette activité de collecte s'appelle le captage.

Les deux principaux centres de captage en France sont les bassins d'Arcachon et de Marennes-Oléron. Or, depuis une dizaine d'années, sur le bassin d'Arcachon, le captage devient très variable: à des années de captage nul (par exemple 2002, 2005, 2007) ou faible (2009, 2010, 2011) succèdent des années excellentes voire pléthoriques (2003, 2006, 2008, 2012, 2014). A Marennes-Oléron, cette variabilité existe, mais s'avère beaucoup moins marquée. En outre, à la faveur du lent réchauffement des eaux, le captage peut désormais se pratiquer de plus en plus vers le nord. Ainsi, la baie de Bourgneuf, mais aussi la rade de Brest sont devenues, depuis quelques années, des secteurs où un nombre croissant d'ostréiculteurs pratiquent le captage avec succès, mais avec, là aussi, des irrégularités dans le recrutement qu'il convient de comprendre. Enfin, depuis la crise des mortalités de 2008, il se développe aussi sur la lagune de Thau une volonté de pratiquer le captage.

Afin de mieux comprendre les facteurs de variations du captage, l'Ifremer a mis en place, à la demande du Comité National de la Conchyliculture, un réseau national de suivi de la reproduction : le Réseau Velyger. Créé en 2008 sur financements européens et financé désormais par la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture, ce réseau apporte, chaque année, sur les écosystèmes cités précédemment, une série d'indicateurs biologiques (maturation, fécondité, date de ponte, abondance et survie larvaire, intensité du recrutement, survie du naissain) dont l'analyse croisée avec des indicateurs hydrologiques et climatiques permet progressivement de mieux appréhender les causes de variabilité du recrutement de l'huître creuse en France, modèle biologique et espèce clé de la conchyliculture française.

Ce rapport présente donc les résultats 2015 de ce réseau d'observation et fait appel, pour la partie hydro-climatique, à des données acquises par d'autres réseaux régionaux et nationaux. Il détaille et analyse par site toutes les caractéristiques du cycle de reproduction de l'huître creuse : maturation et fécondité des adultes, période de ponte, abondance et survie des larves, intensité du captage et mortalités précoces. Il fournit ensuite une interprétation et une synthèse des résultats 2015 à la lueur des résultats des années antérieures.

Ainsi, pour l'année 2015, on retient les faits majeurs suivants :

- Sur le plan hydro-climatique, cette année se caractérise par **un hiver doux et un printemps dans les normales, suivis d'un été là aussi très proches des normales** à quelques exceptions près : l'étang de Thau affiche tout au long de l'été des températures largement excédentaires. Compte tenu d'une pluviométrie là aussi proche des normales, les concentrations en phytoplancton sont restées à un niveau moyen de la rade de Brest aux pertuis charentais et plutôt déficitaires dans le bassin d'Arcachon et la lagune de Thau.
- En termes de biologie, ces conditions hydro-climatiques se sont traduites, chez les populations d'huîtres adultes, par des indices de condition, proxy de la fécondité, généralement proches des moyennes, avec toujours l'existence d'un gradient nord-sud observé chaque année, corrélativement à la concentration en phytoplancton. En outre, **l'absence d'excédent thermique au printemps et en début d'été n'a pas permis de ponte précoce** (à l'exception de la lagune de Thau), elle a même été plutôt tardive surtout dans le bassin d'Arcachon.
- Sur la façade atlantique, les températures de l'eau lors du développement larvaire des principales cohortes ont été plutôt basses (inférieures à 20°C en rade de Brest et inférieures à 21°C ailleurs) et donc **la vitesse de croissance larvaire a été ralentie et la survie amoindrie**. Les rendements larvaires ont été effectivement très bas (e.g. 0,002 % à Arcachon). *In fine*, il y a eu **peu de larves grosses dans l'eau, ce qui s'est traduit par un captage faible à modéré**. Une exception tout de même : dans la lagune de Thau, les températures caniculaires tout au long de l'été ont permis une concentration moyenne de larves 'grosses' modérée (80 larves/1,5m<sup>3</sup>). Cependant, les méthodes et les techniques de captage sont encore en cours d'optimisation sur ce secteur et cette année, malgré cette présence de larves grosses, le captage est resté faible (< 10 naissains par coupelle à l'automne).
- En conséquence, **l'année 2015, se caractérise par un captage globalement « faible à modéré »** dans tous les secteurs s'échelonnant autour de 10 naissains/coupelle dans la lagune de Thau et en baie de Bourgneuf à plus de 200 naissains/coupelle dans les pertuis charentais.

Enfin, à partir de l'ensemble des résultats acquis depuis 2008, ce rapport fournit en conclusion une série de recommandations à prendre en compte pour préserver le captage dans les années à venir.

### Mots-clés:

Huître creuse – Naissain – Recrutement – Captage – Larves – Cycle de reproduction – Changement climatique

### Key words:

Pacific oyster – Spat – Recruitment – Seed collecting – Larvae – Reproductive cycle – Climate change

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Organisation du réseau Velyger</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Matériel, Méthode, Mise en Œuvre</b>	<b>12</b>
2.1.1	Sites étudiés	12
2.1.2	Paramètres suivis	12
<b>2.2</b>	<b>Gestion et Analyse des données</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Principaux résultats de l'année 2015</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Conditions climatiques générales</b>	<b>19</b>
3.1.1	Température de l'air	19
3.1.2	Pluviométrie	21
<b>3.2</b>	<b>Données hydrologiques</b>	<b>23</b>
3.2.1	Température de l'eau de mer	23
3.2.2	Salinité	24
3.2.3	Concentration en phytoplancton	25
3.2.4	pH et acidification de l'océan	26
<b>3.3</b>	<b>Maturation, indice de condition et fécondité</b>	<b>28</b>
3.3.1	Comparaison spatio-temporelle	28
3.3.2	Facteur d'explication : la biomasse en phytoplancton	29
<b>3.4</b>	<b>Date de ponte</b>	<b>31</b>
3.4.1	Valeurs 2015	31
3.4.2	Phénologie de la ponte	32
<b>3.5</b>	<b>Abondance, développement et survie des larves</b>	<b>33</b>
3.5.1	Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire	33
3.5.2	Durée du développement larvaire	36
3.5.3	Survie larvaire	37
3.5.4	Larves grosses et intensité du captage	39
<b>3.6</b>	<b>Estimation précoce du recrutement</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Synthèse</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Schéma général</b>	<b>45</b>
4.1.1	Rade de Brest – secteurs Daoulas et Faou	47
4.1.2	Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie à Coupelasse	48
4.1.3	Bassin de Marennes Oléron - secteurs Charente, Centre et Seudre	49
4.1.4	Bassin d'Arcachon - secteurs Est et Ouest	51
4.1.5	Lagune de Thau	52
<b>5</b>	<b>Conclusion et recommandations</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Références bibliographiques</b>	<b>55</b>

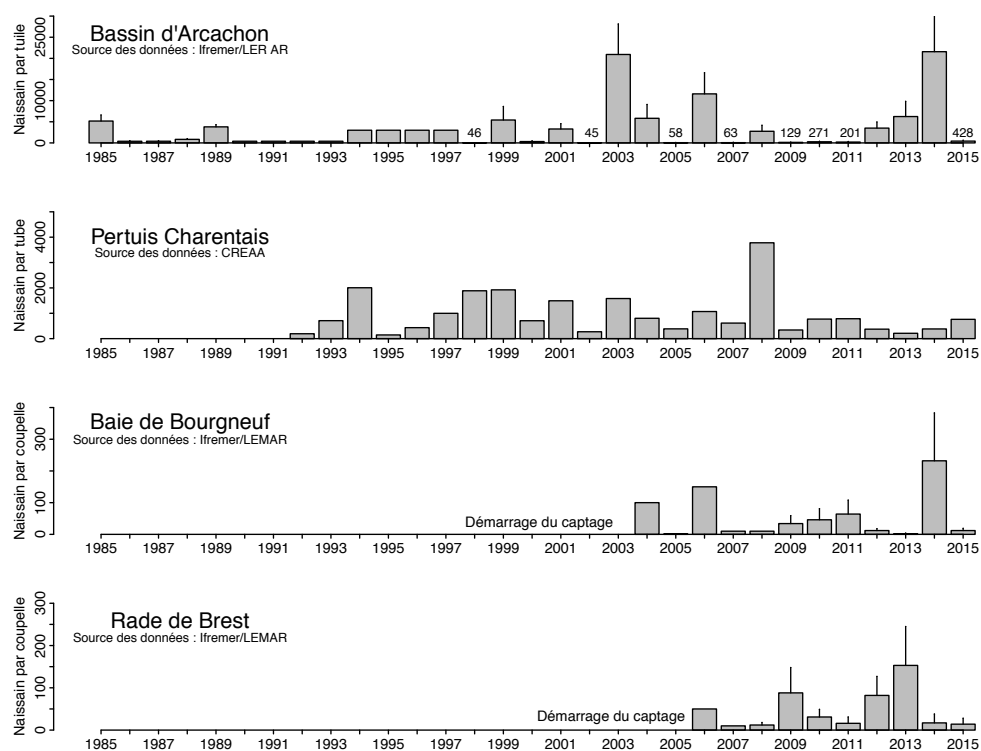


## 1 Introduction générale

Depuis 2008, la filière ostréicole française est fortement affaiblie par des épisodes de mortalités affectant l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Ces phénomènes particulièrement intenses affectent principalement le naissain avec des taux de mortalités supérieurs à 70% durant la première année et posent le problème récurrent de l'approvisionnement en juvéniles pour cette filière. Selon les années, des épisodes de mortalités de nature différente affectent aussi les adultes, ce fut notamment le cas au cours des années 2013 et 2014.

Le naissain utilisé en France provient soit d'écloseries soit du captage naturel. Désormais quatre sites ostréicoles pratiquent le captage naturel de l'huître creuse en France. Il s'agit, tout d'abord, des bassins de Marennes Oléron (e.g. Geay et Bouquet, 2009) et d'Arcachon (e.g. Maurer *et al.*, 2009a ; Auby *et al.*, 2012) qui, depuis l'origine de l'ostréiculture, maintiennent cette activité traditionnelle. Il faut y ajouter désormais la baie de Bourgneuf et la rade de Brest, sites pour lesquels le captage commence à devenir une activité régulière pour plus d'une trentaine d'ostréiculteurs (Pouvreau *et al.*, 2011, 2013, 2014). Enfin, la volonté de développer le captage dans la lagune de Thau se concrétise depuis 4 ans par la mise en place d'un projet régional PRONAMED (Rayssac *et al.*, 2011 ; Lagarde *et al.*, 2013), soutenu par le réseau national Velyger.

Cependant, d'une année à l'autre et d'un secteur à l'autre, la reproduction et le recrutement présentent des performances variables : par exemple, dans le bassin d'Arcachon (Figure 1), des années de captage faible ou nul (1998, 2002, 2005, 2007, 2009) succèdent à des années de captage bon voire exceptionnel (2003, 2006, 2008, 2012, 2013 et 2014).



**Figure 1 : Série historique de recrutement annuel sur collecteur (captage) dans les bassins d'Arcachon et de Marennes Oléron depuis les années 1985 et sur les sites dits « émergents » pour la pratique du captage : baie de Bourgneuf et rade de Brest. Pour Arcachon, Bourgneuf et rade de Brest, les données sont obtenues annuellement sur la base d'un échantillonnage à l'échelle du bassin. Pour Marennes Oléron, il s'agit de données issues d'un seul parc de captage géré par le CREAA, mais jugé représentatif. Ce parc est localisé au sud de l'estuaire de la Charente (St Froult jusqu'en 1997 et Les Longées à partir de 1998). Enfin, pour Arcachon, les valeurs mentionnées de 1990 à 1997, résultent juste d'une estimation approximative par enquête et n'ont qu'une valeur indicative.**

Pour mieux comprendre les causes de cette variabilité et suite à la demande initiale du Comité National de la Conchyliculture (CNC), l'Ifremer a mis en place en 2008 un projet d'envergure nationale sur cette problématique : le projet Velyger (Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse sur les côtes françaises). Ce projet s'est terminé en 2010 par l'édition d'un rapport final (Pouvreau *et al.*, 2011), la soutenance d'une thèse (Bernard, 2011) et la mise à disposition d'un site Internet dédié :

<http://www.ifremer.fr/velyger>

Ce projet a permis la création d'un véritable réseau national d'observation de la reproduction de l'huître creuse, de nature fédérative et composite, piloté par le Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (basé à Brest et Argenton), récemment intégré dans les dispositifs d'observation du LEMAR et associant les Laboratoires Environnement Ressources de l'Ifremer (Arcachon, Poitou-Charentes et Morbihan Pays de Loire), le Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole du Château d'Oléron (CREAA), faisant appel à trois bureaux d'études sur la façade atlantique (Cochet Environnement, Armeria, AEL plancton) et utilisant des données provenant de réseaux tiers (les réseaux Ifremer de suivi du phytoplancton, REPHY et d'observation conchylicole, RESCO, ainsi que le réseau des Stations Météorologiques de Météo-France).

A partir du printemps 2011, la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) a souhaité la poursuite de ce réseau et son inscription dans une convention socle entre la DPMA et l'Ifremer, négociée chaque année.

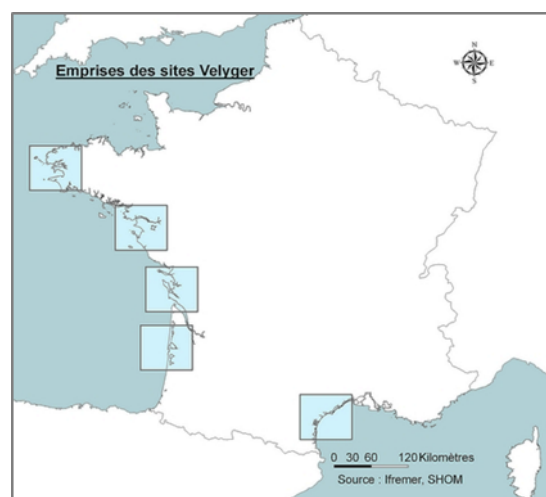
Sur le plan opérationnel et adossé à un portail Internet, le réseau 'Velyger' repose sur le suivi d'une série de descripteurs adaptés sur 5 écosystèmes depuis 2011 (Arcachon, Marennes Oléron, baie de Bourgneuf, rade de Brest et lagune de Thau, Figure 2) :

- Descripteurs climatiques : Température, Pluviométrie et Régime de vents ;
- Descripteurs hydro-biologiques : Température de l'eau et Phytoplancton;
- Descripteurs biologiques conchylicoles: Maturation des adultes, Concentration et survie des larves, Abondance moyenne et survie précoce du naissain (par échantillonnage sur collecteurs en fin de saison).

Depuis 2015, le secteur de baie de Vilaine fait aussi l'objet de suivis similaires. Les données issues de ces suivis seront progressivement utilisées dans le cadre des futurs rapports.

Ce réseau d'observation intéresse : (1) la profession ostréicole, en lui permettant d'optimiser les stratégies de pose de collecteurs par une meilleure appréhension de la variabilité environnementale entre les sites et entre les années, (2) les scientifiques, par la constitution de séries biologiques permettant d'analyser l'effet de l'environnement hydro-climatiques sur la biologie d'une espèce modèle en milieu marin côtier, et (3) l'Etat et les services territoriaux pour la gestion, l'encadrement et le soutien à la filière ostréicole.

### Figure 2 : Sites suivis par le réseau Velyger ►



Ce rapport présente donc, de la façon la plus synthétique et standardisée possible, les résultats de ce réseau obtenus pour l'année 2015, fournit une synthèse élaborée à la lueur des résultats antérieurs et apporte une série de recommandation pour chaque site étudié.

## 2 Organisation du réseau Velyger

### 2.1 Matériel, méthode, mise en oeuvre

#### 2.1.1 Sites étudiés

Le réseau 'Velyger' est un dispositif d'observation de la reproduction intégré au réseau RESCO, l'ensemble constituant l'Observatoire National Scientifique de la Conchyliculture<sup>1</sup>. Ce dispositif est mis en place sur plusieurs sites ateliers de la côte française, assez espacés sur un plan latitudinal (Figure 2), afin de couvrir une large gamme de conditions hydro-climatiques.

Ces sites sont : (1) soit des sites traditionnels de captage pour lesquels la reproduction de l'huître creuse a eu lieu dès son implantation (Arcachon et Marennes Oléron) ; (2) soit des sites plus récents en termes de recrutement de l'espèce et donc d'activité de captage (rade de Brest, baie de Bourgneuf et lagune de Thau).

La carte présentée sur la Figure 3 permet de localiser les différentes zones d'étude et pour chacune d'elles, les différents points de suivis proposés dans le cadre de ce réseau.

#### 2.1.2 Paramètres suivis

Pour chaque site Velyger, la description du cycle de reproduction de l'huître creuse se fait sur la base de 3 descripteurs biologiques associés à l'analyse des conditions environnementales (Tableau 1).

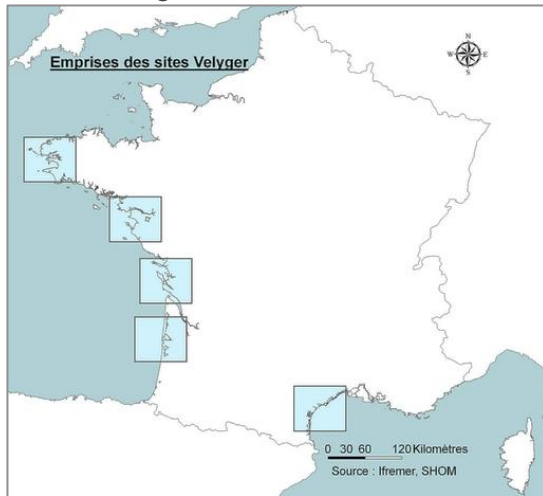
Tableau 1 : Descripteurs suivis sur chaque site atelier Velyger.

Paramètres suivis	Description	Période et Fréquence d'échantillonnage	Méthode
<u>Descripteur A</u>	<i>Suivi annuel de la croissance et de la maturation d'un lot d'huîtres sentinelles</i>	Mensuel à bi-mensuel en été	Prélèvement aléatoire puis dissection & biométrie en laboratoire (protocole Remora)
<u>Descripteur B</u>	<i>Suivi estival de l'abondance et du développement larvaires</i>	hebdomadaire à bi-hebdomadaire de Juin à Septembre	Pompage 1.5 m <sup>3</sup> d'eau sur filet plancton (40 µm) puis analyse et comptage (protocole Velyger)
<u>Descripteur C</u>	<i>Estimation automnale du captage sur collecteur professionnel</i>	En Octobre-Novembre	Prélèvement aléatoire sur parcs puis estimation de la densité de naissain (Cf Maurer et al., 2009b)
<u>Descripteur D</u>	<i>Suivi annuel des paramètres environnementaux (Température-Phytoplancton-Salinité)</i>	Suivi en continu et prélèvement discret (REPHY)	Utilisation de flotteurs smatch temps réel ou de sondes temps différé - visite mensuelle et prélèvement REPHY

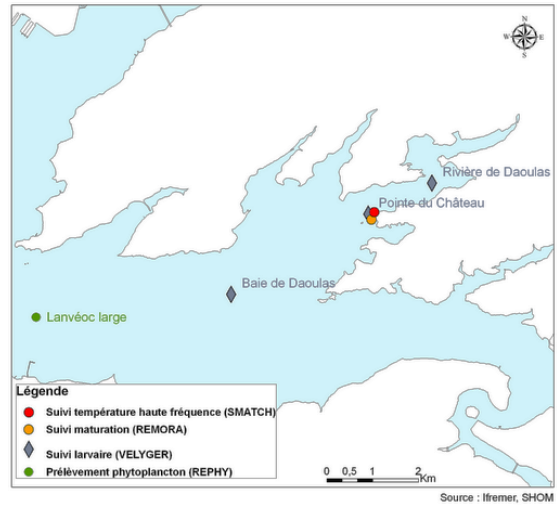
<sup>1</sup> [http://www.ifremer.fr/observatoire\\_conchylicole](http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole)



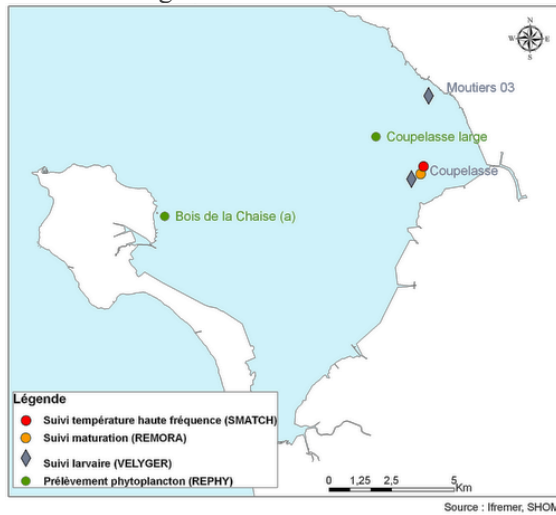
Localisation générale des 5 sites



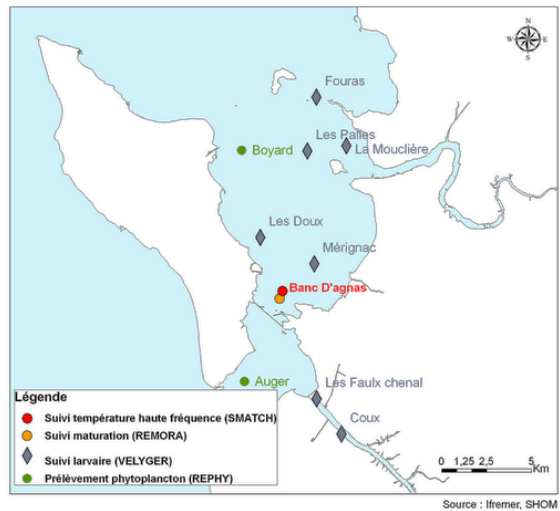
Rade de Brest



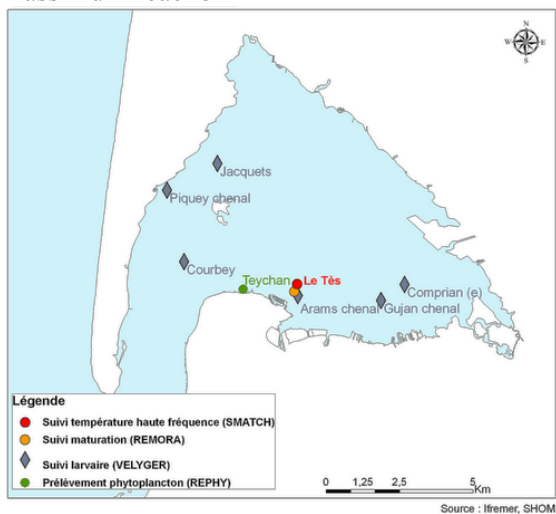
Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon



Lagune de Thau

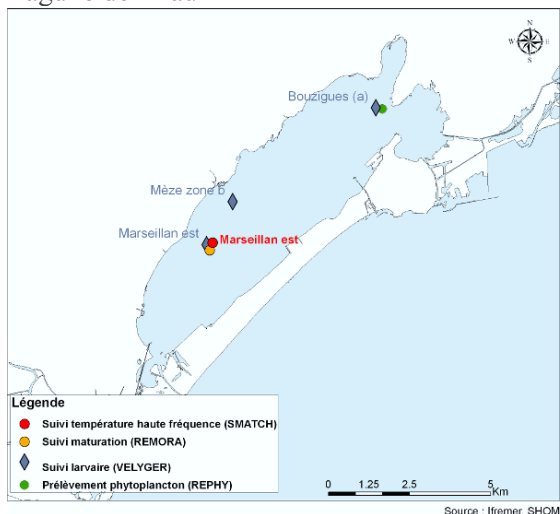


Figure 3 : Présentation des 5 sites du réseau d'observation de la reproduction de l'huître creuse (réseau Velyger). Progressivement, le secteur de la baie de Vilaine fera l'objet de suivis similaires, les données seront utilisées dans les futurs rapports.

### 2.1.2.1 Reproduction des adultes

Le **premier descripteur (A, Tableau 1)** qualifie le déroulement printanier et estival de la gamétogenèse et de la ponte d'un lot d'huîtres sentinelles placées, au sein de chaque site atelier, dans une station considérée représentative en termes de maturation des huîtres adultes. Plus précisément, sur chaque site Velyger, le choix géographique de la station repose sur les critères suivants :

- proximité d'un stock important d'huîtres adultes;
- station bien documentée en termes d'hydrologie (point REPHY complet en vert sur la Figure 3) et de ressources biologiques (point RESCO national);
- facilité d'accès, permettant un prélèvement tous les 15 jours.

Pour la rade de Brest, il s'agit du site de 'la pointe du Château', pour la baie de Bourgneuf, il s'agit du site de 'la Coupelasse', pour le bassin de Marennes Oléron, il s'agit du site 'Agnas', pour le bassin d'Arcachon, il s'agit du site du 'Tés' et enfin pour la lagune de Thau, il s'agit du site de 'Marseillan'. Ces points sont signalés en orange sur la Figure 3.

Chaque année et pour chaque site atelier, le protocole de mise en place du lot 'sentinelle' est identique et suit la méthodologie mise en œuvre initialement par le réseau REMORA-RESCO : (1) la mise en place a lieu fin février-début mars sur un parc qui émerge à partir d'un coefficient de marée de 75; (2) la population est constituée d'huîtres âgées de 18 mois (calibrées entre 20 et 30g) ; (3) sur chaque site, la population est constituée de 900 huîtres réparties dans 3 poches (triplicat) ; (4) ces huîtres ont toujours la même origine (fournisseur unique et identique chaque année, naissain de captage d'origine Fouras, pré-grossis en Bretagne nord).

Chaque population est suivie toute l'année en termes de taux de survie et de biométrie sur prélèvements à raison d'un échantillonnage mensuel en automne et en hiver et bimensuel au printemps et en été. L'augmentation de la fréquence d'échantillonnage pendant la période clé de la reproduction permet d'avoir une description satisfaisante de la fécondité et de la période de la ponte principale.

Le suivi de la gamétogenèse se fait par la mesure d'un indicateur simple et peu coûteux : la chair de 30 individus et disséquée, lyophilisée et pesée individuellement. Ce suivi permet d'évaluer la date et l'intensité des émissions majeures de gamètes pour chaque site et chaque année. La facilité d'acquisition de cet indicateur permet à la fois sa réalisation sur plusieurs sites de la côte française, tout en assurant la pérennité et l'homogénéité de sa mesure chaque année. Les émissions majeures de gamètes sont clairement identifiables par la brusque chute des valeurs de masse de chair.

### 2.1.2.2 Abondance et survie larvaire

Un **deuxième descripteur (B, Tableau 1)** permet d'évaluer la date d'apparition, l'abondance et le bon déroulement du développement des larves émises dans la colonne d'eau. Ce travail se fait de façon similaire dans chacun des sites Velyger et sur plusieurs stations par site tout au long de la saison de reproduction, *i.e.* de juin à septembre.

Ce travail relativement lourd est réalisé, à Arcachon et Thau, par l'Ifremer (*e.g.* Maurer *et al.*, 2009a), à Marennes Oléron, par le Creaa (*e.g.* Geay et Bouquet, 2009), en rade de Brest et en baie de Bourgneuf par prestation auprès de 2 bureaux d'étude ('Cochet-environnement' et 'Armeria'). Pour de nombreux sites, la contribution d'ostréiculteurs est sollicitée pour les sorties en mer.

L'évaluation des abondances larvaires se fait par l'intermédiaire de prélèvements de plancton (« les pêches de larves ») réalisés 2 fois par semaine tout au long de l'été. Ces « pêches de larves » se font par pompage (Figure 4) selon la méthode décrite dans Auby *et al.* (2002).

Selon l'étendue géographique des sites atelier Velyger, 2 à 7 stations font l'objet de prélèvements (losange bleuté sur la Figure 3).

**Figure 4 : Système de pompage et de filtration permettant la récolte des échantillons de plancton contenant les larves d'huîtres. La moto-pompe permet de filtrer 1,5 m<sup>3</sup> d'eau de mer en moins de 15 minutes. La maille du filet à plancton est de 40 µm. La mesure précise du volume pompé est fournie par un débitmètre. La crépine de prélèvements est lestée de manière à prélever à 1 mètre sous la surface. Lors du pompage, le bateau fait route au ralenti (vitesse inférieure à 1 nœud). Après pompage, le culot de filtration est transféré dans un bidon plastique de 2 litres tout en rinçant le filet. L'échantillon est formolé ou alcoolisé. Photo : © Cochet-environnement (2009). ►**



Le comptage disponible sous 48 h indique le nombre de larves d'huîtres creuses pour chaque stade de développement (Figure 5). Les valeurs sont exprimées, pour des raisons historiques, en nombre de larves par 1,5 m<sup>3</sup>. Ces pêches sont aussi le moyen de mieux caractériser, le cas échéant, l'hydrologie, sur chaque site, par des prélèvements discrets d'eau pour mesure de la température et de la salinité.

La méthode de préparation et d'analyse des échantillons de plancton est la suivante :

- Au laboratoire, pré-tamassage sur 500 µm puis double tamassage sur mailles de 132 puis sur 40 µm (excepté pour le site d'Arcachon pour lequel le double tamassage est réalisé sur 125 µm et 40 µm). Le refus du tamis de 500 µm, contenant les macro-algues et débris, est éliminé. Les refus des deux autres tamis sont récupérés séparément dans des éprouvettes de 100 mL. Pour chaque station, on dispose donc de deux fractions qui sont traitées de la même manière : (1) une fraction >125 µm, contenant plutôt les stades âgés et (2) une fraction > 40 µm, contenant plutôt les stades jeunes.
- Chaque fraction est mise à décanter dans une éprouvette graduée de 100 mL afin de mesurer la hauteur du culot. Puis, on ajuste le volume d'eau surnageant en vidant l'éprouvette de manière à ne conserver que 4 fois le volume du culot (approximativement). Pour les échantillons trop concentrés, les dilutions sont réalisées à l'eau de mer filtrée (Cochet-environnement et Armeria) ou à l'eau distillée, voire du robinet (Creaa et LER Arcachon). Dans tous les cas, le volume total de l'échantillon (v) est mesuré.
- Cet échantillon est ensuite homogénéisé directement dans l'éprouvette à l'aide d'un agitateur muni d'un disque perforé à son extrémité. Deux aliquotes (1 et 2) de 0,5 mL sont prélevés à la micropipette et transférés sur deux cellules de numération quadrillées (Sedgewick rafter cell - Ref 02C00415). Les larves de *C. gigas* y sont identifiées, comptées et classées dans les différents stades présentés sur la planche ci-joint (LARVST1 à 5, Figure 5).
- Compte tenu des risques de confusion avec d'autres espèces, les larves dont la hauteur est inférieure à 70 µm ne sont pas prises en compte pour l'instant.
- Ainsi, pour une fraction donnée, le nombre N de larves d'un stade donné pour un volume de 1,5 m<sup>3</sup>, est calculé de la façon suivante :

$$N=1,5*(n1+n2)* v/V, \text{ avec :}$$

n1 et n2, le nombre de larves d'un stade donné respectivement compté dans les aliquotes 1 et 2 de 0,5 mL

v, le volume (en mL) de l'échantillon dilué

V, le volume pompé (généralement proche de 1,5 m<sup>3</sup>).



Afin d'être représentatif le plus possible de chaque secteur d'un même site atelier Velyger, l'abondance du captage est évaluée sur les différentes zones du bassin à partir d'un comptage de coupelles prélevées de la façon stratifiée par rapport à la stratégie de pose des professionnels et selon la méthodologie d'échantillonnage présentée, pour Arcachon, dans Maurer *et al.* (2009b, cf Annexes). Le taux de survie est aussi estimé au moment du comptage, mais cela reste un paramètre difficile à évaluer selon les secteurs et trop variable dans le temps pour permettre une analyse rigoureuse inter-bassins.

Afin de permettre la comparaison entre secteurs et entre sites ateliers, le choix du collecteur à prélever s'est porté sur la coupelle plastique, utilisée dans chaque bassin et facile à échantillonner sur le terrain. Des équivalences entre type de collecteurs sont données dans ce rapport afin de permettre des comparaisons inter-bassins.

#### 2.1.2.4 Paramètres hydro-climatiques

En parallèle, un suivi des **paramètres du milieu (descripteurs D, Tableau 1)** est effectué sur chaque zone atelier. Dans la mesure du possible, les paramètres suivis sur chaque site sont les suivants :

- Température et salinité tout au long de l'année en haute fréquence (une acquisition toutes les 30 minutes), en temps différé ou en temps réel. Les sites sont équipés de sondes (Température, Salinité et Pression) d'enregistrement en continu de type Smatch (© Ifremer-NKE). Ce type de sonde présente l'avantage d'envoyer ses données en temps réel sur un serveur public consultable sur Internet par les professionnels<sup>2</sup>. La mesure se fait directement à proximité des poches contenant les huîtres 'sentinelles'. Ces points sont en rouge sur la Figure 3).
- Température et salinité, en été, par prélèvement discret lors des sorties en mer au cours des pêches de larves (2 fois par semaine en période estivale). La mesure se fait à pleine mer (+/- 2 heures) à 1 m sous la surface, au moment des pêches de larves.
- Biomasse en phytoplancton (*via* le proxy chlorophylle *a*), abondance et composition du phytoplancton tout au long de l'année (tous les 15 jours, en période de production primaire active, et tous les mois hors période productive) dans la mesure du possible à proximité des populations d'huîtres adultes, soit sur les sites nationaux de 'Flore totale' du réseau REPHY ou soit sur des sites ajoutés pour les réseaux Resco et Velyger (*e.g.* l'analyse des points suivis à la pointe du Château en rade de Brest et sur le banc d'Agnas dans le bassin de Marennes Oléron sont assurés par le bureau d'étude AEL plancton). Les méthodes de prélèvement et d'analyse sont détaillées dans Grossel (2006) et Daniel (2009).
- Conditions climatologiques fournies par Météo-France<sup>3</sup>, dans le cadre d'un contrat d'accès à leur climathèque, notamment les paramètres température de l'air, pluviométrie et ensoleillement qui sont connus pour jouer un rôle, de façon directe et/ou indirecte sur le phytoplancton, la croissance, la reproduction des adultes, le développement et la survie des larves.

## 2.2 Gestion et Analyse des données

Les données issues de tous ces suivis sont archivées dans la base nationale publique Quadrigé2<sup>4</sup> au sein des programmes Velyger et RESCO. Cette action s'accompagne d'une standardisation des procédures et favorise une homogénéité progressive des méthodes entre les sites. Elle permet en outre une extraction aisée des données et facilite ensuite leur exploitation.

Il convient de noter que ce travail de centralisation des données s'est aussi accompagné d'une récupération, ainsi que d'une vérification, des anciennes données acquises avant 2008 (et depuis les années 70) sur les bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon.

<sup>2</sup> <http://www.ifremer.fr/co-en/>

<sup>3</sup> <http://france.meteofrance.com/>

<sup>4</sup> <http://www.ifremer.fr/envlit/resultats/quadrige>

Une fois extraites de la base Quadrig2, les données sont exportées et analysées dans Excel (© Microsoft) et Sigmaplot (© Systat software, Inc.). Les procédures statistiques utilisées dans ce rapport restent relativement simples afin de permettre une analyse la moins technique possible et une lecture aisée des graphes et des interprétations associées.

Il est ainsi fait appel à :

- Des calculs de moyenne (journalière, mensuelle et annuelle) ;
- Des représentations d'anomalies (écarts) par rapport à une moyenne de référence calculée sur une période antérieure la plus longue possible;
- Des représentations graphiques de la variance des données, sous la forme de boîte à moustache (cf encart ci-dessous) ;
- L'utilisation fréquente d'échelles logarithmiques pour les concentrations larvaires compte tenu des fortes disparités sur ce paramètre ;
- Des analyses de corrélations entre variables, avec le cas échéant, une estimation des paramètres de la régression reliant les 2 variables étudiées.

De nombreux graphes de ce rapport utilisent la représentation dite des boîtes à moustaches (de l'anglais « Box and Whiskers Plot » ou « Box Plot »). Ce type de représentation repose sur la notion de quartiles. Un quartile est l'une des 3 valeurs qui divisent une série de données triées en 4 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/4 de l'échantillon. On distingue : le premier quartile (Q1) qui sépare le quart inférieur des données, le deuxième quartile qui correspond à la médiane de la série et le troisième quartile (Q3) qui sépare le quart supérieur des données. Une boîte à moustache permet de synthétiser la dispersion d'une série de données à partir de 5 valeurs :

- la valeur minimale et la valeur maximale de la série, définissant les extrémités des « moustaches » en deçà d'une limite égale au troisième (respectivement premier) quartile plus (respectivement moins) 1,5 fois la distance interquartile (différence entre le 3ème et le 1er quartile).
- l'intervalle interquartile, définissant les limites de la boîte contenant 50% des valeurs de la série comprises entre le premier Q1 et le troisième quartile Q3.
- la médiane, définie comme la valeur qui partage la série de données en deux groupes de taille égale.

L'interprétation d'une boîte à moustache est la suivante : les valeurs contenues dans la boîte peuvent être considérées comme les valeurs 'habituelles' ou 'normales' du paramètre étudié. Celles se positionnant sur les moustaches s'observent moins fréquemment et enfin les valeurs au-delà des extrémités présentent un caractère exceptionnel.



## 3 Principaux résultats de l'année 2015

### 3.1 Conditions climatiques générales

La biologie de l'huître creuse, notamment sa reproduction, est sous la dépendance directe des facteurs hydrologiques, eux-mêmes forcés par les conditions climatiques du moment voire de la saison écoulée (e.g. Auby et Maurer, 2004 ; Bernard 2011 ; Pouvreau et al., 2011). Sur ces écosystèmes côtiers, la température de l'air influence directement la température de l'eau. La pluviométrie influence le débit des rivières et les apports en sels nutritifs et contrôle indirectement la salinité et les efflorescences phytoplanctoniques.

#### 3.1.1 Température de l'air

La Figure 6 présente, de façon synthétique, les variations de la température de l'air en 2015 (moyenne journalière relevée par Météo-France à proximité des points de suivis du Réseau Velyger) et son degré d'anomalie par comparaison à la normale calculée sur les 50 dernières années (*i.e.* de 1960 à 2010).

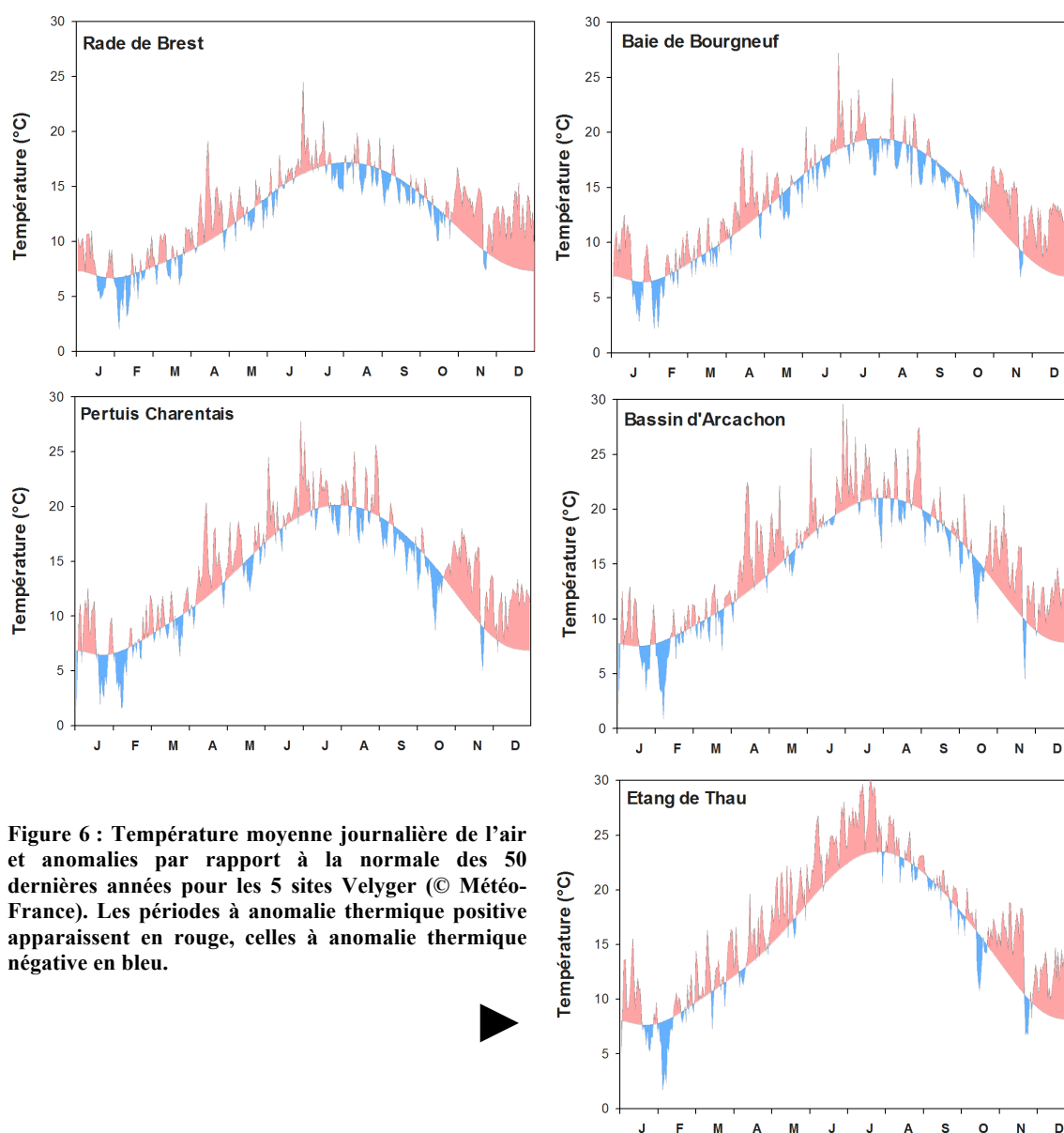


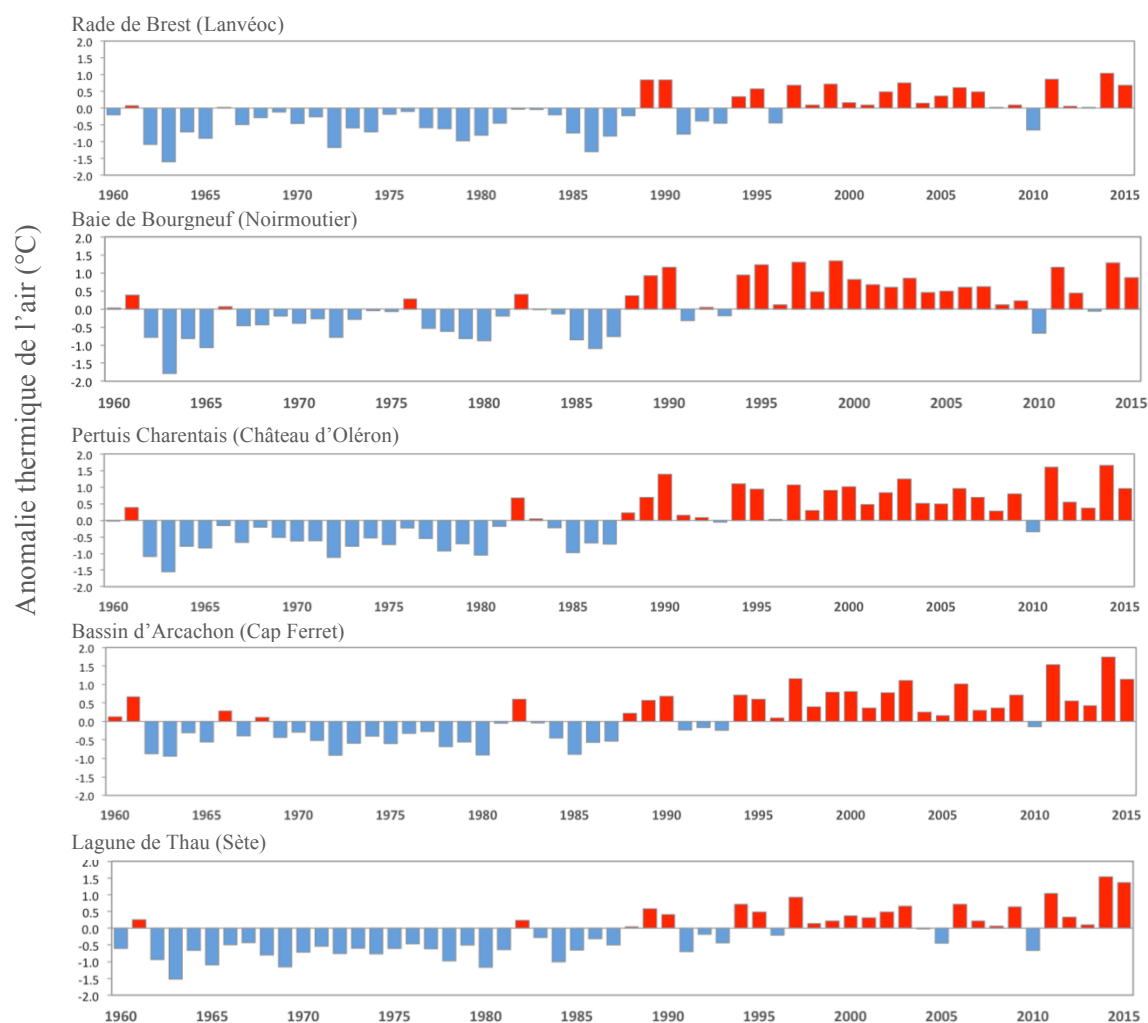
Figure 6 : Température moyenne journalière de l'air et anomalies par rapport à la normale des 50 dernières années pour les 5 sites Velyger (© Météo-France). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.



On retiendra, à l'interprétation de cette figure, les principaux résultats suivants :

- L'hiver a été marqué par des températures supérieures aux normales en janvier et plutôt proches des normales en février et mars. Aucune période significative de froid intense n'a donc été observée au cours de l'hiver 2014-2015, seule la première quinzaine de février est marquée par des valeurs inférieures aux normales.
- Le printemps est marqué par des températures largement supérieures aux normales en avril et proches des normales en mai et juin, à l'exception de la lagune de Thau qui enregistre des valeurs très élevées tout au long du printemps.
- La situation est à nouveau contrastée en été avec un mois de juillet pour lequel la température de l'air est supérieure aux normales alors qu'elle se situe très proches des normales pour la suite de l'été voire même en deçà des normales pour les sites les plus au nord et ce jusqu'en septembre. Cette situation estivale assez variable d'un mois à l'autre est souvent observée ces dernières années.
- Enfin, dès le mois d'octobre de très forte anomalie positive sont à nouveau enregistrées et ce jusqu'à la fin de l'année, avec parfois un écart de plus de 4°C sur une longue durée. Cette situation anormale d'un automne « chaud » tend à se généraliser ces dernières années.

En complément, la Figure 7 présente l'évolution, depuis 1960, de l'anomalie annuelle de la température de l'air sur chacun des sites du réseau Velyger. Cette figure montre que l'année 2015 s'inscrit toujours dans la tendance au réchauffement enregistrée depuis les années 1990 et présente une anomalie positive, en moyenne sur l'année, de 1 à 1,5°C du nord au sud.



**Figure 7 : Anomalies de température de l'air (moyenne annuelle en °C) pour chaque site d'étude (Source des données : Météo-France).**



Ainsi, de façon assez similaire à l'année 2014, l'année 2015 apparaît comme une année plutôt chaude avec un hiver, un printemps et un automne exceptionnellement doux. L'été est quant à lui plus proche des normales mais souvent contrasté avec un mois de juillet plutôt chaud et un mois d'août plutôt frais.

### 3.1.2 Pluviométrie

La Figure 8 présente, de façon synthétique, les cumuls mensuels de pluie relevés en 2015 et fournit une comparaison avec les normales (calculées sur les 50 dernières années). L'analyse de cette figure révèle, d'une façon plus ou moins marquée selon les sites, les points suivants :

- L'hiver se caractérise par des conditions pluviométriques plutôt excédentaires, à l'exception de la lagune de Thau.
- Au printemps, les cumuls de pluie se situent plutôt dans les normales ou présentent des valeurs déficitaires dans les secteurs sud.
- En été, les cumuls mensuels sont dans les normes voire déficitaires en juillet et supérieurs aux normales en août, le mois de septembre est à nouveau déficitaire.
- L'automne est totalement déficitaire avec des cumuls systématiquement inférieurs aux normales dans tous les sites.

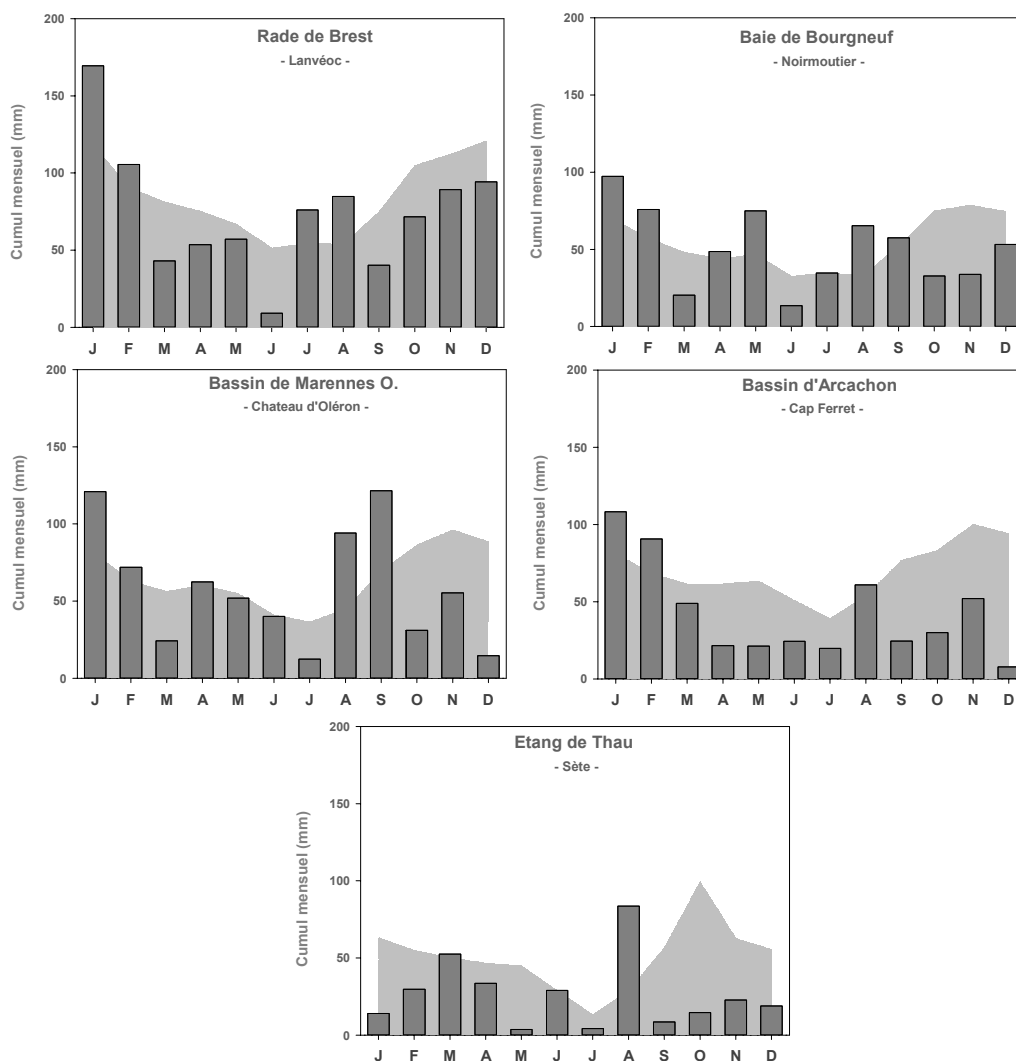


Figure 8 : Cumul pluviométrique mensuel pour l'année 2015 et normale des 50 dernières années pour les 5 sites Velyger (données issues des stations Météo-France les plus proches des points de suivis du Réseau Velyger).

En complément, la Figure 9 présente l'anomalie annuelle 2015 de pluviométrie pour chacun des sites du réseau Velyger et permet de la comparer avec celles enregistrées depuis 1960. Cette figure montre que l'année 2015 s'inscrit bien comme une année dans les normes pour les secteurs nord et plutôt sèche pour les sites d'Arcachon et de Thau.

En outre, tout comme les années précédentes, l'année 2015 confirme l'existence d'un gradient nord-sud sur le plan des anomalies de pluviométrie. Ce gradient dans l'anomalie semble se dégager depuis une dizaine d'années.



**Figure 9 : Anomalies annuelles de pluviométrie (mm) depuis 1960 pour chaque site d'étude (Source des données : © Météo-France).**

## 3.2 Données hydrologiques

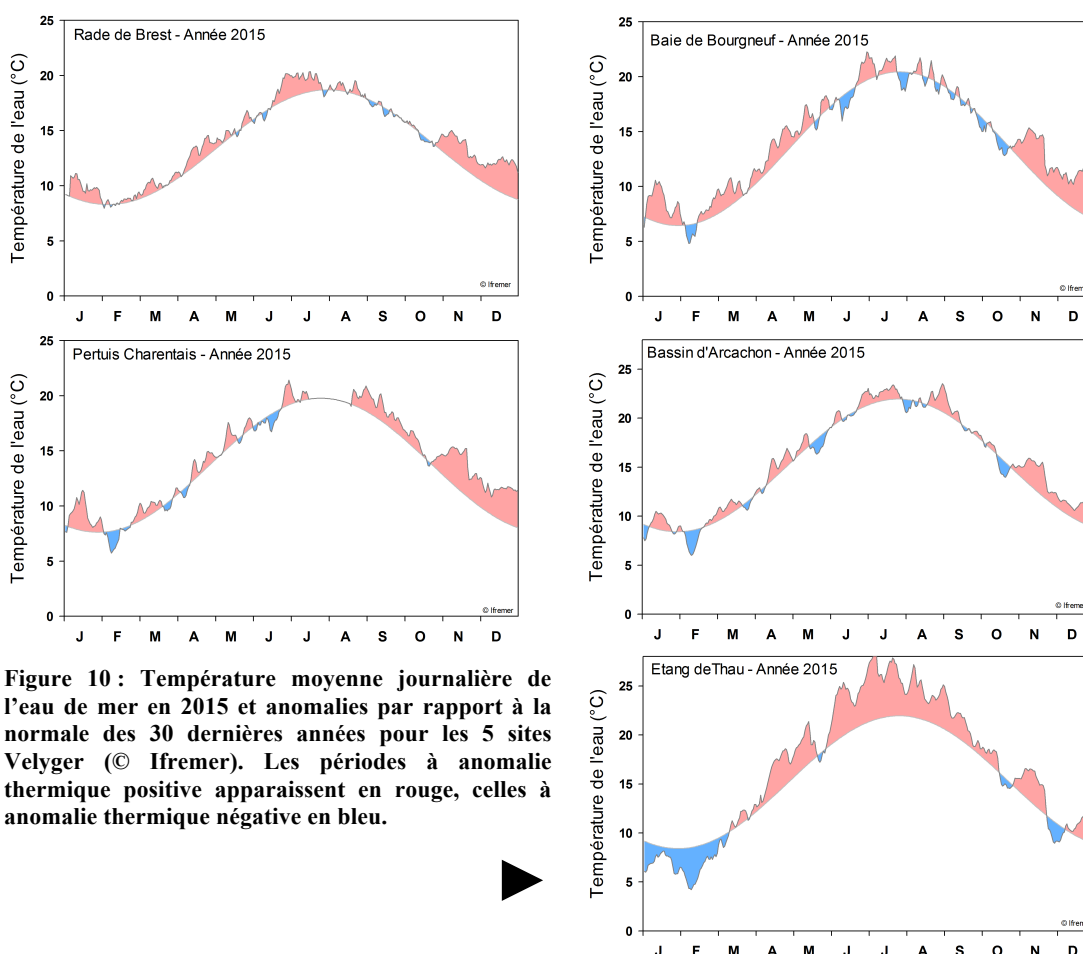
### 3.2.1 Température de l'eau de mer

La température de l'eau de mer constitue un paramètre clé pour la reproduction de l'huître creuse en modulant la vitesse de la maturation des géniteurs et celle du développement des larves (en jouant indirectement sur leur survie, *e.g.* Auby et Maurer, 2004).

En outre, les forts contrastes thermiques agissent aussi comme un déclencheur de l'émission des gamètes et favorisent le synchronisme des pontes sur un bassin (*e.g.* Bernard et al., 2016 ; Thomas et al., 2016).

La Figure 10 présente, de façon synthétique, la température de l'eau de mer (moyenne journalière calculée à partir de données hautes fréquences) et son degré d'anomalie par comparaison à la normale. L'année 2015 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les faits suivants :

- L'hiver est marqué par une température de l'eau supérieure aux normales avec, en janvier sur certains secteurs, des anomalies de l'ordre de +2°C. A noter une petite période en février pour laquelle les valeurs sont inférieures aux normales. Seule la lagune de Thau se distingue de ce schéma avec des anomalies plutôt négatives tout au long de l'hiver.
- Le printemps présente des valeurs très proches des normales avec juste quelques anomalies sur de courte période.
- Il en est de même pour l'été qui ne présente pas de réelles anomalies sur de longues périodes, à l'exception de la lagune de Thau qui présente des valeurs bien supérieures aux normales tout au long de l'été.
- L'automne et le début de l'hiver se positionnent, dans leur intégralité, au-dessus des normales tout comme en 2014.



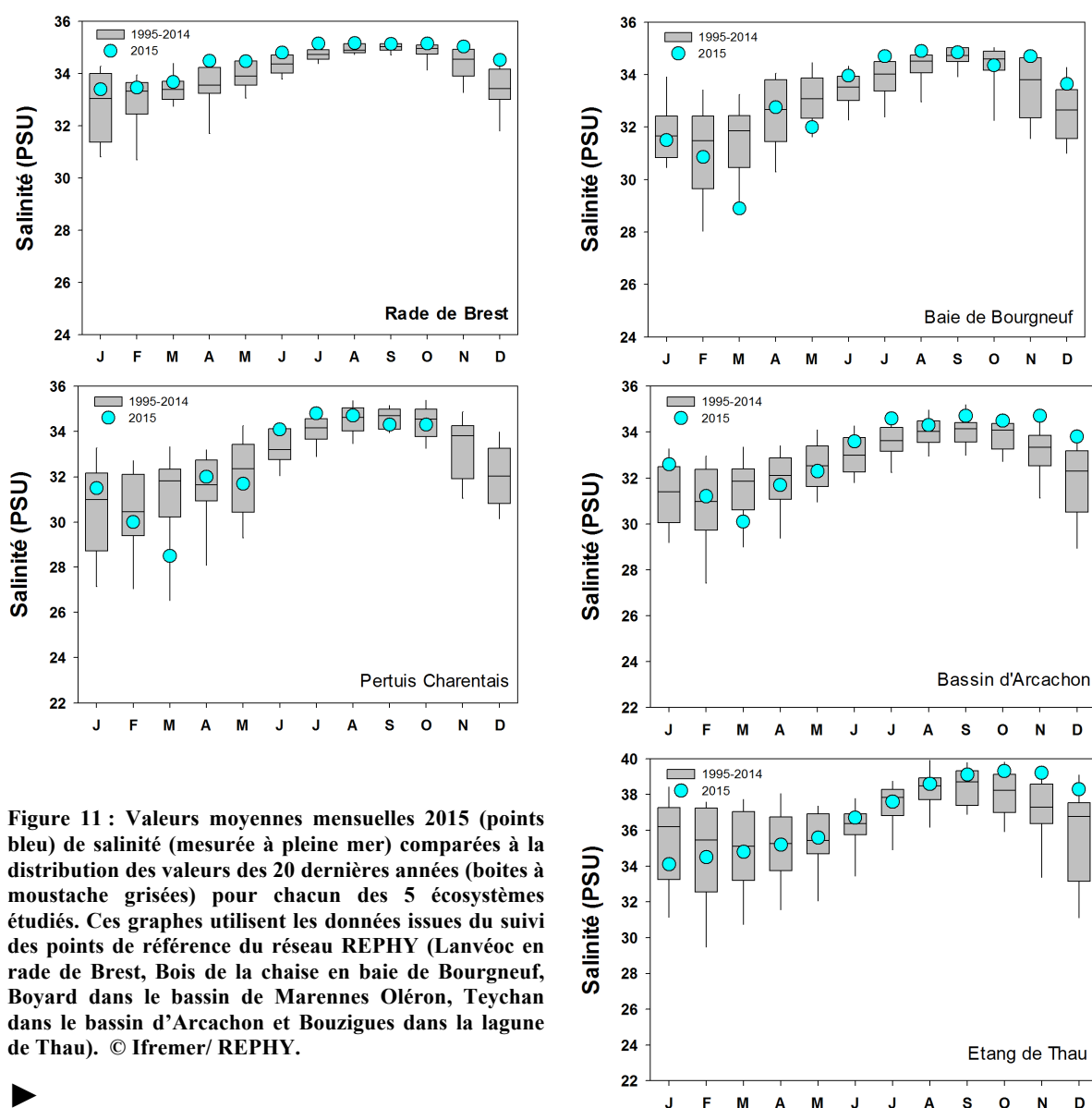
**Figure 10 : Température moyenne journalière de l'eau de mer en 2015 et anomalies par rapport à la normale des 30 dernières années pour les 5 sites Velyger (© Ifremer). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.**

### 3.2.2 Salinité

La salinité joue un rôle indirect sur le succès de la reproduction de l'huître creuse : c'est un indicateur du débit des fleuves et rivières et donc un proxy<sup>5</sup> des apports de sels nutritifs entrant dans le système et régulant, en partie, le niveau de production primaire et les efflorescences phytoplanctoniques.

La Figure 11 présente la salinité de l'eau de mer (moyenne et dispersion). L'année 2015 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les faits suivants :

- L'hiver est marqué par des valeurs proches des normales exceptées en fin de période où l'on note quelques dessalures surtout dans les sites les plus nord.
- Le printemps présente aussi des valeurs proches des normales avec occasionnellement quelques valeurs plus faibles.
- L'été mais surtout l'automne et le début de l'hiver se caractérisent par des valeurs plutôt élevées souvent positionnées dans les quartiles supérieurs des observations antérieures.



<sup>5</sup> Proxy = Outil, indicateur permettant une quantification, une semi-quantification ou une estimation d'une (ou plusieurs) variable(s) biotique(s) ou abiotique(s) d'un écosystème donné. Traceur d'un paramètre environnemental.

### 3.2.3 Concentration en phytoplancton

Le phytoplancton constitue, après la température, le deuxième paramètre clé pour la reproduction de l'huître creuse. En tant que source principale de nourriture, il régule au printemps l'effort de reproduction des bancs de géniteurs (*e.g.* Bernard *et al.*, 2011) et en été la rapidité de croissance et la survie des larves (*e.g.* Rico-villa *et al.*, 2010). La concentration en phytoplancton est étudiée ici *via* l'utilisation d'un proxy simple à mesurer : la biomasse de chlorophylle *a*.

La Figure 12 présente, de façon synthétique, la concentration en chlorophylle *a* de l'eau de mer mesurée à pleine mer (moyenne mensuelle issue du Réseau REPHY) et son degré d'anomalie par comparaison à la distribution des moyennes des 20 dernières années.

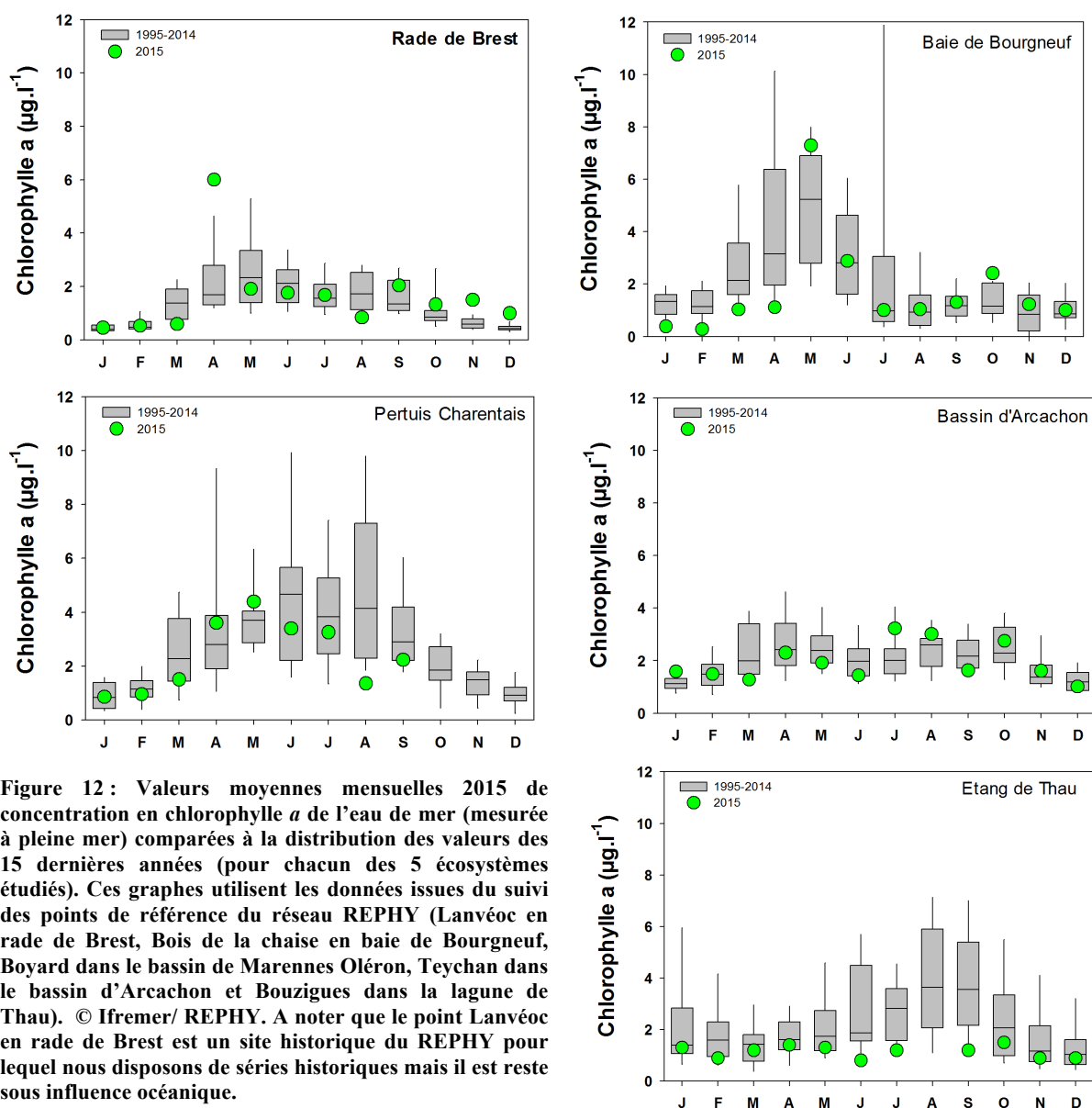


Figure 12 : Valeurs moyennes mensuelles 2015 de concentration en chlorophylle *a* de l'eau de mer (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Bois de la chaise en baie de Bourgneuf, Boyard dans le bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le bassin d'Arcachon et Bouzigues dans la lagune de Thau). © Ifremer/ REPHY. A noter que le point Lanvéoc en rade de Brest est un site historique du REPHY pour lequel nous disposons de séries historiques mais il est resté sous influence océanique.



D'une façon générale, il apparaît que la concentration en chlorophylle *a*, au cours de l'année 2015, se caractérise par des valeurs plutôt faibles souvent situées en dessous de la médiane des observations. Sur certains sites et pour quelques mois, on peut observer ponctuellement de fortes valeurs, mais on retiendra que l'année 2015 se caractérise par une concentration de phytoplancton plutôt faible à relier aux caractéristiques pluviométriques présentées précédemment.

A noter que, comme les dernières années, la lagune de Thau présente des valeurs très faibles qui se positionnent dans les quartiles inférieurs tout au long de l'année

### 3.2.4 pH et acidification de l'océan

Outre l'augmentation de température, l'un des changements majeurs d'ici la fin de ce siècle réside dans l'acidification des océans liée à l'augmentation progressive des rejets de CO<sub>2</sub> (Anonyme, 2011). Sur nos côtes, le pH de l'eau de mer est, en moyenne, compris entre 8.1 et 8.2. Mais il y a énormément de variabilité spatiale dans la chimie carbonatée de l'océan et la prédiction, à l'échelle régionale, de l'évolution du pH au cours de ce siècle est particulièrement incertaine.

Chez l'huître creuse, le stade larvaire est le plus sensible à une diminution du pH : plusieurs études montrent qu'à partir d'un pH de 7.6, la croissance larvaire est affectée et la survie diminuée (e.g. Kurihara et al., 2007). Des expérimentations récentes, réalisées en 2011 dans le cadre du projet Velyger, ont montré que pour un pH de 7.2 et une température de 20°C, la croissance larvaire était ralentie de moitié et la métamorphose compromise (Bagusche et al., 2012). Actuellement, le suivi du pH sur nos côtes est assuré par le réseau SOMLIT<sup>6</sup> du CNRS.

Les figures ci-dessous présentent l'évolution du pH dans le domaine côtier pour deux sites étudiés dans le cadre du Réseau Velyger : la rade de Brest et le bassin d'Arcachon. Ces données sont obtenues dans le cadre du Réseau Côtier SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral) mis en œuvre par le CNRS-INSU (<http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>).

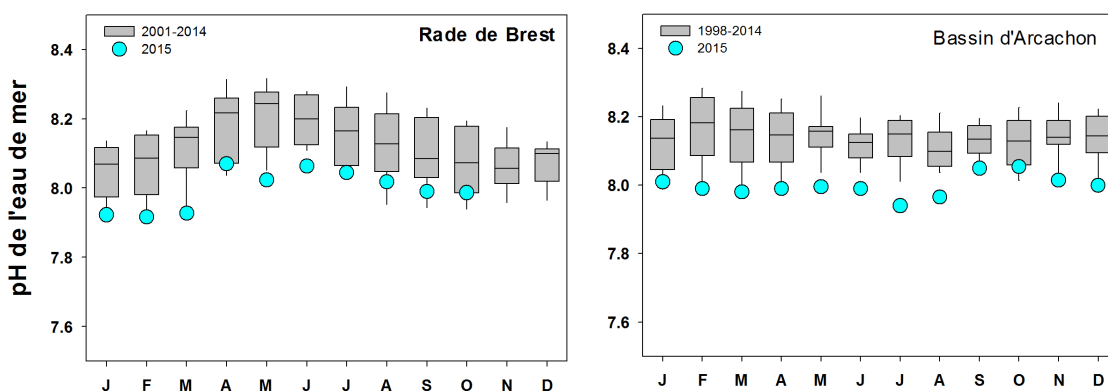
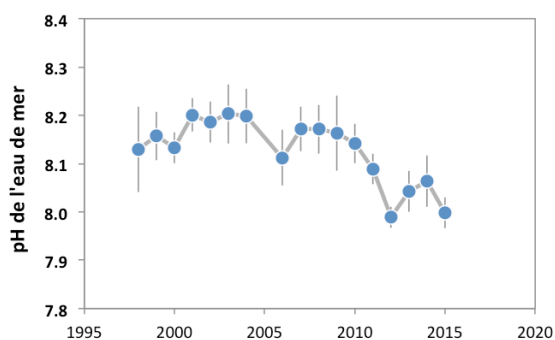


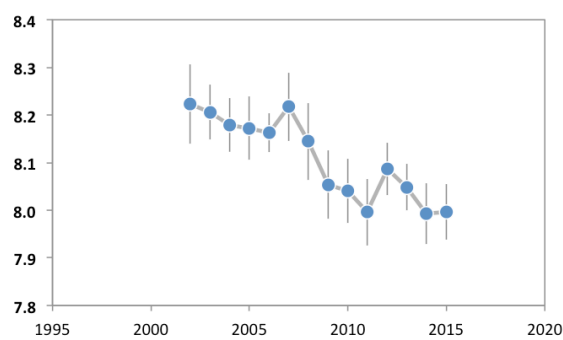
Figure 13 : Valeurs moyennes mensuelles 2015 du pH de l'eau de mer (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée du bassin d'Arcachon (site « Eyrac ») et de la rade de Brest (site « Portzic »). Ces valeurs 2015 sont comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données acquises par le Service d'Observation en Milieu Littoral, mis en œuvre par l'INSU-CNRS (Réseau SOMLIT). Pour en savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

<sup>6</sup> <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

## Rade de Brest



## Bassin d'Arcachon



**Figure 14 : Evolution du pH (moyenne annuelle +/- ECT) depuis les années 1998 (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée de la rade de Brest et du bassin d'Arcachon. Notez la tendance à la diminution ces dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données acquises par le Service d'Observation en Milieu Littoral, mis en œuvre par l'INSU-CNRS (Réseau SOMLIT). Pour en savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>**

On constate que les données 2015 s'inscrivent, pour ces deux secteurs, dans une tendance à la diminution avec des valeurs se situant dans la gamme inférieure des observations enregistrées depuis le début des années 2000 par le réseau SOMLIT (Figure 13). Pour l'instant, les valeurs moyennes annuelles du pH sur l'année 2015 (Figure 14) sont de 8.00 que ce soit en rade de Brest ou dans le bassin d'Arcachon (la moyenne établie sur les 15 dernières années sur les deux sites étant de 8.15). Ces moyennes annuelles restent toujours supérieures au seuil de 7.6 - valeur considérée comme problématique pour la vie larvaire de l'huître creuse. Cependant, ce paramètre hydrologique (ainsi que le suivi de la lysocline<sup>7</sup>) méritera, sans conteste, une attention accrue dans les années à venir.

<sup>7</sup> La lysocline est la profondeur dans l'océan à partir de laquelle la solubilité du calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ), sous sa forme calcite ou aragonite, augmente fortement. L'aragonite est plus soluble que la calcite et donc la lysocline de l'aragonite survient à des profondeurs moins élevées. Dans certains environnements particuliers, il arrive que la lysocline atteigne les eaux côtières (e.g. Anonyme, 2011).

### 3.3 Maturation, indice de condition et fécondité

Chez l'huître creuse, la gamétogenèse se déroule tout au long du printemps à la faveur du réchauffement des eaux et des blooms de phytoplancton : on parle communément de maturation. Cette maturation conduit à un gain de chair ou engraissement (relativement à la croissance en coquille) qui se traduit par une augmentation printanière de l'indice de condition, celui-ci devenant maximal juste avant la ponte.

Cet **indice de condition maximal, noté IC**, est un indicateur ou proxy qui permet de caractériser simplement la fécondité potentielle d'une population d'huîtres pour une année et un site donnés. Il présente l'avantage d'être aisé à obtenir et d'être indépendant de la taille ou de l'âge, contrairement aux valeurs directes de masses de chair. Le **taux de croissance printanier standardisé** (corrigé de la température) est aussi un indicateur qui peut servir d'indicateur du niveau d'investissement vers la reproduction.

Ensuite, en été, généralement à la faveur d'un choc thermique, l'huître émet ces gamètes lors du frai (appelé communément « ponte »). La quantité de gamètes émis par un géniteur, et notamment la quantité d'ovocytes, peut être un facteur déterminant dans l'abondance de jeunes larves et par conséquent être à l'origine d'un faible recrutement pour un écosystème donné (e.g. Pouvreau et al., 2011 ; Maurer et al., 2011).

Parmi les différents forçages environnementaux, le phytoplancton (en quantité et qualité) constitue l'un des facteurs permettant d'expliquer la variabilité spatio-temporelle de l'indice de condition et de la fécondité observés (e.g. Pouvreau et al., 2011).

#### 3.3.1 Comparaison spatio-temporelle

La mise en place chaque année et le suivi régulier de la croissance d'une population 'sentinelle' placée dans chaque écosystème en fin d'hiver permet donc d'étudier la variabilité inter-annuelle et inter-bassin de la croissance, de l'augmentation printanière de l'indice de condition et de la valeur maximum de cet indice juste avant la ponte, proxy de la fécondité.

Tous les graphes de croissance et d'indice de condition par site, par bassin et par année sont disponibles sur le site Internet du réseau Velyger : <http://www.ifremer.fr/velyger>, dans la rubrique : accès aux données. Nous ne présentons, dans cette partie, que des graphes de synthèse permettant (1) de comparer aisément l'année en cours par rapport aux années antérieures ou par rapport aux autres sites et (2) d'analyser l'effet des facteurs environnementaux (abondance phytoplanctonique notamment) sur ces indices.

La Figure 15 fournit, pour chaque secteur, les valeurs maximales de l'indice de condition observées juste avant la ponte pour l'année 2015 et les compare aux valeurs des années antérieures.

Pour chacun des sites d'études, on relève, en 2015, les valeurs maximales suivantes :

- Rade de Brest : **IC = 137** (contre 144 en 2013 et 159 en 2014)
- Baie de Bourgneuf : **IC = 106** (contre 129 en 2013 et 103 en 2014)
- Bassin de Marennes Oléron : **IC = 135** (contre 123 en 2013 et 130 en 2014)
- Bassin d'Arcachon : **IC = 82** (contre 86 en 2013 et 67 en 2014)
- Lagune de Thau : **IC = 90** (contre 69 en 2013 et 63 en 2014)

Ces valeurs sont un peu en retrait en 2015 par rapport aux années précédentes. En termes de variabilité inter-sites, cette année se caractérise, à nouveau, par des valeurs d'indice de condition plutôt élevées dans les écosystèmes nord (rade de Brest, baie de Bourgneuf et pertuis charentais) et plutôt faibles dans les écosystèmes sud (bassin d'Arcachon et lagune de Thau). Ce constat est souvent le même chaque année (e.g. Pouvreau et al., 2011) avec, tout de même, une gamme de



valeurs plus restreinte que pour les années précédentes allant de 137 en rade de Brest à 82 dans le bassin d'Arcachon.



**Figure 15 : Valeurs maximales de l'indice de condition sur l'année 2015 et comparaison avec les valeurs antérieures pour chaque secteur Velyger. L'indice de condition avant ponte est un bon proxy de la fécondité potentielle de l'huître creuse.**

### 3.3.2 Facteur d'explication : la biomasse en phytoplancton

La Figure 16 montre les relations actualisées pour 2015, pour chacun des sites, entre la concentration en phytoplancton (ici l'abondance phytoplanctonique en  $\mu\text{g chloa.L}^{-1}$ , enregistrée tout au long de la maturation et à proximité des populations sentinelles) et les paramètres physiologiques liés à la maturation (indice de condition maximal des huîtres mesuré en juillet juste avant la ponte et taux de croissance printanier standardisé). Ces relations présentent systématiquement de forts coefficients de corrélation ( $R^2 > 0,60$ ).

D'une façon générale, les couples sites-années, caractérisés par de faibles valeurs de d'abondance phytoplanctonique associés à de faibles valeurs de maturation, concernent plus particulièrement les sites sud (bassin d'Arcachon et lagune de Thau). A l'opposé, la rade de Brest présente systématiquement les valeurs les plus élevées d'abondance phytoplanctonique associées à de très fortes valeurs d'indice de condition ou de taux de croissance. Ce schéma démontre clairement l'existence du gradient nord-sud discuté précédemment et le relie à la concentration en phytoplancton.

Plus particulièrement, pour l'année 2015, l'analyse du nuage de points montre que :

- La rade de Brest se caractérise toujours par de très fortes valeurs d'indice de condition ou de taux de croissance associées à de fortes valeurs de concentration phytoplanctonique, mais c'est aussi le cas pour le bassin de Marennes-Oléron cette année.
- La baie de Bourgneuf ainsi que le secteur baie de Vilaine (rivière de Pénerf) ajoutée ici se positionnent aussi dans la partie centrale du nuage de points, à noter tout de même des valeurs un peu en retrait par rapport aux années antérieures.
- Le bassin d'Arcachon présente, de façon analogue aux autres années, des valeurs plutôt faibles, du même niveau que celles enregistrées dans la lagune de Thau.
- Et d'une façon générale, on distingue toujours le très fort gradient entre la lagune de Thau et la rade de Brest qui s'explique au moins en partie grâce à la biomasse phytoplanctonique de ces secteurs.

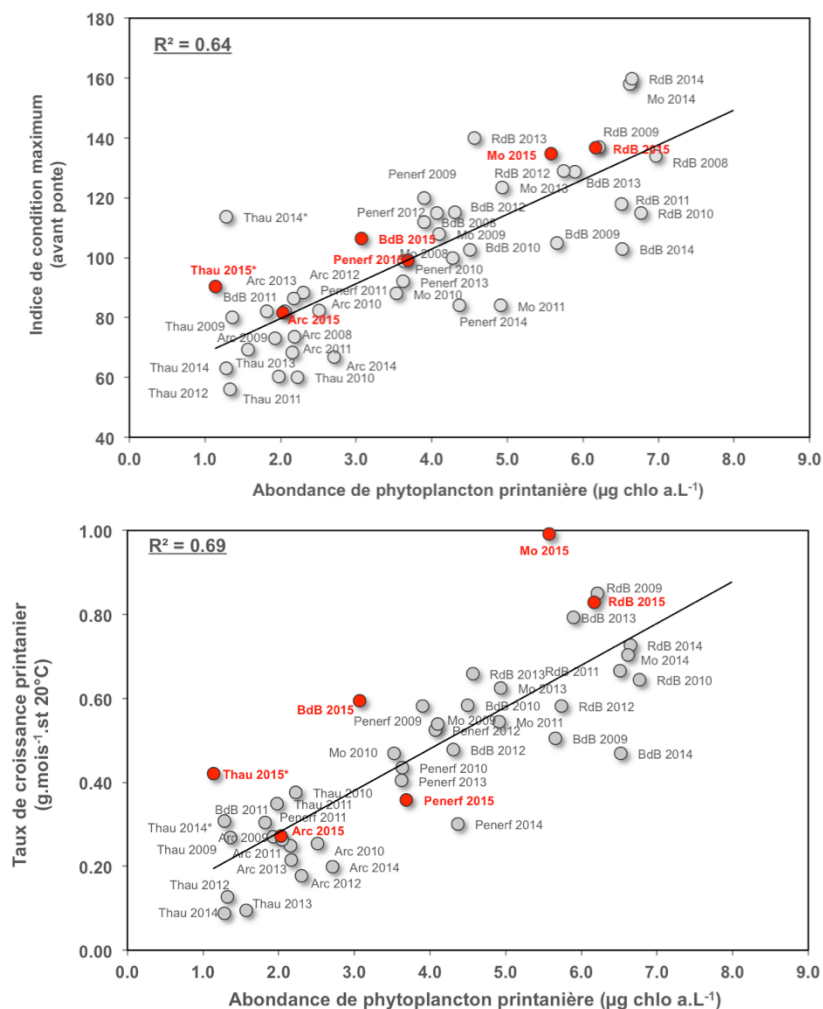


Figure 16 : Relation entre la concentration en phytoplancton ( $\mu\text{g chlo.a.L}^{-1}$ ) et l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott maximal mesuré avant la ponte) ou le taux de croissance printanier standardisé des huîtres sentinelles placées dans chaque bassin depuis 2008. Légende : RdB : rade de Brest - BdB : baie de Bourgneuf - Mo : bassin de Marennes Oléron - Arc : bassin d'Arcachon - Thau : lagune de Thau. Ces graphes présentent aussi les valeurs d'un nouveau site (baie de Vilaine - Peneferf) qui fait l'objet de suivis récents similaires à ceux du réseau Velyger.

### 3.4 Date de ponte

En début d'été, une fois la gamétogenèse achevée, l'émission des gamètes (ou frai), communément appelée ponte, a lieu, après un laps de temps généralement de quelques jours permettant à l'huître d'entrer dans une phase instable, phase pendant laquelle elle devient très sensible aux stimuli de ponte (His, 1976). L'étude de l'effet des facteurs environnementaux stimulant l'émission des gamètes a fait l'objet de travaux assez anciens (His, 1976), ré-analysés récemment par Bernard et al. (2016).

Il en ressort que les fortes amplitudes thermiques journalières associées aux marées de vives-eaux apparaissent comme deux conditions favorisant des pontes massives et synchrones sur un même bassin. A l'inverse, des conditions thermiques moins contrastées entraînent un retard de ponte, voire des pontes asynchrones et/ou partielles (tous les individus d'un même banc ne pondent pas en même temps et certains n'émettent que partiellement leurs gamètes). En termes prévisionnels, les températures moyennes de l'eau de mer en début d'été constituent un bon proxy de la date de ponte (e.g. Auby et Maurer, 2004 ; Pouvreau et al., 2011).

Dans la perspective du changement climatique, nombres de phénomènes périodiques risquent d'être perturbés dans le monde du vivant : l'étude de ces phénomènes périodiques s'appelle la phénologie. La date de ponte est un évènement phénologique d'intérêt car il va conditionner la période et les conditions de la vie larvaire et donc en partie le succès du recrutement. L'évolution temporelle de cette date de ponte fait l'objet d'une analyse particulière.

#### 3.4.1 Valeurs 2015

La Figure 17 montre la relation, actualisée pour 2015, entre la température moyenne de l'eau de mer en début d'été (calculée sur les 20 premiers jours de l'été) et le jour d'observation de la ponte principale ( $R^2 = 0,56$ ). On constate que les données 2015 se positionnent à proximité du modèle linéaire établi sur l'ensemble des années. En outre, cette année se caractérise par des dates de pontes plutôt dans la norme si on tient compte de la température. Elles sont assez synchrones d'Arcachon à Pénerf dans la deuxième quinzaine de Juillet. Comme chaque année, la lagune de Thau présente une date de ponte précoce conformément aux températures élevées enregistrées sur ce secteur et à l'opposé la rade de Brest présente les valeurs les plus tardives.

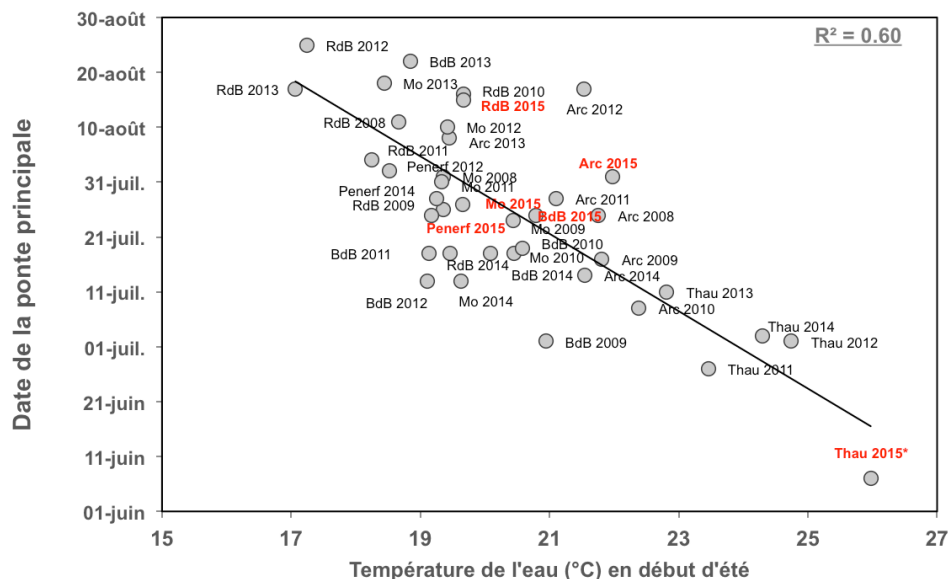
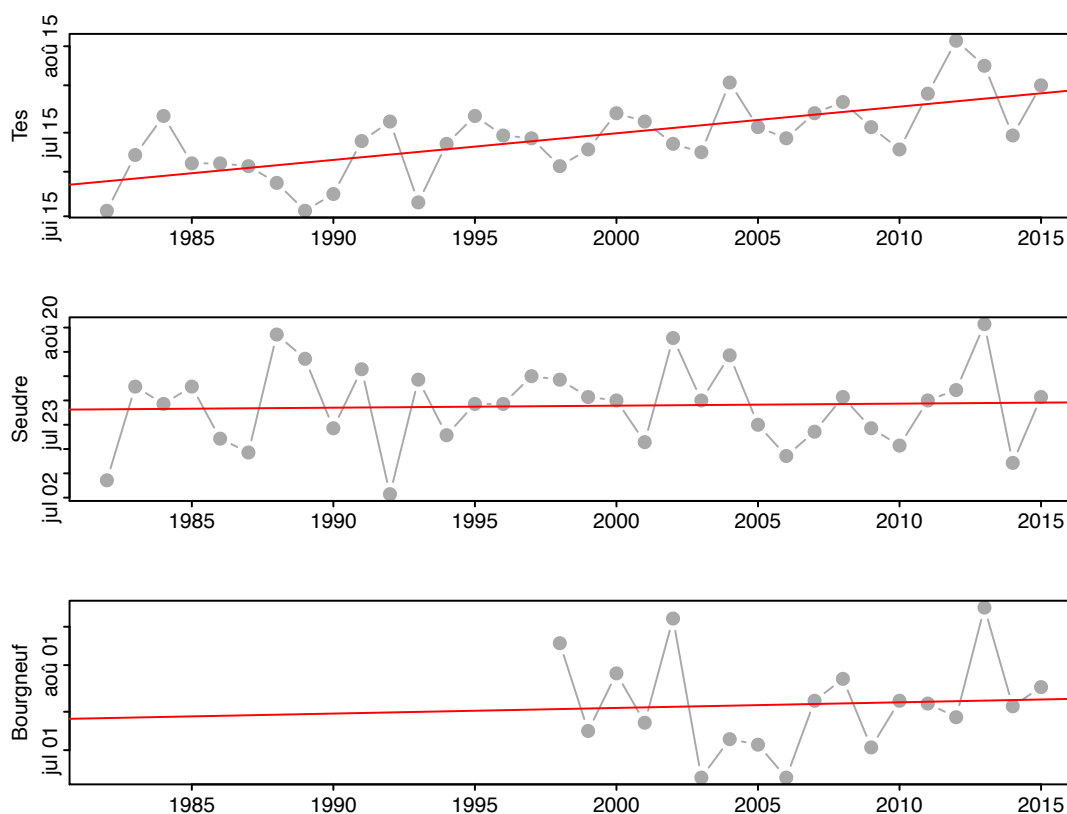


Figure 17 : Relation entre la température de l'eau en début d'été (moyenne issue des données journalières de sonde haute fréquence sur la période 21 juin-10 juillet) et la date d'émission principale des gamètes, tous sites et années confondus. La date d'émission des gamètes est obtenue à partir du suivi des populations sentinelles de chaque site conforté par les abondances de larves. Les valeurs pour l'année 2015 sont signalées avec la légende suivante : RdB : rade de Brest - BdB : baie de Bourgneuf - Mo : bassin de Marennes Oléron - Arc : bassin d'Arcachon - Thau : lagune de Thau. Ces graphes présentent aussi les valeurs d'un nouveau site (baie de Vilaine - Pénerf) qui fait l'objet de suivis récents similaires à ceux du réseau Velyger.

### 3.4.2 Phénologie de la ponte

Au travers de séries biologiques acquises depuis plusieurs années, il est possible de dégager d'éventuelles tendances. On s'intéresse ici à la date de la ponte principale de l'huître creuse, enregistrée depuis les années 1980 à Arcachon et Marennes Oléron et plus récemment en baie de Bourgneuf. La Figure 18 présente conjointement ces trois séries historiques.

On constate que, pour ces trois secteurs, la ponte principale de l'année 2015 se situe dans des valeurs normales pour les pertuis charentais et la baie de Bourgneuf. Par contre, il convient de noter que pour le bassin d'Arcachon, la ponte 2015 est à nouveau tardive et s'inscrit dans la tendance décennale, observée depuis les années 1995, caractérisée par un progressif retard de la période de ponte principale. Ce constat constitue un fait marquant essentiel qui fait l'objet d'une analyse détaillée en cours (David et al., 2016).



**Figure 18 : Evolution pluri-décennale de la date de ponte principale dans le bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest), le bassin de Marennes Oléron (secteur Seudre) et la baie de Bourgneuf (secteur nord). La date de ponte est estimée ici à partir des pics d'abondances de larves au stade « petites » relevés sur chacun des secteurs et des pertes de masse de chair enregistrées dans les populations sentinelles d'huîtres placées dans chaque écosystème. Dans le cas de la baie de Bourgneuf, la date de ponte de 1998 à 2008 a été rétro-calculé à partir d'un modèle bioénergétique de type DEB (e.g. Thomas et al., 2016).**

### 3.5 Abondance, développement et survie des larves

Après l'émission des gamètes et la fécondation, les larves se développent et leur concentration diminue de façon exponentielle tout au long de la vie larvaire en fonction de 2 facteurs majeurs (e.g. Lewin, 1986):

(1) la durée du développement larvaire, communément appelée « PLD » (Pelagic Larval Duration), liée à la température de l'eau et aux conditions nutritives ;

(2) la « survie » générale de la cohorte (plus précisément ici le rendement entre le pic de larves grosses et le pic de larves petites pour une cohorte donnée, notée S) liée aux conditions hydrodynamiques (forcées par les coefficients de marée et les régimes de vent régnant sur le secteur), aux conditions trophiques (en liaison avec la compétition), à la prédation, à la présence de pathogènes et de xénobiotiques.

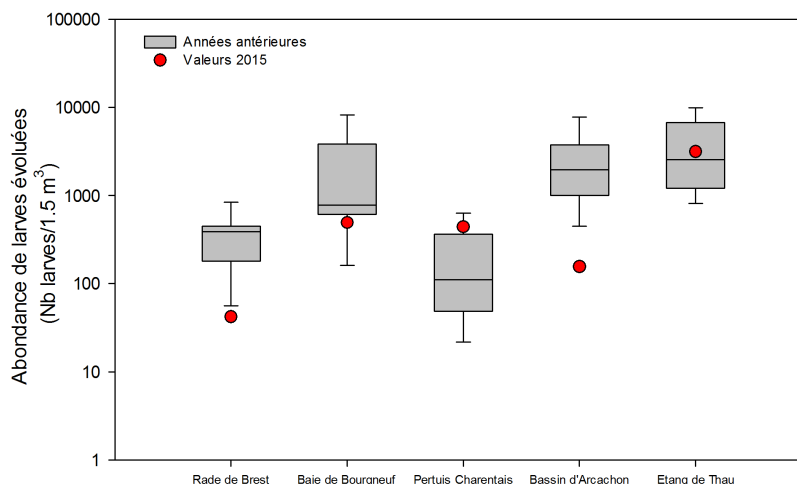
En ce qui concerne le recrutement de l'huître creuse sur les côtes françaises, Auby et Maurer (2004) puis Pouvreau et al. (2011) ont montré que ni la prédation, ni la compétition, ni la présence d'agents pathogènes ne semblaient influencer de façon significative les variations d'abondance larvaire. Dans ce contexte, nous nous intéressons donc ici aux seuls effets des facteurs hydrologiques, notamment celui de la température, considéré comme dominant par ces auteurs.

#### 3.5.1 Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire

L'ensemble des graphes d'abondance larvaire, par stade, par site, par bassin, par année est disponible sur le site Internet de Velyger : <http://www.ifremer.fr/velyger>, dans la rubrique : accès aux données. Nous ne présentons, dans cette partie, que des graphes de synthèse permettant (1) de comparer aisément l'année 2015 par rapport aux années antérieures et (2) de présenter l'évolution sur le long terme à partir des données disponibles sur les sites « historiques » (bassin d'Arcachon et pertuis Charentais). Seules les données de larves 'évoluées' sont utilisées ici, car ce stade présente l'avantage par rapport au stade 'petites' d'éviter d'éventuelles confusions pouvant avoir lieu au moment de la reconnaissance morphologique ainsi que des biais d'échantillonnage liés à la dynamique spatio-temporelle d'apparition des larves petites. En fin de paragraphe, une figure traite de la relation entre le stade 'évoluées' et le stade 'grosses'.

Dans un premier temps, la Figure 19 permet d'analyser la concentration larvaire moyenne observée en 2015 par rapport à celle des années antérieures. Il ressort tout d'abord un schéma général dans lequel la rade de Brest et les pertuis charentais présentent systématiquement les concentrations les plus faibles, toujours inférieures à 1000 larves/1,5 m<sup>3</sup>. Les trois autres sites, quant à eux, présentent des valeurs moyennes supérieures et du même ordre de grandeur (comprises entre 1000 et 10000 larves/1,5 m<sup>3</sup>). Ensuite, plus spécifiquement pour l'année 2015, il ressort que :

- La baie de Bourgneuf, les pertuis charentais et le bassin d'Arcachon présentent des valeurs d'abondances larvaires moyennes similaires et plutôt faibles cette année, comprises entre 100 et 1000 larves/1,5m<sup>3</sup>. Pour les pertuis charentais, ces valeurs enregistrées sont plus élevées que les années passées (elles se situent dans le quartile supérieur des observations), mais pour les deux autres secteurs, elles sont faibles voire très faibles par comparaison aux années antérieures.
- Les valeurs enregistrées en rade de Brest constituent les plus faibles valeurs observées cette année en France (inférieures à 50 larves/1,5m<sup>3</sup>) et à l'opposé les valeurs enregistrées pour la lagune de Thau constituent les plus fortes valeurs (supérieures à 3000 larves/1,5m<sup>3</sup>)

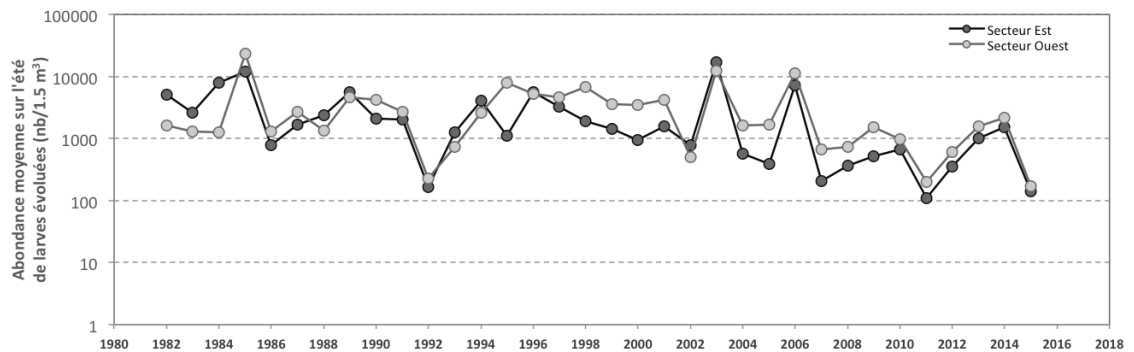


**Figure 19 : Abondance larvaire moyenne (Nb larves évoluées/1,5 m<sup>3</sup>) sur l'année 2015 pour chaque secteur Velyger et comparaison avec celles des années antérieures (depuis 2002 pour les secteurs où la donnée était disponible).**

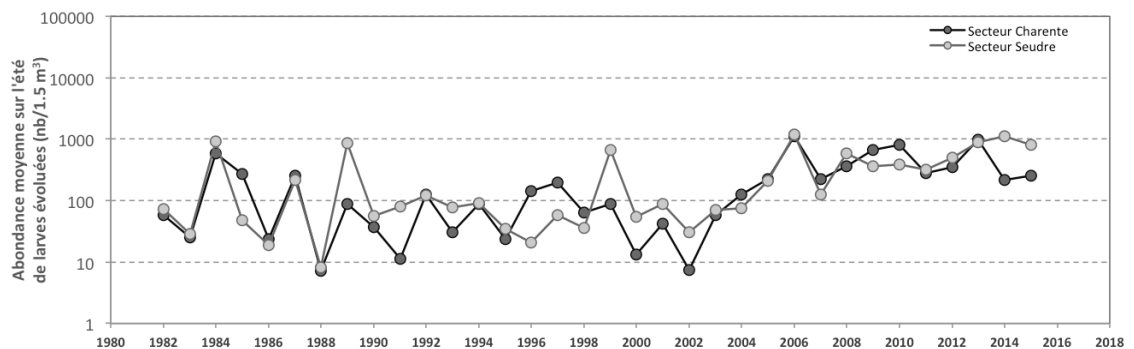
En complément, la Figure 20 montre l'évolution sur le long terme de l'abondance larvaire (ici le stade 'larves évoluées') à partir des données disponibles sur les sites « historiques » de captage (bassin d'Arcachon et pertuis Charentais). Il ressort de l'analyse de cette figure :

- Une tendance à la diminution de l'abondance de larves sur le bassin d'Arcachon depuis une quinzaine d'années. Cette diminution est générale sur le bassin, mais elle est plus marquée dans le secteur Est que le secteur Ouest. C'est notamment le cas en 2015 : cette année présente les valeurs moyennes les plus faibles depuis le début des suivis (avec les années 1992 et 2011) autour de 200 larves/1,5m<sup>3</sup>. Ces faibles valeurs contrastent, d'un facteur 10, avec les bonnes performances enregistrées l'an dernier (1800 larves/1,5m<sup>3</sup> en 2014).
- A l'opposé, le bassin de Marennes Oléron enregistre depuis une quinzaine d'années une augmentation de la concentration en larves. L'année 2015 confirme cette tendance notamment pour les abondances enregistrées sur le secteur Seudre avec presque 1000 larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été pour ce secteur. Par contre, un fait qu'il conviendra de surveiller : les concentrations de larves évoluées dans le secteur Charente ont été, pour la seconde fois, avec 2014, depuis plus de 10 ans, inférieures à celles enregistrées dans le secteur Seudre.

## Bassin d'Arcachon



## Bassin de Marennes Oléron



**Figure 20 : Evolution des abondances moyennes sur l'été de larves (stade 'évoluées') sur les deux bassins de captage « traditionnels » du réseau Velyger. En haut : le bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest) – en bas : le bassin de Marennes Oléron (Secteurs Seudre et Charente).**

Enfin, en complément de cette première description de la variabilité spatio-temporelle de l'abondance de larves (stade 'évoluées'), la Figure 21 montre, tous sites et toutes années confondus, la relation qui existe entre l'abondance de larves évoluées et l'abondance de larves grosses, et permet, là aussi, de positionner 2015 par rapport aux années antérieures. L'analyse détaillée de cette figure révèle les points suivants :

- Pendant de nombreuses années, le bassin d'Arcachon se distinguait très nettement du bassin de Marennes Oléron par des concentrations en larves (évoluées et grosses) nettement supérieures avec des années record (comme 2003, 2006, mais aussi 1985, 1995). A l'opposé, le bassin de Marennes Oléron pouvait présenter de très mauvaises années (1986, 1988, 2002). Et, d'une façon générale, les nuages de points pour ces 2 sites étaient bien distincts : les valeurs pour le bassin de Marennes Oléron occupant la partie inférieure, celles pour le bassin d'Arcachon occupant la partie supérieure.
- Mais, depuis les 10 dernières années, ces deux nuages se rejoignent: certaines années d'Arcachon présentent des valeurs inférieures à celles de Marennes-Oléron. C'était notamment le cas de l'année 2011 à Arcachon, qui se positionnait au milieu du nuage des points de Marennes-Oléron. C'est à nouveau le cas en 2015 : cette année se positionne dans la limite la plus basse du nuage de points pour Arcachon., ce qui contraste avec les deux années précédentes (2013 et 2014) pour lesquelles les valeurs étaient normales (positionnées au barycentre des observations sur ce secteur).
- Les sites rade de Brest et baie de Bourgneuf, pour lesquels, pour l'instant, nous ne disposons que de 7 années d'observation, présentent généralement des valeurs très variables. En 2015, la rade de Brest enregistre ses plus mauvais scores et se positionne dans la limite inférieure du nuage de points pour ce secteur et la baie de Bourgneuf présente des valeurs très proches de celles de Marennes Oléron.

- La lagune de Thau présente des valeurs qui se positionnent généralement dans le cadran supérieur du nuage de points typiques des bonnes années sur Arcachon. C'est à nouveau le cas en 2015.
- Enfin, la régression établie sur ce nuage de points présente un coefficient de détermination  $R^2$  de 0,60 et permet d'évaluer une survie moyenne (tous facteurs confondus) de l'ordre de 10% entre ces deux stades. En outre, certaines années (ellipse en pointillé sur le graphe) présentent des survies moyennes nettement inférieures, il s'agit pour la plupart d'entre elles d'années caractérisées par des conditions fraîches lors de l'évolution larvaire (e.g. 2002, 2005, 2009 pour le Bassin d'Arcachon, 2008 pour la rade de Brest ainsi que 2012 et 2013 pour la baie de Bourgneuf). L'année 2015 est proche de cette ellipse sur plusieurs secteurs.

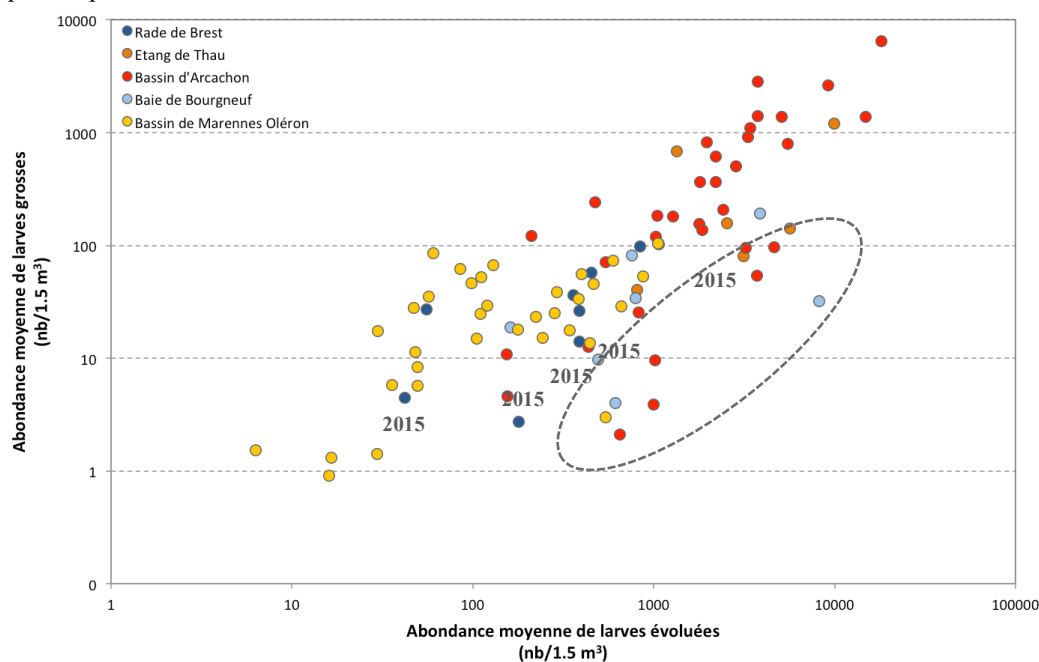


Figure 21 : Relation entre l'abondance de larves évoluées et l'abondance de larves grosses pour les 5 sites du réseau Velyger toutes années confondues. L'année 2015, tous sites confondus, se positionne un peu dans la partie inférieure du nuage de points. Notez que la régression établie sur ce nuage de points présente un coefficient de détermination  $R^2$  de 0,60 et permet d'évaluer une survie moyenne de l'ordre de 10% entre ces deux stades. Certaines années (points projetés dans l'ellipse pointillée) présentent des survies moyennes nettement inférieures, il s'agit pour la plupart d'entre elles d'années caractérisées par des conditions fraîches lors de l'évolution larvaire (2002, 2005, 2009 pour le bassin d'Arcachon, 2008 pour la rade de Brest ainsi que 2012 et 2013 pour la baie de Bourgneuf). L'année 2015 se positionne à proximité de cette ellipse.

### 3.5.2 Durée du développement larvaire

La Figure 22, actualisée pour l'année 2015, illustre la relation entre l'effet de la température de l'eau sur la durée du développement d'une cohorte larvaire évaluée entre le stade 'petites' et le stade 'grosses' (notée PLD pour « Pelagic Larval Duration »).

La relation obtenue précédemment (Pouvreau et al., 2011) est toujours très significative avec l'ajout des données 2015 ( $R^2=0,62$ ) et confirme que la durée d'évolution d'une cohorte varie dans la gamme suivante :

- plus de 18 jours en-dessous de 20°C (conditions fréquentes en rade de Brest, et occasionnellement en baie de Bourgneuf et dans les pertuis Charentais) ;
- moins de 10 jours au-delà de 23°C (conditions rencontrées lors d'étés chauds à Arcachon et exceptionnellement en baie de Bourgneuf comme cela a été le cas pour la cohorte 2014 et conditions très fréquentes dans la lagune de Thau).

Ces observations obtenues *in situ* sont confortées par les travaux de Rico Villa et al. (2009 et 2010) réalisés en milieu expérimental avec des conditions de nourriture *ad libitum*.



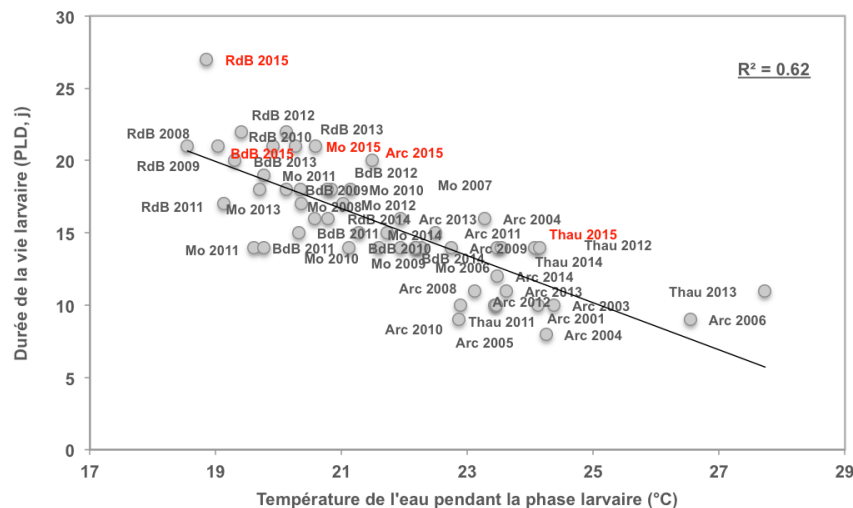


Figure 22 : Relation entre la durée du développement larvaire (PLD en jours) et la température de l'eau sur tous les sites et années Velyger pour lesquels des cohortes larvaires ont été repérées sans ambiguïté. La durée du développement larvaire est estimée ici, sur chaque cohorte, à partir du nombre de jours entre le pic de larves au stade 'petites' et le pic de larves au stade 'grosses'.

En outre, cette figure montre que les durées de vie larvaire pour les différentes cohortes observées en 2015 se caractérisent, par rapport aux valeurs enregistrées antérieurement, de la manière suivante :

- Durée de vie longue pour toutes les cohortes présentes cette année sur la façade atlantique (du bassin d'Arcachon à la rade de Brest) avec des valeurs de PLD supérieures à 20 jours.
- Pour rappel, *a contrario*, l'année dernière, aucune cohorte ne présentait une durée de vie supérieure à 20 jours.
- En 2015, seules les larves de la lagune de Thau présentent des durées de vie courtes (PLD < 15 j).

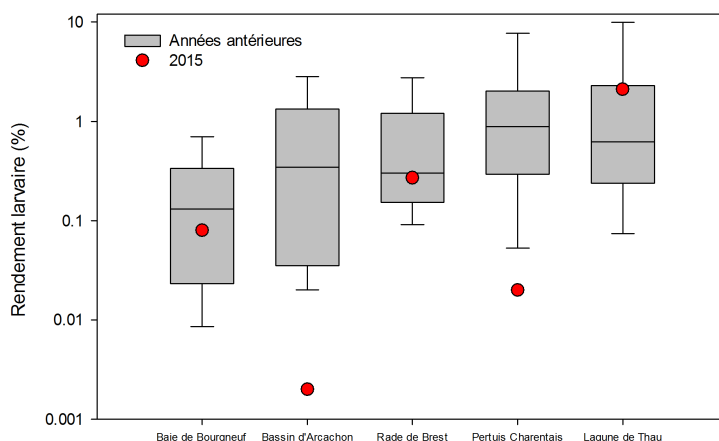
### 3.5.3 Survie larvaire

Le paragraphe précédent a montré l'effet de la température de l'eau sur la durée du développement larvaire. Le corollaire à ce résultat est que, dans un écosystème donné, un développement larvaire plus long peut entraîner une survie larvaire moindre.

La survie larvaire peut être approchée, en partie, par le calcul du rendement entre le pic de larves grosses et le pic de larves petites pour une cohorte donnée. Ce rendement est bien sur fonction des caractéristiques du bassin (temps de résidence, conditions hydrodynamiques, volume moyen). La Figure 23 montre les valeurs obtenues pour chaque écosystème et permet de positionner l'année 2015 par rapport au jeu de données des années antérieures.

Il ressort, pour l'année 2015, que :

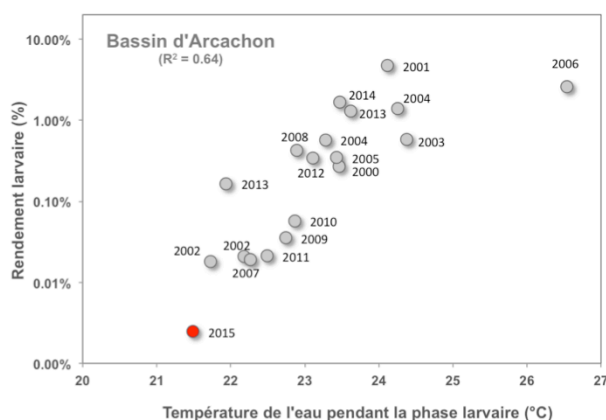
- Contrairement à l'an dernier, le bassin d'Arcachon et les pertuis Charentais présentent des valeurs de rendement très faibles (respectivement 0,002 % et 0,02 %) se positionnant en deçà des quartiles inférieures de la distribution.
- Les cohortes observées en baie de Bourgneuf et rade de Brest présente une survie plutôt faible se positionnant en dessous de la médiane de la distribution (respectivement 0,08 et 0,27%) et inférieure aux valeurs 2014.
- Dans la lagune de Thau, la survie de la principale cohorte 2015 est forte de l'ordre de 2 %.



**Figure 23 : Rendement larvaire (S, %) pour les principales cohortes observées en 2015 dans chaque écosystème Velyger.**

De façon plus détaillée, pour le bassin d'Arcachon, site pour lequel nous disposons du maximum de données et site pour lequel les cohortes larvaires sont aisément identifiables chaque année, il se dégage une relation assez nette entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes repérées sans ambiguïté sur ce secteur depuis 2001 (Figure 24). La relation, actualisée pour 2015, démontre trois résultats majeurs :

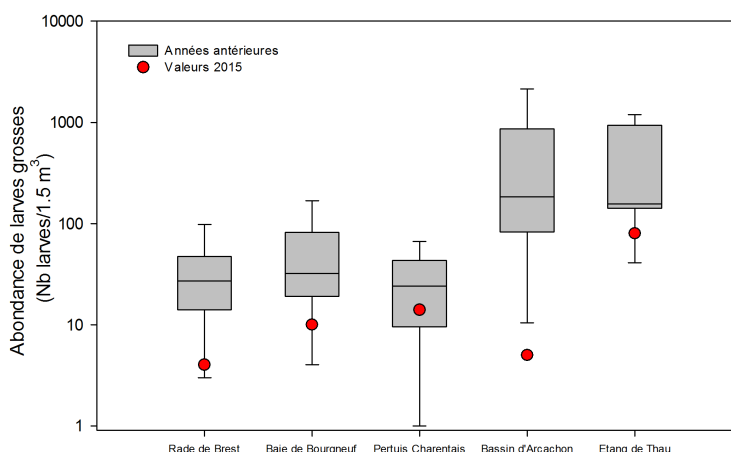
- D'une façon générale, il existe une forte différence interannuelle (pouvant atteindre un facteur 1000) entre la survie larvaire mesurée pour chaque cohorte chaque année.
- Il ressort une relation significative entre la température de l'eau et la survie larvaire ( $R^2 = 0,64$ ): en dessous de 23°C, la survie est inférieure à 0,1% ; de 23 à 25°C, la survie est comprise entre 0,1% et 1%, au-dessus de 25°C, la survie devient supérieure à 1%.
- En 2014, on notait un survie particulièrement forte (1,7 %) pour la principale cohorte observée sur Arcachon en relation avec les températures favorables (> 23,5°C) enregistrées au moment de la vie larvaire ;
- En 2015, on note un survie particulièrement faible (0,002 %) pour la principale cohorte observée sur Arcachon. Cette faible survie est à mettre en relation avec les températures très basses pour ce secteur (> 21,5°C) enregistrées au moment de la vie larvaire. Ces températures au moment du développement larvaire sont effectivement les plus basses depuis 2002.



**Figure 24 : Relation entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes larvaires repérées sans ambiguïté sur le bassin d'Arcachon depuis 2001. Les valeurs pour l'année 2015 sont signalées en rouge. La corrélation avec la température est hautement significative ( $R^2 = 0,64$ ).**

### 3.5.4 Larves grosses et intensité du captage

En complément des graphes précédents, la Figure 25 présente l'abondance moyenne de larves grosses (prêtes à fixer) sur l'été et pour chaque site Velyger et la compare aux valeurs des années antérieures. Ces abondances ont été fortes en baie de Bourgneuf et dans le bassin d'Arcachon, modérées dans les autres secteurs. Bien que le nombre d'observation pour les années antérieures soit encore limité, il ressort que ces valeurs, par rapport à celles des années antérieures, ont été particulièrement basses pour la plupart des secteurs, se situant toujours dans le quartile inférieur. Les abondances de larves grosses (en moyenne sur l'été) ont donc varié de 4 larves/1,5 m<sup>3</sup> (en rade de Brest et bassin d'Arcachon) à 80 larves/1,5 m<sup>3</sup> (dans la lagune de Thau). Ces résultats contrastent nettement avec les valeurs plutôt fortes enregistrées en 2014.



**Figure 25 : Abondance larvaire moyenne de larves au stade « grosses » (Nb larves/1,5 m<sup>3</sup>) sur l'année 2015 pour chaque secteur Velyger et comparaison avec celles des années antérieures.**

Pour terminer cette série de corrélations, il convient de s'intéresser maintenant à la relation entre l'abondance de larves grosses mesurée tout au long de l'été et le captage (cumulé) obtenu à l'automne sur les collecteurs posés au cours de l'été.

Pour se faire, seuls les secteurs faisant l'objet d'une estimation du captage la plus optimisée possible (Maurer *et al.*, 2009b) ont été utilisés : le secteur de la Seudre a été écarté, car trop faiblement échantillonné et les résultats encore expérimentaux obtenus sur le captage dans la lagune de Thau limitent l'intérêt de les représenter sur ce graphe.

Donc à l'exception de la lagune de Thau, la Figure 26, présente la relation entre la concentration moyenne en larves au stade « Grosses » obtenue à la fin de l'été pour un secteur donné et l'intensité du recrutement cumulé (sur coupelle) estimé à l'automne sur ce même secteur (nombre total de naissain incluant individus morts et vivants). Cette relation, actualisée pour l'année 2015, se caractérise toujours par un fort coefficient de corrélation ( $R^2 = 0,62$ ) et reste indépendante des secteurs étudiés (au moins pour ceux de la façade atlantique). Elle permet, en outre, d'établir dès la fin de l'été une prévision du captage à l'automne. Cette forte relation entre abondance de larves grosses et recrutement montre aussi qu'il n'y a vraisemblablement pas de verrous biologiques clés, chez cette espèce, au moment de la métamorphose et de la fixation.

Par contre, dans la lagune de Thau, cette relation n'est pour l'instant pas prouvée et cette exception prouve que le problème lié à la variabilité du captage dans la lagune de Thau trouve son explication dans une cause différente de celles rencontrées sur la façade atlantique. Nous reviendrons sur ce cas particulier dans la discussion.

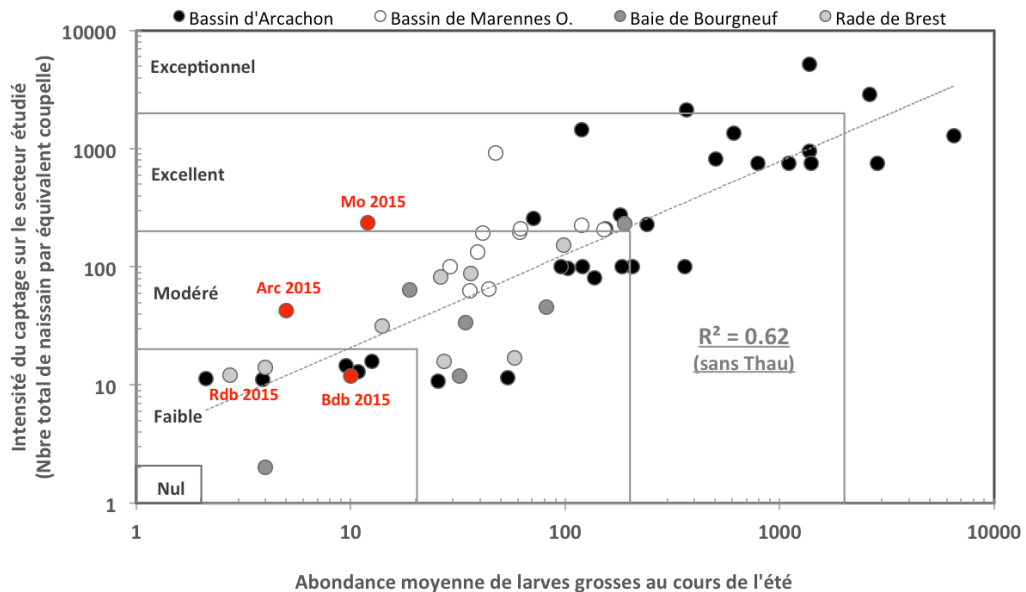


Figure 26 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été et l'intensité du captage estimé à l'automne (nombre total de naissain exprimé en équivalent coupelle,  $R^2=0,62$ ). NB : Les valeurs pour la lagune de Thau ne sont pas représentées sur ce graphe, car pour ce secteur la variabilité du recrutement est encore extrêmement lié à la pratique du captage par les professionnels (technique et calendrier de pose des colekteurs, méthode d'exondation, durée d'immersion totale).

En outre et de façon schématique, nous pouvons établir, sur la base de cette figure (et à l'exception de la lagune de Thau), les correspondances suivantes :

- Une abondance moyenne de larves grosses, sur l'ensemble de l'été, inférieure à 20 larves/1,5m<sup>3</sup> aboutit à un captage généralement inférieur à 20 naissains par coupelle (nombre total incluant les naissains morts et vivants), qualifié de « faible » (voire « nul »).
- Une abondance moyenne de larves grosses entre 20 et 200 larves/1,5m<sup>3</sup> fournit généralement un captage compris entre 20 à 200 naissains par coupelle, qualifié de « modéré ».
- Une abondance de larves grosses entre 200 et 2000 larves/1,5m<sup>3</sup> permet un captage compris entre 200 et 2000 naissains par coupelle, qualifié de « bon à excellent ».
- Une abondance moyenne de larves grosses au-dessus de 2000 larves/1,5m<sup>3</sup> apporte un captage très abondant, supérieur à 2000 naissains par coupelle, qualifié de « d'exceptionnel ».

Ainsi, pour l'année 2015, les résultats sont contrastés selon les secteurs :

- Dans le bassin d'Arcachon, la très faible abondance de larves grosses mesurées sur l'été (4 larves/1,5m<sup>3</sup> l'une des plus faibles valeurs records depuis le démarrage du réseau Velyger) s'est traduite par un captage faible à modéré situé entre 20 à 60 naissains/coupelle selon les secteurs.
- En baie de Bourgneuf et rade de Brest, là aussi, la faible concentration de larves grosses de l'été 2015 (respectivement entre 4 à 10 larves/1,5m<sup>3</sup>) s'est traduite par un captage faible, variant de 12 à 41 naissains/coupelle selon les secteurs. Pour information, la baie de Vilaine se situant géographiquement entre ces deux bassins présente des valeurs similaires.
- Dans le bassin de Marennes-Oléron, les abondances de larves grosses mesurées sur l'été (14 larves/1,5m<sup>3</sup>), un peu plus élevés que dans les secteurs précédents, ont permis un captage faible à modéré variant entre 83 à 235 naissains/coupelle selon les secteurs.
- Enfin, dans la lagune de Thau, la pratique du captage reste encore expérimentale (trois années de recul via le projet PRONAMED) et les performances obtenues dépendent totalement des techniques mises en œuvre par les professionnels. Cela dit, la moyenne sur l'été de larves grosses a été de 80 larves/1,5m<sup>3</sup>. Dans ce contexte, le captage aurait pu être modéré voire excellent sur certaines zones. Les résultats obtenus ne donnent que des valeurs faibles inférieures à 8 naissains/coupelle.

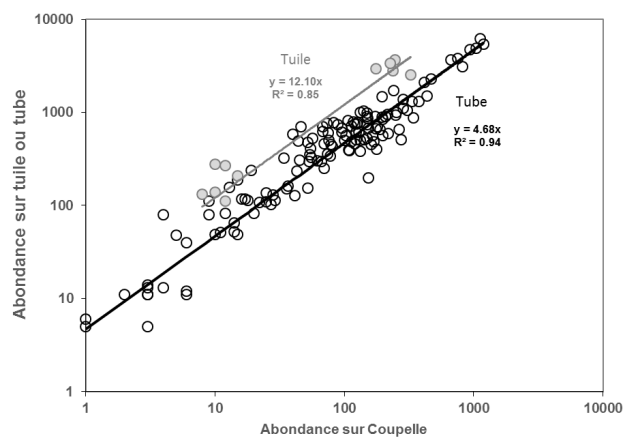
### 3.6 Estimation précoce du recrutement

Chaque année, des campagnes d'échantillonnage sont effectuées, en période automnale (octobre-novembre) dans chaque bassin afin d'estimer, sur les parcs de captage, l'abondance moyenne du recrutement à l'automne. La méthodologie utilisée sur chaque site est adaptée de Maurer et al. (2009b).

Ces résultats restent néanmoins indicatifs et n'ont pas vocation à quantifier l'abondance de naissain au détroquage l'année suivante. Mais, étant réalisées chaque année de la même façon et à la même période, ces campagnes permettent des comparaisons inter-sites et interannuelles dès la fin d'année.

Notons qu'il existe plusieurs types de collecteurs (tuile, coupelle, tube crénelé, plénos) et les bassins n'utilisent pas forcément le même type. Dans le cadre du réseau Velyger et dans un souci d'inter-comparaison, le collecteur choisi comme référence a été la coupelle (car elle est utilisée dans chaque bassin). Cependant, à titre d'indication, la Figure 27 fournit des éléments de corrélation permettant d'établir une équivalence entre type de collecteurs.

**Figure 27 : Relation entre l'abondance sur une coupelle et celle sur un tube ou une tuile placée dans les mêmes conditions. La pente est de 4,7 pour la relation coupelle-tube (pour un coefficient de corrélation de 0,94) et de 12,1 pour la relation coupelle-tuile (pour un coefficient de corrélation de 0,85). ►**



Les 5 figures suivantes synthétisent, pour chaque bassin, sur une cartographie, les résultats de la campagne 2015 d'estimation du captage et permettent de comparer ces résultats avec les années antérieures. Il ressort clairement que, pour l'année 2015 :

- La rade de Brest (Figure 28) est caractérisée par **un captage faible (voire modéré)**, avec des valeurs moyennes comprises entre 14 et 41 naissains par coupelle. Ces résultats sont comparables à ceux enregistrés en 2014.
- La baie de Bourgneuf (Figure 29) est caractérisée par **un captage faible, très homogène entre les secteurs**, avec des valeurs moyennes comprises entre 12 et 17 naissains par coupelle. Ces résultats contrastent très fortement avec les résultats de l'année précédente, caractérisés par les valeurs les plus fortes jamais enregistrées sur ce secteur par le réseau Velyger.
- Les pertuis charentais (Figure 30) sont caractérisés par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes selon les secteurs comprises entre 83 et 235 naissains par coupelle. Il convient de noter un gradient entre les secteurs nord et sud, gradient que l'on observe très souvent dans ce bassin.
- Le bassin d'Arcachon (Figure 31), est caractérisé par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes comprises entre 20 à 66 naissains par coupelle selon les secteurs. Ces résultats contrastent très fortement avec les résultats de l'année précédente : en 2014, on enregistrait les valeurs les plus fortes jamais observées sur ce secteur avec plus de 20000 naissains par tuile.
- La lagune de Thau (Figure 32) est caractérisée par **un captage faible** avec des valeurs moyennes comprises entre 0 et 8 naissains par coupelle. Ce mauvais résultat, malgré une abondance élevée en larves grosses, tient, en partie, à la pratique zootechnique encore incertaine (modalités d'exondation périodique des collecteurs). Dans les années à venir, l'optimisation puis la maîtrise de cette pratique devrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats dans cet écosystème sans marée (comme ceux obtenus en 2010 ou 2013).

En résumé, l'année 2015 est très différente de l'année 2014 avec des valeurs de captage en net retrait sur la plupart des écosystèmes étudiés. Seuls les pertuis Charentais présentent moins de variabilité entre les deux années. Ce « résultat » très différent de l'année précédente mais aussi d'un site à l'autre montre, à nouveau, toute la complexité de la chaîne de facteurs à l'origine du recrutement de l'huître creuse en France.

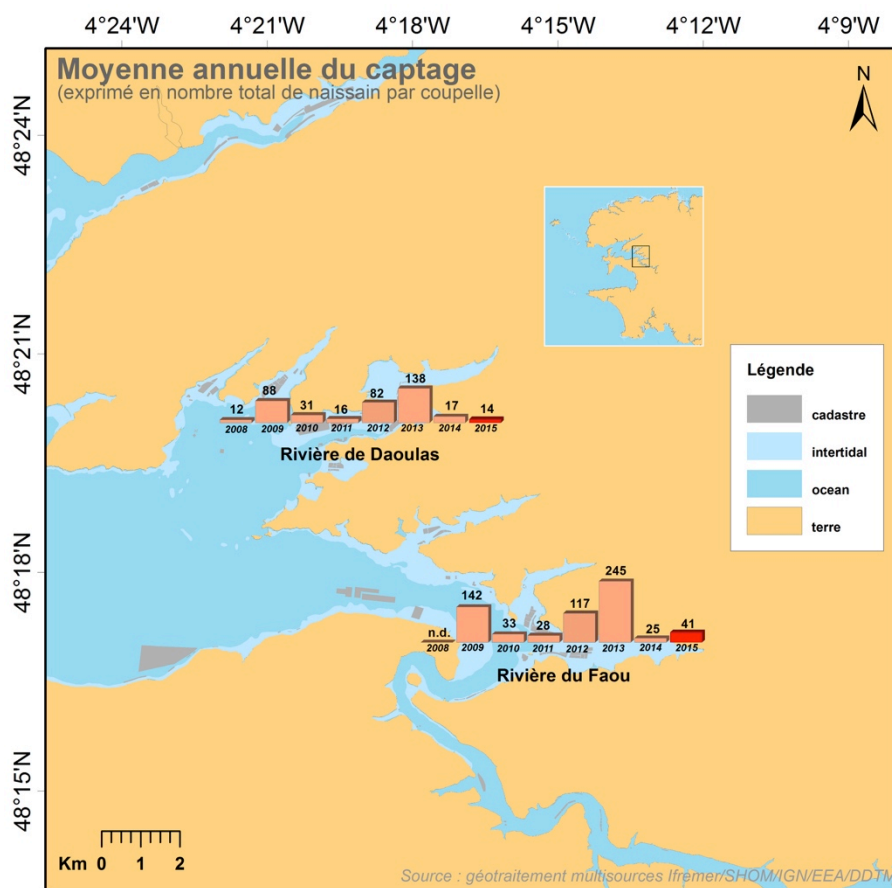


Figure 28 : Abondance moyenne par secteur du captage en rade de Brest : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2015 et comparaison aux années antérieures.

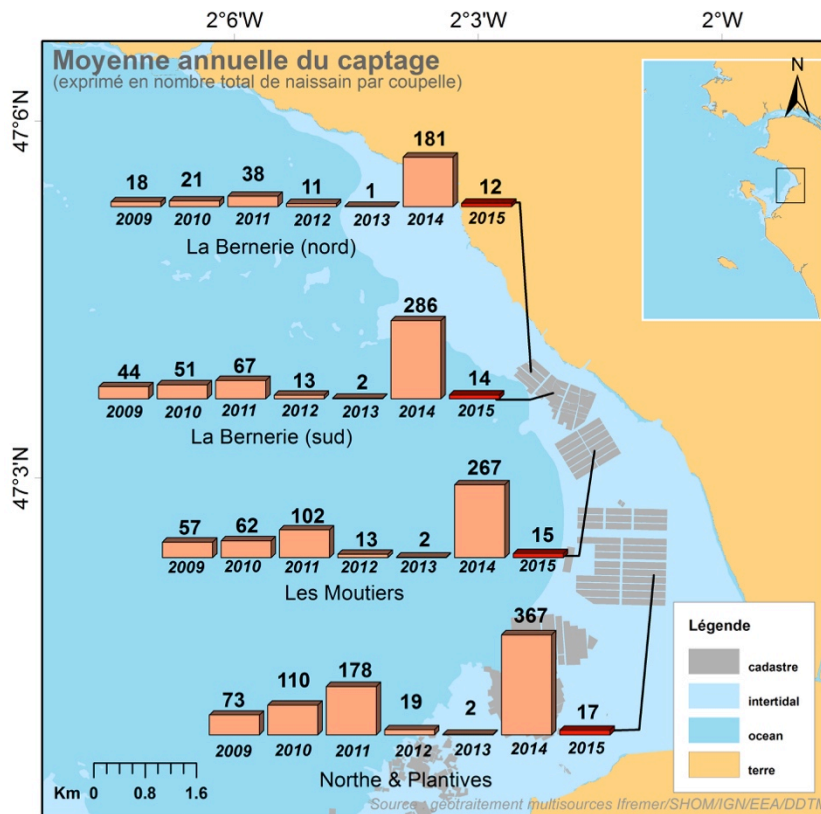


Figure 29 : Abondance moyenne par secteur du captage en baie de Bourgneuf : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2015 et comparaison aux années antérieures.

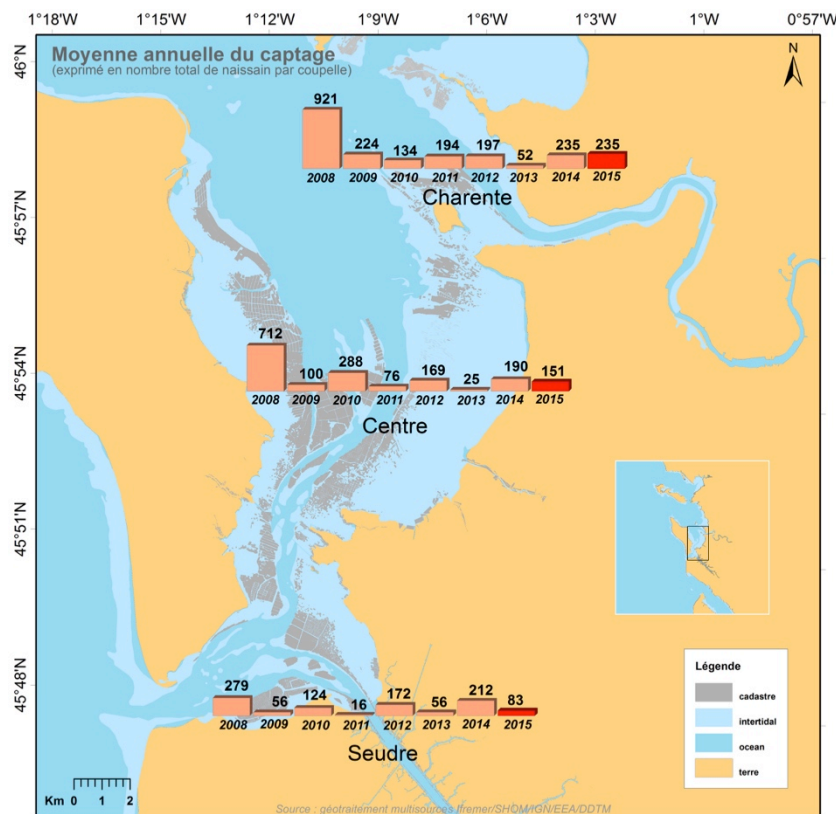


Figure 30 : Abondance moyenne par secteur du captage en bassin de Marennes Oléron : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2015 et comparaison aux années antérieures.



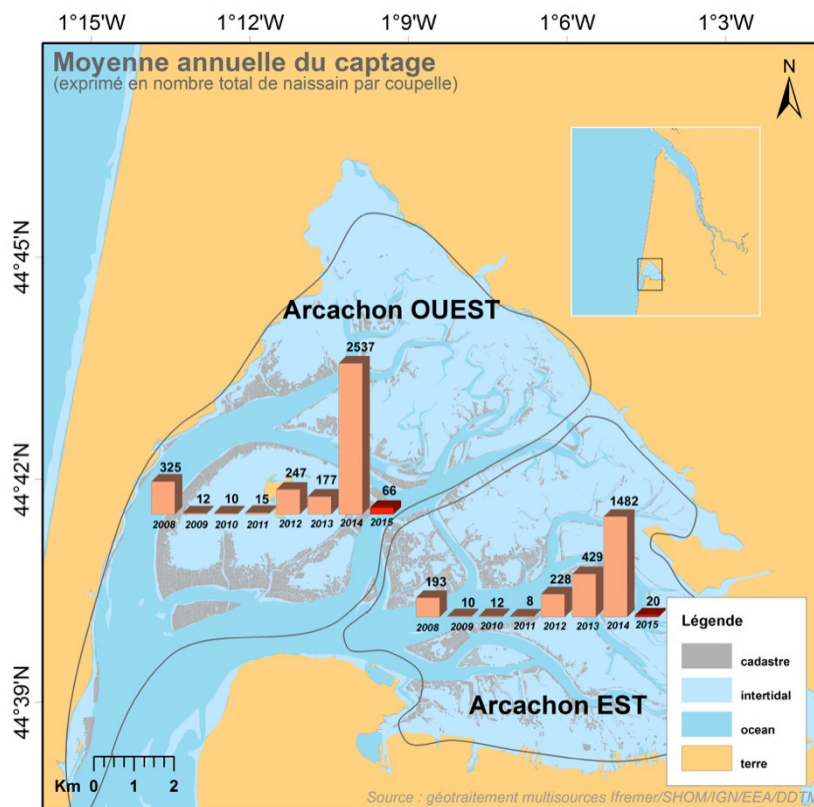


Figure 31 : Abondance moyenne par secteur du captage dans le bassin d’Arcachon: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2015 et comparaison aux années antérieures.

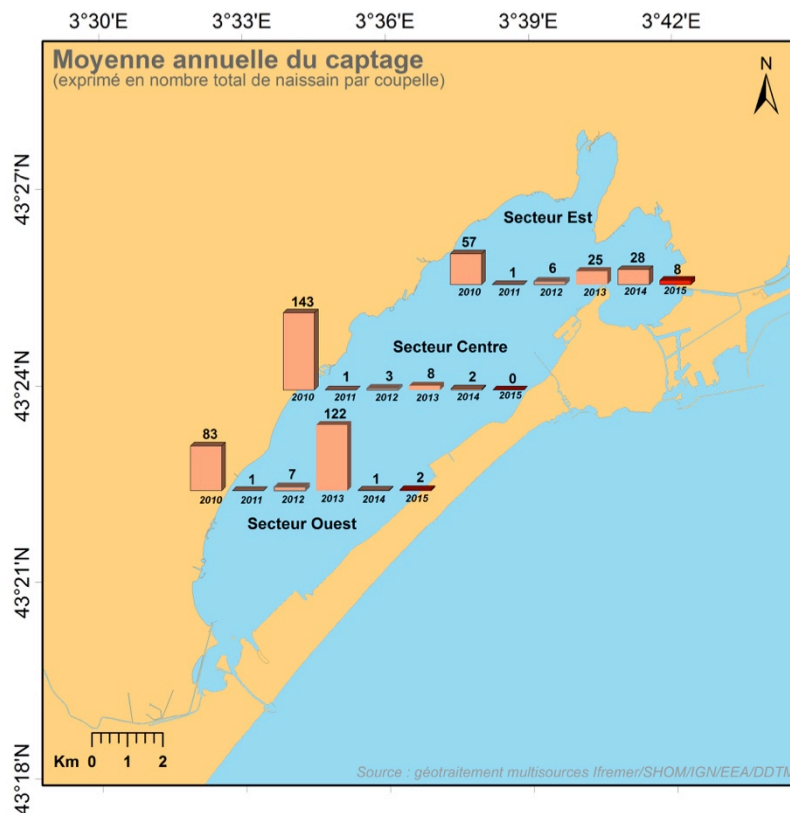


Figure 32 : Abondance moyenne par secteur du captage dans la lagune de Thau: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2015 et comparaison aux années antérieures.



## 4 Synthèse

### 4.1 Schéma général

Sur la base des résultats antérieurs obtenus par le Réseau Velyger (*e.g.* Pouvreau et al., 2011; 2012; 2013; 2014; 2015) et des nouvelles données acquises au cours de l'année 2015 présentées tout au long de ce rapport, il nous est possible de proposer un schéma général pour expliquer la variabilité spatio-temporelle 2015 de la reproduction de l'huître creuse en France. Ce schéma que l'on peut construire comme une chaîne de facteurs s'organise de la manière suivante :

- (1) L'abondance printanière en phytoplancton agit quantitativement sur la maturation et détermine les niveaux maximums d'indice de condition et de fécondité de début d'été (Figure 15 & Figure 16). Cette abondance en phytoplancton est en partie sous la dépendance des apports d'eau douce hivernaux et printaniers. **En 2015, l'hiver a été dans les normes sur le plan pluviométrique et le premier semestre est même déficitaire sur certains secteurs** (Figure 8 & Figure 11). **En conséquence, les concentrations en phytoplancton sont restées proches des normales** (Figure 12) **et les indices de maturation ont été en diminution par rapport à l'an dernier**. Ce constat se vérifie d'autant plus pour le bassin d'Arcachon et pour la lagune de Thau, sites pour lesquels, chaque année, les faibles concentrations en phytoplancton entraînent de faibles indices de maturation. L'étude régionale FELIBA dans le bassin d'Arcachon (Bernard et al., 2014) apporte des éléments permettant de mieux appréhender, localement, ce problème de faible fécondité.
- (2) La température moyenne de l'eau en début d'été détermine la date de ponte. Sur la façade atlantique, en raison d'un hiver et d'un printemps à nouveau doux, la température de l'eau a présenté sur tous les sites une anomalie plutôt positive jusqu'au début de l'été mais pour autant sans excès (Figure 10). Dans ce contexte, **la date de la ponte principale en 2015 a été dans les normes sur la plupart des écosystèmes de la façade atlantique** (Figure 17), à l'exception du bassin d'Arcachon, site pour lequel on constate régulièrement un retard dans la date de ponte. Ce point important sera discuté ultérieurement. En outre, comme chaque année, sur la lagune de Thau, les températures printanières généralement beaucoup plus élevées que sur les sites de la façade atlantique ont permis une ponte courant juin, en conformité avec le modèle thermique proposé dans le rapport (Figure 17).
- (3) La quantité de jeunes larves présentes dans l'eau dépend de l'abondance et de la localisation des stocks d'huîtres adultes contribuant au captage, de leur fécondité individuelle et dans une moindre mesure du synchronisme de leur ponte, ce synchronisme étant favorisé par les forts contrastes thermiques (*e.g.* Bernard et al., 2011). En 2015, **les abondances moyennes de jeunes larves ont été plutôt faibles** (Figure 19).
- (4) Une fois les larves émises, leur vitesse de développement et leur abondance à chaque stade (*i.e.* leur survie) dépendent directement de la température de l'eau lors du développement. Une température basse rallonge la durée de la vie larvaire (PLD), ce qui favorise une dispersion plus importante et une survie plus faible. Cette survie peut varier **d'un facteur 1000** (*i.e.* de 0,01 % à presque 10 %) selon les sites et la température (Figure 23). **En 2015, la durée de vie a été assez longue sur la plupart des sites atlantiques (proche de 20 jours) et conforme au modèle thermique proposé dans les précédents rapports** (Figure 22). Cette vie larvaire plus longue s'explique par des températures de l'eau, au cours du développement, plutôt faibles. Il s'en est suivi des survies larvaires plutôt basses entraînant un risque de dispersion et de prédation accru. Seule, la lagune de Thau présente des valeurs plus proches des normales.
- (5) La quantité de larves grosses dépend directement de l'abondance de jeunes larves (étape 3) et de leur survie (étape 4). **En 2015, ces deux étapes ont été plutôt défavorisées par les conditions hydro-climatiques au cours l'évolution larvaire**. Ainsi, cela aboutit en moyenne sur la façade atlantique à des abondances de larves grosses faibles à modérées (Figure 25) comprises entre 4 larves/1,5 m<sup>3</sup> (dans la rade de Brest et le bassin d'Arcachon) à 80 larves/1,5 m<sup>3</sup> (dans la lagune de Thau). Ces valeurs sont beaucoup plus faibles qu'en 2014.
- (6) Enfin, une relation de proportionnalité directe existe entre l'abondance moyenne de larves grosses (étape 5) au cours de l'été et le captage observé à l'automne (Figure 26). Cette relation permet une prédiction du captage dès la fin de l'été. **En 2015, le captage a donc été faible à modéré selon les secteurs (conformément aux abondances de larves grosses)**.

- (7) Seule exception à cette règle de proportionnalité : la lagune de Thau qui malgré des abondances de larves grosses plutôt élevées présente chaque année un captage souvent faible. Une pratique zootechnique adaptée à ce secteur sans marée devrait permettre à terme d'assurer un bon captage systématique (cf projet régional PRONAMED, Lagarde et al., 2013).

Cette chaîne de facteurs peut se schématiser de la manière suivante :

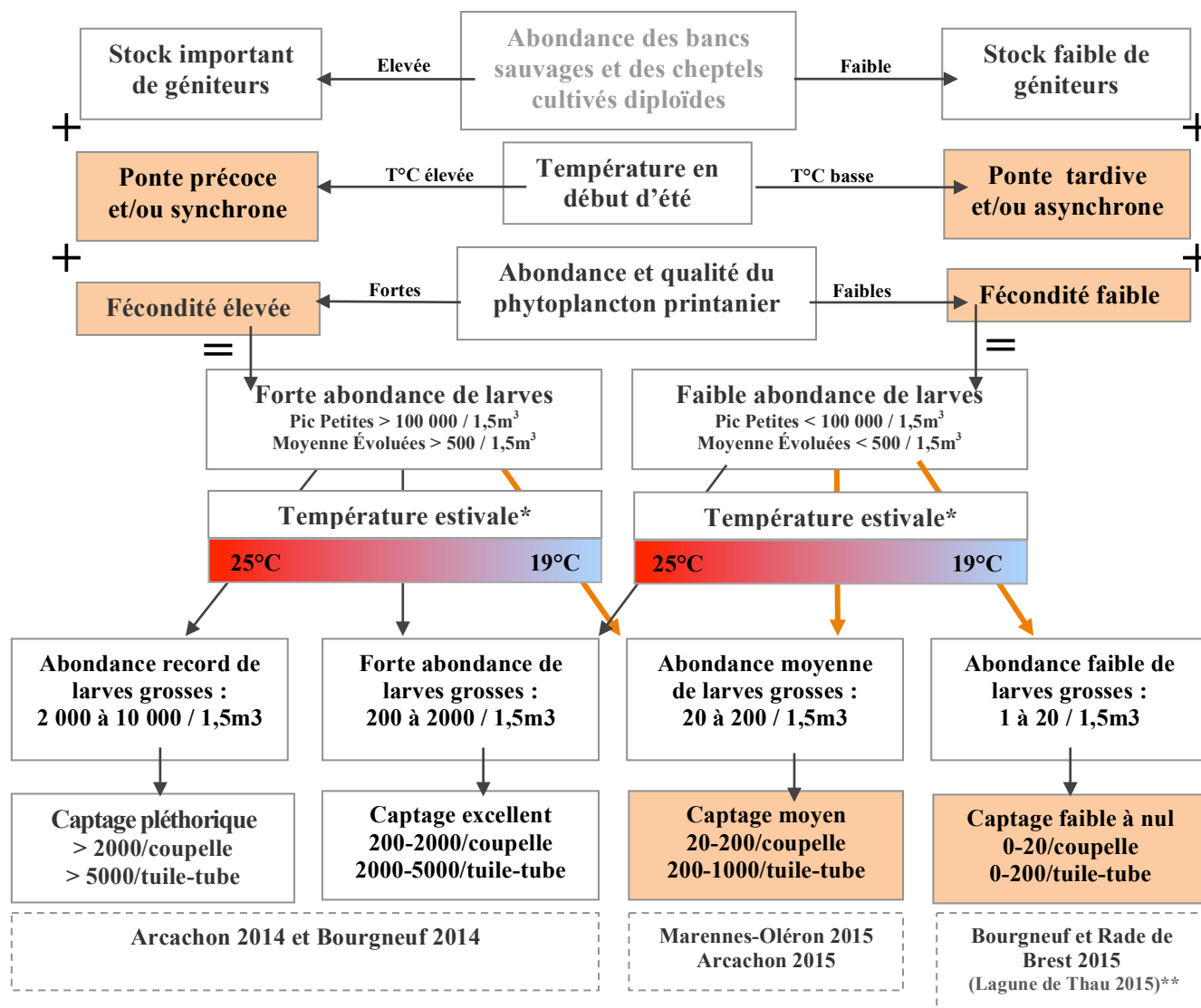


Figure 33 : Schéma récapitulatif et quantifié expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises et positionnant les caractéristiques 2015 (en orange). Le cadre grisé indique que, l'état des connaissances ne permet pas d'affirmer la relation, mais que l'hypothèse forte mérite d'être prise en compte. Légende : \* la température estivale est le facteur majeur influençant la survie des larves, mais les facteurs contrôlant le temps de résidence des masses d'eau jouent aussi un rôle clés (hydrodynamique du secteur, coefficient de marée, régime de vent). \*\* Pour l'instant, la performance du captage à Thau tient pour beaucoup à la pratique zootechnique en cours de mise au point (zone de captage hors table, exondation périodique et raisonnée des collecteurs). Dans ce contexte, la relation entre abondance larvaire et recrutement trop partielle s'inscrit difficilement dans ce schéma récapitulatif.

#### 4.1.1 Rade de Brest – secteurs Daoulas et Faou

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier de la rade de Brest au cours de l'année 2015 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

Période d'intérêt	Conditions hydroclimatiques	Conséquence biologique
Hiver-printemps (pendant la gamétogénèse)	✓ Température : proche des normales ✓ Pluie : proche des normales ✓ Phytoplancton : concentration normale	✓ Gamétogénèse : normale ✓ Fécondité : normale
Début d'été (pendant la ponte)	✓ Température : proche des normales	✓ Date de ponte : normale (tardive sur ce secteur) ✓ Ponte : partielle (fréquente sur ce secteur) ✓ Abondance jeunes larves : faible
Été (pendant la vie larvaire)	✓ Température : normale ✓ Phytoplancton : Présence d'algues toxiques	✓ Survie larvaire : moyenne ✓ Abondance larves grosses : faible
Fin d'été (pendant la fixation)	✓ Température : supérieure aux normales	✓ Recrutement : faible à moyen

En résumé, en rade de Brest, en 2015, l'hiver et le printemps ont été plutôt proches des normales (Figure 6 & Figure 10) et les concentrations en phytoplancton un peu plus faibles que les années précédentes (Figure 12). Dans ce contexte, les populations d'huîtres du secteur ont développé une fécondité un peu inférieure aux années antérieures (Figure 15). En outre, les températures de début d'été plutôt proches des normales ont entraîné une ponte plutôt tardive (Figure 17) et probablement partielle comme c'est souvent le cas sur cet écosystème.

En raison du caractère partielle des pontes, les abondances maximales de larves (pic de larves) n'ont pas été élevées (~10 000 larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>) et les abondances sur l'été sont restées dans des valeurs faibles (50 larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été, Figure 19).

Au cours de la vie larvaire, les températures de l'eau fraîche, proche de 19°C, ont entraîné une durée de vie larvaire longue (PLD > 25 j, Figure 22) avec une survie plutôt faible (~ 0,3 %, Figure 23). Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a donc été faible (4 larves/1,5m<sup>3</sup>, Figure 25) ce qui s'est traduit par un captage faible à modéré selon les secteurs (14 à 41 naissains par coupelle à l'automne). Comme chaque année, il convient de noter que les densités de naissains par coupelle sont toujours un peu plus élevées dans la rivière du Faou qu'en rivière de Daoulas, avec une très forte corrélation entre les deux rivières (Figure 34).

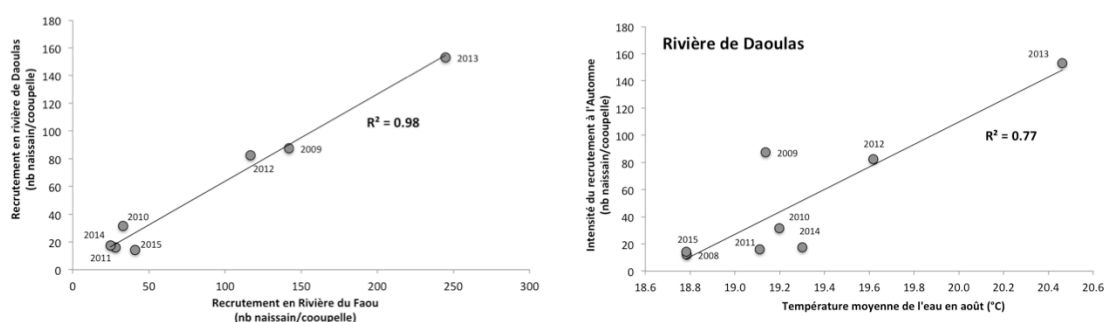


Figure 34 : Relation entre le recrutement en baie de Daoulas et le recrutement en rivière du Faou (figure de gauche) et relation avec la température estivale de l'eau au mois d'août (figure de droite).

Concernant ce secteur, nous réaffirmons la conclusion émise dans les rapports précédents (e.g. Pouvreau et al., 2013) : les conditions climatiques de l'été constituent le principal frein au recrutement de l'huître creuse et aux performances du captage qui en dépendent. Plus précisément, le facteur limitant en rade de Brest apparaît clairement être la température estivale (et printanière).

Un été chaud (associé à un printemps chaud) devrait permettre des pontes synchrones, de fortes abondances de larves, une survie élevée et un captage 'bon à excellent'. D'ailleurs, une relation entre la température moyenne de l'eau au mois d'août et l'intensité du recrutement semble se dégager au fur et à mesure des années (Figure 34). Cependant la présence récurrente d'algues toxiques depuis 2-3 ans, en pleine période de reproduction, pose sérieusement question.

#### 4.1.2 Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie à Coupelasse

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier de la baie de Bourgneuf au cours de l'année 2015 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

Période d'intérêt	Conditions hydroclimatiques	Conséquence biologique
Hiver-printemps (pendant la gamétogénèse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : proche des normales</li> <li>✓ Pluie : proche des normales</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration normale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gamétogénèse : normale</li> <li>✓ Fécondité : élevée</li> </ul>
Début d'été (pendant la ponte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : proche des normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Date de ponte : normale</li> <li>✓ Ponte : totale et synchrone</li> <li>✓ Abondance jeunes larves : plutôt faible</li> </ul>
Été (pendant la vie larvaire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : proche des normales (voire fraîche)</li> <li>✓ Phytoplancton : proche des normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Survie larvaire : faible</li> <li>✓ Abondance larves grosses : faible</li> </ul>
Fin d'été (pendant la fixation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : inférieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recrutement : faible</li> </ul>

En résumé, en baie de Bourgneuf, en 2015, l'hiver et le printemps ont été proches des normales (Figure 6) tout comme les concentrations en phytoplancton (Figure 12). Ce contexte s'est traduit au niveau des populations d'huîtres du secteur par une gamétogénèse standard, une fécondité et une ponte dans les normales (Figure 15, Figure 17), située en deuxième quinzaine de juillet.

Les abondances de larves sur l'été ont été plutôt faibles pour ce secteur ( $< 1000$  larves/ $1,5\text{m}^3$  en moyenne sur l'été, Figure 19 et un seul pic de larves  $< 100\ 000$  larves/ $1,5\text{m}^3$ ). Et les températures de l'eau basses au cours de la vie larvaire ( $20^\circ\text{C}$ ) se sont traduites par une durée de vie larvaire relativement longue (PLD = 20 j, Figure 22) avec une survie faible ( $< 0,1\%$ , Figure 23). Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a donc été faible ( $10$  larves/ $1,5\text{m}^3$ ), ce qui a entraîné un captage faible sur tout le secteur ( $< 20$  naissains par coupelle à l'automne). Cette année contraste fortement avec l'année précédente pour laquelle le captage avait été pléthorique.

Ce site de captage, situé à une latitude intermédiaire en France, a bénéficié en 2015 de conditions hydroclimatiques peu favorables à chacune des étapes du cycle de reproduction (conditions thermiques très proches des normales, sans valeurs excédentaires nécessaires au captage pour ce secteur. Ces conditions 2015 confirment totalement nos conclusions présentées dans les rapports précédents : tout comme la rade de Brest, la baie de Bourgneuf constitue un secteur pour lequel, lors d'étés particulièrement chauds, le captage doit être excellent, pour peu que les stocks de géniteurs soient préservés et que les conditions phytoplanctoniques printanières soient favorables. Par contre, dès que les conditions thermiques sont un peu limitées, surtout au cours de la vie larvaire, le recrutement est hasardeux et le captage faible.

Cela étant, il est surprenant de constater la très grande variabilité dans la date des pontes sur ce secteur : elle peut avoir lieu de la mi-juin à la fin août. Cet aspect mérite une attention particulière dans les années à venir. Par ailleurs, beaucoup d'éléments acquis depuis le début du réseau Velyger laissent penser que la circulation hydrodynamique de ce système ouvert pourrait être un facteur très rapidement défavorable à la survie larvaire lors d'étés frais. La mise en oeuvre d'un modèle hydrodynamique reste une étape à envisager dans les années à venir si l'on souhaite mieux comprendre la dynamique du recrutement dans ce secteur.

### 4.1.3 Bassin de Marennes Oléron - secteurs Charente, Centre et Seudre

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier des pertuis charentais au cours de l'année 2015 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

Période d'intérêt	Conditions hydroclimatiques	Conséquence biologique
Hiver-printemps (pendant la gamétogénèse)	✓ Température : proche des normales ✓ Pluie : proche des normales ✓ Phytoplancton : concentration normale	✓ Gamétogénèse : accélérée ✓ Fécondité : élevée
Début d'été (pendant la ponte)	✓ Température : proche des normales	✓ Date de ponte : normale ✓ Ponte : totale et synchronisée ✓ Abondance jeunes larves : forte
Été (pendant la vie larvaire)	✓ Température : proche des normales ✓ Phytoplancton : concentration normale	✓ Survie larvaire : moyenne ✓ Abondance larves grosses : modérée
Fin d'été (pendant la fixation)	✓ Température : un peu supérieure aux normales	✓ Recrutement : modéré

En résumé, dans les pertuis charentais, l'hiver et le printemps ont été proches des normales (Figure 6) tout comme les concentrations en phytoplancton (Figure 12). Ce contexte s'est traduit au niveau des populations d'huîtres du secteur par une gamétogénèse standard, une fécondité plutôt élevée et une ponte dans les normales (Figure 15, Figure 17) de façon similaire à ce qui a été observé en baie de Bourgneuf.

Il s'en est suivi des abondances de larves plutôt élevées avec des pics supérieurs à 100 000 larves/1,5m<sup>3</sup> et des abondances moyennes sur l'été de l'ordre de 1000 larves/1,5m<sup>3</sup> (Figure 19), valeurs se positionnant dans le quartile supérieur des observations sur ce secteur.

Mais, au cours de la vie larvaire, les températures de l'eau peu favorable (~ 20°C) ont entraîné une durée de vie larvaire assez longue (PLD > 20 j, Figure 22) et donc une survie médiocre (~ 0,02 %, Figure 23). Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a donc été au final modérée (14 larves/1,5m<sup>3</sup>). Ces conditions « moyennes » se sont traduites par un captage modéré (de 83 à 235 naissains par coupelle à l'automne).

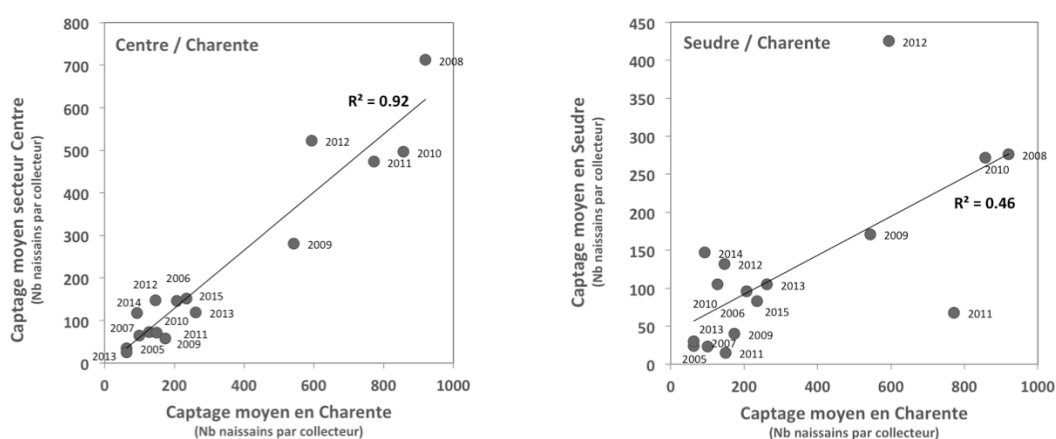


Figure 35 : Relation entre les intensités de captage de chacun des trois secteurs du bassin de Marennes Oléron (Tubes et Coupelles). D'une façon schématique, on peut considérer que les deux secteurs Charente et Centre se comportent de façon similaire indépendamment du secteur Seudre. ©Données Creaa 2005-2015

En termes de variabilité spatiale, cette année, le captage se caractérise par un gradient du sud au nord dans les pertuis, avec en moyenne : 83 naissains par coupelle dans le secteur Seudre, 151

dans le secteur Centre, 235 dans le secteur Charente. Les valeurs obtenues dans le secteur Centre sont toujours un peu moins élevées que dans le secteur Charente mais restent conformes à la relation inter-secteur proposée par Pouvreau et al. (2010) et présentée sur la Figure 30. Par contre, on démontre à nouveau qu'il n'y a pas de relation directe entre les performances de captage réalisées en Seudre par rapport aux performances réalisées dans les autres secteurs (Figure 35). Ce secteur fonctionne « à part » du reste du système.

Cette année encore confirme la complexité de la distribution des larves et de la dynamique du recrutement dans l'ensemble des pertuis. Pour tous les autres écosystèmes étudiés dans le réseau Velyger, il y a toujours une corrélation intra-bassin (*i.e.* inter-secteur) assez élevée de l'abondance en larves et en naissains. C'est rarement le cas dans les pertuis. Il en est de même pour le suivi des cohortes larvaires (du stade petites au stade grosses). Dans la plupart des écosystèmes, l'identification des cohortes est évidente, alors que dans les pertuis charentais, elle est systématiquement délicate à réaliser: les larves petites disparaissent assez rapidement sans forcément présenter d'évolution et l'arrivée sporadique des larves grosses reste difficile à interpréter.

La complexité d'interprétation spatiale des données dans les pertuis charentais est à relier à la complexité de circulation des masses d'eau dans cet écosystème. Ce système relativement ouvert donne l'impression d'exporter plus ou moins (selon les conditions climatiques de l'été) ses jeunes larves et de recevoir des larves plus âgées provenant d'autres secteurs conformément à la proposition de fonctionnement hydrodynamique proposée par Bernard *et al.* (2010) et schématisée sur la Figure 36.



**Figure 36 : Carte simplifiée des liens privilégiés entre les bancs potentiels d'émission de larves et les zones de captage dans les pertuis Charentais, d'après Bernard (2011).**

Ainsi, dans les pertuis charentais, l'année 2015 se caractérise par un captage à nouveau modéré avec un gradient croissant du sud au nord des pertuis. Mais ce secteur présente, tout de même, les meilleures performances de captage observées en France cette année. Depuis le début des suivis Velyger, les pertuis (et notamment le secteur Charente) présente la plus faible variation inter-annuelle et en moyenne les meilleurs rendements français.

Par ailleurs, on confirme, à nouveau, la complexité de l'analyse spatiale des abondances larvaires et du recrutement dans ce milieu. Cette complexité est à relier à la circulation hydrodynamique ouverte de cet écosystème : selon les conditions hydro-climatiques de l'été, les secteurs au nord (Charente) peuvent bénéficier d'apport allochtone de larves et les secteurs au sud (Seudre) présentent un risque accru d'export de larves. Dans ce contexte, la préservation des stocks sauvages de géniteurs 'source' en amont de ces zones constituent, sans aucun doute, une garantie d'avenir pour la pérennité du captage dans les pertuis charentais.

#### 4.1.4 Bassin d’Arcachon - secteurs Est et Ouest

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier du bassin d’Arcachon au cours de l’année 2015 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l’huître creuse.

Période d’intérêt	Conditions hydroclimatiques	Conséquence biologique
Hiver-printemps (pendant la gamétogénèse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : proche des normales</li> <li>✓ Pluie : proche des normales</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gamétogénèse : normale</li> <li>✓ Fécondité : restreinte</li> </ul>
Début d’été (pendant la ponte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : proche des normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Date de ponte : tardive</li> <li>✓ Ponte : totale et synchrone</li> <li>✓ Abondance jeunes larves : faible</li> </ul>
Été (pendant la vie larvaire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : proche des normales</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration normale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Survie larvaire : faible</li> <li>✓ Abondance larves grosses : faible</li> </ul>
Fin d’été (pendant la fixation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recrutement : modéré</li> </ul>

En résumé, dans le bassin d’Arcachon, en 2015, l’hiver et le printemps ont présenté des conditions proches des normales (Figure 6) et les températures de début d’été sans excès n’ont pas permis une ponte rapide, celle-ci a été tardive et s’inscrit à nouveau dans la tendance décennale au décalage de la ponte principale sur ce secteur (Figure 18).

Par contre, si les concentrations de phytoplancton sont situées dans les normes pour ce secteur (Figure 12), elles restent néanmoins toujours faibles par rapport aux autres sites de la façade atlantique. Par conséquent, la population sentinelle d’huîtres adultes suivie pour ce site (implantée chaque année dans le secteur Est d’Arcachon) présente, à nouveau en 2015, un indice de condition et une fécondité plutôt faibles (Figure 15) mais toutefois comparable aux années précédentes.

Dans ce contexte, même si on observe un pic d’abondance de larves assez élevé ( $> 100\,000$  larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>), les abondances moyennes sur l’été sont restées faibles ( $\sim 200$  larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l’été, Figure 19). Ces abondances font d’ailleurs parties des plus faibles valeurs enregistrées depuis le début des suivis Velyger.

Au cours de la vie larvaire, la température de l’eau très faible pour ce secteur (proche de 21°C) a entraîné une durée de vie larvaire longue (PLD = 20 j, Figure 22), équivalente à celle observée dans les secteurs nord (rade de Brest et baie de Bourgneuf), avec une survie très faible (0,002 %, Figure 23 & Figure 24). Sur l’été, la concentration moyenne de larves ‘grosses’ a donc été faible (4 larves/1,5m<sup>3</sup>).

Ces mauvaises performances se sont traduites par un captage tout juste modéré (20 à 60 naissains par coupelle à l’automne), à l’extrême opposé des résultats 2014.

Le facteur limitant, pour ce bassin, réside dans la quantité de petites larves, en diminution ces dernières années. Cette faible quantité trouve en partie une explication dans une fécondité restreinte des géniteurs, qui elle-même est à relier aux abondances phytoplanctoniques plutôt modérées sur ce secteur. En 2015, les abondances de jeunes larves ont été à nouveau faibles. Le deuxième constat sur ce bassin réside dans la date de ponte. Cette date de ponte est de plus en plus tardive, cela a notamment été encore le cas cette année.

Si, à ces premiers facteurs limitants, se rajoute un été défavorable en terme de température de l’eau (ou une évolution des cohortes en période de fortes vives eaux), la survie larvaire devient très basse ( $< 0,01\%$ ) et le captage irrémédiablement faible. Ce fut le cas en 2015. Par contre, en cas d’été favorable, comme en 2014, les températures élevées garantissent une bonne survie ( $> 1\%$  pour la première cohorte) et assurent un captage satisfaisant voire excellent.

#### 4.1.5 Lagune de Thau

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier de la lagune de Thau au cours de l'année 2015 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

Période d'intérêt	Conditions hydroclimatiques	Conséquence biologique
Hiver-printemps (pendant la gamétogénèse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> <li>✓ Pluie : déficitaire</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gamétogénèse : accélérée</li> <li>✓ Fécondité : restreinte</li> </ul>
Début d'été (pendant la ponte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Date de ponte : précoce</li> <li>✓ Ponte : multiple et asynchrone</li> <li>✓ Abondance jeunes larves : élevée</li> </ul>
Été (pendant la vie larvaire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Survie larvaire : bonne</li> <li>✓ Abondance larves grosses : moyenne</li> </ul>
Fin d'été (pendant la fixation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recrutement : faible</li> </ul>

En résumé, sur la lagune de Thau, en 2015, l'hiver et le printemps anormalement doux mais secs (Figure 6) et des concentrations en phytoplancton plutôt faibles (Figure 12) se sont traduits au niveau des populations d'huîtres du secteur par une gamétogénèse toujours rapide mais une fécondité individuelle faible (Figure 15). En outre, les températures de début d'été (toujours très élevées sur ce secteur) ont permis une ponte très précoce (Figure 17) et conforme au modèle thermique établi sur la côte atlantique, mais asynchrone avec la présence de pontes surnuméraires tout au long de l'été comme c'est souvent le cas sur cet écosystème.

Comme tenu du caractère fermé de cet écosystème et malgré le caractère asynchrone des pontes, les abondances maximales de larves (pic de larves) restent assez élevées (plusieurs pics > 100 000 larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>) et les abondances sur l'été présentent des valeurs assez fortes (3000 larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été, Figure 19), la plus forte valeur sur le plan national en 2015.

Au cours de la vie larvaire, les températures de l'eau très élevées (> 25°C) ont permis une durée de vie larvaire courte (PLD = 12 j, Figure 22) avec une survie favorable (> 1 %, Figure 23). Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a été modérée (80 larves/1,5m<sup>3</sup>), mais là aussi valeur la plus forte sur le plan national. Cependant, les méthodes et les techniques de captage sont encore en cours d'optimisation sur ce secteur, et cette année, malgré la présence de larves grosses, le captage est resté faible (< 10 naissains par coupelle à l'automne).

Au regard des données 2015 et des données acquises depuis 2010, il s'avère que sur ce secteur particulier, outre le problème d'une fécondité un peu faible (compensée par l'avantage des temps de résidence élevés), le verrou biologique du recrutement de l'huître creuse semble se situer au niveau de la fixation et de la métamorphose, au moins dans les zones ostréicoles où sont actuellement placées les points VELYGER.

Ce problème très spécifique à la lagune de Thau est pris en charge dans le cadre du projet PRONAMED II (2013-2014) et il semble que les aspects zootechniques liés à la gestion des collecteurs (localisation hors table et technique d'exondation) constituent le levier principal permettant d'améliorer, à termes, les performances du captage sur cet écosystème sans marée, à faible dispersion larvaire.



## 5 Conclusion et recommandations

Le réseau Velyger, outil national d'observation de la reproduction de l'huître creuse en France constitue un outil d'information et donc de gestion destiné à la profession, aux administrations et aux scientifiques. Il constitue, sans nul doute, un outil de développement durable pour l'ostréiculture, utile dans le contexte omniprésent des mortalités dans les élevages, des problèmes d'approvisionnement en juvéniles et des volontés de repeuplement ou de diversification. Permettant d'enregistrer progressivement de longues séries biologiques, ce réseau s'inscrit aussi comme un outil d'observation scientifique clé dans le contexte du changement global et de la variabilité climatique qui l'accompagne.

Il ressort, pour l'année 2015, les grandes tendances suivantes :

- Sur le plan hydro-climatique, cette année se caractérise par **un hiver doux et un printemps dans les normales**, suivis d'**un été là aussi très proches des normales** à quelques exceptions près : l'étang de Thau affiche tout au long de l'été des températures largement excédentaires. Compte tenu d'une pluviométrie là aussi proche des normales, les concentrations en phytoplancton sont restées à un niveau moyen de la rade de Brest aux pertuis charentais et plutôt déficitaires dans le bassin d'Arcachon et la lagune de Thau.
- En termes de biologie, ces conditions hydro-climatiques se sont traduites, chez les populations d'huîtres adultes, par des indices de condition généralement proches des moyennes, avec toujours l'existence d'un gradient nord-sud observé chaque année, corrélativement à la concentration en phytoplancton. En outre, l'absence d'excédent thermique au printemps et en début d'été n'a pas permis de ponte précoce (à l'exception de la lagune de Thau), elle a même été plutôt tardive surtout dans le bassin d'Arcachon.
- Sur la façade atlantique, les températures de l'eau lors du développement larvaire des principales cohortes ont été plutôt basses (inférieures à 20°C en rade de Brest et inférieures à 21°C ailleurs) et donc la vitesse de croissance larvaire a été ralentie et la survie amoindrie. Les rendements larvaires ont été effectivement très bas (*e.g.* 0,002 % à Arcachon). *In fine*, il y a peu de larves grosses dans l'eau, ce qui s'est traduit par **un captage faible à modéré**. Une exception tout de même : dans la lagune de Thau, les températures caniculaires tout au long de l'été ont permis une concentration moyenne de larves 'grosses' modérée (80 larves/1,5m<sup>3</sup>). Cependant, les méthodes et les techniques de captage sont encore en cours d'optimisation sur ce secteur, et cette année, malgré cette présence de larves grosses, le captage est resté faible (< 10 naissains par coupelle à l'automne).
- En conséquence, l'année 2015, se caractérise par **un captage globalement** « faible à modéré » dans tous les secteurs s'échelonnant autour de 10 naissains/coupelle dans la lagune de Thau et en baie de Bourgneuf à plus de 200 naissains/coupelle dans les pertuis charentais.

En termes de recommandations potentielles, il nous semble que les points suivants soient à prendre en compte :

- Pour le secteur de rade de Brest, les résultats 2015 confortent la conclusion émise dans les rapports précédents (*e.g.* Pouvreau et al., 2012 ; 2013) : le facteur limitant réside dans la température estivale (et printanière). Un été chaud (associé à un printemps chaud) devrait permettre des pontes synchrones, de fortes abondances de larves, une survie élevée et assurer ainsi un captage 'bon à excellent'. La température du mois d'août semble être le meilleur proxy pour le recrutement de cette espèce dans ce secteur « nord » : idéalement il faut qu'elle soit proche ou supérieure de 21°C. En outre, le rôle des algues toxiques importantes au cours de l'été depuis 2012 sur le recrutement est une aussi question qui mérite d'être approfondie (thèse Justine Castrec en cours au LEMAR).
- Pour le secteur de la baie de Bourgneuf, la préservation des stocks sauvages devrait permettre d'assurer un captage généralement modéré, tant que les conditions hydro-climatiques du printemps et de l'été restent favorables. Lorsque les étapes s'enchaînent parfaitement (fécondité élevée, ponte précoce, été chaud), comme cela a été le cas en 2014, le captage sur ce secteur peut être pléthorique. Mais dans les cas de ponte tardive (printemps frais) avec un développement larvaire dans une eau trop fraîche, le captage devient faible comme ce fut le cas en 2013 et aussi en 2015. Cette très forte variabilité inter-annuelle est peut être aussi à relier aux temps de résidence des masses d'eau dans ce

secteur relativement ouvert. A l'avenir, la mise en œuvre d'un modèle hydrodynamique sur cet écosystème pourrait permettre de mieux comprendre cette variabilité.

- Les pertuis charentais ont la particularité de présenter une forte variabilité spatiale sur le plan du recrutement. En sortie de Charente, le recrutement y est peu variable et ces dernières années, il est très souvent modéré (voire excellent) comme ce fut le cas en 2015. Ce secteur est supposé dépendre d'apport de larves émises par des bancs naturels situés plus du nord (Bernard, 2011). Les bancs sauvages au nord sont donc à préserver. En Seudre, le recrutement 2015 est inférieur aux autres secteurs. Ce site semble se comporter différemment et présente des similarités avec le captage à Arcachon. C'est un secteur qui peut exporter ses larves (Bernard, 2011). La préservation des stocks sauvages en amont dans la Seudre est donc à surveiller, là aussi.
- Pour les secteurs Est et Ouest d'Arcachon, l'année 2015, permet de confirmer que lorsque les conditions climatiques estivales sont trop limites (ici ponte tardive et développement dans une eau plutôt fraîche), le captage est amoindri. La faiblesse de la fécondité (thèse S. Gasmi en cours et Bernard et al., 2014) et le décalage progressif de la date de ponte (David et al., 2016) font partie des questions en cours d'analyse concernant ce secteur.
- Pour la lagune de Thau, la fécondité est toujours un peu faible (liée à une diminution de la concentration en phytoplancton depuis quelques années), mais les performances de la vie larvaire sont généralement très bonnes grâce aux températures élevées. Le succès du recrutement est donc plutôt lié, dans ce secteur, aux pratiques zootechniques nécessairement spécifiques à cet écosystème sans marée. Il semble qu'une localisation judicieuse des zones de collectage associée à une émergence périodique des collecteurs permettent d'optimiser réellement le captage (e.g. Lagarde et al., 2013, 2014).

## 6 Références bibliographiques

**Anonyme (2011)** ICES status report on climate change in the North Atlantic. ICES cooperative Research Report, n°310, September 2011, 182 p.

**Auby I., Maurer D. (2004)** Etude de la reproduction de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon. Rapport Final de Contrat. Rapport Interne Ifremer DEL/AR 04-05.203 p + annexes. <http://www.ifremer.fr/delar/reprodhuitre.htm>

**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 Interne RST.DEL/02.01/ARCAÇON, 22 p. <http://www.ifremer.fr/delar/reprodhuitre.htm>

**Auby I., Maurer D., Connes C., Barbier C., Rumebe M., Rigouin L., Tournaire MP., Simmonnet B., Navarro R. (2012)**. Reproduction de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon. Année 2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00118/22920/>

**Bagusche F., Long S., Trueman C., Pouvreau S., Le Souchu P., Hauton C. (2012)** Impacts of ocean acidification and temperature on gene expression and biomineralisation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* Thunberg, 1793 (Ostreoidae). European Geoscience Union 2012, General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22-27 April 2012. - Poster-

**Bernard I. (2011)** Ecologie de la reproduction de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, sur les côtes françaises : vers une explication de la variabilité du captage. Th. Univ. La Rochelle 193 p. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00040/15155/12492.pdf>

**Bernard I., Le Moine O., Stanisière J.Y., Pouvreau S., Gouletquer P., Dumas F. (2010)** Site selection for stock replenishment using a hydrodynamic model: Example of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* culture in the pertuis charentais. ICES CM2010/A:18, 12p.

**Bernard I., Allain G., Auby I., Plus M., Drean T., Gasmi S., David V., Pouvreau S., Maurer D. (2014)** Etude de la fécondité de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon en 2013 en lien avec la qualité de l'eau. Compte-rendu final du programme FeLiBA. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29002/>

**Bernard I., Massabuau J.-C., Ciret P., Sow M., Sottolichio Aldo, Pouvreau S., Tran D. (2016)** In situ spawning in a marine broadcast spawner, the Pacific oyster *Crassostrea gigas* : Timing and environmental triggers. Limnology and Oceanography, 61, 635-647.

<http://dx.doi.org/10.1002/lno.10240>

**Cassou, C. (2004)**. Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation nord-atlantique. La Météorologie, 45, 21-32.

**Daniel A. (2009)** Document de méthode hydrologie : Consignes pour le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de mesures hydrologiques. Rapport DYNECO/PELAGOS/09.01, 19 p

**David V., Maurer D., Neaud-Masson N., Auby I., Gasmi S., Salvo F., Bernard I., Cassou C., Savoye N., Del Amo Y., Bachelet G., Lesur-Irichabeau G., Péreau J.-C., Pouvreau S. (2016)**. Oysters facing climate change: reproduction anomalies caused by food quality alteration. *In prep*

**Geay A., Bouquet A.L. (2009)** Suivi du recrutement de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en Charente-maritime en 2009 : Rapport de synthèse. Rapport de contrat Creaa-SRC Poitou Charentes, 32 p + annexes. <http://www.creaa.fr/>

**Geay A., Mille D. (2004)** Comparaison de deux méthodes utilisées pour le suivi de la reproduction de l'huître creuse. Rapport interne Creaa 2004. <http://www.creaa.fr/>

**Gohin, F. (2011)** Annual cycles of chlorophyll-a, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and *in-situ* in coastal waters, *Ocean Sci.*, 7, 705-732, doi:10.5194/os-7-705-2011. <http://www.ocean-sci.net/7/705/2011/os-7-705-2011.html>

**Grossel H. (2006)** Manuel d'observation et de dénombrement du phytoplancton marin. Département Environnement, Microbiologie et Phycotoxines. Document de méthode REPHY. 40 p

**His E. (1976)** Contribution à l'étude biologique de l'Huître dans le bassin d'Arcachon, activité valvaire de *Crassostrea angulata* et de *Crassostrea gigas* ; application à l'étude de la reproduction de l'Huître japonaise. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I.

**His E. (1991)** Biologie et écotoxicologie des véligères de *Crassostrea Gigas* (Thunberg) dans le bassin d'Arcachon. PhD Thesis, Université Bordeaux I. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3347/>

**Kuhihara H., Kato S., Ishimatsu A. (2007)** Effects of increased seawater pCO<sub>2</sub> on early development of the oyster *Crassostrea gigas*. *Aquat. Biol.* 1: 91-98. <http://dx.doi.org/10.3354/ab00009>

**Lagarde F., Roque D'Orbecastel 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/>

**Lepennec, M. (1978)** Genèse de la coquille larvaire et postlarvaire chez divers Bivalves Marins. Th. Univ. Bretagne Occidentale, Tome II, 130 p.

**Maurer D., Auby I., Barbier C., Schirr Bonnans I., Tournaire MP., Rumèbe M., Cantin C., Debort H., Cariou T., Navarro R., Simonnet B., Mayer M. (2009a)** Reproduction de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon : Année 2009. RST/LER/AR/09-009, 47 p. <http://www.ifremer.fr/delar/reprodhuitre.htm>

**Maurer D., Auby I., Moran A., Barbier C., Rumèbe M., Tournaire MP., Navarro R., Simonnet B., Navarro R. (2011)** Reproduction de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon : Année 2011. RST/LER/AR/11-009, 61 p.

**Maurer D., Defenouillère P., Auby I. (2009b)** Estimation du captage de naissains dans le bassin d'Arcachon en 2008 : première approche d'une méthodologie nationale dans le cadre du projet Velyger. Rapport Interne Ifremer RST/LER/AR09-004, 25 p.

**Pouvreau S., Bernard I., Le Souchu P., Huvet A., Talarmain E., Auby I., Maurer D., Barbier C., Tournaire MP., D'Amico F., Rumebe M., Neaud-Masson N., Bedier E., Martin AG., Claude S., Langlade A., Bouget JF., Hitier B., Stanisiere JY., Breerette S., Robert S., Guilpain P., Seugnet JL., Guesdon S., Soletchnik P., Le Moine O., Dumas F., Quemener L., Barbot S., Repecaud M., Mille D., Geay A., Bouquet AL. (2011)** Projet Velyger (2008-2010) : Observer, Analyser et Gérer la variabilité du recrutement de l'huître creuse en France. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00054/16489/>

**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'Orbecastel 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. (2013)** Observer, Analyser et

Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger. Rapport annuel 2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00135/24648/>

**Pouvreau S., Petton S., Queau I., Bellec G., Talarmain E., Le Souchu P., Alunno-Bruscia M., Auby I., Maurer D., D'Amico F., Passoni S., Barbier C., Tournaire MP., Rigouin L., Rumebe M., Fleury E., Langlade A., Bouget JF., Collin K., Fortune M., Palvadeau H., Bedier E., Robert S., Pepin JF., Grizon J., Seugnet JL., Chabirand JM., Le Moine O., Guesdon S., Lagarde F., Mortreux S., Le Gall P., Messiaen G., Roque D'Orbcastel E., Quemener L., Repecaud M., Bucas K., Barbot S., Guillemot A., Nonnotte L., Duros W., Bonnat A., Tarot S., Mille D., Geay A., Bouquet AL. (2014).** Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger. Rapport annuel 2013. <http://dx.doi.org/10.13155/31091>

**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 MP., Rigouin L., Rumebe M., Fleury E., Fouillaron P., Bouget JF., Robert S., Pepin JF., Grizon J., Seugnet JL., Chabirand JM., 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. Rapport annuel 2014. <http://dx.doi.org/10.13155/38990>

**Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., Kaplan A. (2003)** Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century J. Geophys. Res. Vol. 108, No. D14, 4407, 29 pp. <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002670>

**Rayssac, N., Pérignon, A., Gervasoni, E., Pernet, F., Le Gall, P., & Lagarde, F. (2011)** Projet PRONAMED 2010-2011: Évaluation du potentiel d'approvisionnement naturel en naissains d'huîtres creuses en Méditerranée. Rapport final de contrat. 88 p.

**Rico-Villa B., Bernard I., Robert R., Pouvreau S. (2010)** A Dynamic Energy Budget (DEB) growth model for Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. Aquaculture, 305 (1-4), 84-94.  
Publisher's official version : <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.018>  
Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00009/11996/>

**Rico-Villa B., Pouvreau S., Robert R. (2009)** Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. Aquaculture, 287 (3-4), 395-401.  
Publisher's official version : <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.054>  
Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/4747/>

**Thomas Y., Pouvreau S., Alunno-Bruscia M., Barillé L., Gohin F., Bryère P., Gernez P. (2016).** Global change and climate-driven invasion of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) along European coasts: a bioenergetics modelling approach. Journal of Biogeography, 43, 568-579.