

Département 'Ressources Biologiques et Environnement' - RBE  
 Unité 'Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins' - PFOM  
 Laboratoire 'Physiologie des Invertébrés' - LPI  
 S. Pouvreau, S. Petton, I. Queau, G. Bellec, E. Talarmain, P. Le Souchu, M. Alunno-bruscia

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, A. Langlade, J.F. Bouget, K. Collin, M. Fortune, H. Palvadeau, E. Bédier  
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Poitou-Charentes' - LER PC  
 S. Robert, J.F. Pépin, J. Grizon, J.L. Seugnet, J.M. Chabirand, O. Le Moine, S. Guesdon  
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Langedoc-Roussillon' - LER LR  
 F. Lagarde, S. Mortreux, P. Le Gall, G. Messaien, 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  
 Service 'Electronique Informatique et Mesures in situ' - EIM  
 K. Bucas, S. Barbot, A. Guillemot

Département 'Infrastructures Marines et Numériques' - IMN  
 Unité 'Informatique et Données Marines' - IDM  
 Service 'Systèmes d'Information Scientifiques pour la Mer' - SISMER et ALTRAN  
 L. Nonnotte, W. Duros, A. Bonnat, S. Tarot

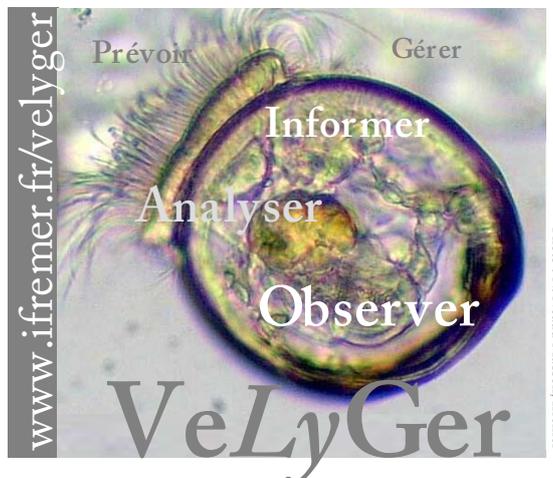
Centre Régional Expérimentation et Application Aquacole - CREEA  
 D. Mille, A. Geay, A.L. Bouquet.

Réf : R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2014-1



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

## Le Réseau VELYGER



- Rapport annuel 2013 -

Coordination - Rédaction : Stéphane Pouvreau

Mars 2014

# Préambule

Le Réseau VELYGER a été créé en 2008 sur sollicitation du Comité National de la Conchyliculture (CNC). Piloté par l'Ifremer, ce projet a bénéficié pour son lancement de fonds d'état par la direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) et de fonds 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 fonds nationaux de la DPMA.



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, Astérie et Ael Plancton ;
- la participation des professionnels-ostréiculteurs de 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 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>

Dans la pratique, le réseau VELYGER est associé au réseau RESCO 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)

# 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 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 les années 2002, 2005, 2007) ou faible (2009, 2010, 2011) succèdent des années excellentes voire pléthoriques (les années 2003, 2006, 2008, 2012, 2013). 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 avec succès le captage, 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 l'étang 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 fonds 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 2013 de ce réseau d'observation et fait appel, pour la partie hydro-climatique, à des observations acquises par d'autres réseaux régionaux et nationaux. Il détaille toutes les caractéristiques par secteur 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 2013 par secteur et à la lueur des résultats des années antérieures.

Ainsi, pour l'année 2013, on retiendra les faits majeurs suivants :

- L'année 2013 a été très contrastée. Un printemps particulièrement frais et généralement humide (mois de juin inclus) a fait suite à un hiver tardif alors que l'été a été ensoleillé et plutôt chaud. Les concentrations en phytoplancton ont été dans les normes avec toujours l'existence d'un gradient Nord-Sud : elles sont plutôt élevées en rade de Brest, baie de Bourgneuf et bassin de Marennes Oléron et plutôt faible dans le bassin d'Arcachon et l'étang de Thau. En outre, tout au long du printemps et jusqu'au mois de juillet, les températures de l'eau ont été toujours inférieures aux normales (excepté dans l'étang de Thau).
- Ces conditions hydro-climatiques ont imprimé un gradient dans la maturation et la fécondité des huîtres adultes avec un indice de condition très élevé en rade de Brest, en baie de Bourgneuf, et dans le bassin de Marennes Oléron et plutôt faible dans le bassin d'Arcachon et l'étang de Thau. En outre, le déficit thermique marqué jusqu'en juillet s'est traduit par une ponte très tardive sur l'ensemble des écosystèmes de la côte atlantique : par exemple, elle est survenue au 25 août en baie de Bourgneuf, ce qui constitue une valeur record. Malgré tout, quelques pontes partielles et asynchrones ont été observées sur certains écosystèmes en juillet.
- Grâce à des températures très favorables en juillet et favorables en août, la plupart des cohortes larvaires présentes à cette période (rade de Brest, bassin d'Arcachon et étang de Thau) ont eu une survie normale à bonne (e.g. 0.2 à plus de 1 %), ce qui s'est traduit par un captage bon à excellent, avec une forte variabilité dans l'étang de Thau (cf paragraphe ci-dessous). Par contre, pour la baie de Bourgneuf et les pertuis Charentais, l'arrivée trop tardive des larves à la fin août dans une eau fraîche (< 20°C) n'a pas permis une survie favorable (autour de 0.01 %) ce qui s'est traduit par un captage tout juste modéré, faible voir nul selon les secteurs.
- En conséquence, l'année 2013, se caractérise par un captage très variable géographiquement : « bon voire excellent » en rade de Brest (de 138 à 245 naissains/coupelle) et dans le bassin d'Arcachon (de 177 à 429 naissains/coupelle), modéré dans le bassin de Marennes-Oléron (de 25 à 52 naissains/coupelle) et faible en baie de Bourgneuf (< 5 naissains/coupelle).

Ce rapport montre aussi que l'étang de Thau joue un rôle d'exception. Malgré une ponte d'intensité normale, des abondances de larves élevées et une bonne survie des cohortes, le captage 2013 y est très variable ce qui positionne l'étang de Thau en dehors du modèle de fonctionnement admis pour le cycle de reproduction de l'huître creuse sur la façade atlantique. Il semble que, sur ce site, la métamorphose constitue un verrou biologique qui peut être levé en utilisant des pratiques zootechniques adaptées à ce site particulier. Cette optimisation des pratiques zootechniques fait l'objet d'un projet régional : le projet PRONAMED.



# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Organisation du réseau VELYGER</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Matériel, Méthode, Mise en Œuvre</b>	<b>9</b>
2.1.1	Sites étudiés	9
2.1.2	Paramètres suivis	9
<b>2.2</b>	<b>Gestion et Analyse des données</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Principaux résultats de l'année 2013</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Conditions climatiques générales</b>	<b>16</b>
3.1.1	Température de l'air	16
3.1.2	Pluviométrie	18
<b>3.2</b>	<b>Données hydrologiques</b>	<b>20</b>
3.2.1	Température de l'eau de mer	20
3.2.2	Salinité et débits des rivières	21
3.2.3	Concentration en phytoplancton	23
3.2.4	pH et acidification de l'océan	25
<b>3.3</b>	<b>Maturation, indice de condition et fécondité</b>	<b>26</b>
3.3.1	Comparaison spatio-temporelle	26
3.3.2	Indice de condition et abondance de larves	28
3.3.3	Facteurs d'explications : le phytoplancton	28
<b>3.4</b>	<b>Date de ponte</b>	<b>29</b>
3.4.1	Valeurs 2013	30
3.4.2	Séries historiques	30
<b>3.5</b>	<b>Abondance, développement et survie des larves</b>	<b>32</b>
3.5.1	Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire	32
3.5.2	Durée du développement larvaire	35
3.5.3	Survie larvaire	36
3.5.4	Larves grosses et intensité du captage	37
<b>3.6</b>	<b>Estimation précoce du recrutement</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>Synthèse</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Schéma général</b>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>Bilan par secteur</b>	<b>45</b>
4.2.1	Rade de Brest - secteurs Daoulas et Faou	45
4.2.2	Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie et Coupelasse	46
4.2.3	Bassin de Marennes Oléron - secteurs Charente et Centre	47
4.2.4	Bassin de Marennes Oléron - secteur Seudre	48
4.2.5	Bassin d'Arcachon - secteurs Est et Ouest	49
4.2.6	Etang de Thau	50
<b>5</b>	<b>Conclusion et recommandations</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Références bibliographiques</b>	<b>53</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% sur 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 de l'année 2013.

Le naissain utilisé en France provient soit d'écloseries soit du captage naturel. Désormais quatre sites ostréicoles en France pratiquent le captage naturel de l'huître creuse. 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, Pouvreau *et al.*, 2013). Enfin, la volonté de développer le captage dans l'étang de Thau se concrétise depuis 3 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).

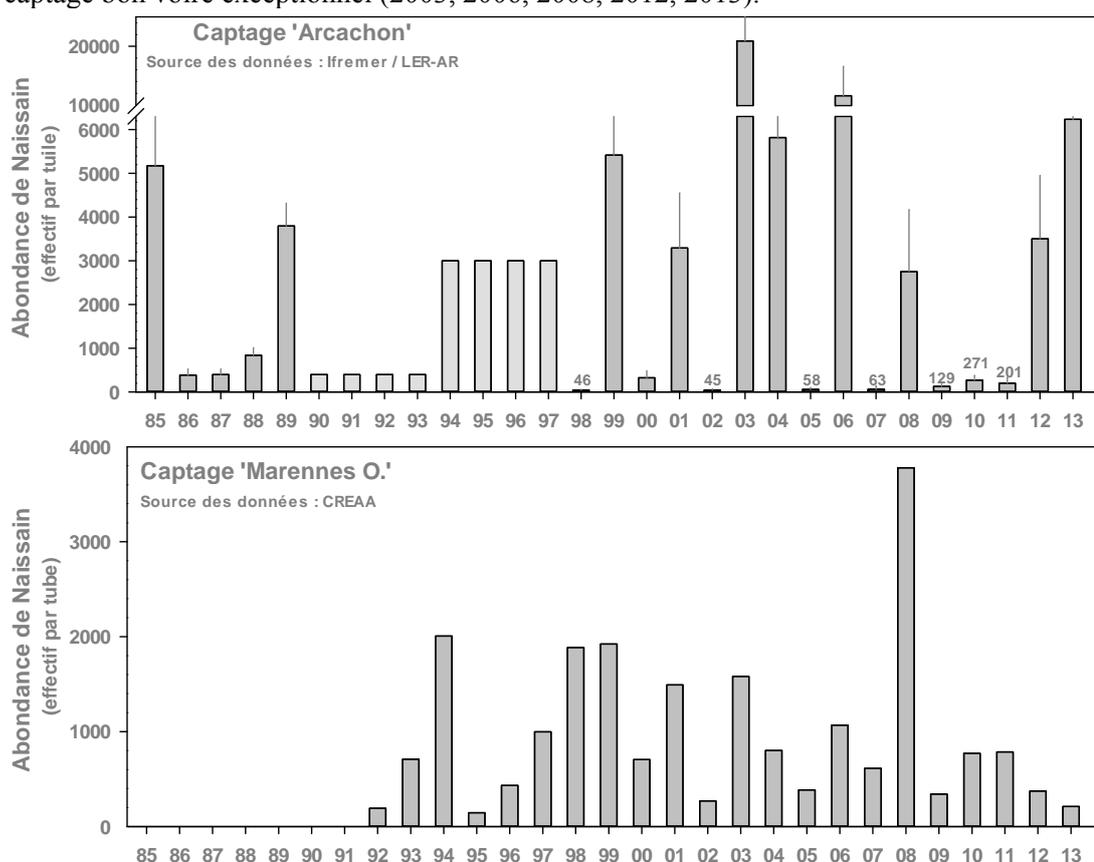


Figure 1 : Série historique de recrutement sur collecteur (captage) dans les bassins d'Arcachon et de Marennes Oléron depuis les années 1985. Pour Arcachon, les données sont obtenues annuellement sur la base d'un échantillonnage à l'échelle du bassin par la station Ifremer d'Arcachon (de 1990 à 1997, les valeurs mentionnées résultent juste d'une estimation approximative par enquête et n'ont qu'une valeur indicative). Pour Marennes Oléron, il s'agit de données issues d'un parc de captage géré par le CREAA. Ce parc est localisé au sud de l'estuaire de la Charente (St Froult jusqu'en 1997 et Les Longées à partir de 1998).

Pour mieux comprendre les causes de cette variabilité et à la demande 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>

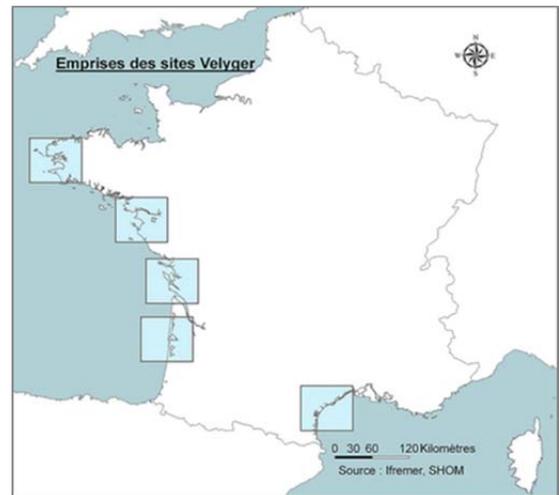
Ce projet a permis la création d'un véritable réseau national d'observation de la reproduction de l'huître creuse, de nature fédérative et composite, piloté par le Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (basé à Brest et Argenton), associant les Laboratoires Environnement Ressources de l'Ifremer (Arcachon, Poitou-Charentes et Morbihan Pays de Loire), le Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole du Château d'Oléron (CREAA), faisant appel à 3 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 METEO-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.

En termes opérationnels, adossé à un portail Internet temps réel, 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 étang 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).

Les données issues de ce réseau intéressent : (1) la profession ostréicole, en leur 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 uniques 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 de cette filière économique traditionnelle.



**Figure 2 : Sites suivis dans 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 2013, fournit une synthèse élaborée à la lueur des résultats antérieurs et apporte une série de recommandation pour chaque secteur d'étude.

## 2 Organisation du réseau VELYGER

### 2.1 Matériel, Méthode, Mise en Œuvre

#### 2.1.1 Sites étudiés

Le réseau 'VELYGER' est un dispositif d'observation de la reproduction intégré au réseau RESCO, l'ensemble constituant un véritable Observatoire National 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 étang 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

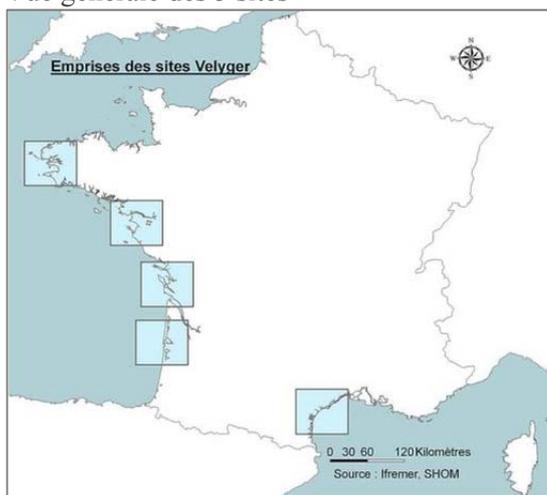
Pour chaque site VELYGER, la description du cycle de reproduction de l'huître creuse se fait sur la base de 3 descripteurs biologiques associés à l'analyse des conditions environnementales (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste des descripteurs suivis sur chaque site atelier VELYGER.

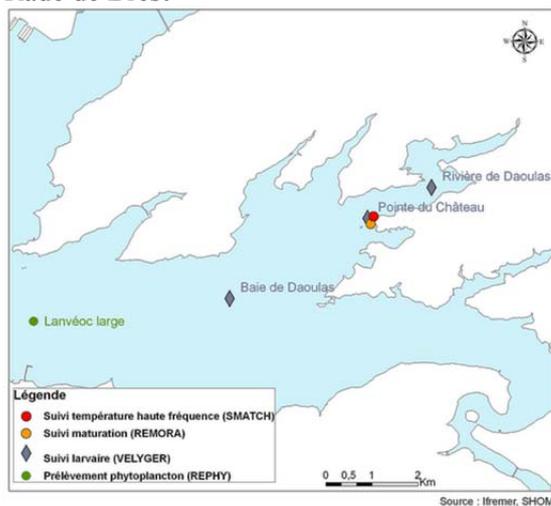
Paramètres suivis	Description	Période et Fréquence d'échantillonnage	Méthode
<u>Descripteur A</u>	<i>Suivi annuel de la croissance et de la maturation d'un lot d'huîtres sentinelles</i>	Mensuel à bi-mensuel en été	Prélèvement aléatoire puis dissection & biométrie en laboratoire (protocole Remora)
<u>Descripteur 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)

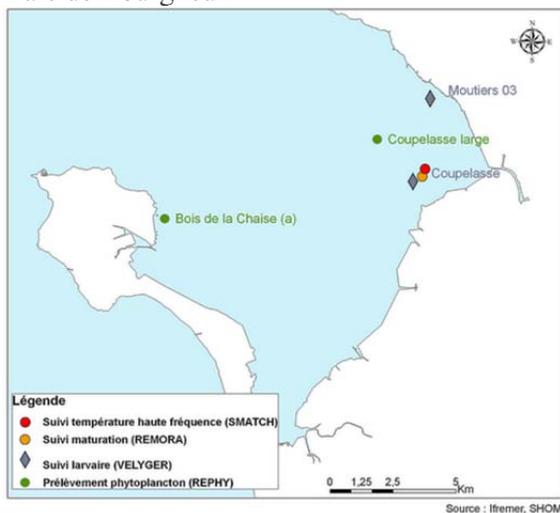
Vue générale des 5 sites



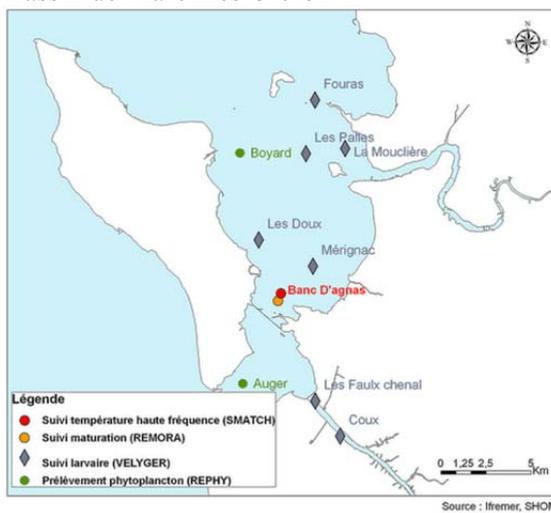
Rade de Brest



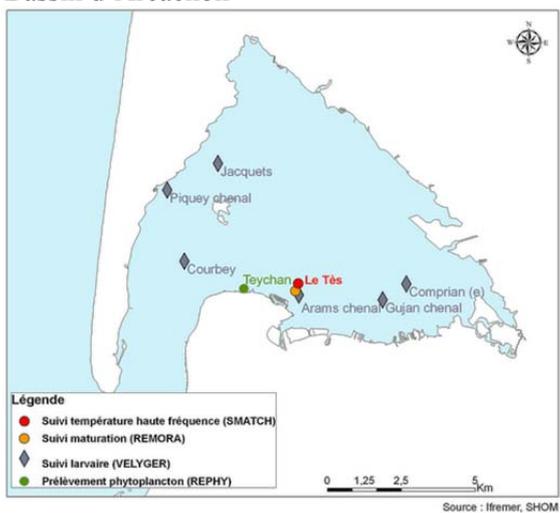
Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon



Etang de Thau

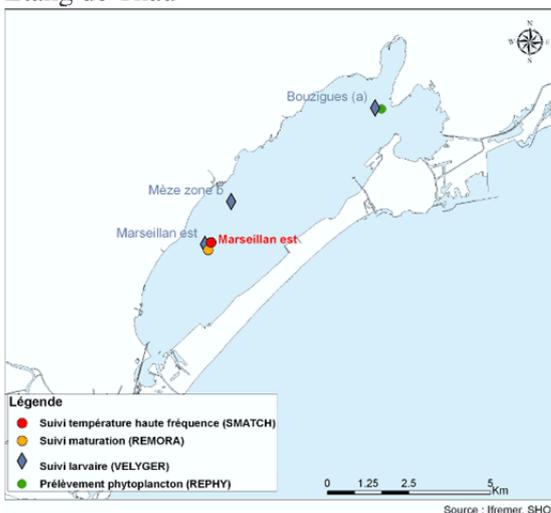


Figure 3 : Présentation des 5 sites du réseau d'observation de la reproduction de l'huître creuse (réseau VELYGER). Ces 5 sites font partie, avec le Réseau RESCO, des 13 sites de l'observatoire national conchylicole piloté par l'Ifremer.

### 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'une population sentinelle d'huîtres placée, au sein de chaque site atelier, dans une station considérée représentative en termes de maturation des cheptels. Plus précisément, sur chaque site VELYGGER, le choix géographique de la station repose sur les critères suivants :

- proximité d'un stock important de géniteurs;
- 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 de 'D'Agnas', pour le bassin d'Arcachon, il s'agit du site de 'Tés' et enfin pour l'étang de Thau, il s'agit du site de 'Marseillan'. Ces points sont signalés en orange sur la Figure 3. Ces 5 sites font partie des 13 sites du réseau RESCO.

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 par le réseau 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 masse de matière sèche de chair obtenue après dissection de 30 individus, lyophilisation et pesée individuelle de leur chair. 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 VELYGGER 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 des professionnels 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 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>).

- Pour chaque stade larvaire, le résultat retenu est la somme des valeurs dénombrées dans les deux fractions. Les concentrations sont exprimées pour 1,5 m<sup>3</sup> et le seuil de détection est de 20 à 100 larves/1,5 m<sup>3</sup> selon la dilution utilisée pour la lecture.
- L'ensemble des données est ensuite saisi et archivé dans la base nationale Quadrige sous 24 h, permettant la mise à disposition de l'information sur le site Internet de VELYGER dans les 48 h suivant la sortie en mer.

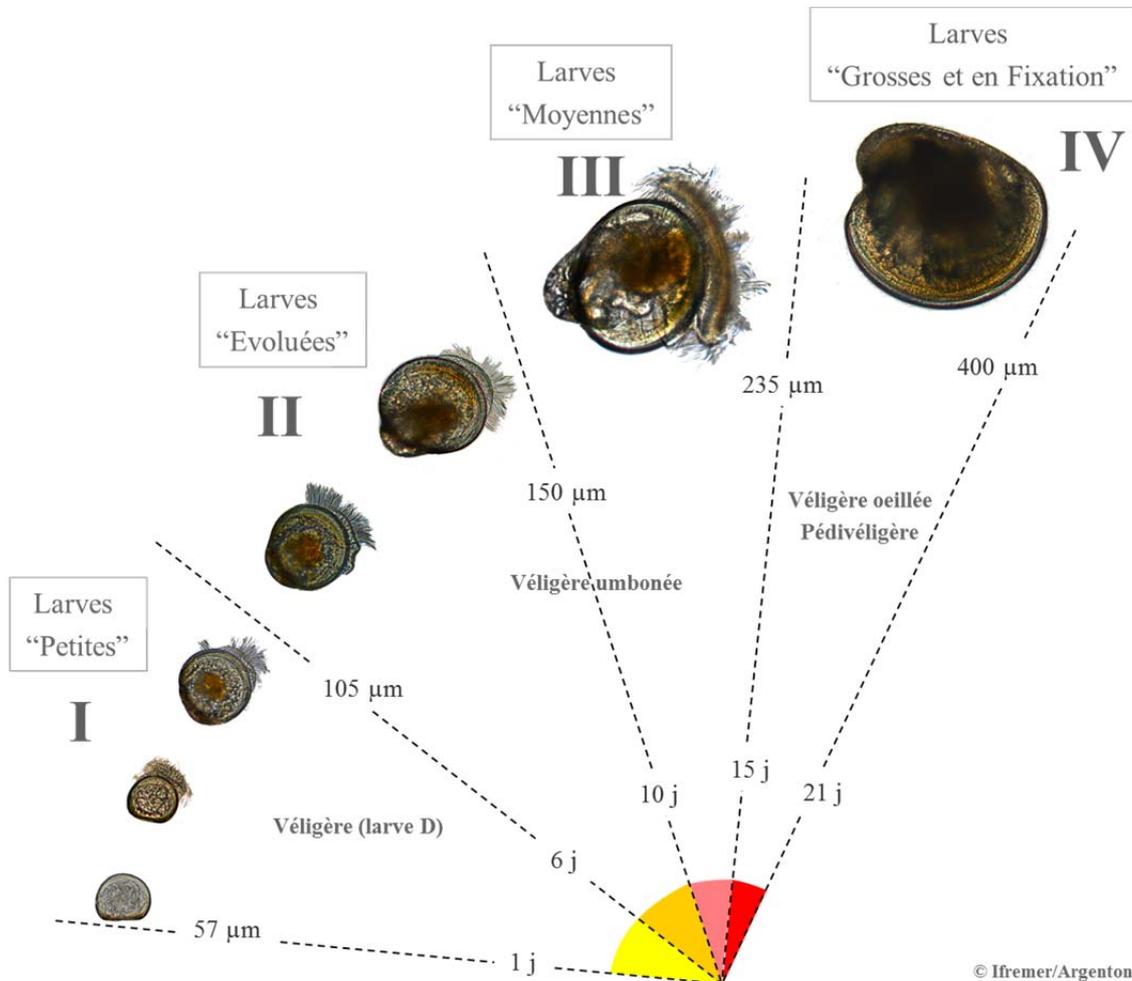


Figure 5 : Planche de détermination des stades larvaires chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Pennec (1978) et His (1991). Certains laboratoires (e.g. Ifremer Arcachon) distinguent un stade V pour les larves grosses 'en fixation'. Pour les autres sites, ce stade n'est pas identifié et ces larves sont répertoriées dans le stade IV. L'âge est donné à titre indicatif, il est fonction de la température et de la concentration en nourriture. Légende : H est la hauteur (mesurée de l'extrémité de la charnière au bord opposé de la coquille, cette mesure correspond aussi à la largeur, e.g. Le Pennec, 1978). La hauteur (=largeur) et la longueur sont précisées en µm sur les photos. Photos : © Ifremer/Argenton.

### 2.1.2.3 Estimation automnale du captage

En complément, un **troisième descripteur** (C, Tableau 1) permet d'estimer, en automne, l'intensité du recrutement. Ce descripteur fournit donc l'abondance du captage à un instant donné et, en l'occurrence, à l'issue de la saison de reproduction. Il a pour vocation de 'qualifier' le succès biologique du recrutement du cycle de reproduction de l'année écoulée. Mais, compte tenu des très forts risques de mortalités lors de la première année de vie de l'huître creuse, cet indice n'a pas pour vocation à quantifier la quantité de naissains disponible au printemps de l'année suivante.

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 Quadrigé<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 Quadrigé2, 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 2013

#### 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, l'évolution de la température de l'air en 2013 (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).

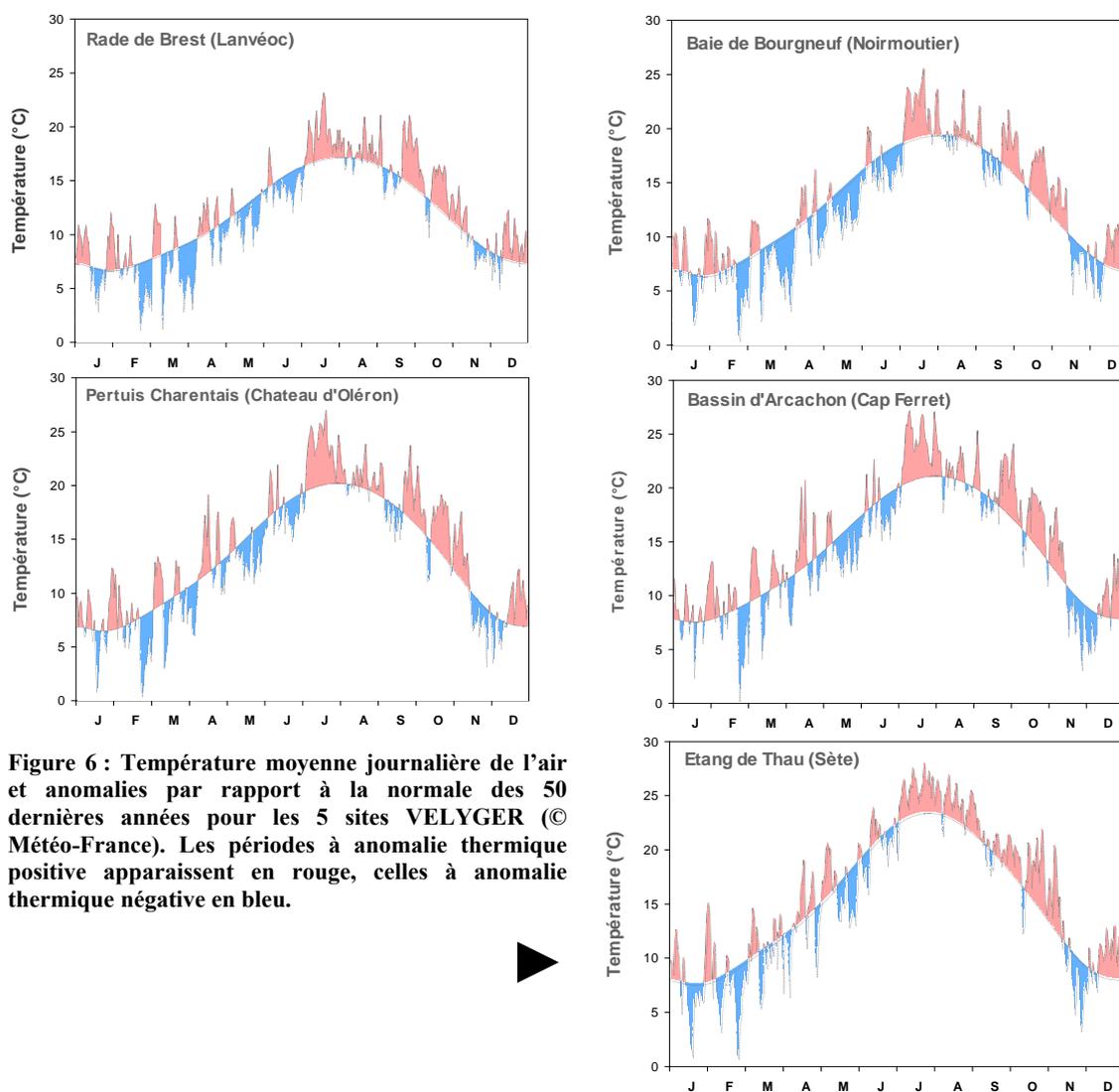


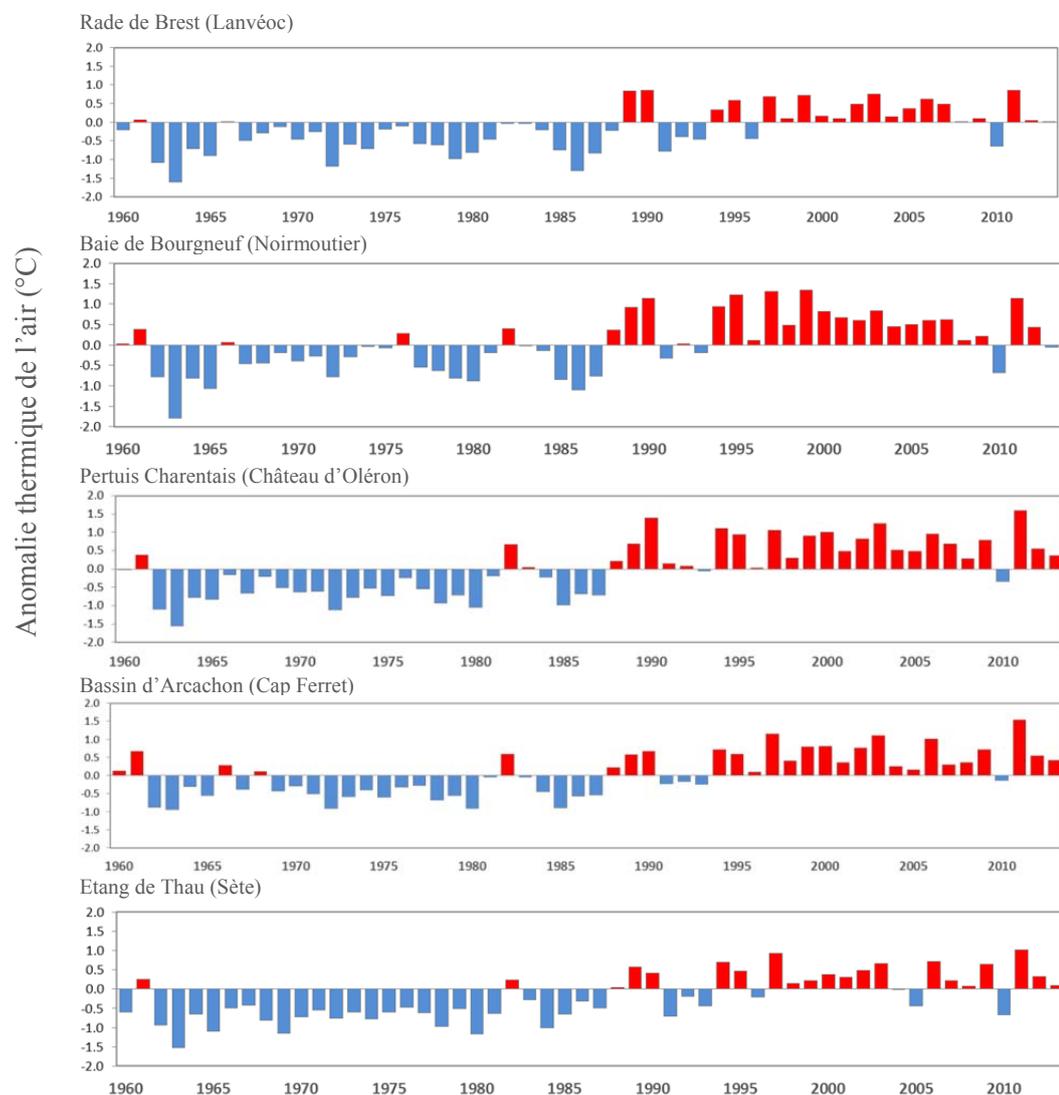
Figure 6 : Température moyenne journalière de l'air et anomalies par rapport à la normale des 50 dernières années pour les 5 sites VELYGER (© Météo-France). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.

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

- En hiver, les mois de janvier à mars ont été plutôt dans les normes, avec une période relativement froide en février;

- Le printemps a été particulièrement frais tout au long de la période y compris au mois de juin. Ainsi, à l'exception de la deuxième quinzaine d'avril, on ne relève que des températures inférieures aux normales. Cette caractéristique est toutefois plus marquée sur les sites nord (rade de Brest, baie de Bourgneuf et pertuis Charentais) que sur les sites sud (bassin d'Arcachon et étang de Thau).
- L'été n'a réellement commencé qu'au 7 juillet. On relève tout au long du mois de juillet des valeurs au-dessus des normales de plus de 3°C y compris en rade de Brest. En août, les températures reviennent plus proches des normales avec une période plus fraîche début septembre. Enfin, la fin de l'été est à nouveau marquée par des températures élevées.
- Tout l'automne est ensuite marqué par des températures supérieures aux normales, à la seule exception du mois de novembre.

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 si l'année 2013 s'inscrit toujours dans la tendance au réchauffement enregistrée depuis les années 1990, elle présente néanmoins une anomalie positive faible, voire proche de 0°C.



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

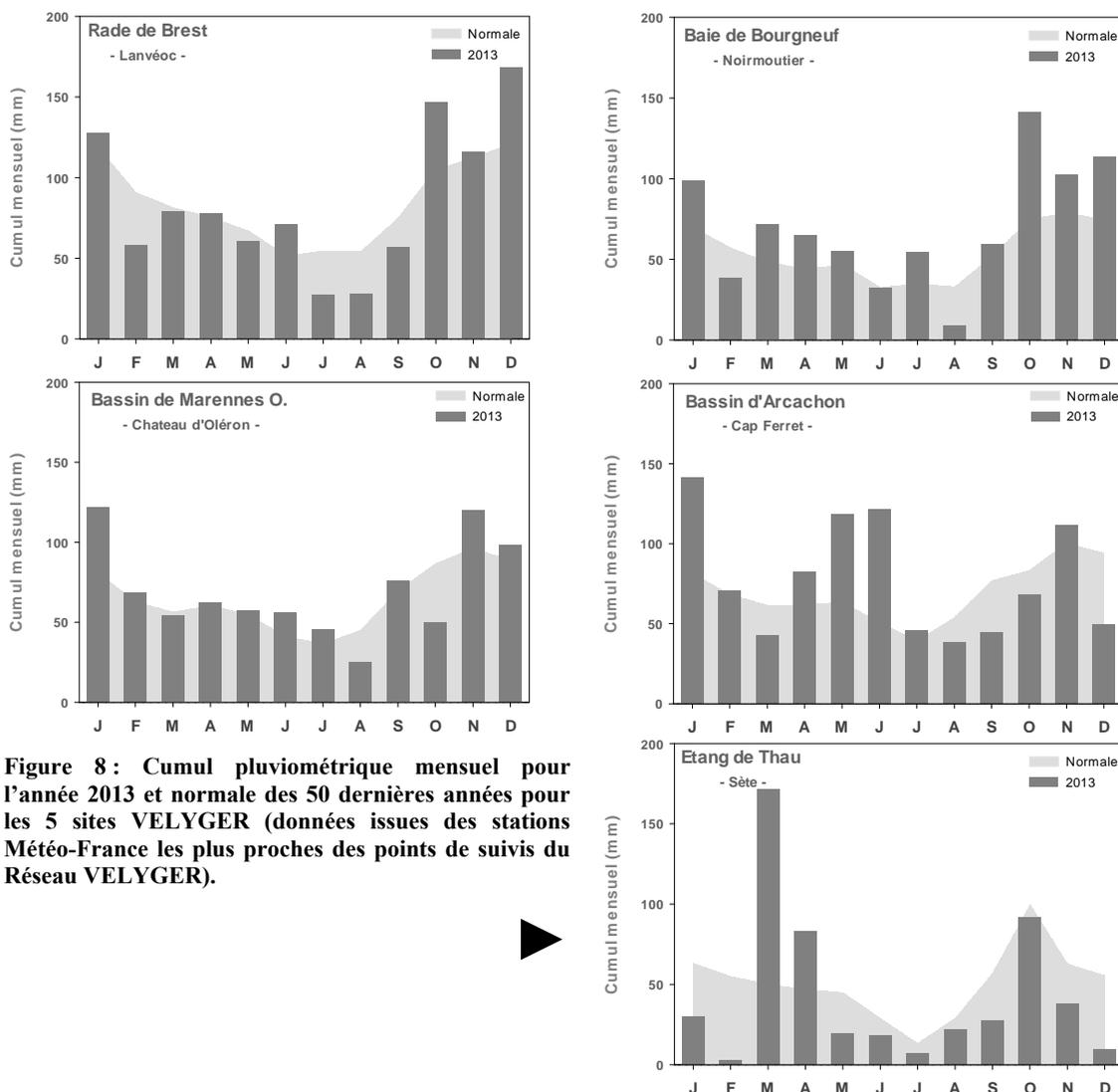
Ainsi, l'année 2013 apparaît comme une année très contrastée avec un premier semestre froid notamment au printemps et un second semestre au-dessus des normales : cette caractéristique place donc 2013, sur le plan annuel, comme une année proche des normales.

### 3.1.2 Pluviométrie

La Figure 8 présente, de façon synthétique, les cumuls mensuels de pluie relevés en 2013 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 proches des normales.
- Au printemps, les cumuls de pluie se situent dans les normales ou excédentaires selon les secteurs : on retiendra les fortes anomalies positives pour Thau en mars et Arcachon en mai et juin.
- En été, les cumuls mensuels reviennent dans les normes ; on observe même des valeurs déficitaires en rade de Brest tout au long de l'été.
- En automne, les cumuls redeviennent à nouveau excédentaires et ce tout au long de l'automne sur tous les sites de façade atlantique. Seul l'étang de Thau présente des valeurs inférieures aux normales en novembre et décembre.

Ainsi, l'année 2013, apparaît comme une année plutôt humide avec des épisodes de fortes pluies à l'exception de l'été, qui se caractérise selon les sites par une situation normale voire déficitaire.



En complément, la Figure 9 présente l'anomalie annuelle 2013 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 2013 s'inscrit bien comme une année plutôt humide plus ou moins marquée selon les secteurs :

- Il s'agit clairement d'une année humide pour la baie de Bourgneuf, les pertuis Charentais et le bassin d'Arcachon.
- Il s'agit par contre d'une année proche des normales en rade de Brest et dans l'étang de Thau ;

En outre, tout comme 2012, l'année 2013 se différencie clairement de l'année 2011 qui avait été marquée par un déficit pluviométrique élevé, sur l'ensemble des sites.



**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, 2011).

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 2013 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 plutôt supérieure aux normales (à l'exception de l'étang de Thau), avec des anomalies de l'ordre de +2°C ;
- Le printemps présente des anomalies négatives **sur quasiment toute la période**, à l'exception de l'étang de Thau qui présente des valeurs proches des normales ;
- L'été se caractérise par un retour à des températures normales voire excédentaires surtout en juillet, avec des anomalies de +3°C en rade de Brest par exemple. L'étang de Thau présente des valeurs particulièrement élevées tout au long de l'été. A noter des conditions un peu plus fraîches sur la première quinzaine de septembre.
- L'automne se positionne aussi au-dessus dans les normales à l'exception du mois de novembre.
- D'une façon plus générale, on retiendra un printemps particulièrement froid qui contraste avec un été plutôt chaud en juillet et août.

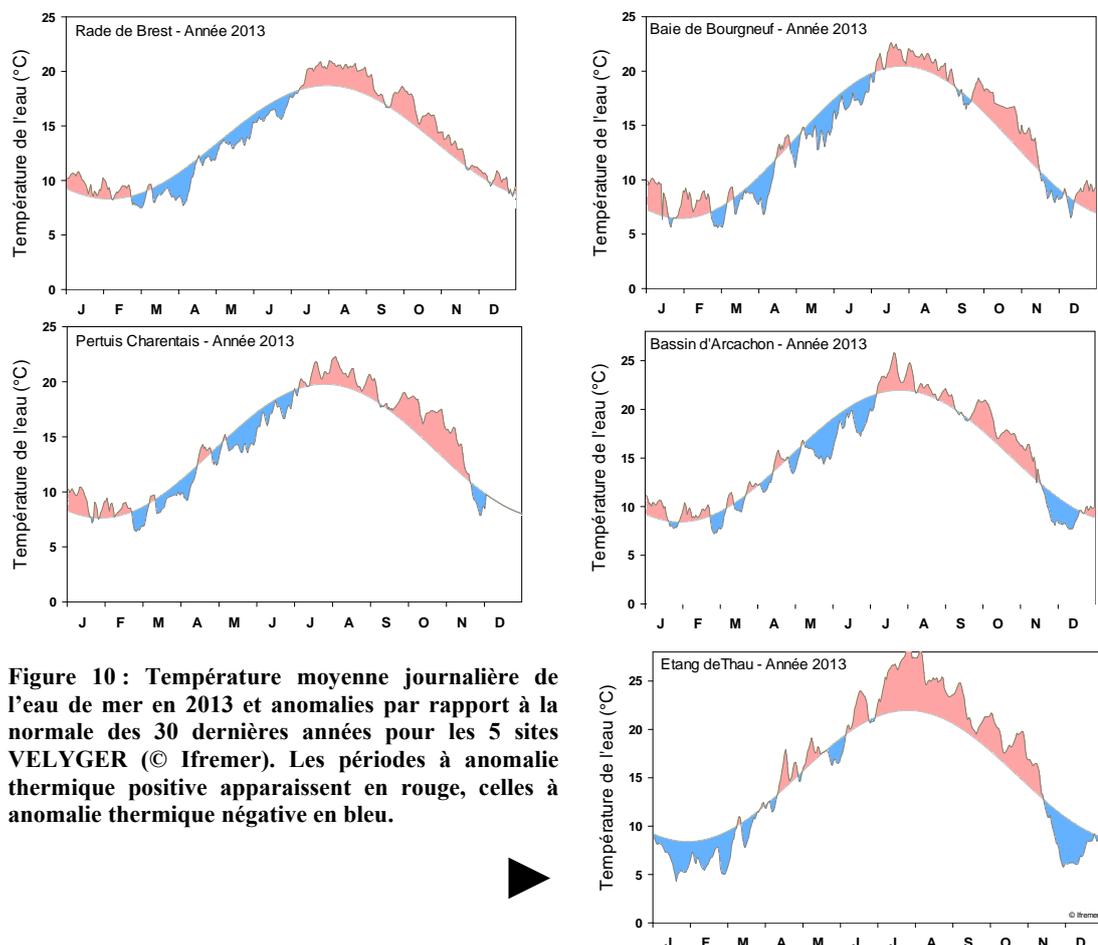


Figure 10 : Température moyenne journalière de l'eau de mer en 2013 et anomalies par rapport à la normale des 30 dernières années pour les 5 sites VELYGER (© Ifremer). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.

### 3.2.2 Salinité et débits des rivières

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). Il apparaît clairement que la salinité, au cours de l'année 2013, se caractérise, de façon plus ou moins marquée selon les sites, par des fortes dessalures correspondant à des épisodes de crue qui sont survenus :

- Soit au cours de l'hiver (e.g. baie de Bourgneuf, pertuis Charentais et bassin d'Arcachon) ;
- Soit au cours du printemps : c'est le cas pour tous les secteurs en avril, mai ou juin. Il convient de noter le caractère exceptionnel des crues survenues au mois de juin dans le bassin d'Arcachon.

Il faut attendre le milieu voire la fin de l'été pour retrouver des conditions de salinité normales dans tous les secteurs : le premier semestre de l'année 2013 aura donc été marqué par des conditions particulièrement humides sur la plupart des écosystèmes puis un retour à la normale au cours de l'été.

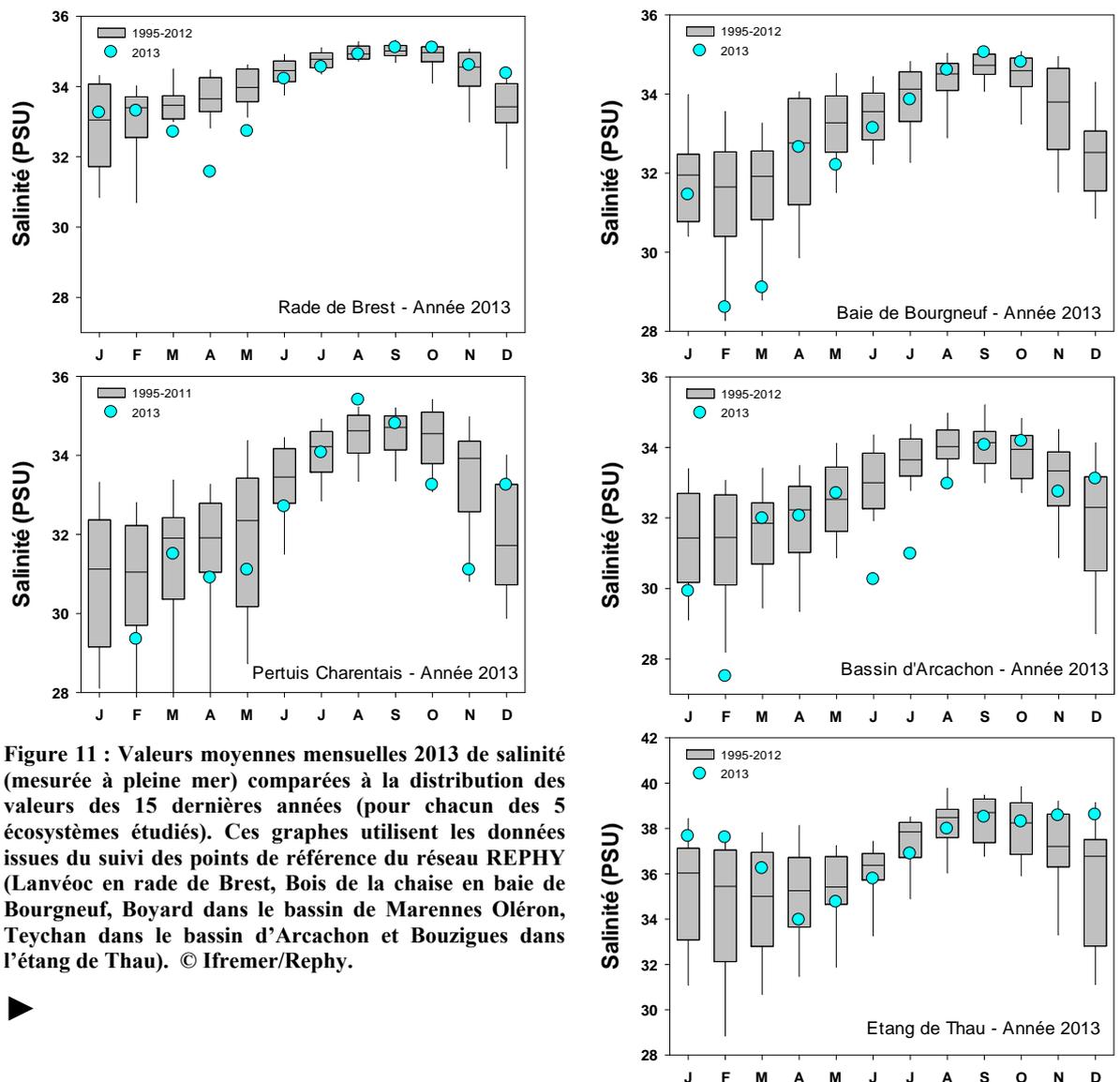


Figure 11 : Valeurs moyennes mensuelles 2013 de salinité (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Bois de la chaise en baie de Bourgneuf, Boyard dans le bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le bassin d'Arcachon et Bouzigues dans l'étang de Thau). © Ifremer/Rephy.



<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.

En complément, la Figure 12 montre l'évolution des débits des principaux fleuves et rivières alimentant les écosystèmes étudiés dans le cadre du Réseau VELYGER (excepté étang de Thou). Conjointement à l'analyse des anomalies de pluviométrie et de salinité abordée précédemment, cette figure révèle les 2 points majeurs suivants :

- Les débits 2013 sont élevés et se situent parmi les 3 valeurs les plus fortes enregistrées depuis 1990, à l'exception de la rade de Brest, pour laquelle les valeurs sont un peu moins exceptionnelles ;
- En termes de variabilité décennale, on constate une périodicité dans les débits qui peut être mis en relation avec les fluctuations des grands régimes climatiques régnant sur l'Atlantique Nord et notamment le régime NAO+ (e.g. Cassou, 2004)

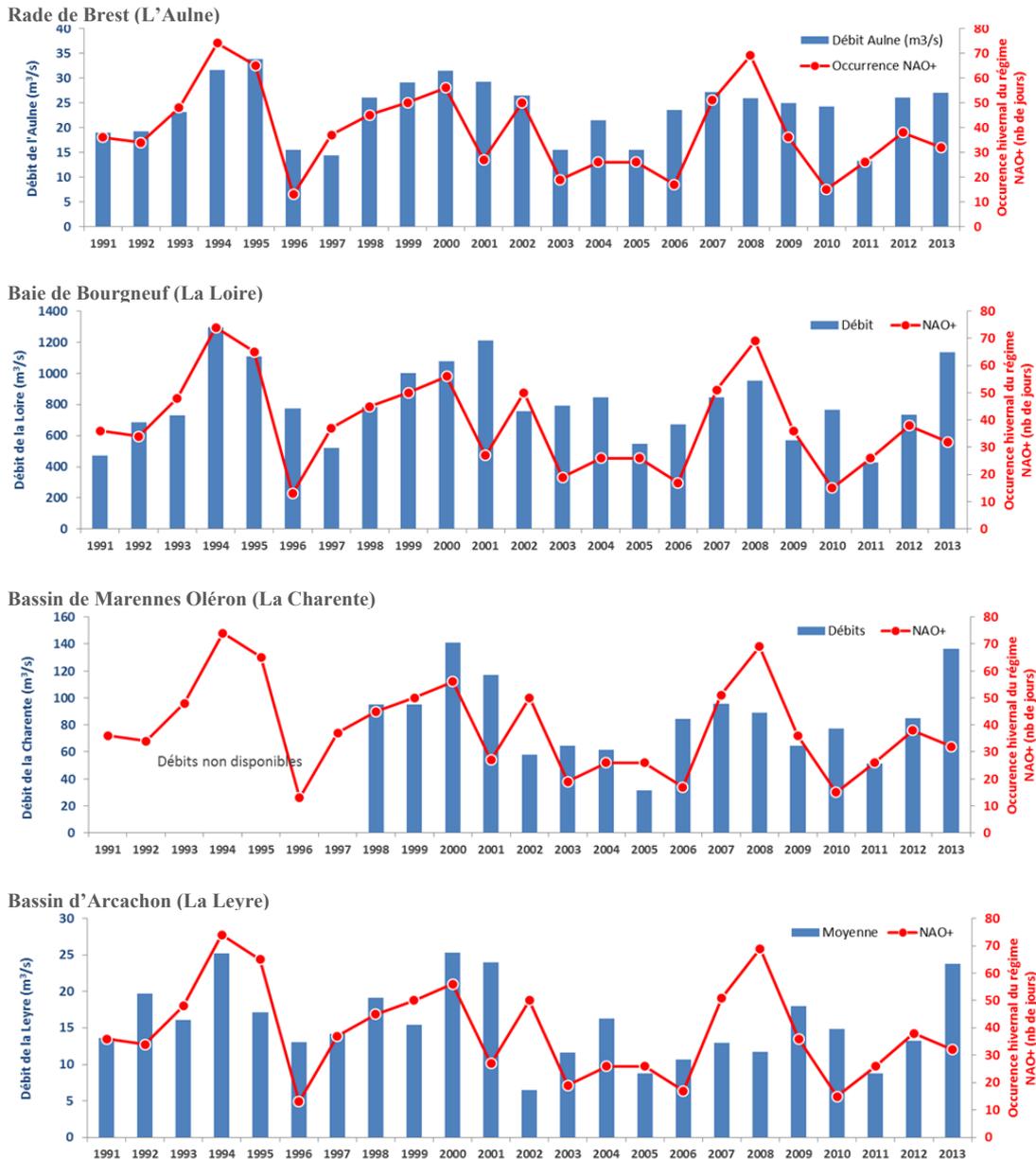


Figure 12 : Evolution décennale des débits des principaux fleuves et rivières (moyenne annuelle) depuis les années 1990 sur les 4 sites VELYGER de la côte atlantique et fluctuations du régime climatologique NAO+ régnant sur l'atlantique Nord (voir description des régimes climatologiques dans Cassou, 2004). Notez la concordance entre les fluctuations décennales du régime NAO+ et les débits des principaux fleuves et rivières.

### 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 régle 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). Le phytoplancton est étudié ici *via* l'utilisation de deux proxys complémentaires : la chlorophylle *a* et le dénombrement cellulaire (associé à la composition phytoplanctonique).

La Figure 13 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 15 dernières années.

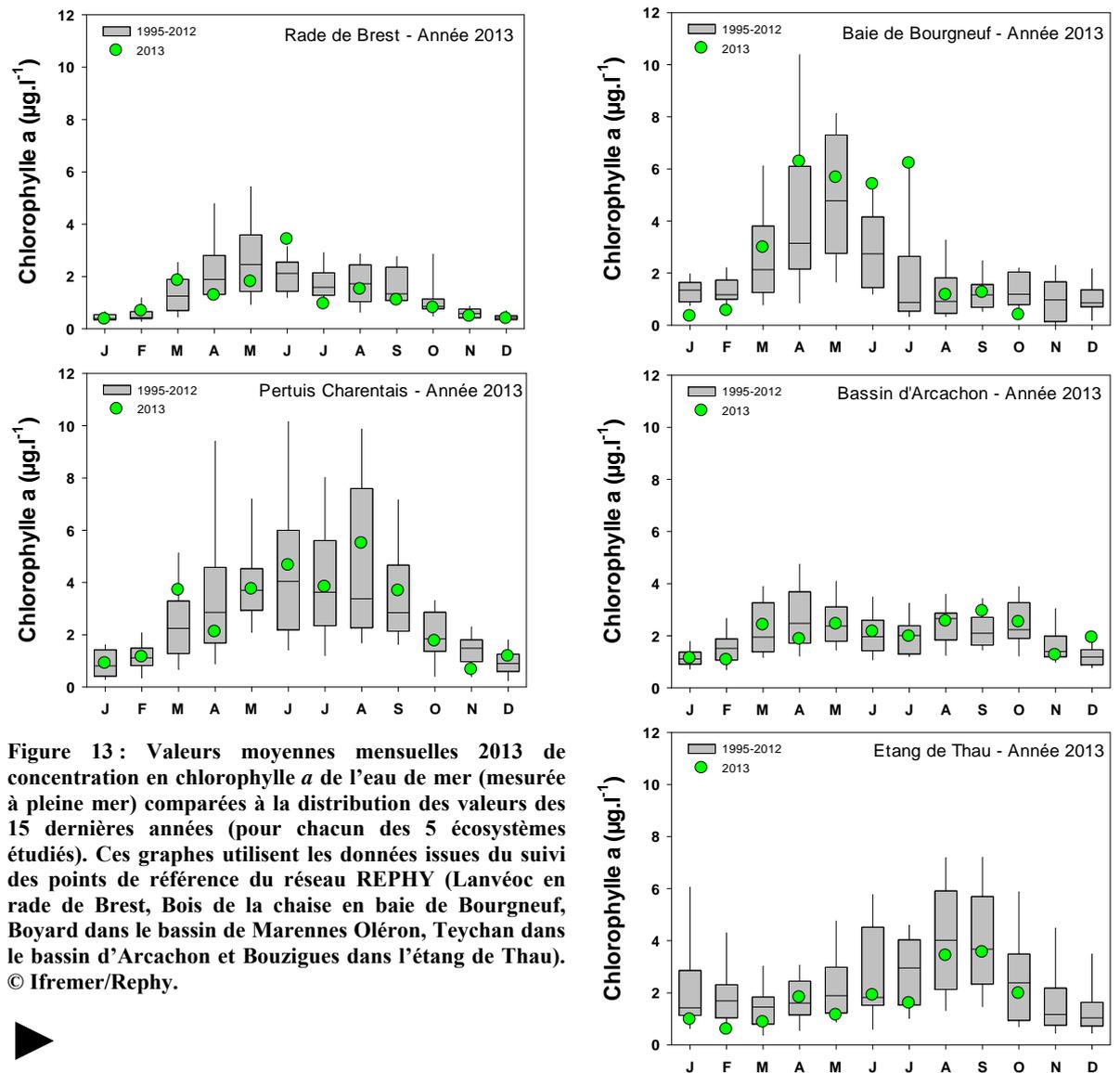
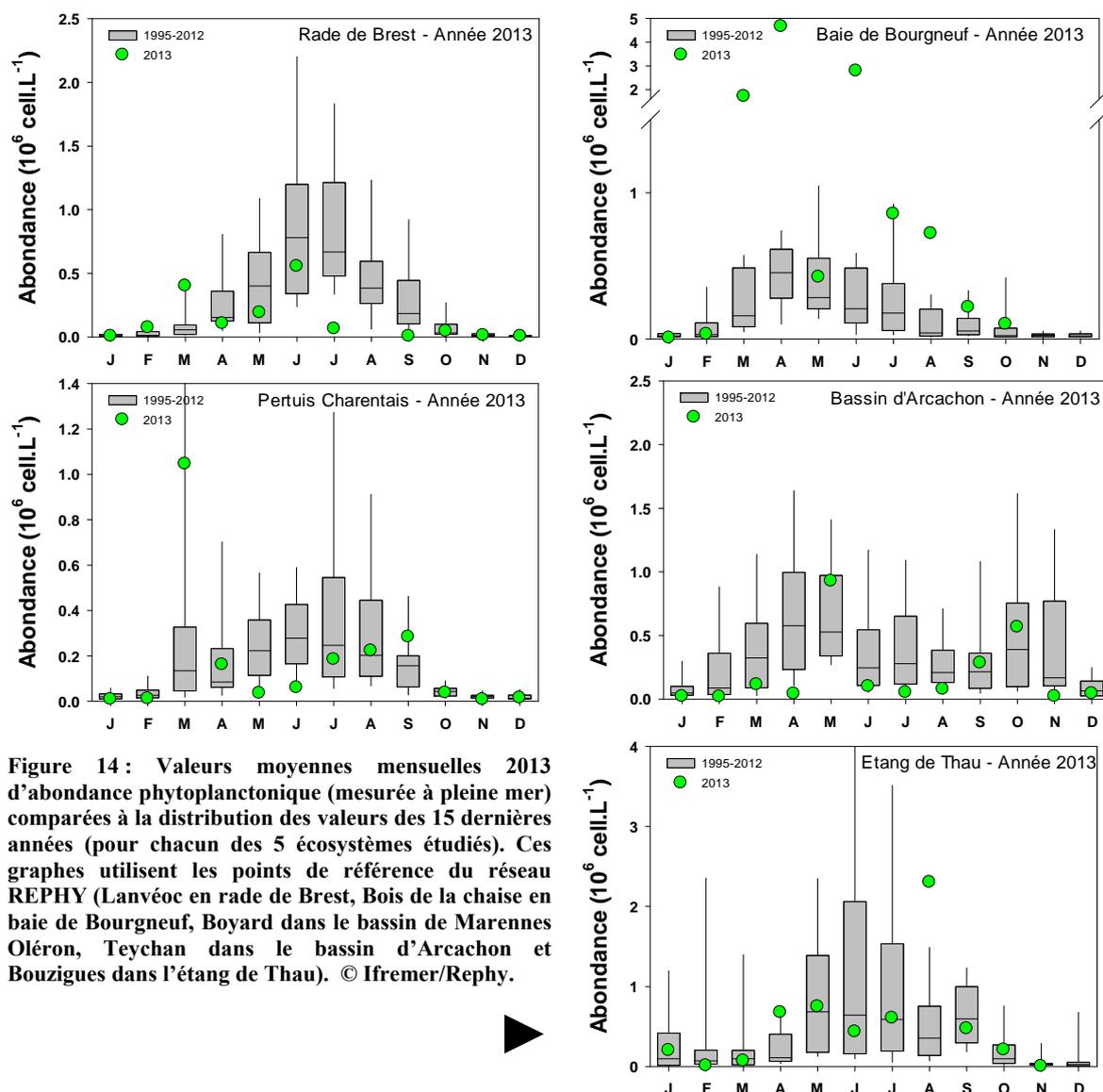


Figure 13 : Valeurs moyennes mensuelles 2013 de concentration en chlorophylle *a* de l'eau de mer (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du 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 l'étang de Thau). © Ifremer/RePHY.

D'une façon générale, il apparaît que la concentration en chlorophylle *a*, au cours de l'année 2013, se caractérise par des valeurs plutôt élevées généralement dans les quartiles supérieurs sur la période productive pour les écosystèmes de la baie de Bourgneuf, des pertuis Charentais et dans une moindre mesure pour le bassin d'Arcachon. Par contre, cette année, la rade de Brest fait exception en présentant des valeurs plutôt basses. Comme les dernières années, l'étang de Thau présente des valeurs plutôt faibles qui se positionnent généralement dans le quartile inférieur.

En complément, la Figure 14 présente, de façon synthétique, les valeurs d'abondance phytoplanctonique (moyenne mensuelle issue du Réseau Rephy) et leurs degrés d'anomalie par comparaison à la distribution des moyennes des 15 dernières années.



De façon similaire à l'année 2012, on constate que :

- Les sites de baie de Bourgneuf et du pertuis Charentais se caractérisent par des valeurs relativement fortes voire très fortes au printemps et/ou en été conformément aux valeurs élevées de chlorophylle présentées précédemment ;
- Les sites sud (étang de Thau et bassin d'Arcachon), mais aussi exceptionnellement la rade de Brest, présentent des valeurs plutôt faibles situées dans les quartiles inférieurs, là aussi de façon conforme avec les valeurs de chlorophylle présentées sur la Figure 14.

On retiendra donc, à partir de l'analyse de ces 2 proxys du phytoplancton, que l'année 2013 se caractérise par une concentration de phytoplancton très élevée pour la baie de Bourgneuf, relativement élevée pour les pertuis charentais, moyenne pour la rade de Brest et faibles dans les sites sud (bassin d'Arcachon et étang de Thau) à l'exception de certains mois particuliers.

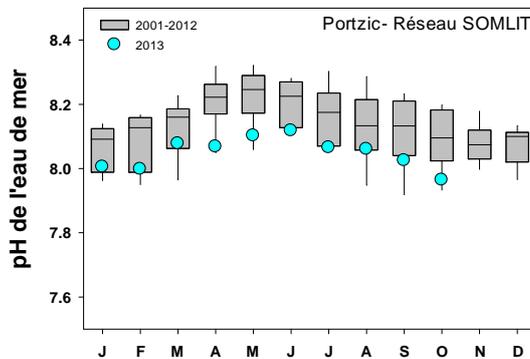
### 3.2.4 pH et acidification de l'océan

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 diminue (*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 2 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/>).

#### Rade de Brest



#### Bassin d'Arcachon

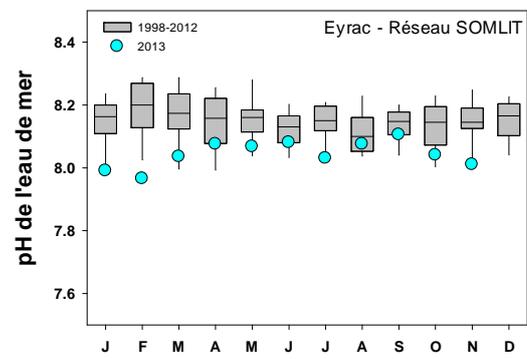
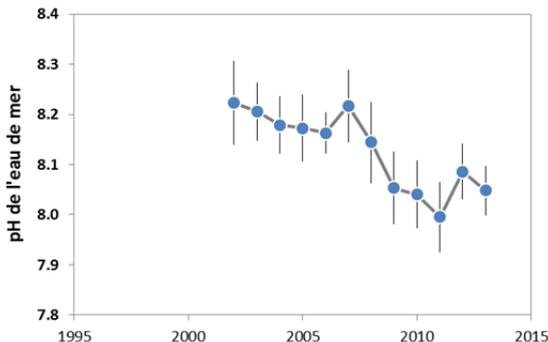


Figure 15 : Valeurs moyennes mensuelles 2013 du pH de l'eau de mer (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée du bassin d'Arcachon (site « Eyrac ») et de la rade de Brest (site « Portzic »). Ces valeurs 2013 sont comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données acquises par le Service d'Observation en Milieu Littoral, mis en œuvre par l'INSU-CNRS (Réseau SOMLIT). En savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

#### Rade de Brest



#### Bassin d'Arcachon

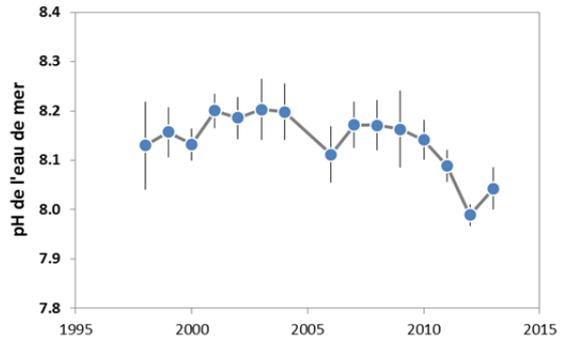


Figure 16 : Evolution du pH (moyenne annuelle +/- ECT) depuis les années 1998 à l'entrée de la rade de Brest et du bassin d'Arcachon (© CNRS-INSU/SOMLIT). Notez la tendance à la diminution ces dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données acquises par le Service d'Observation en Milieu Littoral, mis en œuvre par l'INSU-CNRS (Réseau SOMLIT). En savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

On constate que les données 2013 s'inscrivent, pour ces 2 secteurs, dans une tendance à la diminution avec des valeurs se situant dans la gamme inférieure des observations enregistrées

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

depuis le début des années 2000 par le réseau SOMLIT (Figure 15). Pour l'instant, les valeurs moyennes annuelles du pH sur l'année 2013 (Figure 16) sont de 8.05 en rade de Brest et 8.04 dans le bassin d'Arcachon (la moyenne établie sur les 15 dernières années sur les 2 sites étant de 8.15). Bien qu'on soit encore loin des valeurs considérées comme problématiques pour la vie larvaire de l'huître creuse (pH < 7.6), ce paramètre hydrologique (ainsi que le suivi de la lysocline<sup>7</sup>) mérite une attention particulière dans les années à venir.

### 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 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.

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).

La mise en place 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 cet indice de condition maximum IC, proxy de la fécondité.

#### 3.3.1 Comparaison spatio-temporelle

La Figure 17 montre l'évolution annuelle depuis 2008 de l'indice de condition de ce lot d'huîtres creuses 'sentinelles', transplanté chaque année en fin d'hiver sur chacun des sites VELYGER.

En termes de variabilité inter-annuelle, l'année 2013 se caractérise par des valeurs maximales d'indice de condition généralement similaires à 2012 (ou supérieures). Pour chacun des sites d'études, on relève, en 2013, les valeurs maximales suivantes :

- Rade de Brest : **IC = 144** (contre 148 en 2012)
- Baie de Bourgneuf : **IC = 129** (contre 115 en 2012)
- Bassin de Marennes Oléron : **IC = 123** (contre 87 en 2012)
- Bassin d'Arcachon : **IC = 86** (contre 88 en 2012)
- Etang de Thau : **IC = 69** (contre 56 en 2012)

En termes de variabilité inter-sites, on constate toujours (*e.g.* Pouvreau et al., 2011) en 2013 l'existence d'un net gradient Nord-Sud sur l'indice de condition avec une gamme de valeurs allant de 144 en rade de Brest à 69 dans l'étang de Thau. Il convient de noter que ce gradient est moins marqué que les années antérieures entre la rade de Brest, la baie de Bourgneuf et les pertuis Charentais.

<sup>7</sup> La lysocline est la profondeur dans l'océan à partir de laquelle la solubilité du calcaire (CaCO<sub>3</sub>), 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).

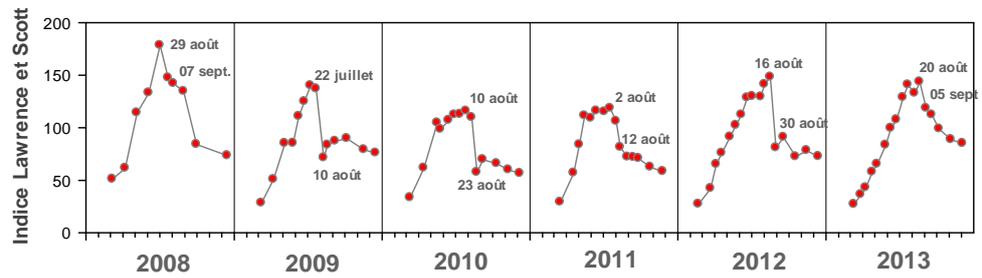
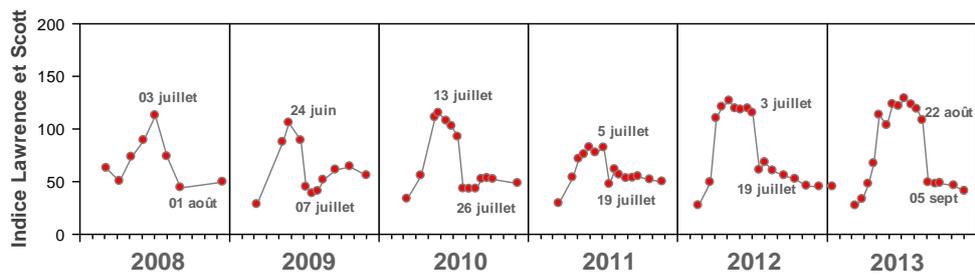
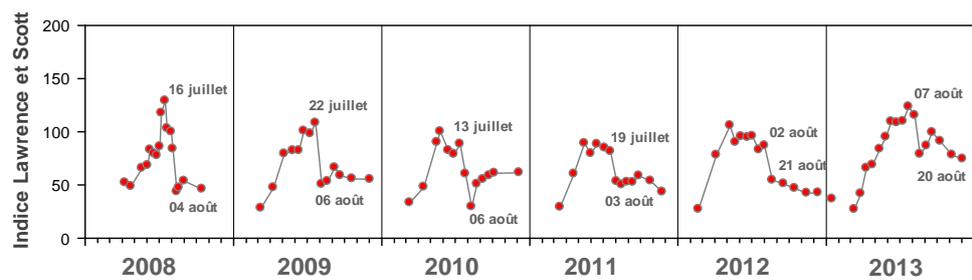
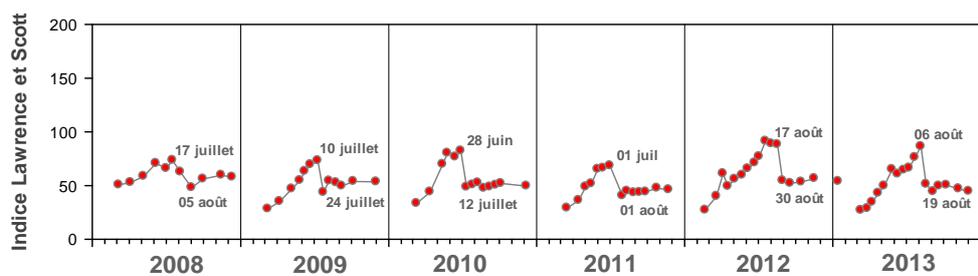
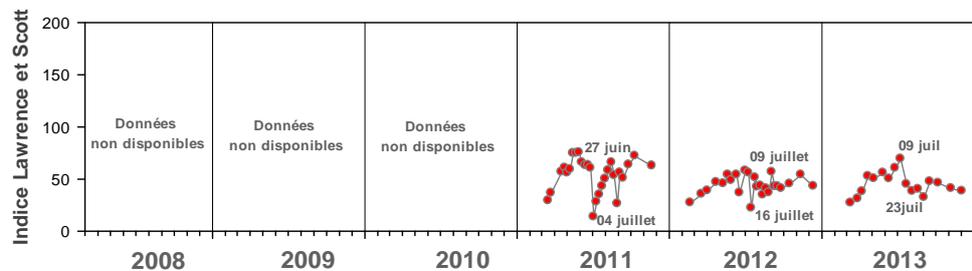
Rade de Brest - Site de la Pointe du ChâteauBaie de Bourgneuf - Site de CoupelassePertuis Charentais – Site d'AgnasBassin d'Arcachon – Site du TèsÉtang de Thau – Site de Marseillan

Figure 17 : Evolution de l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott) de chaque lot sentinelle placé chaque année sur les 5 sites VELYGER (étang de Thau, Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) depuis 2008. Les lots suivis sont transplantés chaque année en fin d'hiver, les huîtres utilisées sont alors âgées de 18 mois et généralement calibrées autour de 18 g. La chute brutale de l'indice indique l'intensité et la période d'émission des gamètes. © Ifremer/Resco-VELYGER.

### 3.3.2 Indice de condition et abondance de larves

Sur le bassin d'Arcachon, nous disposons d'une série de plus de quinze années permettant d'associer indice de condition (obtenus à partir du lot sentinelle d'huîtres adultes) et abondances larvaires.

Cette série présentée sur la Figure 18 montre la relation significative ( $R^2=0.49$ ) existant entre l'indice de condition maximal et la quantité moyenne de larves (au stade « évoluée ») observée sur l'été dans le secteur Est du bassin d'Arcachon.

On constate que l'année 2013 présente des valeurs proches de la normale et se positionne dans le nuage de points de façon plus favorable que les années précédentes (2008-2011): la fécondité moyenne enregistrée en 2013 (IC=86) se traduit par des abondances larvaires moyennes sur l'été de l'ordre de 1000 larves (pour 1.5m<sup>3</sup>) proches des normales (cf paragraphe 3.5).

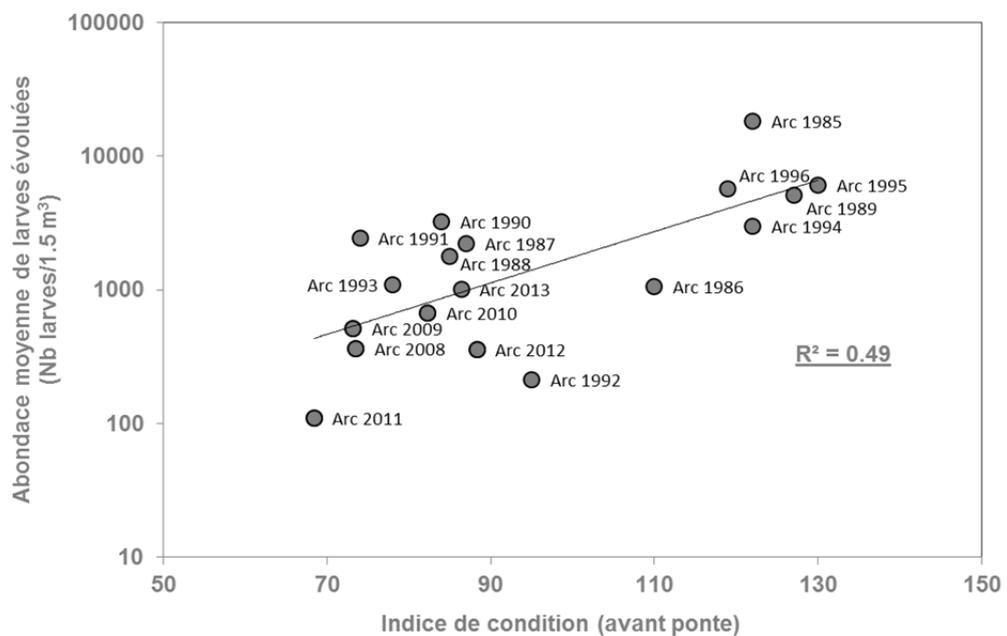


Figure 18 : Relation entre l'abondance de larves évoluées (valeur moyenne sur l'été) et la fécondité potentielle des adultes (mesurée au moyen de l'indice de condition maximal précédant la ponte) sur le bassin d'Arcachon - secteur Est (droite de régression,  $R^2 = 0.49$ ).

### 3.3.3 Facteurs d'explications : le phytoplancton

La Figure 19 montre la relation actualisée pour 2013, pour chacun des sites, entre la concentration en phytoplancton (abondance phytoplanctonique en cell.L<sup>-1</sup>) enregistrée tout au long de la maturation (de mars à juillet) et à proximité des populations sentinelles et l'indice de condition maximal des huîtres (IC), mesuré en juillet juste avant la ponte. Cette relation présente un fort coefficient de corrélation ( $R^2= 0.75$ ).

D'une façon générale, les couples sites-années, caractérisés par de faibles valeurs de d'abondance phytoplanctonique associés à de faibles valeurs d'indice de condition, concernent plus particulièrement les sites sud (bassin d'Arcachon et étang 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. Ce schéma démontre clairement l'existence du gradient Nord-Sud discuté précédemment.

Plus particulièrement, pour l'année 2013, l'analyse du nuage de points montre que :

- La rade de Brest se caractérise toujours par de très fortes valeurs d'indice de condition associées à de fortes valeurs de concentration phytoplanctonique;
- La baie de Bourgneuf et le bassin de Marennes-Oléron se positionnent en 2013 aussi dans cette partie supérieure du nuage de points, avec des valeurs supérieures aux années antérieures sur ce site;
- Le bassin d'Arcachon présente en 2013, de façon analogue aux autres années, des valeurs plutôt faibles, mais toujours supérieures à celles de l'étang de Thau;
- Et d'une façon générale, un très fort gradient 2013 entre l'étang de Thau et la rade de Brest ou la baie de Bourgneuf.

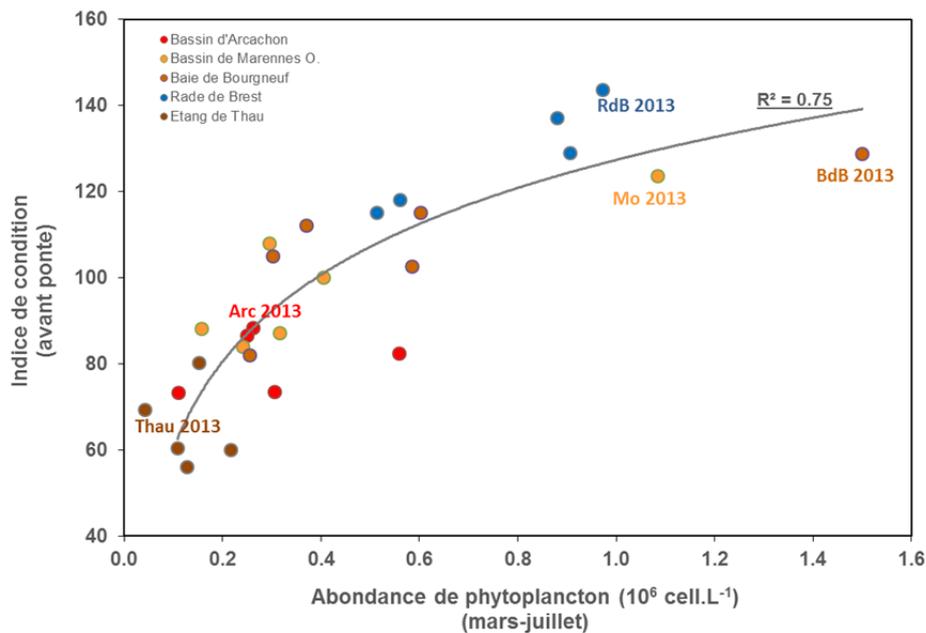


Figure 19 : Relation entre la concentration en phytoplancton (cell.L<sup>-1</sup>) et l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott maximal mesuré avant la ponte) des huîtres sentinelles placées dans chaque bassin depuis 2008. Les valeurs pour l'année 2013 sont signalées avec la légende suivante : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon - Thau : Etang de Thau.

### 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 généralement un laps de temps 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 (2011).

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 leur gamètes).

Enfin, 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).

### 3.4.1 Valeurs 2013

La Figure 20 montre la relation, actualisée pour 2013, que l'on obtient 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 ( $R^2 = 0.52$ ).

Si les données 2013 se positionnent à proximité ou un peu au-dessus du modèle linéaire établi sur l'ensemble des années, on constate surtout que cette année se caractérise par des dates de pontes très tardives sur tous les écosystèmes.

Ainsi :

- Pour les trois bassins aux latitudes les plus nord (rade de Brest, baie de Bourgneuf et bassin de Marennes-Oléron), la ponte principale a lieu après le 15 août. A noter le caractère extrêmement tardif de la ponte en baie de Bourgneuf qui a lieu le 25 août;
- Pour le bassin d'Arcachon et l'étang de Thau, la ponte a lieu de façon conforme au modèle de prévision (respectivement vers le 8 août et le 11 juillet);

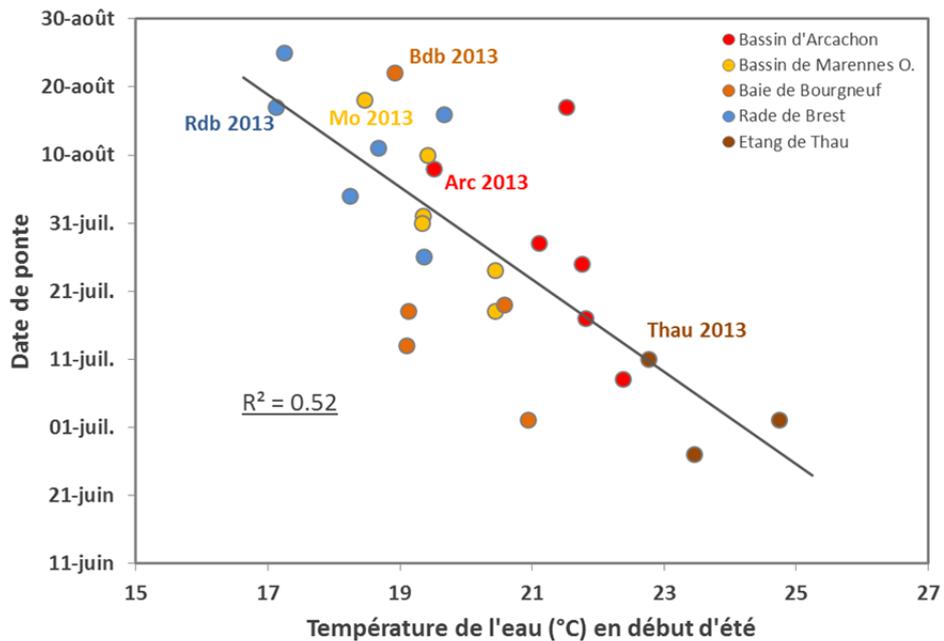


Figure 20 : Relation entre la température de l'eau en début d'été (moyenne issue des données journalières de sonde haute fréquence sur la période 21 juin-10 juillet) et la date d'émission principale des gamètes, tous sites et années confondus. La date d'émission des gamètes est obtenue à partir du suivi des populations sentinelles de chaque site confortée par les abondances de larves. Les valeurs pour l'année 2013 sont signalées avec la légende suivante : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon - Thau : Etang de Thau.

### 3.4.2 Séries historiques

Ainsi, l'année 2013 s'avère être une année relativement tardive en ce qui concerne la date de la ponte principale sur chacun des bassins. La Figure 21 vient compléter ce constat en présentant conjointement les 3 séries historiques disponibles pour la date de la ponte principale des populations d'huîtres pour les bassins d'Arcachon, de Marennes-Oléron et de baie de Bourgneuf.

En ce qui concerne le bassin de Marennes-Oléron et la baie de Bourgneuf, on constate que la ponte qui a eu lieu après le 20 août est particulièrement tardive, mais cela s'est déjà produit par le passé, notamment en 1988 et 2002. Par ailleurs, on ne distingue aucune tendance particulière dans les séries temporelles disponibles.

Par contre, en ce qui concerne le bassin d'Arcachon, on constate que la ponte principale en 2013, qui a eu lieu vers le 8 août, est toujours tardive, comme en 2012 et bien au-dessus de la médiane qui s'établit autour du 11 juillet. Cette ponte tardive s'inscrit dans la tendance décennale, observée depuis les années 2000, caractérisée par un progressif retard de la période de ponte. Si ce retard de ponte peut s'expliquer en 2013 par la fraîcheur du printemps, la tendance pluri-décennale observée reste, quant à elle, pour l'instant inexplicquée.

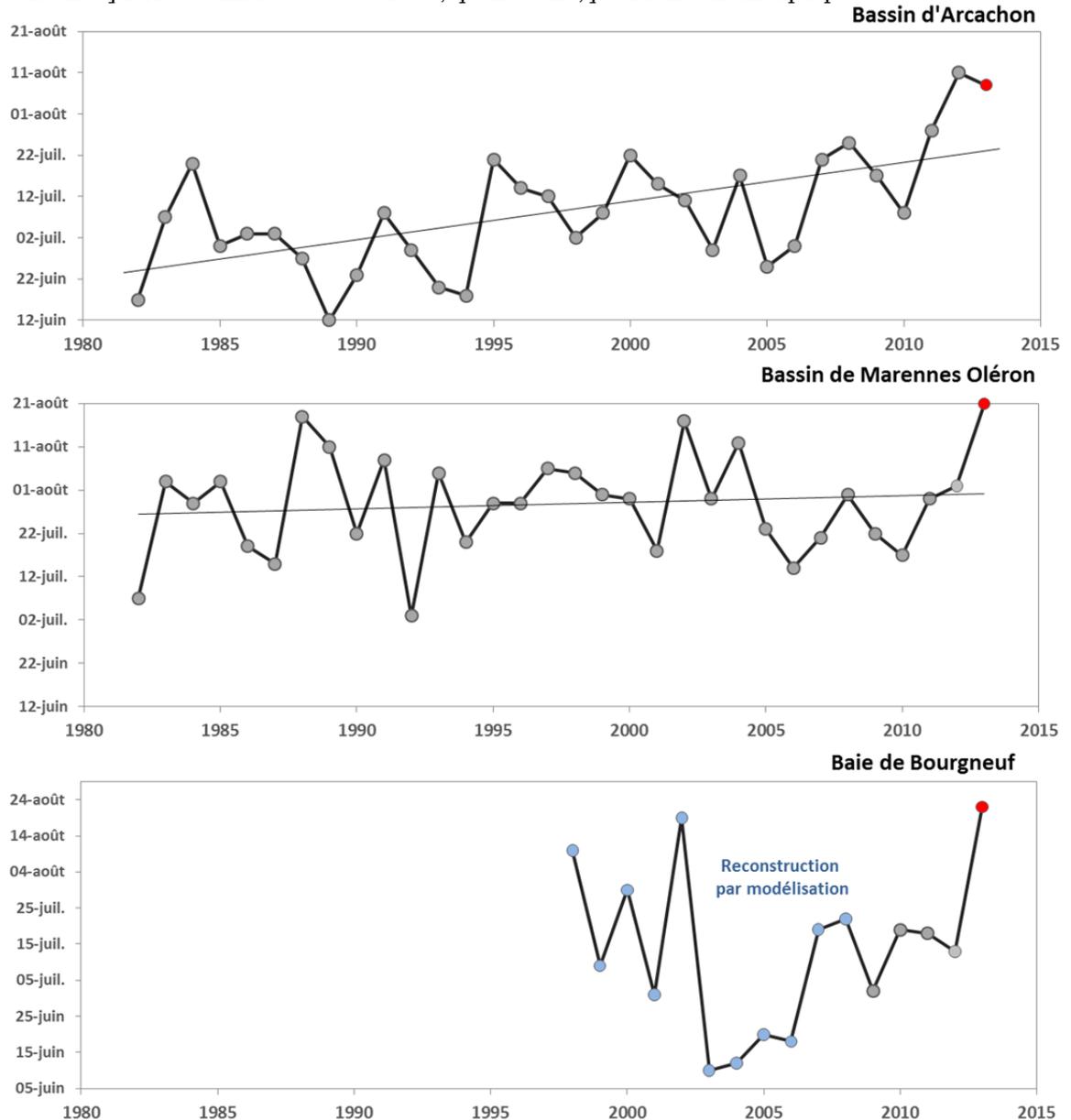


Figure 21 : Evolution pluri-décennale de la date de ponte principale dans le bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest), le bassin de Marennes Oléron (secteur Seudre) et la baie de Bourgneuf (secteur Nord). La date de ponte est estimée ici à partir des pics d'abondances de larves au stade « petites » relevés sur chacun des secteurs et des pertes de masse de chair enregistrées dans les populations sentinelles d'huitres placées dans chaque écosystème. Dans le cas de la baie de Bourgneuf, la date de ponte de 1998 à 2008 (en bleu) a été calculé à partir d'un modèle bioénergétique de type DEB (e.g. Thomas et al., 2014).

### 3.5 Abondance, développement et survie des larves

Après l'émission des gamètes et la fécondation, les larves vont se développer et leur concentration va diminuer 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, 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 (pathogènes inclus) et à la présence de xénobiotiques.

Pour l'instant, et 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 de pathogènes ne semblait en cause, de façon prioritaire, dans les variations d'abondance larvaire enregistrées à Arcachon. Dans ce contexte, nous nous intéressons ici aux seuls effets des facteurs hydrologiques, notamment celui de la température.

#### 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 2013 par rapport aux années antérieures et (2) d'analyser les mécanismes majeurs pouvant expliquer la variabilité observée.

La Figure 22 montre l'évolution de l'abondance larvaire (ici le stade 'larves évoluées') depuis 1982 et permet de caractériser 2013 par rapport à ce référentiel. Cette figure utilise les données de larves 'évoluées', car ce stade présente l'avantage par rapport au stade 'petites' d'éviter d'éventuelles confusions pouvant avoir lieu au moment de la reconnaissance ainsi que des biais d'échantillonnage liés à la dynamique spatio-temporelle d'apparition des larves petites. En complément, la figure suivante traite de la relation entre le stade 'évoluées' et le stade 'grosses'.

En termes de variabilité temporelle, on constate :

- Une tendance à la diminution de l'abondance de larves sur le bassin d'Arcachon depuis une dizaine d'années. Cette diminution est générale sur le bassin, mais elle est plus marquée dans le secteur Est que le secteur Ouest. L'année 2013 s'inscrit toujours dans cette tendance à la diminution mais avec des valeurs largement supérieures (d'un facteur 10) aux valeurs minimales enregistrées en 2011 (en moyenne 1300 larves/1,5m<sup>3</sup> en 2013 contre 156 larves/1,5m<sup>3</sup> en 2011).
- A l'opposé, le bassin de Marennes Oléron enregistre depuis une dizaine d'années une augmentation de la concentration en larves, légèrement plus marquée en Charente qu'en Seudre. L'année 2013 confirme cette tendance et les concentrations moyennes en larves sur le bassin de Marennes Oléron (874 larves/1,5m<sup>3</sup>) sont dans les mêmes gammes de valeurs que celles mesurées dans le bassin d'Arcachon (1300 larves/1,5m<sup>3</sup>).

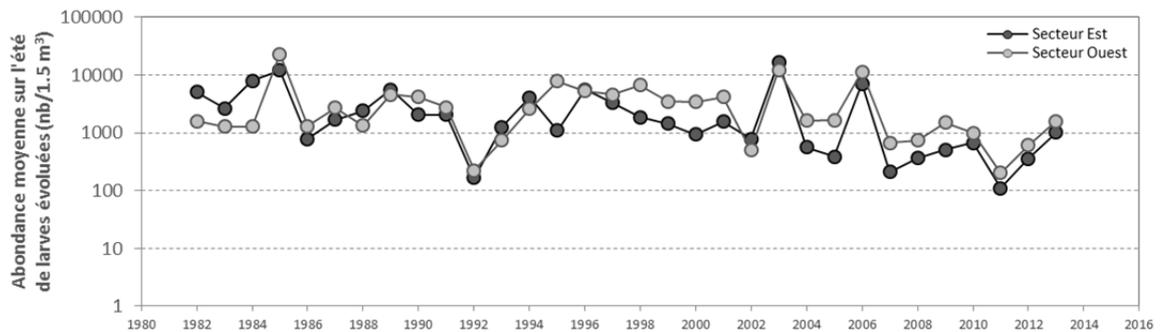
A partir de 2008, il devient possible de comparer ces sites traditionnels aux sites dits 'émergents' en termes de pratique du captage (rade de Brest, baie de Bourgneuf et étang de Thau).

- Dans les années précédentes, la rade de Brest était le site pour lequel l'abondance était la plus faible (Pouvreau et al., 2011), mais depuis 2012 ce site présente des valeurs comparables aux sites traditionnels avec, en 2013, 840 larves/1,5m<sup>3</sup> observées en moyenne sur l'été.
- La baie de Bourgneuf présente d'une année à l'autre des concentrations variables, mais en 2013, les valeurs pour ce secteur sont comparables à celles des autres secteurs avec une moyenne de 612 larves/1,5m<sup>3</sup>.

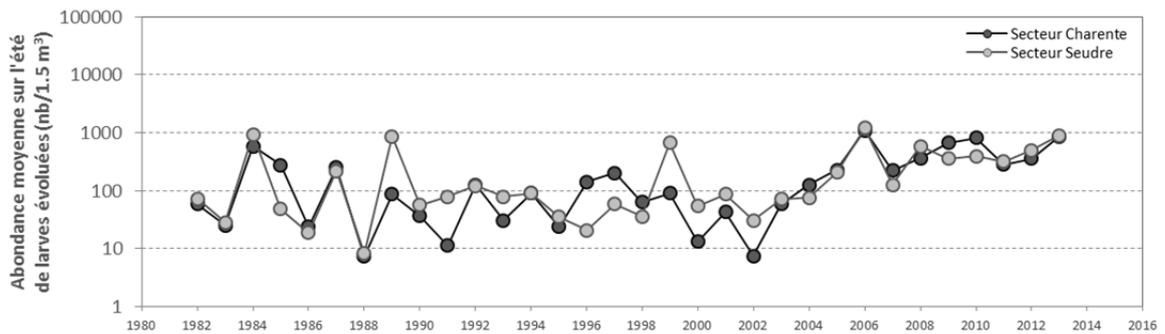
- Dans les années précédentes, l'étang de Thau était le site pour lequel l'abondance était la plus forte (Pouvreau et al., 2011, mais en 2013 ce site présente des valeurs en baisse qui deviennent comparables aux sites traditionnels avec 1339 larves/1,5m<sup>3</sup> observées en moyenne sur l'été.

Ainsi, il convient de remarquer que, en 2013, il y a peu de différences entre les bassins : les concentrations moyennes de larves évoluées relevées sur la saison sont proches de 1000 larves/1,5m<sup>3</sup> quel que soit le site considéré.

#### Bassin d'Arcachon



#### Bassin de Marennes Oléron



#### Tous sites VELYGER

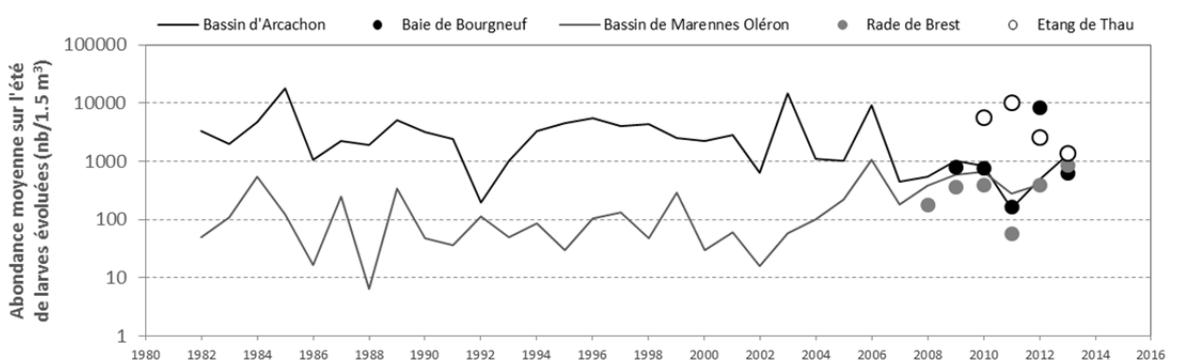


Figure 22 : Evolution des abondances moyennes sur l'été de larves (stade 'évoluées') sur les 5 bassins du réseau VELYGER. De haut en bas : le bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest), le bassin de Marennes Oléron (Secteurs Seudre et Charente) et les 5 bassins suivis dans VELYGER (Valeurs moyennes tous secteurs confondus).

En complément de cette première description de la variabilité spatio-temporelle de l'abondance de larves (stade 'évoluées'), la Figure 23 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 2013 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 records 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. En 2013, tout comme en 2012, la situation redevient plus normale pour Arcachon.
- Les sites rade de Brest et baie de Bourgneuf, pour lesquels, pour l'instant, nous ne disposons que de 6 années d'observation, présentent généralement des valeurs intermédiaires. Mais en 2013, la rade de Brest se positionne au milieu du nuage de points très proches des valeurs enregistrées à Arcachon. Par contre, tout comme en 2012, la baie de Bourgneuf se détache du nuage de points en 2013 avec des valeurs de larves grosses faibles compte tenu des concentrations élevées de larves évoluées. Cette anomalie sera expliquée dans les paragraphes suivants.
- L'étang de Thau présente des valeurs qui positionnent toujours dans le cadran supérieur du nuage de points typiques des années chaudes d'Arcachon. C'est aussi le cas en 2013.
- Enfin, la régression établie sur ce nuage de points présente un coefficient de détermination  $R^2$  de 0.63 et permet d'évaluer une survie moyenne (tous facteurs confondus) de l'ordre de 10% entre ces 2 stades. 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).

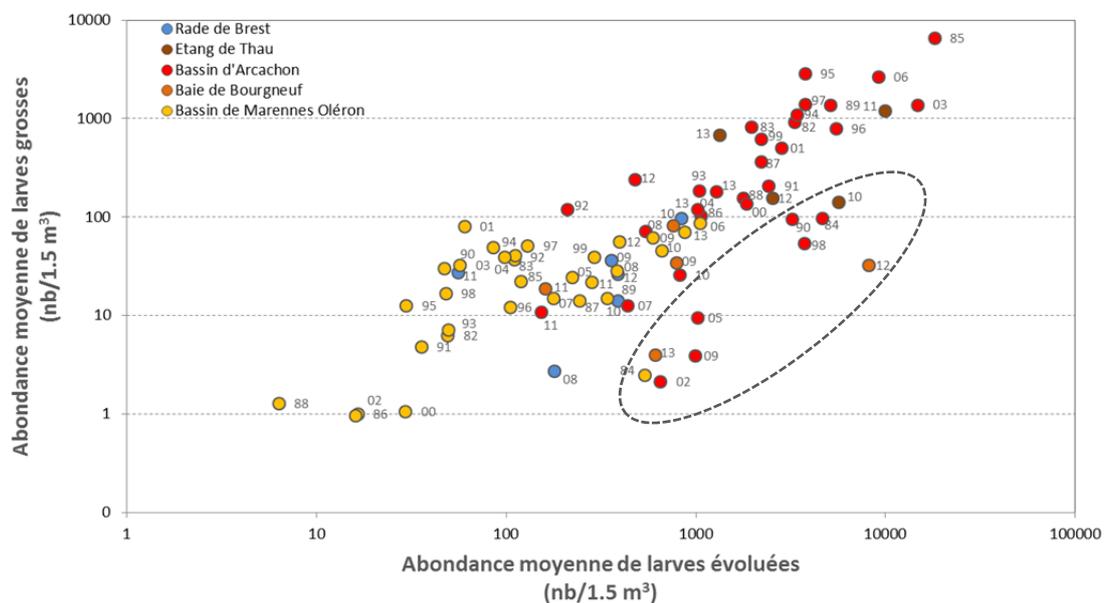


Figure 23 : Relation entre l'abondance de larves évoluées et l'abondance de larves grosses pour les 5 sites du réseau VELYGER toutes années confondues. L'année 2013, tous sites confondus, se positionne au milieu du nuage. Notez que la régression établie sur ce nuage de points présente un coefficient de détermination  $R^2$  de 0.63 et permet d'évaluer une survie moyenne de l'ordre de 10% entre ces 2 stades. Certaines années (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).

### 3.5.2 Durée du développement larvaire

La Figure 24, actualisée pour l'année 2013, 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 2013 ( $R^2=0.64$ ) 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, mais aussi en baie de Bourgneuf lors du développement de la cohorte 2013 début septembre) ;
- moins de 10 jours au-delà de 23°C (conditions lors d'étés chauds à Arcachon comme ce fut le cas lors du développement de la première cohorte début août 2013 et conditions très fréquentes dans l'étang 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*.

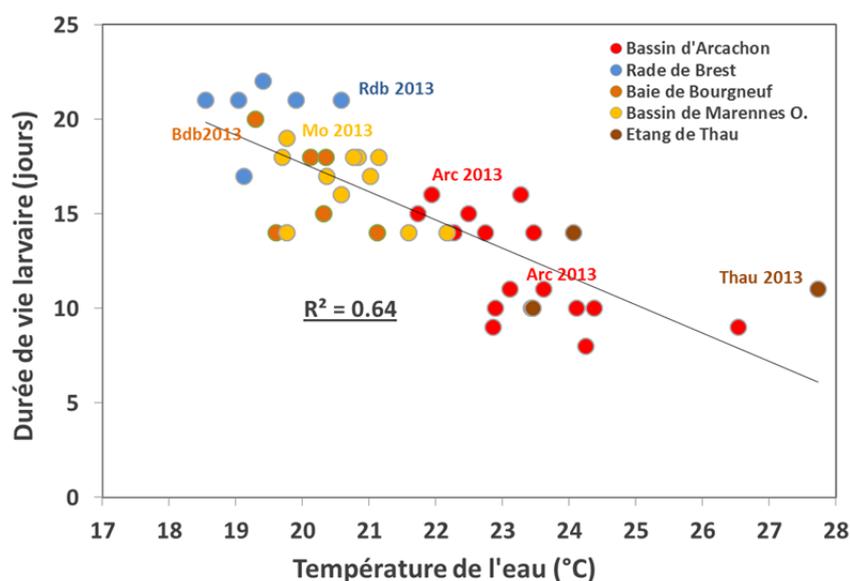


Figure 24 : Relation entre la durée du développement larvaire (PLD en jours) et la température de l'eau sur tous les sites et années VELYGER pour lesquels des cohortes larvaires ont été repérées sans ambiguïté. La durée du développement larvaire est estimée ici, sur chaque cohorte, à partir du nombre 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 2013 se caractérisent, par rapport aux valeurs enregistrées antérieurement, de la manière suivante :

- Durée de vie courte pour les deux cohortes les plus précoces de l'année 2013 : la première cohorte d'Arcachon et la cohorte principale de l'étang de Thau (PLD = 11 j.) ;
- Durée de vie intermédiaire pour la deuxième cohorte observée sur le bassin d'Arcachon (PLD = 16 j.) ;
- Durée de vie longue pour les cohortes des trois autres écosystèmes (bassin de Marennes-Oléron, baie de Bourgneuf et rade de Brest (PLD de 20 j. et plus) ;

### 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 Figure 25 présente la relation, actualisée pour 2013, entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes repérées sans ambiguïté sur chaque site VELYGER depuis 2001. Cette figure démontre trois résultats majeurs :

- D'une façon générale, il existe une forte différence (pouvant atteindre un facteur 100) entre la survie larvaire mesurée à Arcachon et celle mesurée dans les autres écosystèmes de la façade atlantique. Cette différence est maximale quand la température de l'eau est faible à Arcachon (22°C).
- Pour le bassin d'Arcachon, il existe une relation significative entre la température de l'eau et la survie larvaire ( $R^2 = 0.62$ ): 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% ;
- L'étang de Thau semble suivre la même relation que celle observée à Arcachon, mais il convient de disposer d'un plus grand nombre d'années d'observation sur ce site ;
- Pour les autres écosystèmes, on constate aussi une relation significative entre la température de l'eau et la survie larvaire ( $R^2 = 0.41$ ) si on regroupe les données du bassin de Marennes-Oléron et de baie de Bourgneuf. Les données de rade de Brest se positionnent aussi à proximité de ce nuage de points.

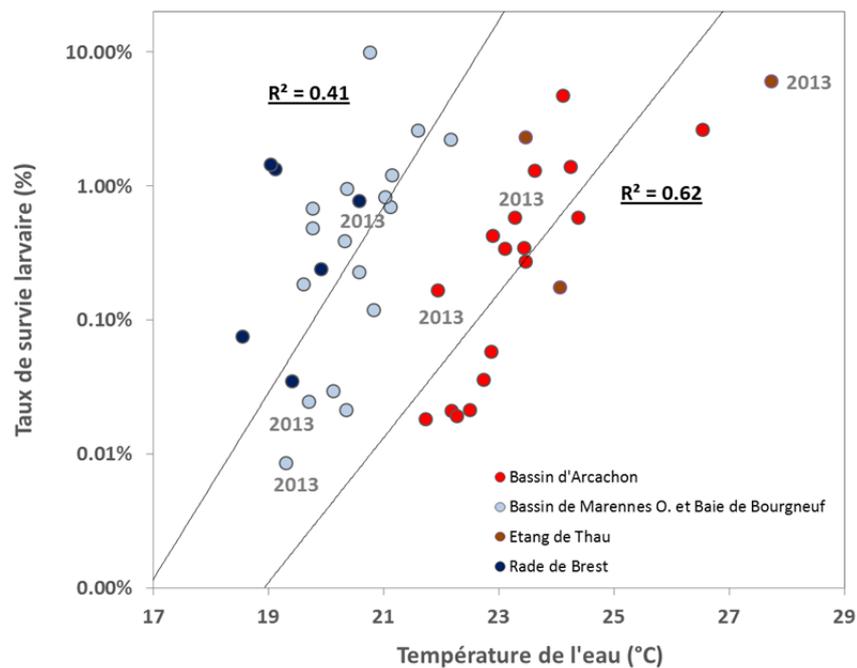


Figure 25 : Relation entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes larvaires repérées sans ambiguïté dans chaque site VELYGER depuis 2001. Les valeurs pour l'année 2013 sont signalées par un texte grisé. Pour le bassin d'Arcachon (secteur Est) d'une part, et le bassin de Marennes Oléron et la baie de Bourgneuf d'autre part, on constate une corrélation significative (respectivement  $R^2 = 0.62$  et  $R^2 = 0.41$ ) entre la température de l'eau et le taux de survie larvaire.

En outre, pour l'année 2013, cette figure montre :

- Une survie forte (supérieure à 1 %) de la première cohorte observée sur Arcachon en relation avec les températures favorables (> 23°C). C'est aussi le cas pour la cohorte de l'étang de Thau ;
- Une survie bonne (0.8%) pour la première cohorte de rade de Brest, à relier aux caractéristiques favorables de circulation des masses d'eau dans cet écosystème ;
- Une survie très faible (autour de 0.01 %) pour les cohortes observées tardivement dans le bassin de Marennes-Oléron et en baie de Bourgneuf liée à des températures peu favorables (~ 19°C) de fin d'été.

### 3.5.4 Larves grosses et intensité du captage

Pour terminer cette série de corrélations, et afin de démontrer que la variabilité du recrutement repose effectivement sur la chaîne de facteurs que nous venons de mettre en évidence, il convient de s'intéresser, enfin, 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 l'étang de Thau sont ajoutés sur le nuage de points à titre d'information.

A l'exception de l'étang de Thau, la Figure 26, actualisée pour l'année 2013, montre toujours une forte corrélation ( $R^2 = 0.62$ ) entre l'abondance moyenne de la concentration en larves grosses observée au cours de l'été dans un secteur et le captage (cumulé) estimé à l'automne sur ce même secteur (nombre total de naissain). Cette relation, indépendante des secteurs étudiés (au moins pour ceux de la façade atlantique), permet 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 au moment de la métamorphose et de la fixation, car si ce verrou existait la relation serait beaucoup plus faible.

Par contre, c'est justement le cas dans l'étang de Thau notamment en 2011 et 2012 et dans une moindre mesure en 2013 : ce sont deux années de faibles captages malgré la présence de fortes concentrations de larves grosses : cette exception prouve que le problème lié à la variabilité du captage dans l'étang de Thau se situe probablement lors de la fixation des pédivéligères et de la métamorphose. Nous reviendrons sur cas particulier dans la discussion.

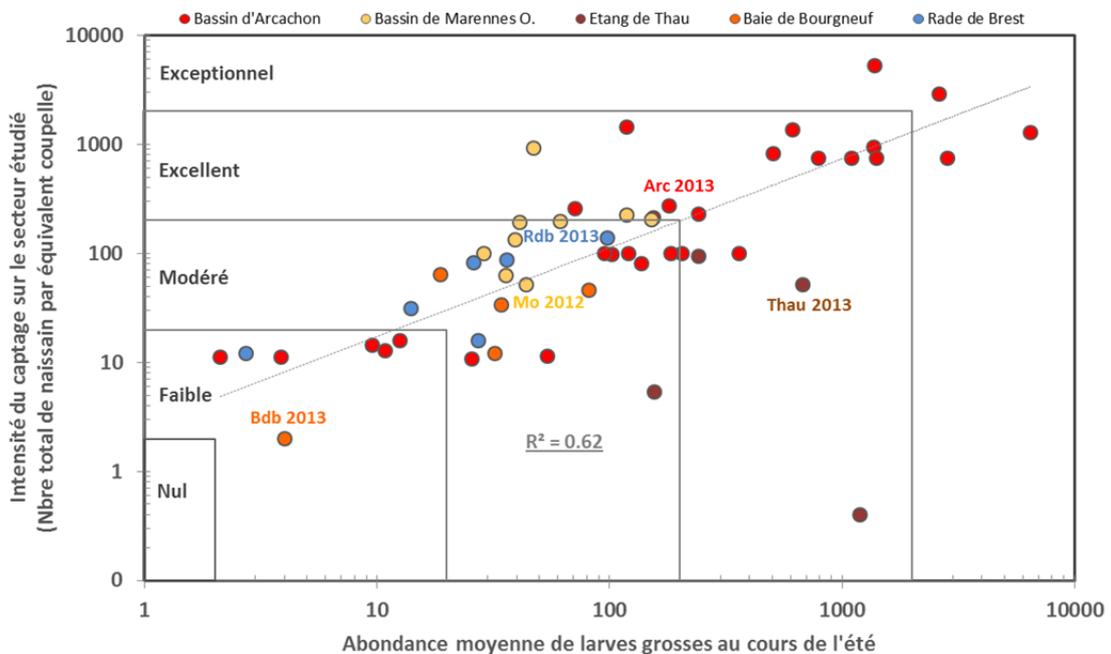


Figure 26 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été et l'intensité du captage estimé à l'automne (nombre total de naissain exprimé en équivalent coupelle ( $R^2=0.62$ )).

En outre et de façon schématique, nous pouvons établir, sur la base de cette figure (et à l'exception de l'étang 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 » (à 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 2013, les résultats sont contrastés selon les secteurs :

- Dans le bassin d'Arcachon, la forte abondance de larves grosses mesurées sur l'été (180 larves/1,5m<sup>3</sup>) s'est traduit par un captage excellent de 300 naissains/coupelle en moyenne;
- En rade de Brest mais aussi dans le bassin de Marennes-Oléron, les abondances modérées de larves grosses mesurées sur l'été (respectivement 98 larves/1,5m<sup>3</sup> en rade de Brest et 44 larves/1,5m<sup>3</sup> à Marennes-Oléron) ont permis un captage modéré de 138 naissains/coupelle en rade de Brest (secteur rivière de Daoulas) et 52 naissains/coupelle dans le bassin de Marennes Oléron (secteur Charentes) ;
- En baie de Bourgneuf, la très faible concentration de larves grosses de fin d'été (4 larves/1,5m<sup>3</sup>) n'a pas permis une fixation significative et le captage est faible à nul avec 2 naissains/coupelle ;
- Dans l'étang de Thau, la pratique du captage reste encore expérimentale et les performances obtenues dépendent encore des techniques mises en œuvre. Cela dit, avec une moyenne de larves grosses sur l'été de 680 larves/1,5m<sup>3</sup>, on aurait pu espérer un captage excellent. Or selon les pratiques, les résultats 2013 du captage sur ce secteur ont varié entre 8 et 122 naissains/coupelle avec une moyenne autour de 52 naissains/coupelle.

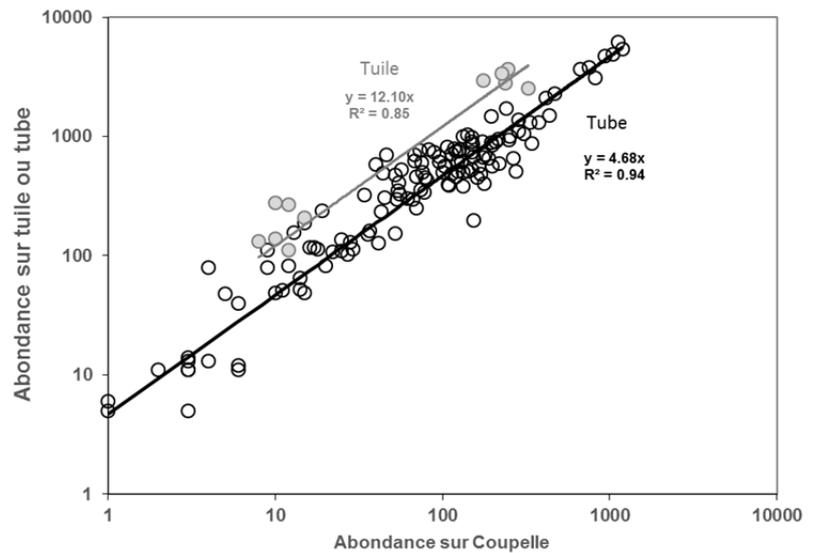
### 3.6 Estimation précoce du recrutement

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 détachement 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 2013 d'estimation du captage et permettent de comparer ces résultats avec les années antérieures. Il ressort clairement que, pour l'année 2013 :

- La rade de Brest (Figure 28) est caractérisée selon les secteurs par **un captage modéré à excellent**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 138 à 245 naissains par coupelle. Ces résultats sont les meilleurs résultats enregistrés depuis la création du réseau VELYGER en 2008.
- La baie de Bourgneuf (Figure 29) est caractérisée par **un captage faible à nul**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 0 à 4 naissains par coupelle. Tous secteurs confondus, ces résultats sont les plus bas depuis la création, en 2009, d'un point de suivi VELYGER dans ce bassin.
- Le bassin de Marennes Oléron (Figure 30) est caractérisé par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 25 à 56 naissains par coupelle. Pour les secteurs Charente et Centre, ces résultats sont les plus faibles depuis 2008. A noter que le secteur Seudre se distingue avec des meilleurs résultats comparativement aux autres secteurs.
- Le bassin d'Arcachon (Figure 31), est caractérisé par **un captage bon à excellent**, avec des valeurs moyennes par secteur de 177 à 429 naissains par coupelle. Ces résultats sont les meilleurs depuis l'année 2008 (notamment dans le secteur Est) et les valeurs obtenues sur tuile (collecteur de référence pour ce secteur) placent l'année 2013 parmi les cinq meilleures années depuis le début des suivis en 1985.
- L'étang de Thau (Figure 32) est caractérisé par un captage **faible à modéré** avec des valeurs extrêmement variables de 8 à 122 naissains par coupelle. Cette variabilité, particulièrement forte en 2013, tient à la pratique zootechnique encore incertaine (modalités d'exondation périodique des collecteurs) qu'il faut mettre spécifiquement en œuvre dans cet écosystème sans marée.

Ainsi, en 2013, les plus fortes intensités de captage sont enregistrées en rade de Brest (Rivière du Faou) et dans le bassin d'Arcachon (Secteur Est) alors que les plus faibles intensités sont enregistrées en baie de Bourgneuf ainsi que dans l'étang de Thau.

Ce « palmarès » très différent de l'année précédente mais aussi d'une année à l'autre montre toute la complexité de la chaîne de facteurs à l'origine du recrutement de l'huître creuse en France

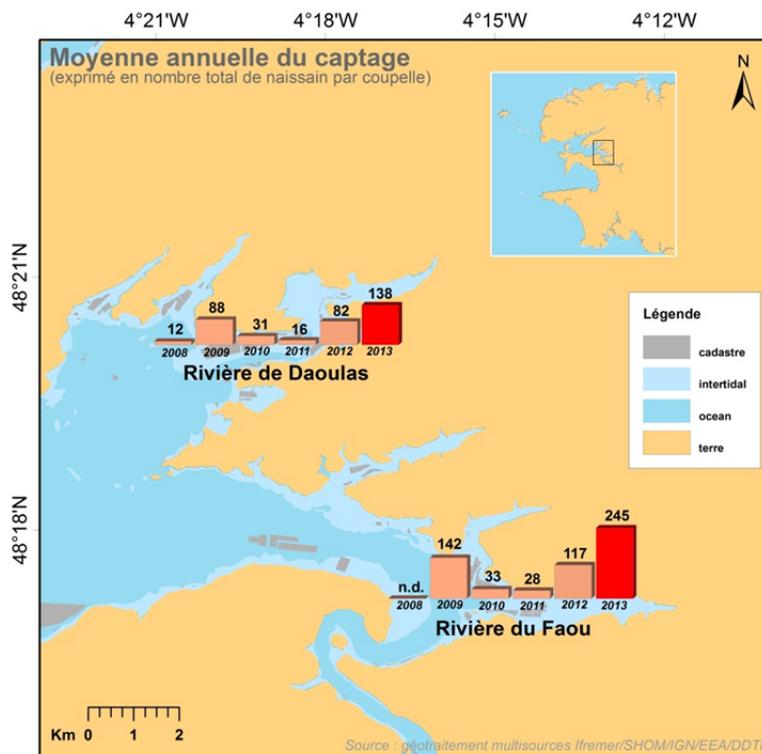


Figure 28 : Abondance moyenne par secteur du captage en rade de Brest : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2013 et comparaison aux années antérieures.

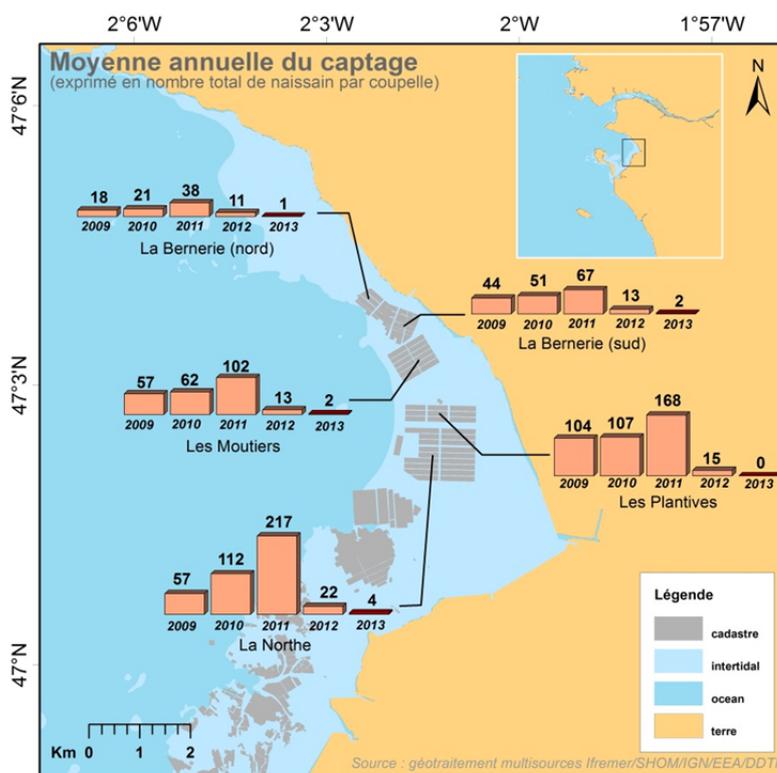


Figure 29 : Abondance moyenne par secteur du captage en baie de Bourgneuf : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2013 et comparaison aux années antérieures.

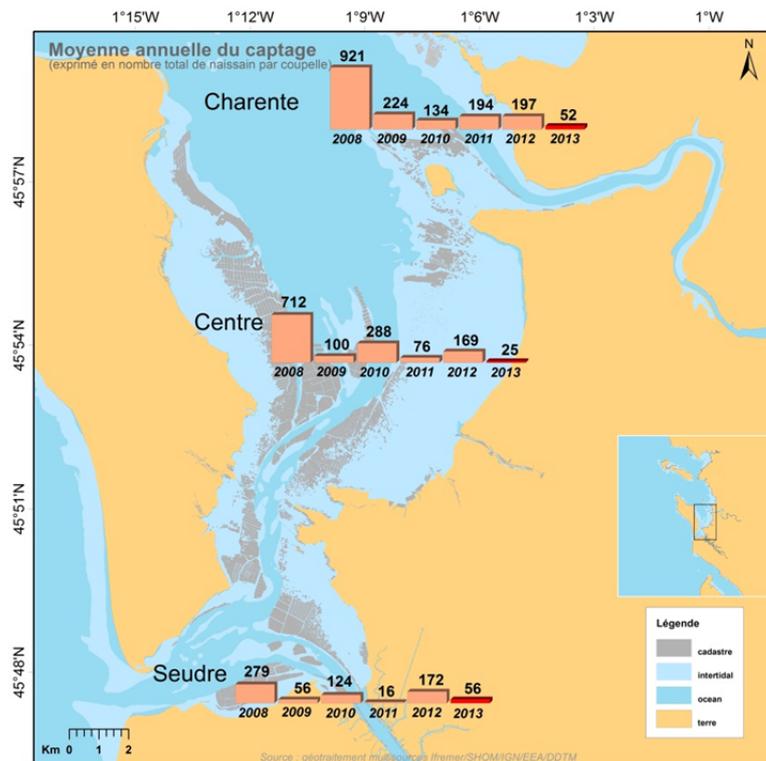


Figure 30 : Abondance moyenne par secteur du captage en bassin de Marennes Oléron : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2013 et comparaison aux années antérieures.

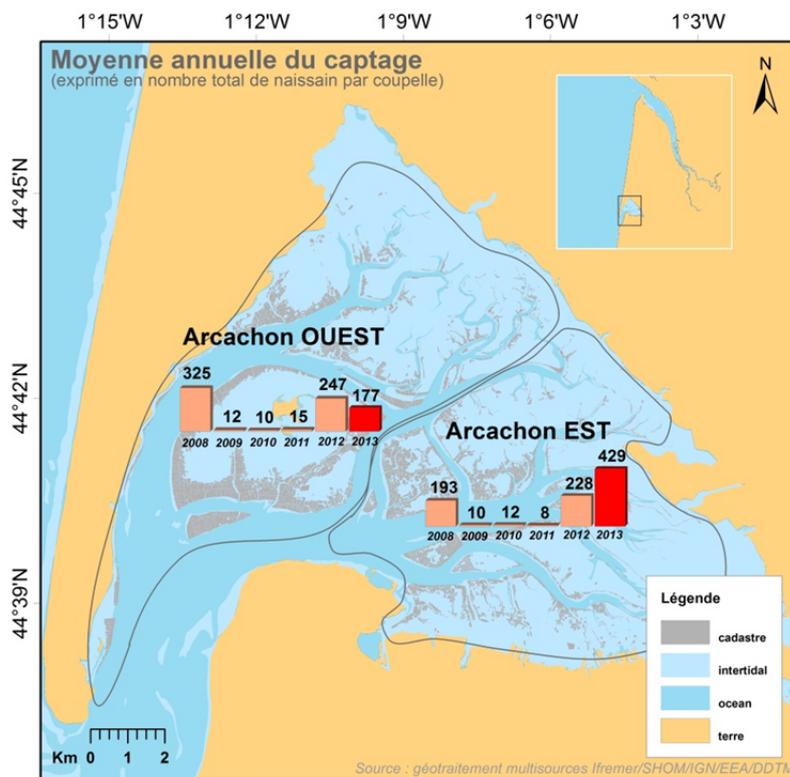


Figure 31 : Abondance moyenne par secteur du captage dans le bassin d’Arcachon: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2013 et comparaison aux années antérieures.

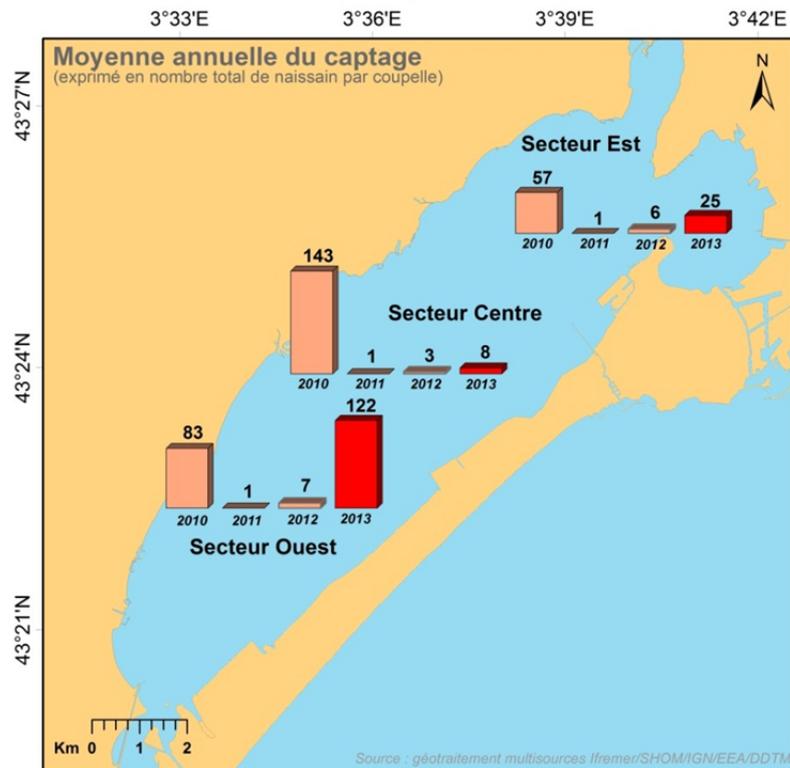


Figure 32 : Abondance moyenne par secteur du captage dans l'étang de Thau: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2013 et comparaison aux années antérieures.

## 4 Synthèse

### 4.1 Schéma général

Sur la base des résultats antérieurs obtenus par le Réseau VELYGER (*e.g.* Pouvreau et al., 2011; Pouvreau et al., 2013) et des nouvelles données acquises au cours de l'année 2013 présentées dans ce rapport, il nous est possible de proposer un schéma général pour expliquer la variabilité spatio-temporelle 2013 de la reproduction de l'huître creuse en France. Ce schéma que l'on peut construire comme une chaîne de 6 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 en juillet avant la ponte (Figure 19). Cette abondance en phytoplancton est en partie sous la dépendance des apports d'eau douce hivernaux et printaniers. **En 2013, l'hiver et le printemps plutôt humides sur toute la façade atlantique ont globalement contribué à une abondance en phytoplancton supérieure aux années précédentes et donc des indices de maturation plutôt forts.** Ce constat s'estompe en partie pour le bassin d'Arcachon mais surtout pour l'étang de Thau, sites pour lesquels la faible concentration en phytoplancton se traduit par un faible indice de maturation, comme les années précédentes. L'étude régionale FELIBA dans le bassin d'Arcachon (Bernard et al., 2014) apporte des éléments permettant de mieux appréhender 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 printemps et d'un début d'été frais (plus de 2°C d'anomalie thermique négative tout au long du printemps sur la plupart des secteurs atlantiques, Figure 10), **la date de la ponte principale en 2013 a été très tardive sur les écosystèmes de la façade atlantique (Figure 21)**. Cependant, pour certains écosystèmes, **quelques premières pontes partielles asynchrones ont été observées en cours d'été** avant la ponte principale. Sur l'étang de Thau, les températures printanières proches des normales et les températures élevées du début d'été ont permis une ponte dès le début juillet, en conformité avec le modèle thermique proposé dans le rapport (Figure 20).
- (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 2013, les abondances de jeunes larves sont dans les normes (Figure 22) mais **la ponte principale ayant été très tardive, la concentration en jeunes larves a été faible jusqu'à la mi-août**, à l'exception de certains écosystèmes pour lesquelles la ponte partielle a permis d'apporter un premier pic de larves plus précoce (rade de Brest, bassin d'Arcachon).
- (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, 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 secteurs et la température (Figure 25). **En 2013, la durée de vie a été variable selon les secteurs (Figure 24): longue (PLD>18 jours) dans les secteurs nord (rade de Brest, baie de Bourgneuf, bassin de Marennes Oléron), normale voir courte (PLD<10 jours) dans le bassin d'Arcachon et l'étang de Thau. Dans tous les cas, la durée de vie larvaire en 2013 reste conforme au modèle thermique proposé précédemment (Figure 24)**.
- (5) La quantité de larves grosses dépend directement de l'abondance de jeunes larves (étape 3) et de leur survie (étape 4). **En 2013, ces deux étapes ont été plus ou moins affectées selon les secteurs par les conditions hydro-climatiques au cours l'évolution larvaire**. Ainsi, cela aboutit à différents cas de figures : des abondances de larves très faibles en baie de Bourgneuf (4 larves/1,5m<sup>3</sup>), modérées à Marennes Oléron et en rade de Brest (44 à 98 larves/1,5m<sup>3</sup>) et fortes dans le bassin d'Arcachon et l'étang de Thau (180 à 680 larves/1,5m<sup>3</sup>).
- (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. Cette relation permet une prédiction du captage dès la fin de l'été. **En 2013, le captage a donc été, selon les secteurs, extrêmement variable (conformément aux abondances de larves grosses): faible (voire nulle) à excellent**. Seule exception à cette règle de proportionnalité : l'étang de Thau qui malgré les fortes abondances de larves grosses présente un captage faible. Cela confirme que pour ce site, le verrou biologique du captage se situe vraisemblablement au moment de la fixation. Le projet régional PRONAMED (Lagarde et *al.*, 2013) démontre qu'une pratique zootechnique adaptée à ce secteur pourrait permettre d'obtenir un captage satisfaisant.

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

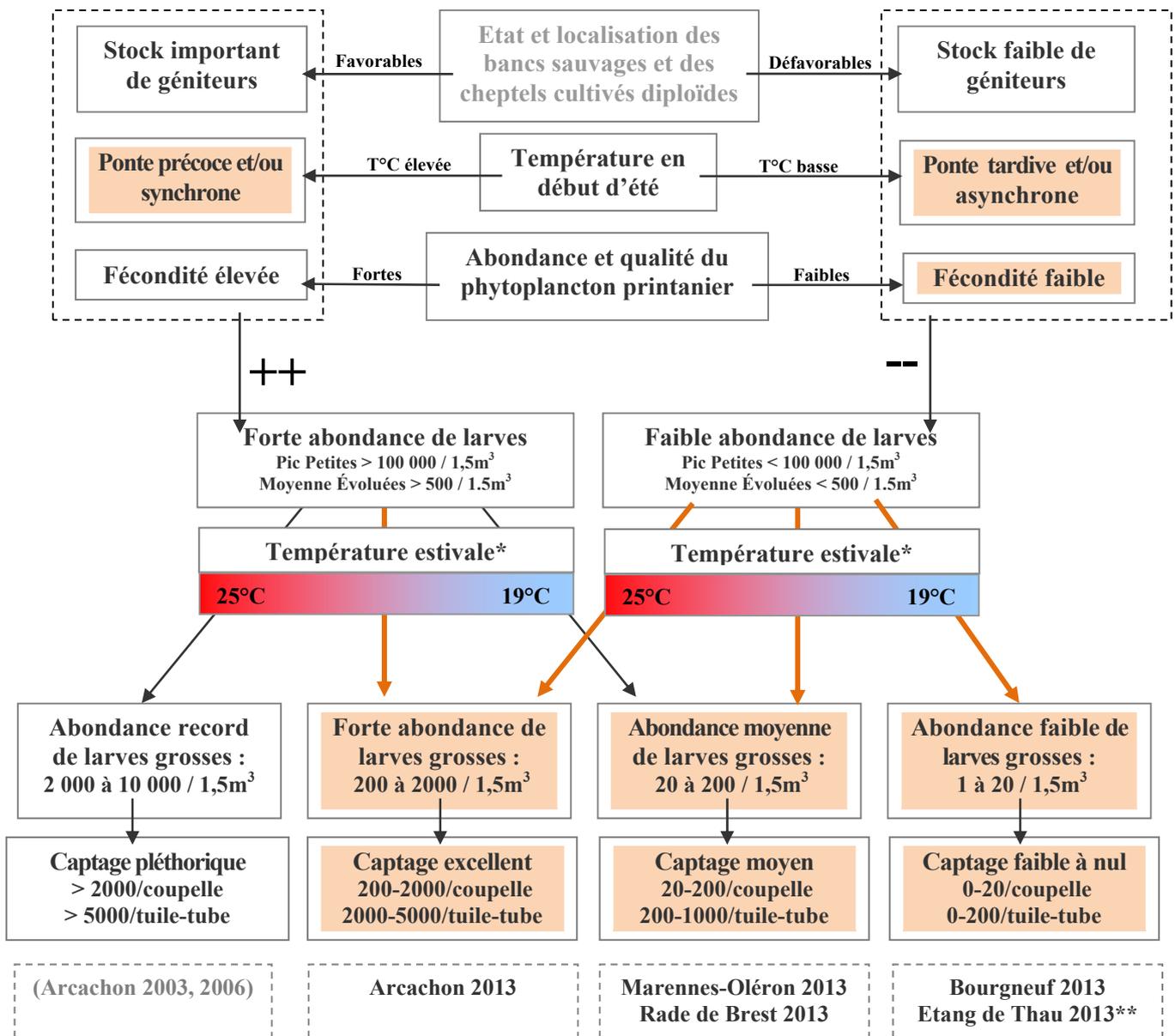


Figure 33 : Schéma récapitulatif et quantifié expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises et positionnant les caractéristiques 2013 (en orange). Le cadre grisé indique que, l'état des connaissances ne permet pas d'affirmer la relation, mais que l'hypothèse forte mérite 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 à la pratique zootechnique encore incertaine (exondation périodique et raisonnée des collecteurs) qu'il faut mettre spécifiquement en œuvre dans cet écosystème sans marée

## 4.2 Bilan par secteur

### 4.2.1 Rade de Brest - secteurs Daoulas et Faou

Conditions printanières :  
T°C : **Défavorable**  
Pluie : **Normale**  
[Phyto] : **Normale**

Du printemps au début de l'été 2013, ce secteur s'est caractérisé par un printemps frais mais des concentrations en phytoplancton normales (Figure 13). Au niveau des populations d'huîtres, cela s'est traduit par une fécondité similaire à celle des années précédentes (Figure 17) mais toujours supérieures à celle des autres sites du réseau VELYGER.

Maturation et fécondité  
des huîtres adultes :  
**Elevées**

Compte tenu du printemps et du début d'été plutôt frais (température de l'air en-dessous des normales, température de l'eau inférieure à 20°C), la ponte principale des huîtres adultes implantées sur le site a été retardée : elle n'est survenue que lors de la deuxième quinzaine d'août (Figure 20). Mais des pontes partielles ont eu lieu dès la fin juillet.

Conditions hydro-  
climatiques estivales :  
**Très favorables**

En raison du caractère partiel des pontes, les abondances maximales de larves (pic de larves) n'ont pas été élevées (< 100 000 larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>), mais les conditions estivales très favorables ont permis de conserver assez de larves 'évoluées' (>840 larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été, Figure 22).

Ponte : **Tardive**

Abondance de jeunes  
larves : **Modérée**

En raison d'une température supérieure à 20°C tout au long du mois d'août, la durée de vie larvaire a été moins longue que les autres années et la survie plutôt élevée (~ 0.8%). On a ainsi enregistré un pic de larves grosses supérieur à 700 larves/1,5m<sup>3</sup>, ce qui n'a jamais été observé sur ce secteur depuis le début du réseau VELYGER.

Survie larvaire :  
**Forte**

Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' est donc modérée à forte (98 larves/1,5m<sup>3</sup>) ce qui s'est traduit par un captage modéré à bon selon les secteurs (138 à 245 naissains par coupelle à l'automne), valeurs les plus élevées depuis le début du réseau VELYGER en rade de Brest.

Abondance de larves  
grosses : **Modérée**

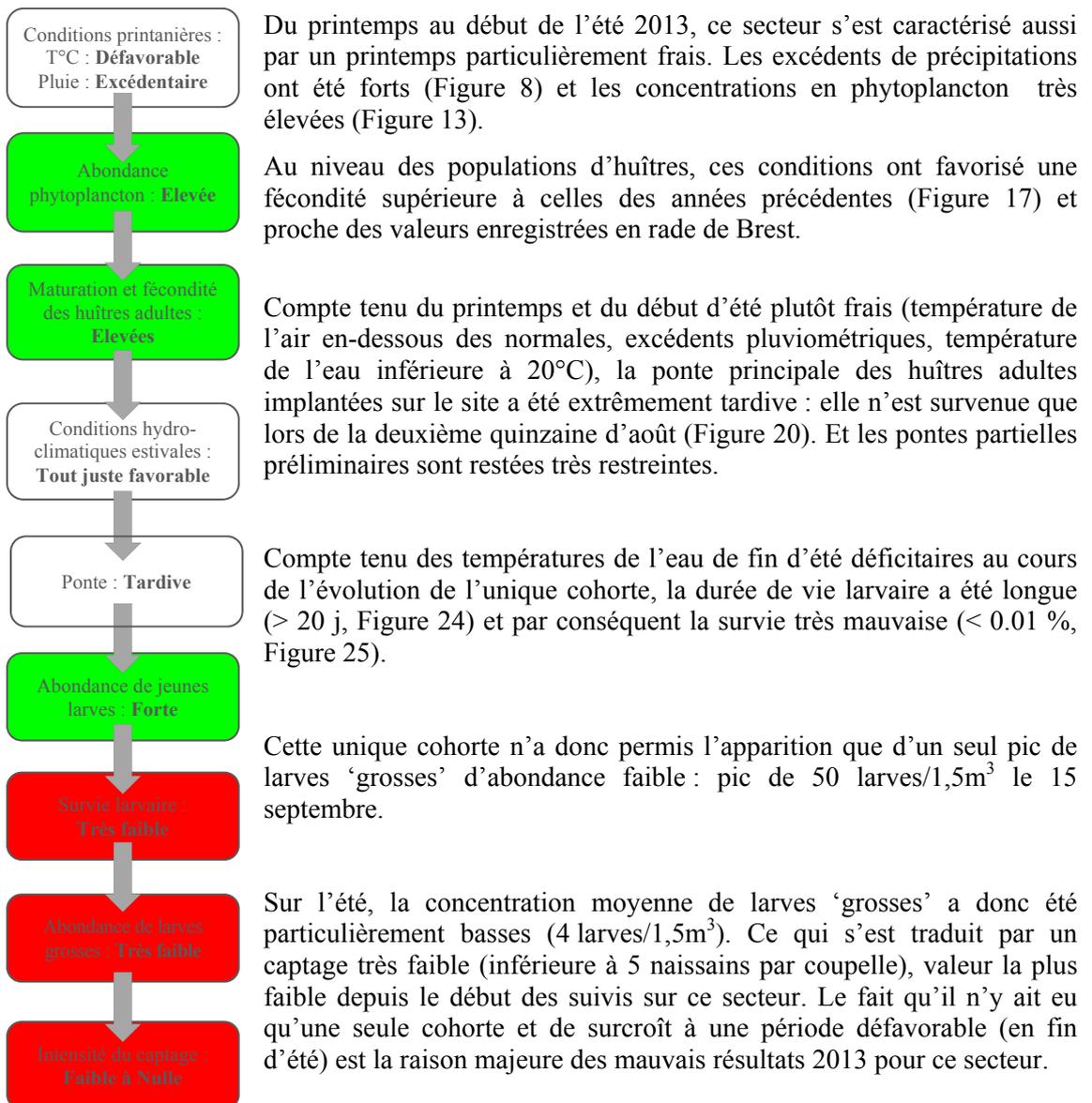
Intensité du captage :  
**Modérée**

En outre, il convient de noter que, comme chaque année, les densités de naissains par coupelle sont toujours un plus élevées dans la rivière du Faou qu'en rivière de Daoulas.

Ainsi, en rade de Brest, même si les pontes n'ont été que tardives et partielles en 2013 (en raison du printemps particulièrement frais), les conditions estivales particulièrement favorables ont permis une très bonne évolution larvaire. Les abondances de larves grosses et les performances de captage 2013 sont les plus élevées que le réseau VELYGER ait enregistrées sur ce secteur depuis sa création en 2008.

Concernant ce secteur, nous réaffirmons donc 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. L'année 2013 démontre cette conclusion. 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) devraient permettre des pontes synchrones, de fortes abondances de larves, une survie élevée et un captage 'bon à excellent'.

#### 4.2.2 Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie et Coupelasse



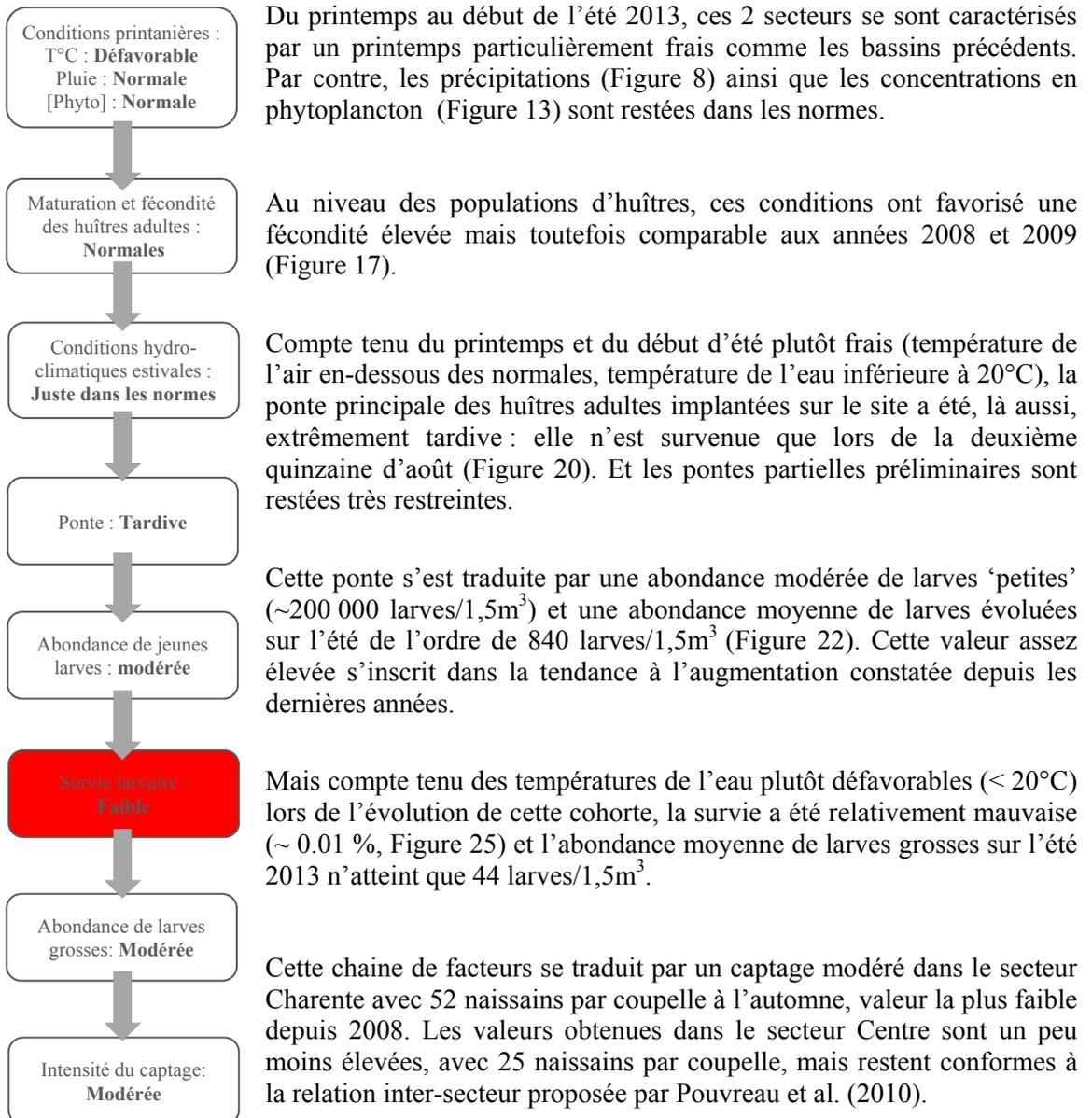
Ce site de captage, situé à une latitude intermédiaire en France, a bénéficié en 2013 tout comme en 2012 de conditions hydro-climatiques défavorables : ponte très tardive de fin d'été, température basse lors de la vie larvaire.

Cela dit, comme en 2012 et à la différence des années antérieures, l'indice de condition et la fécondité des stocks adultes ont été élevées, en raison d'une abondance phytoplanctonique forte liée au printemps humide.

Il semble que là aussi, lors d'étés particulièrement chauds, le captage devrait à nouveau être excellent, pour peu que les stocks de géniteurs soient préservés et que les conditions phytoplanctoniques printanières soient favorables.

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.

### 4.2.3 Bassin de Marennes Oléron - secteurs Charente et Centre



Ainsi, sur ces 2 secteurs des pertuis Charentais, l'année 2013 se caractérise par un captage modéré mais inférieure aux années passées. Cette performance en recul s'explique par les points suivants:

- (1) Une ponte principale tardive liée à un printemps frais;
- (2) Une survie de la cohorte principale faible liée à des températures basses lors de l'évolution larvaire;
- (3) La possibilité complémentaire d'apport allochtone de larves (depuis le Nord, *e.g.* Bernard et al., 2010) à des stades avancés permettant d'assurer un captage modéré (par comparaison avec la baie de Bourgneuf);

Il convient juste de noter que le secteur Centre se comporte de la même manière que le secteur Charente, mais avec des concentrations en larves grosses toujours inférieures (Figure 34), témoignant probablement d'une circulation hydrodynamique moins favorable (Bernard *et al.*, 2010). Tout comme les années précédentes, nous pensons que ces 2 secteurs bénéficient d'apports de larves allochtones depuis le nord du bassin : la préservation de ces stocks sauvages de géniteurs 'source' en amont constitue probablement une garantie d'avenir.

#### 4.2.4 Bassin de Marennes Oléron - secteur Seudre

Le sud du bassin de Marennes-Oléron (secteur Seudre) peut présenter, selon les années, un comportement différent par rapport aux 2 autres secteurs du bassin de Marennes Oléron et mérite une analyse particulière, malgré le manque de données sur ce secteur.

D'une façon générale, ce secteur est caractérisé, d'après les données acquises par le CREA depuis 2005, par un captage généralement moins abondant que dans les 2 autres secteurs mais sans toutefois présenter de corrélation, alors que les secteurs Centre et Charente sont plutôt bien corrélés entre eux, comme en témoigne la Figure 34.

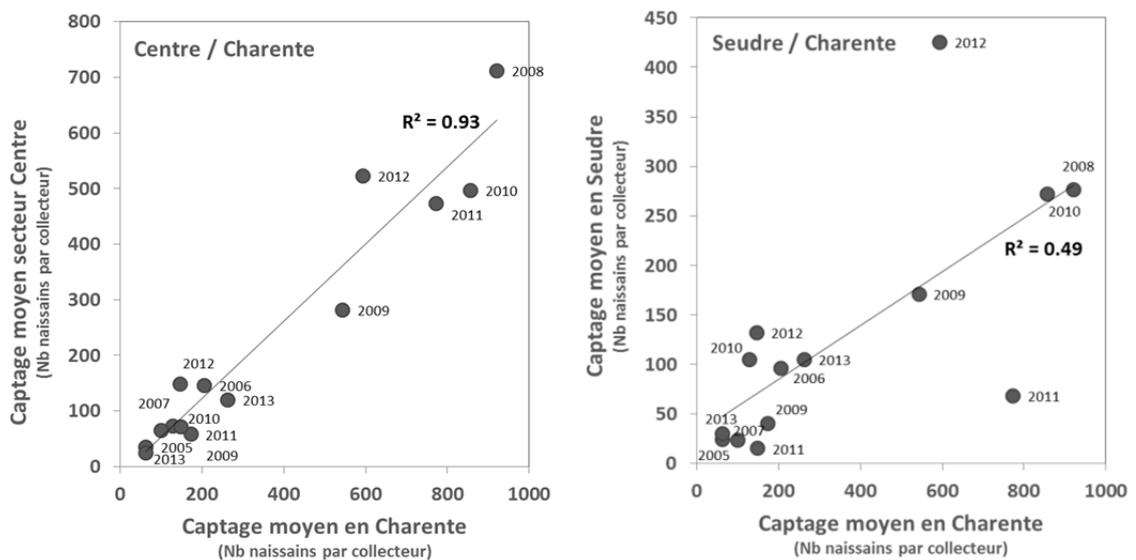


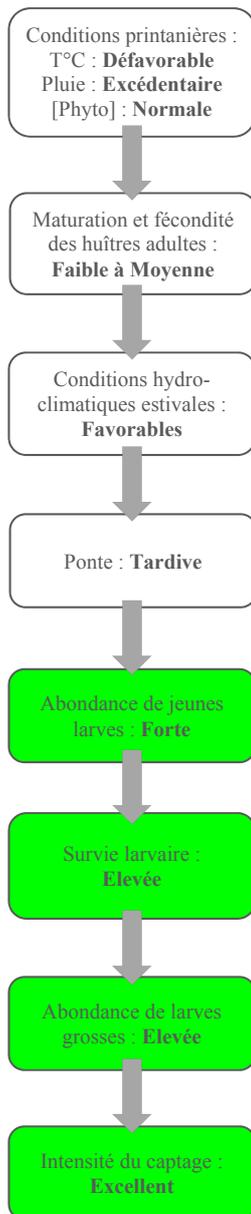
Figure 34 : Relation entre les intensités de captage de chacun des 3 secteurs du bassin de Marennes Oléron (Tubes et Coupelles). D'une façon schématique, on peut considérer que les 2 secteurs Charente et Centre se comportent de façon similaire indépendamment du secteur Seudre. ©Données Creaa 2005-2013

Par ailleurs, pour le secteur Seudre, il est quasiment impossible d'identifier clairement l'existence de cohortes sur les 4 années : les larves petites disparaissent assez rapidement sans forcément présenter d'évolution et l'arrivée sporadique des larves grosses reste délicate à interpréter.

Ce secteur donne l'impression d'exporter 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).

Ainsi, en termes de variabilité interannuelle du captage, la Seudre se comporte différemment : de 2008 à 2011, ce secteur présentait des valeurs systématiquement inférieures (d'un facteur 3 voire plus) mais en 2012 et à nouveau 2013, il présente des valeurs similaires aux secteurs Centre et Charente.

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



Les conditions climatiques printanières sur ce bassin se sont caractérisées par des températures inférieures aux normales et une pluviométrie excédentaire (Figure 8).

Les concentrations de phytoplancton se sont situées dans les normes pour ce secteur (Figure 13), mais toujours faibles par rapport aux autres sites de la façade atlantique suivis dans le cadre du Réseau.

Par conséquent, la population sentinelle d’huîtres adultes suivie pour ce site (implantée chaque année dans le secteur Est d’Arcachon) présente, en 2013, un indice de condition plutôt faible (Figure 17), mais toutefois comparable aux années précédentes.

Comme pour les autres écosystèmes et compte tenu d’un printemps et d’un début d’été plutôt frais, la ponte principale des huîtres de ce secteur a été très tardive. Elle n’est finalement survenue qu’à partir de la mi-août s’inscrivant parmi les pontes les plus tardives enregistrées sur ce secteur depuis le début des suivis dans les années 1980 (Figure 21). Cela étant, une première ponte partielle a tout de même eu lieu de façon préliminaire au cours du mois de juillet.

Ces pontes (partielle et principale) se sont traduites par une abondance modérée à forte de larves ‘petites’ (>500 000 larves/1,5m<sup>3</sup>) et une abondance moyenne sur l’été de larves évoluées autour de 1000 larves/1,5m<sup>3</sup>. Cette abondance de larves évoluée sur l’été a été moins faible que les années antérieures (Figure 22).

Compte tenu des températures de l’eau très favorables (~ 23°C) lors de l’évolution des deux cohortes, la survie a été satisfaisante conformément au modèle thermique proposé pour ce site (Figure 25). Ce qui a permis l’apparition de pics de larves ‘grosses’ en forte quantité (> 1000 larves/1,5m<sup>3</sup> fin août) et une concentration moyenne sur l’été proche de 180 larves/1,5m<sup>3</sup> (Figure 23).

Ces performances satisfaisantes se sont traduites par un captage excellent variant du secteur Ouest au secteur Est de 177 à 429 naissains par coupelle à l’automne. Ces résultats sont les meilleurs depuis l’année 2008 (notamment dans le secteur Est) et les valeurs obtenues sur tuile (collecteur de référence pour le bassin d’Arcachon) placent l’année 2013 parmi les cinq meilleures années depuis le début des suivis en 1985.

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, à relier probablement en partie aux abondances phytoplanctoniques plutôt modérées sur ce secteur. En 2013, les pics de jeunes larves ont cependant présenté des valeurs un peu moins faibles que les années antérieures.

Si, à ce premier facteur limitant, 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 (proche de 0.01%) et le captage irrémédiablement faible. Par contre, en cas d’été favorable, comme cela a été le cas en 2013, les températures élevées garantissent une bonne survie (> 1% pour la première cohorte) et assurent un captage satisfaisant voire excellent.

#### 4.2.6 Etang de Thau

L'étang de Thau présente un fonctionnement à part en termes de captage par rapport aux bassins de la façade atlantique sur la plupart des étapes suivantes :

- Le printemps a été caractérisé par une pluviométrie excédentaire (Figure 8) mais des températures (Figure 10) dans les normales contrairement aux secteurs de la façade atlantique. Puis la fin du printemps et l'été sont très rapidement devenus secs et chauds.
- Cela s'est traduit par des concentrations en phytoplancton plutôt basses (Figure 13), les plus basses des sites VELYGER.
- Dans ce contexte, la population sentinelle d'huîtres adultes suivie pour ce site (implantée chaque année dans le secteur Marseillan) présente, en 2013, un indice de condition toujours faible (Figure 19), le plus bas des sites VELYGER.
- Par contre, comme chaque année, la ponte a lieu précocement (cette année dans la première quinzaine de juillet) et de façon conforme au modèle thermique établi sur la côte atlantique (Figure 20).
- Les abondances de larves qui en résultent sont modérées (compte tenu des temps de résidence élevés dans l'étang) : des pics de larves petites supérieures de l'ordre de 200 000 larves/1,5m<sup>3</sup> et des concentrations moyennes sur l'été de larves évoluées supérieures à 1000 larves/1,5m<sup>3</sup> (Figure 22). En outre, l'évolution larvaire y est très rapide (PLD ~ 11 jours, Figure 24) et les taux de survie plutôt élevés (> 1%, Figure 25) ce qui permet d'observer des concentrations en larves grosses, en moyenne sur l'été, de l'ordre de 680 larves/1,5m<sup>3</sup>, valeur la plus élevée du réseau VELYGER.
- De telles concentrations auraient dû se traduire, selon le modèle établi sur la côte atlantique, par un captage excellent, permettant d'observer au moins 200 naissains par coupelle (Figure 26). Mais, comme les années antérieures, le captage est extrêmement variable d'un secteur à un autre et d'une pratique zootechnique à une autre : il varie de 8 naissains / coupelle dans le secteur Centre à 122 naissains / coupelle dans le secteur Ouest (Figure 32).

Au regard des données 2013 et des données acquises depuis 2010, il s'avère que sur ce secteur particulier, outre le problème d'une fécondité un peu faible (compensé 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.

Ce problème très spécifique à l'étang 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 et technique d'exondation) constituent le facteur principal des performances du captage sur cet écosystème sans marée.

## 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 actuel de la crise ostréicole, des problèmes d'approvisionnement en juvéniles et des volontés de repeuplement. Ce réseau s'inscrit aussi comme un outil d'observation scientifique clé dans le contexte du réchauffement et de la variabilité climatique qui l'accompagne.

Il ressort, pour l'année 2013, les grandes tendances suivantes :

- Sur le plan hydro-climatique, cette année se caractérise par **un printemps particulièrement frais et humide** avec des épisodes de crues marquées sur certains secteurs suivi d'**un été ensoleillé et relativement chaud** (mais sans épisode caniculaire). On observe des dessalures importantes au cours du printemps, puis un retour dans les normales en été. Le phytoplancton est relativement abondant mais sans excès marqué (à l'exception de la baie de Bourgneuf).
- En termes de biologie, ces conditions hydro-climatiques se sont traduites, chez les populations d'huîtres adultes, par des indices de condition généralement élevés, avec toujours l'existence d'un gradient Nord-Sud observé chaque année. En outre, le déficit thermique enregistré tout au long du printemps sur la façade atlantique s'est traduit par **une ponte particulièrement tardive en août** sur l'ensemble des écosystèmes de la côte atlantique. Seule la ponte de l'étang de Thau a eu lieu normalement en juillet, conformément au modèle thermique proposé. Sur certains écosystèmes, **une ponte préliminaire, partielle et asynchrone** a cependant eu lieu en juillet.
- Grâce à des températures très favorables en juillet et favorables en août, la plupart des cohortes larvaires présentes à cette période (rade de Brest, bassin d'Arcachon et étang de Thau) ont eu une survie normale à bonne (*e.g.* 0.2 à plus de 1 %), ce qui s'est traduit par **un captage bon à excellent**, avec **une forte variabilité dans l'étang de Thau** (cf paragraphe ci-dessous). Par contre, pour la baie de Bourgneuf et les pertuis Charentais, l'arrivée trop tardive des larves à la fin août dans une eau fraîche (< 20°C) n'a pas permis une survie favorable (autour de 0.01 %) ce qui s'est traduit par **un captage tout juste modéré, faible voir nul**.
- En conséquence, l'année 2013, se caractérise par **un captage très variable géographiquement** : « bon voire excellent » en rade de Brest (de 138 à 245 naissains/coupelle) et dans le bassin d'Arcachon (de 177 à 429 naissains/coupelle), modéré dans le bassin de Marennes-Oléron (de 25 à 52 naissains/coupelle) et faible en baie de Bourgneuf (< 5 naissains/coupelle).
- Enfin, comme en 2012, ce rapport montre que **l'étang de Thau joue un rôle d'exception**. Malgré une ponte dans les normes, des abondances de larves élevées et une forte survie des cohortes, le captage 2013 y est très variable (8 à 122 naissains/coupelle) ce qui positionne l'étang de Thau en dehors du modèle de fonctionnement admis pour le cycle de reproduction de l'huître creuse sur la façade atlantique. Il semble que, sur ce site, la fixation constitue un verrou biologique et les aspects zootechniques liés à la gestion des collecteurs (localisation par rapport aux tables ostréicoles et technique d'exondation) constituent le facteur déterminant des performances du captage sur cet écosystème sans marée.

Enfin, il ressort de cette nouvelle analyse 2013, les recommandations potentielles suivantes (par secteurs ou bassins étudiés) :

- Pour le secteur de rade de Brest, les résultats 2013 confortent la conclusion émise dans les rapports précédents (*e.g.* Pouvreau et al., 2012) : le facteur limitant réside dans la température estivale (et printanière). Un été chaud (associé à un printemps chaud) devraient permettre des pontes synchrones, de fortes abondances de larves, une survie élevée et assurer ainsi un captage 'bon à excellent'.
- Pour le secteur de la baie de Bourgneuf, la préservation des stocks sauvages devraient permettre d'assurer un captage généralement modéré, tant que les conditions hydro-climatiques du printemps et de l'été restent favorables. Ces conditions ont été, en 2013, doublement défavorables sur ce secteur :

poncte tardive en raison du printemps frais avec un développement de la cohorte début septembre dans une eau trop fraîche. En outre, les temps de résidence des masses d'eau sur ce secteur pourraient aussi jouer un rôle dans la variabilité interannuelle du recrutement. A l'avenir, la mise en œuvre d'un modèle hydrodynamique sur ce secteur pourrait permettre de mieux comprendre cette variabilité.

- Pour le secteur « Charente » dans le bassin de Marennes-Oléron, il apparaît que le recrutement y est peu variable ces dernières années : souvent modéré (voire excellent). Ça reste le cas en 2013, même si les valeurs sont plus faibles que les années antérieures. Ce secteur est supposé dépendre d'apport de larves émises par des bancs naturels situés plus du nord (Bernard, 2011). Cette caractéristique lui permet d'être « meilleur » que la baie de Bourgneuf, malgré les similitudes climatologiques des deux écosystèmes. Par contre, comme les années passées, le secteur Seudre se comporte un peu différemment, avec cette année des valeurs plutôt favorables. Néanmoins, la préservation des stocks sauvages sur cet écosystème reste une garantie pour le succès du captage.
- Pour les secteurs Est et Ouest d'Arcachon, l'année 2013, comme 2012 permet de confirmer que quand les conditions climatiques estivales sont bonnes, le captage l'est aussi. Le bon captage de l'année 2013 permet donc de rompre définitivement avec la série des mauvaises performances enregistrées de 2009 à 2011. Il n'en demeure pas moins que la fécondité est réduite et la quantité de jeunes larves est en diminution constante depuis quelques années. De récentes études régionales (Bernard et al., 2014) permettent de mieux appréhender les causes de ce phénomène de fond.
- Pour l'étang de Thau, malgré une fécondité là aussi un peu faible (liée à une diminution de la concentration en phytoplancton depuis quelques années), les performances de la vie larvaire sont généralement très bonnes. Mais il semble qu'un réel verrou biologique se pose lors de la fixation et de la métamorphose. La levée de ce verrou réside vraisemblablement dans la pratique zootechnique du captage (émersion et localisation judicieuse des zones de collectage). Une optimisation des pratiques est en cours (e.g. Lagarde et al., 2013) et devrait permettre d'assurer chaque année un bon captage sur l'étang.

## 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/ARCACHON, 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/>

**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

**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'Huitre 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'Orbcastel E., Perignon A., Mortreux S., Fuhrmann M., Le Gall P., Leurion A., Chiantella C., Bec B., Roques C., Bonnet D., Cochet H., Boj M., Gervasoni E., Miron G., Fiandrino A., Pouvreau S., Pernet F. (2013)** Larval recruitment 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'Orbcastel E., Gohin F., Bryere P., Quemener L., Repecaud M., Bucas K., Barbot S., Guillemot A., Nonnotte L., Duros W., Bonnat A., Tarot S., Mille D., Geay A., Bouquet A.L. (2013)** Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau VELYGGER. Rapport annuel 2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00135/24648/>

**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/>