

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

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

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

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

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

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

Centre Régional Expérimentation et Application Aquacole - CREAA

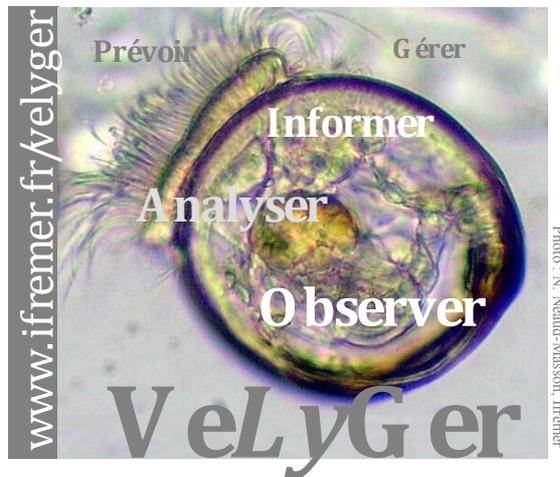
AL. Bouquet, A. Geay, D. Mille

Réf : R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2015-1



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

## Le Réseau Velyger



- Rapport annuel 2014 -

Coordination - Rédaction : Stéphane Pouvreau

Mars 2015

Convention DPMA 2014 - IFREMER 13/1210868/NYF



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

**Le Réseau Velyger**

**Rapport scientifique annuel du réseau national  
Velyger, convention DPMA-Ifremer 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 et de l'Ifremer.



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

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

# Fiche documentaire

<b>Numéro d'identification du rapport :</b> <b>Diffusion :</b> libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> <b>Validé par :</b> S. Lapègue <b>Adresse électronique :</b> Sylvie.Lapegue@ifremer.fr		<b>date de publication :</b> 30/03/2015 <b>nombre de pages :</b> 57 <b>bibliographie :</b> oui <b>illustration(s) :</b> 38 figures <b>langue du rapport :</b> Français
<b>Titre du rapport :</b> Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger		
Contrat n° 13/1210868/NYF      Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Auteur principal :</b> S. Pouvreau  <b>Contributeurs :</b> S. Petton, I. Queau, A. Haurie, P. Le Souchu, M. Alunno-bruscia, H. Palvadeau, I. Auby, D. Maurer, F. D'Amico, S. Passoni, C. Barbier, M.P. Tournaire, L. Rigouin, M. Rumèbe, E. Fleury, P. Fouillaron, JF. Bouget, J.F. Pépin, S. Robert, J. Grizon, JL. Seugnet, J.M. Chabirand, O. Le Moine, S. Guesdon, F. Lagarde, S. Mortreux, P. Le Gall, G. Messiaen, E. Roque d'Orbcastel, L. Quemener, M. Repecaud, D. Mille, A. Geay, AL. Bouquet.	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> Département Ressources Biologiques et Environnement Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins Laboratoire de Physiologie des Invertébrés	
<b>Cadre de la recherche :</b> Réseau national VELYGGER- Convention DPMA-Ifremer 2014		
<b>Destinataire :</b>	DPMA-Ifremer	

## Résumé

La conchyliculture, et principalement l'élevage de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, constitue la principale activité aquacole française. Cette activité repose, en grande partie, sur le recrutement naturel de l'espèce qui assure 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 la lagune de Thau une volonté de pratiquer le captage.

Afin de mieux comprendre les facteurs de variations du captage, l'Ifremer a mis en place, à la demande du Comité National de la Conchyliculture, un réseau national de suivi de la reproduction : le Réseau Velyger. Créé en 2008 sur 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 2014 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 et analyse par secteur toutes les caractéristiques du cycle de reproduction de l'huître creuse : maturation et fécondité des adultes, période de ponte, abondance et survie des larves, intensité du captage et mortalités précoces. Il fournit ensuite une interprétation et une synthèse des résultats 2014 à la lueur des résultats des années antérieures.

Ainsi, pour l'année 2014, on retient les faits majeurs suivants :

- Sur le plan hydro-climatique, cette année se caractérise par **un hiver et un printemps particulièrement doux et humides**, avec des épisodes de crues marquées sur la façade atlantique suivis d'**un été ensoleillé et relativement chaud** (mais sans épisode caniculaire). On observe des dessalures importantes en fin d'hiver, puis un retour dans les normales au printemps. Le phytoplancton est relativement abondant de la rade de Brest aux pertuis Charentais et plutôt déficitaire dans le bassin d'Arcachon et la lagune de Thau.
- En termes de biologie, ces conditions hydro-climatiques se sont traduites, chez les populations d'huîtres adultes, par des indices de condition généralement élevés, avec toujours l'existence d'un gradient Nord-Sud observé chaque année, corrélativement à la concentration en phytoplancton. En outre, l'excédent thermique enregistré depuis l'hiver et tout au long du printemps s'est traduit par **une ponte dès la mi juillet** sur l'ensemble des écosystèmes de la côte atlantique et encore plus précocement dans la lagune de Thau.
- Grâce à des températures très favorables en juillet et encore favorables en août, la plupart des cohortes larvaires observées ont eu une survie normale à bonne (e.g. 0.2 à 1.4 %), ce qui s'est généralement traduit par **un captage modéré à excellent voire exceptionnel dans certains cas bien précis : la baie de Bourgneuf et le bassin d'Arcachon**. Par contre, en rade de Brest, le captage est en deçà des valeurs auxquelles on aurait pu s'attendre, et la question de l'effet de certaines algues toxiques présentes en abondance au cours de cette saison de reproduction est posée. C'est aussi le cas dans la lagune de Thau, mais sur cet écosystème sans marée 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.
- En conséquence, l'année 2014, se caractérise par **un captage très variable géographiquement** : « faible à modéré » en rade de Brest et dans la lagune de Thau (1 à 30 naissains/coupe), modéré dans les pertuis Charentais (~200 naissains/coupe) et excellent à exceptionnel dans le bassin d'Arcachon et en baie de Bourgneuf (de 200 à 2000 naissains/coupe).

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

### Mots-clés:

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

### Key words:

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

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Organisation du réseau Velyger</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Matériel, Méthode, Mise en Œuvre</b>	<b>11</b>
2.1.1	Sites étudiés	11
2.1.2	Paramètres suivis	11
<b>2.2</b>	<b>Gestion et Analyse des données</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>Principaux résultats de l'année 2014</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Conditions climatiques générales</b>	<b>18</b>
3.1.1	Température de l'air	18
3.1.2	Pluviométrie	20
<b>3.2</b>	<b>Données hydrologiques</b>	<b>22</b>
3.2.1	Température de l'eau de mer	22
3.2.2	Salinité et débits des rivières	23
3.2.3	Concentration en phytoplancton	25
3.2.4	pH et acidification de l'océan	27
<b>3.3</b>	<b>Maturation, indice de condition et fécondité</b>	<b>28</b>
3.3.1	Comparaison spatio-temporelle	28
3.3.2	Facteurs d'explications : le phytoplancton	30
<b>3.4</b>	<b>Date de ponte</b>	<b>32</b>
3.4.1	Valeurs 2014	32
3.4.2	Séries historiques	33
<b>3.5</b>	<b>Abondance, développement et survie des larves</b>	<b>33</b>
3.5.1	Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire	34
3.5.2	Durée du développement larvaire	37
3.5.3	Survie larvaire	38
3.5.4	Larves grosses et intensité du captage	39
<b>3.6</b>	<b>Estimation précoce du recrutement</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Synthèse</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Schéma général</b>	<b>46</b>
4.1.1	Rade de Brest – secteurs Daoulas et Faou	48
4.1.2	Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie à Coupelasse	49
4.1.3	Bassin de Marennes Oléron - secteurs Charente, Centre et Seudre	50
4.1.4	Bassin d'Arcachon - secteurs Est et Ouest	52
4.1.5	Lagune de Thau	53
<b>5</b>	<b>Conclusion et recommandations</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>Références bibliographiques</b>	<b>56</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 des années 2013 et 2014.

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, 2013, 2014). Enfin, la volonté de développer le captage dans la lagune de Thau se concrétise depuis 4 ans par la mise en place d'un projet régional PRONAMED (Rayssac *et al.*, 2011 ; Lagarde *et al.*, 2013) soutenu par le réseau national Velyger.

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

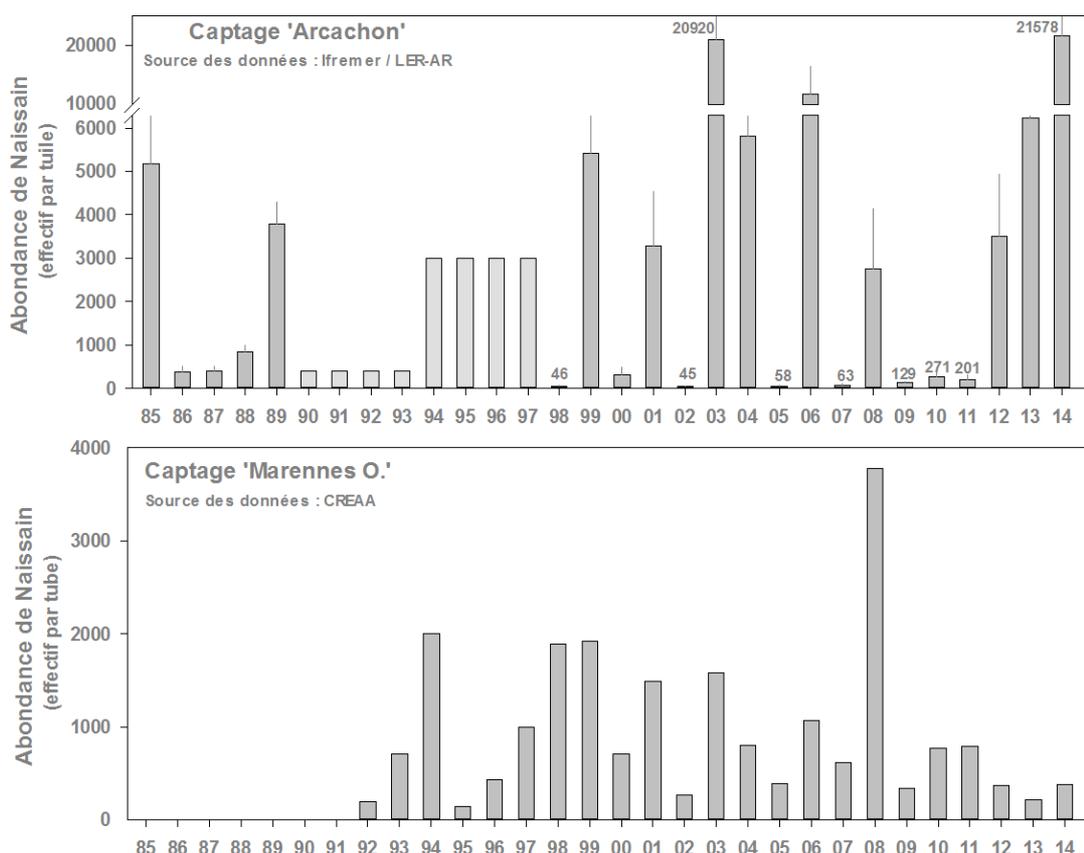


Figure 1 : Série historique de recrutement sur collecteur (captage) dans les bassins d'Arcachon et de Marennes Oléron depuis les années 1985. Pour Arcachon, les données sont obtenues annuellement sur la base d'un échantillonnage à l'échelle du bassin par la station Ifremer d'Arcachon (de 1990 à 1997, 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 CREA. 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 **G**érer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse sur les côtes françaises). Ce projet s'est terminé en 2010 par l'édition d'un rapport final (Pouvreau *et al.*, 2011), la soutenance d'une thèse (Bernard, 2011) et la mise à disposition d'un site Internet dédié :

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

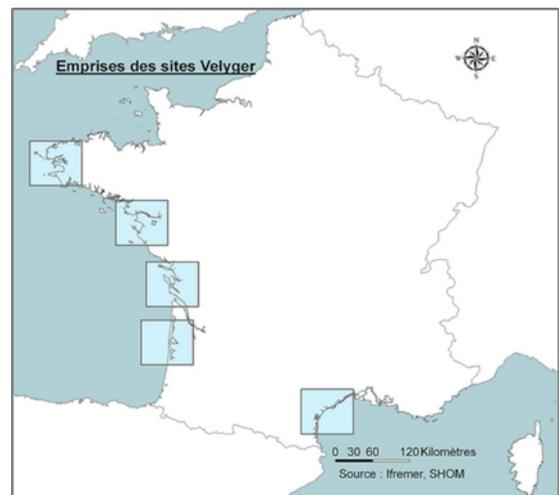
Ce projet a permis la création d'un véritable réseau national d'observation de la reproduction de l'huître creuse, de nature fédérative et composite, piloté par le Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (basé à Brest et Argenton), récemment intégré dans les dispositifs d'observation du LEMAR et associant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

Sur le plan opérationnel et 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 lagune de Thau, Figure 2) :

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

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 2014, 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 lagune de Thau).

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

#### 2.1.2 Paramètres suivis

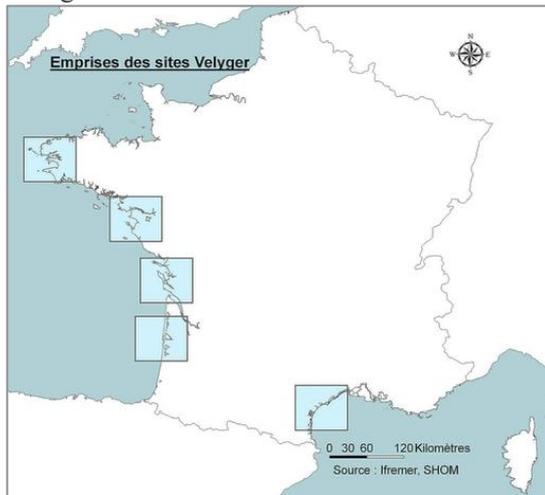
Pour chaque site Velyger, la description du cycle de reproduction de l'huître creuse se fait sur la base de 3 descripteurs biologiques associés à l'analyse des conditions environnementales (Tableau 1).

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

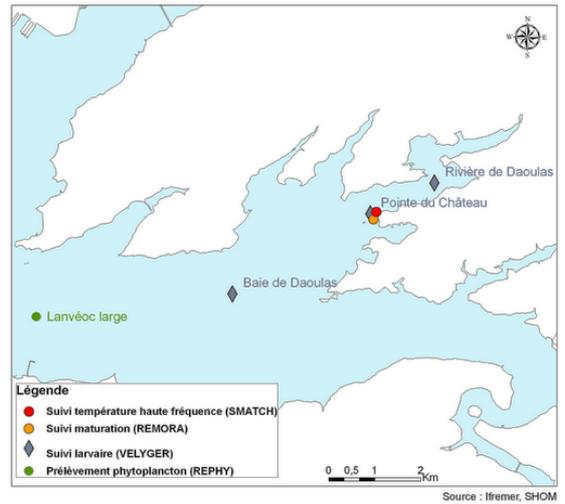
Paramètres suivis	Description	Période et Fréquence d'échantillonnage	Méthode
<u>Descripteur A</u>	<i>Suivi annuel de la croissance et de la maturation d'un lot d'huîtres sentinelles</i>	Mensuel à bi-mensuel en été	Prélèvement aléatoire puis dissection & biométrie en laboratoire (protocole Remora)
<u>Descripteur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

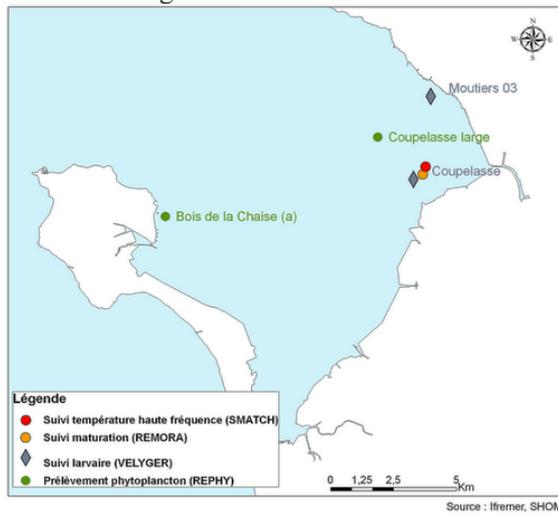
Vue générale des 5 sites



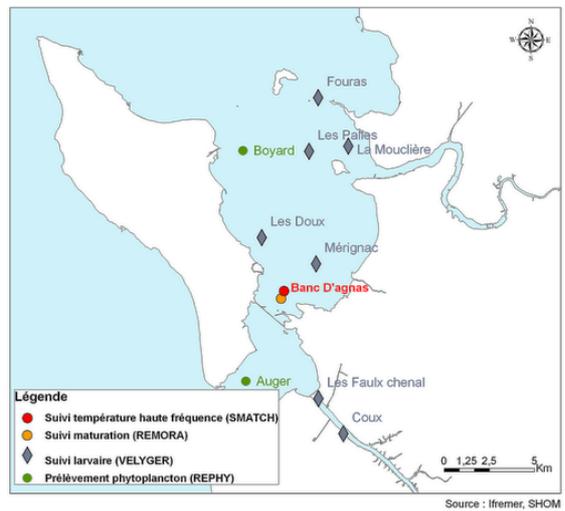
Rade de Brest



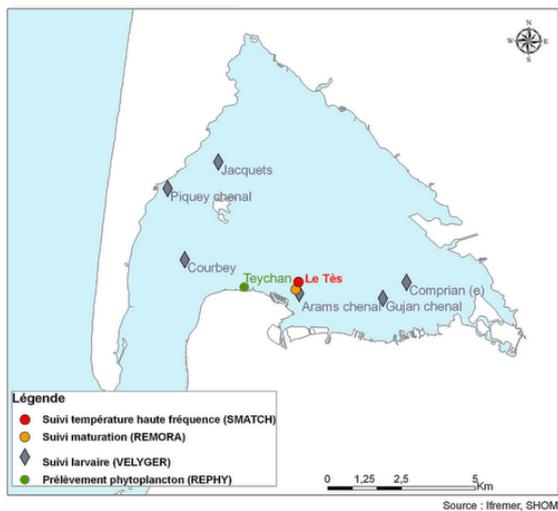
Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon



Lagune de Thau

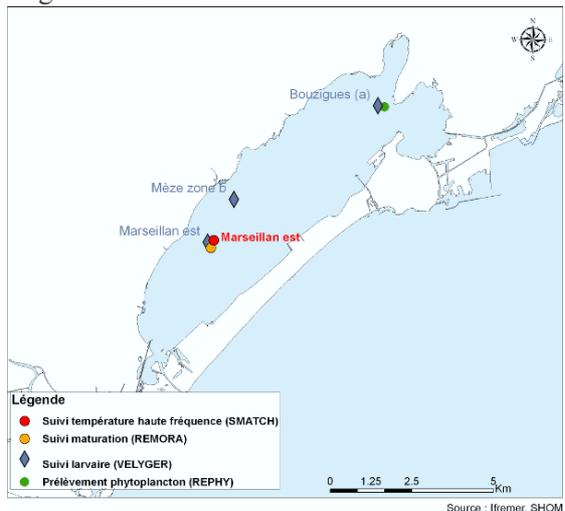


Figure 3 : Présentation des 5 sites du réseau d'observation de la reproduction de l'huître creuse (réseau Velyger). Ces 5 sites font partie, avec le Réseau RESCO, des 13 sites de l'observatoire national conchylicole piloté par l'Ifremer.

### 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 Velyger, 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 la lagune 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 Velyger et sur plusieurs stations par site tout au long de la saison de reproduction, *i.e.* de juin à septembre.

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

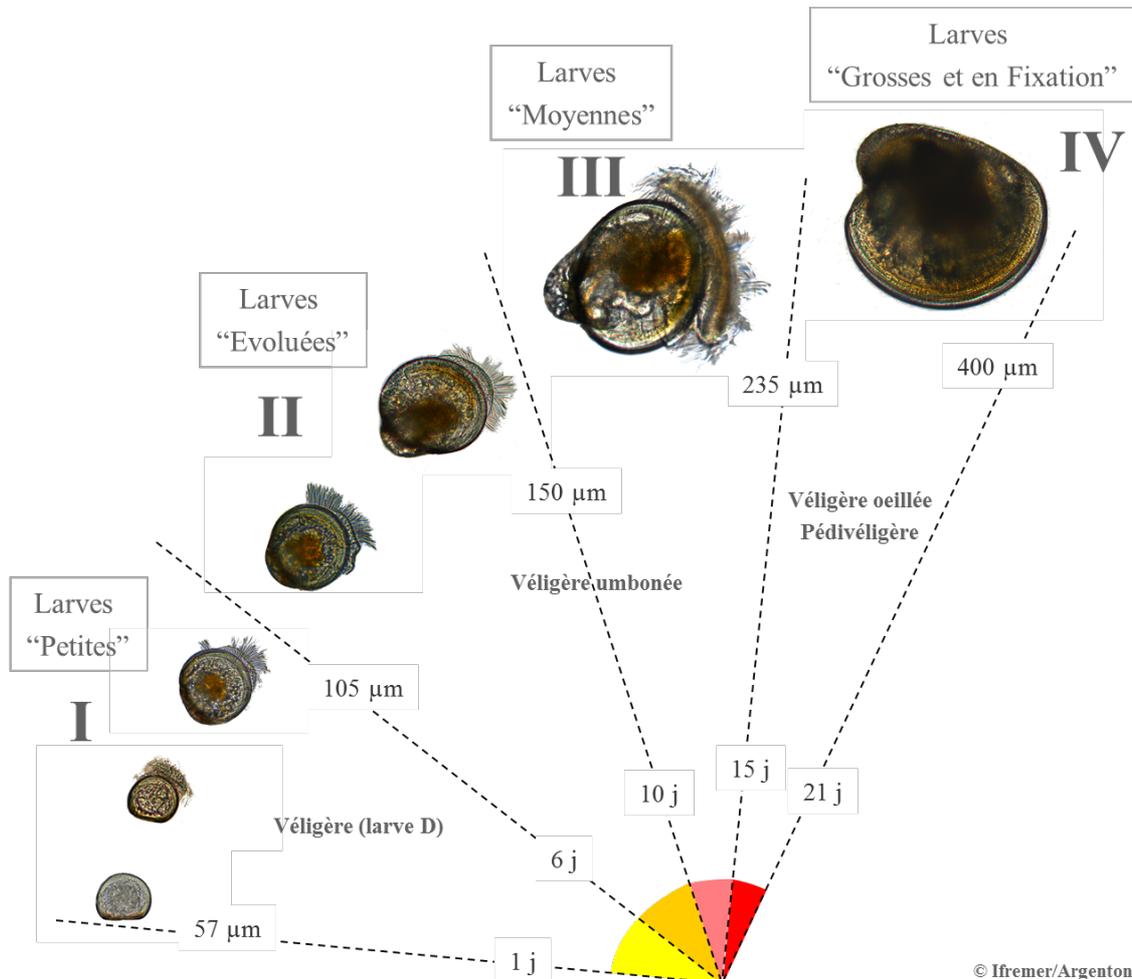
$$N=1,5*(n1+n2)* v/V , \text{ avec :}$$

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 Quadrigé 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.



© Ifremer/Argenton

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.

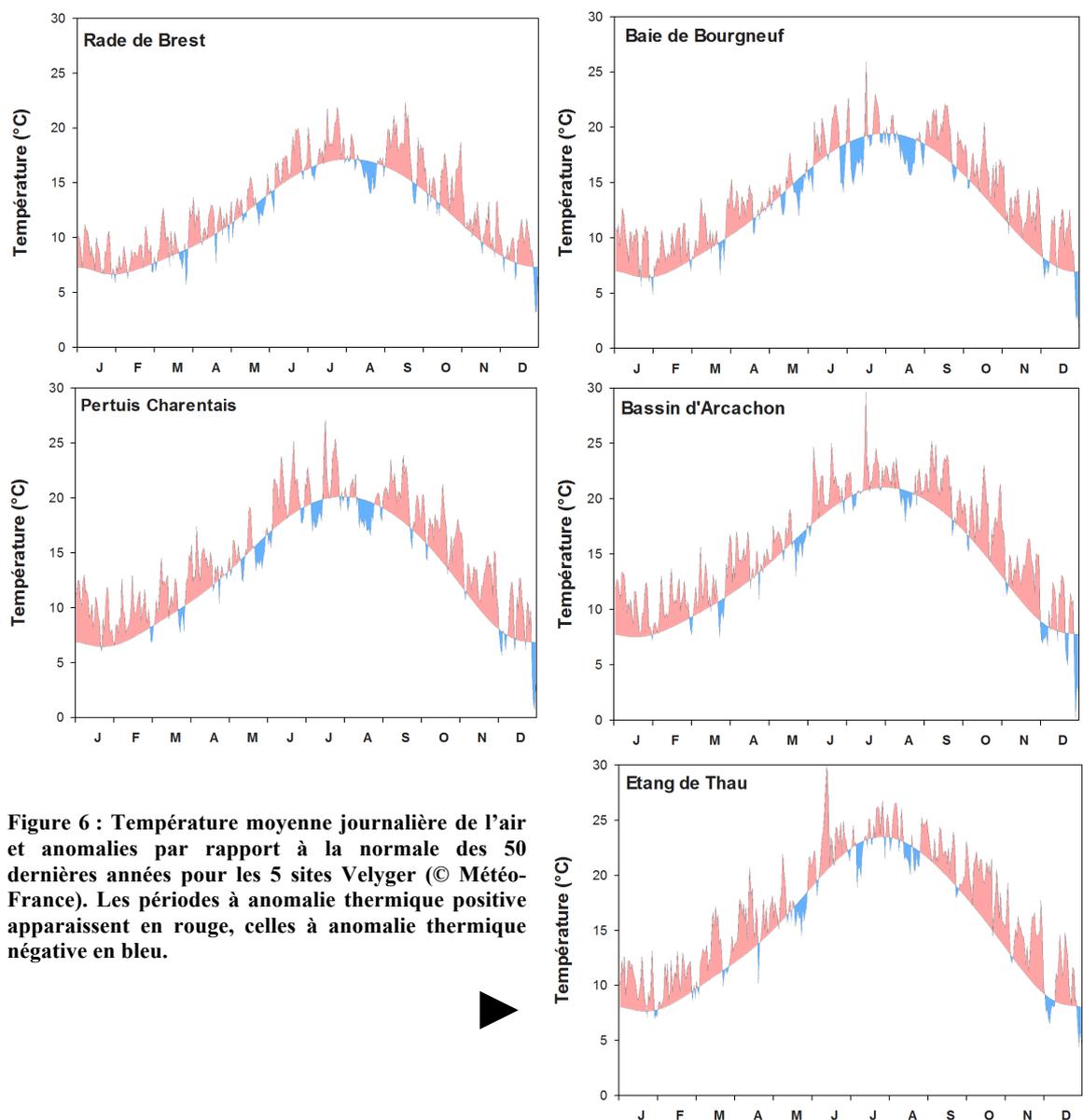
## 3 Principaux résultats de l'année 2014

### 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

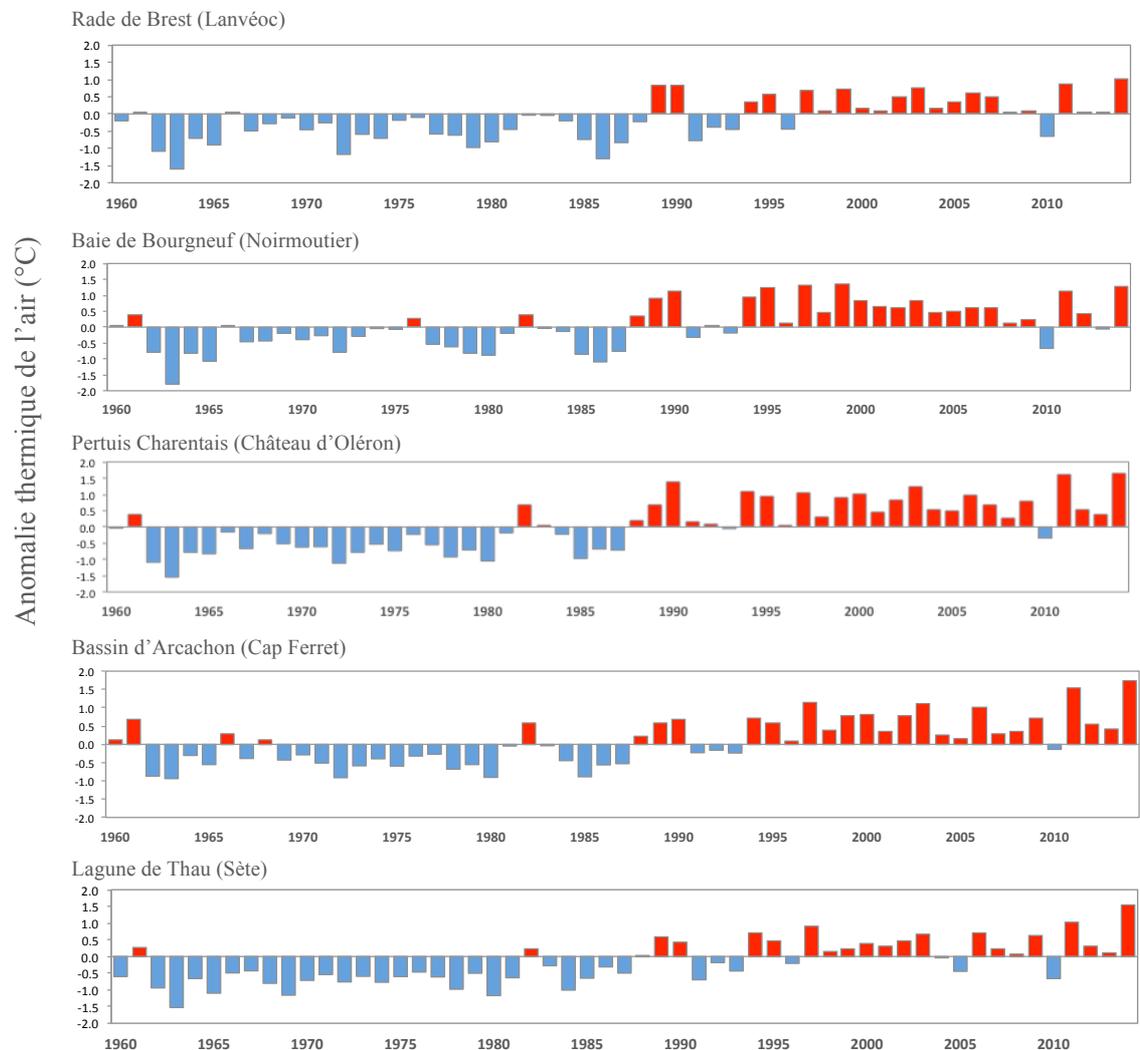
La Figure 6 présente, de façon synthétique, l'évolution de la température de l'air en 2015 (moyenne journalière relevée par Météo-France à proximité des points de suivis du Réseau Velyger) et son degré d'anomalie par comparaison à la normale (calculée sur les 50 dernières années, *i.e.* de 1960 à 2010).



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

- L'hiver a été marqué par des températures largement au dessus des normales et aucune période significative de froid n'a été observée.
- Le printemps est marqué par la même caractéristique : les températures sont soit dans les normes soit supérieures aux normales.
- La situation est plus contrastée en été avec la présence de quelques périodes pour lesquelles la température de l'air est repassée en deçà des normales notamment au cours du mois d'août.
- Par contre, dès le mois de septembre et ce, tout au long de l'automne, les températures sont repassées largement au-dessus des normales, avec parfois un écart de plus de 4°C sur une longue durée (e.g. bassin d'Arcachon en octobre).

En complément, la Figure 7 présente l'évolution, depuis 1960, de l'anomalie annuelle de la température de l'air sur chacun des sites du réseau Velyger. Cette figure montre que l'année 2014 s'inscrit toujours dans la tendance au réchauffement enregistrée depuis les années 1990 et présente une anomalie positive, en moyenne sur l'année, de plus de 1°C en 2014 sur l'ensemble des sites Velyger et jusqu'à 1,5°C pour les sites du réseau les plus au sud.



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

Ainsi, l'année 2014 apparaît comme une année particulièrement chaude avec un hiver, un printemps et un automne exceptionnellement doux. L'été est quant à lui un peu plus proche des normales.

### 3.1.2 Pluviométrie

La Figure 8 présente, de façon synthétique, les cumuls mensuels de pluie relevés en 2014 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 particulièrement excédentaires.
- Au printemps, les cumuls de pluie se situent plutôt dans les normales ou présentent même des valeurs déficitaires selon les secteurs.
- En été, les cumuls mensuels sont aussi dans les normes à l'exception du mois d'août qui présente des valeurs plutôt excédentaires sur les sites nord.
- L'automne est particulièrement contrasté : le mois de novembre est largement excédentaire, alors que les autres mois sont plutôt déficitaires ou tout juste dans les normes.

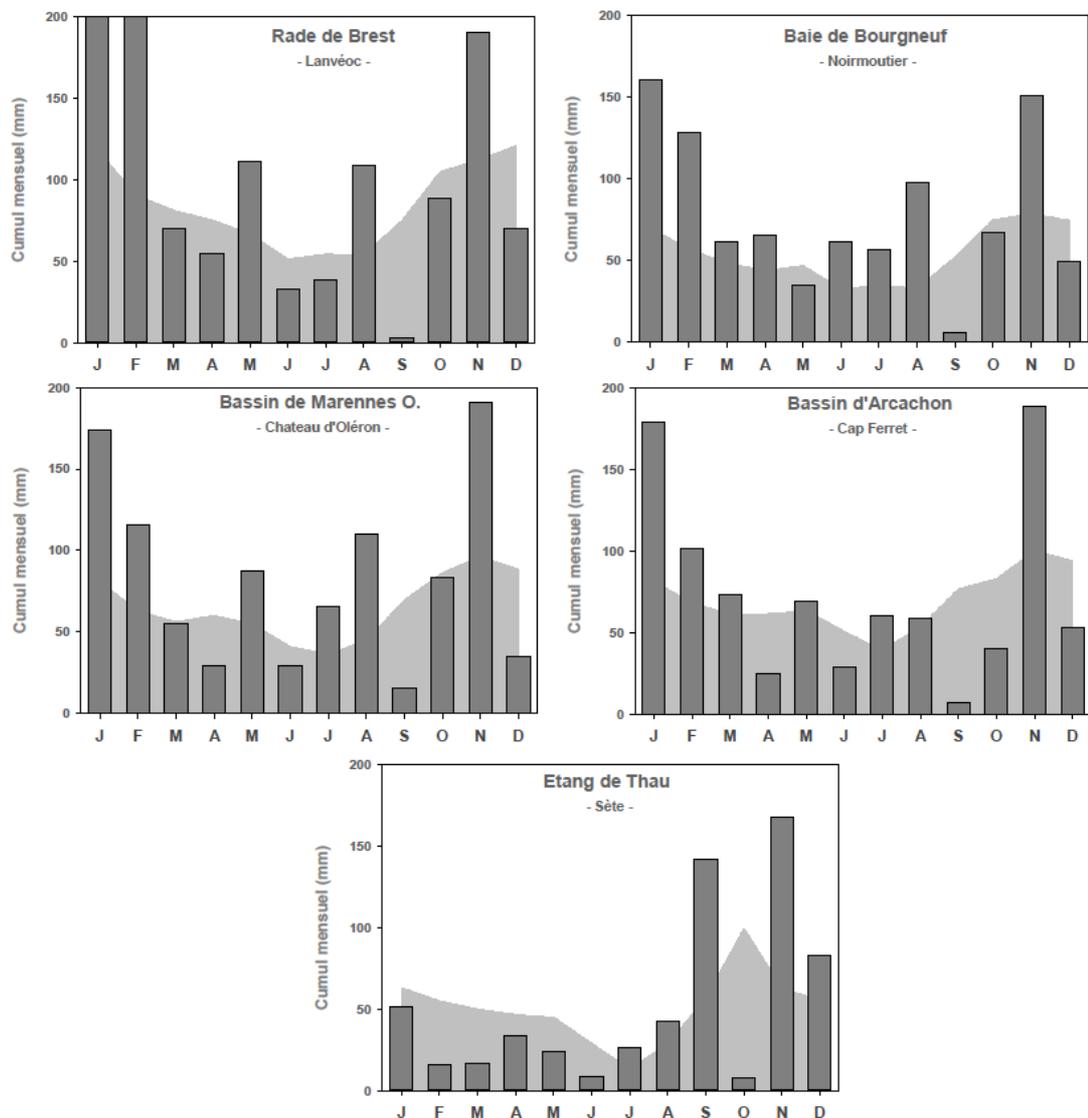


Figure 8 : Cumul pluviométrique mensuel pour l'année 2014 et normale des 50 dernières années pour les 5 sites Velyger (données issues des stations Météo-France les plus proches des points de suivis du Réseau Velyger).

En complément, la Figure 9 présente l'anomalie annuelle 2014 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 2014 s'inscrit bien comme une année humide plus ou moins marquée selon les secteurs :

- Il s'agit clairement d'une année humide pour les sites les plus au nord : rade de Brest, baie de Bourgneuf et pertuis Charentais.
- Il s'agit par contre d'une année proche des normales dans le bassin d'Arcachon et dans la lagune de Thau.

En outre, tout comme les années précédentes, l'année 2014 confirme l'existence d'un gradient Nord-Sud sur le plan des anomalies de pluviométrie. Ce gradient dans l'anomalie semble se dégager depuis une dizaine d'années.



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

## 3.2 Données hydrologiques

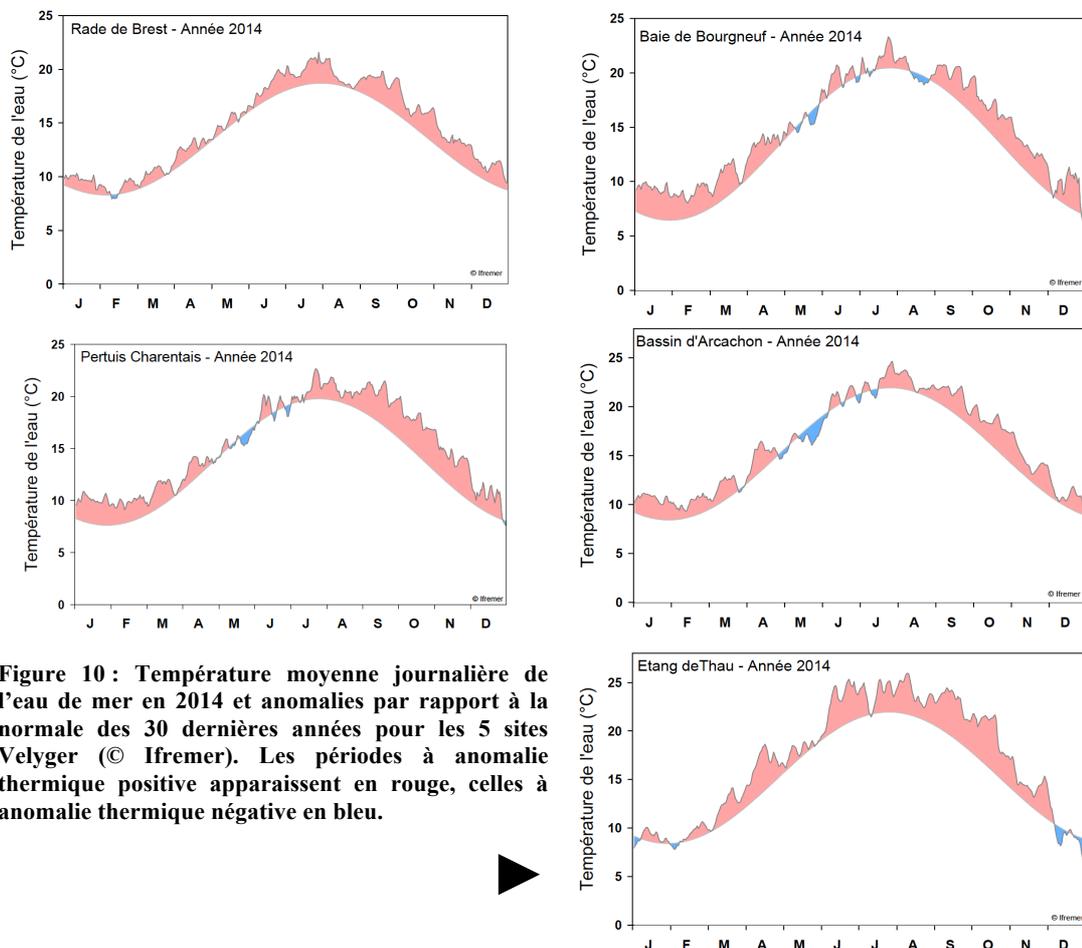
### 3.2.1 Température de l'eau de mer

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

En outre, les forts contrastes thermiques agissent aussi comme un déclencheur de l'émission des gamètes et favorisent le synchronisme des pontes sur un bassin (*e.g.* Bernard, 2011 ; Thomas et al., 2015).

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 2014 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les faits suivants :

- L'hiver est marqué par une température de l'eau supérieure aux normales avec, en février sur certains secteurs, des anomalies de l'ordre de +2°C.
- Le printemps présente des valeurs très proches des normales avec juste quelques anomalies sur de courte période.
- L'été se caractérise par des températures de l'eau excédentaires, avec des anomalies de +3°C en rade de Brest ou dans la lagune de Thau en plein cœur de l'été. A noter que ces anomalies positives se maintiennent jusqu'en fin d'été. Seul le mois d'août présente des valeurs dans les normales.
- L'automne se positionne, dans son intégralité, au-dessus des normales.
- Et d'une façon plus générale, on retiendra, pour l'année 2014, une température de l'eau quasiment excédentaire tout au long de l'année.



**Figure 10 : Température moyenne journalière de l'eau de mer en 2014 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 2014, se caractérise pour les sites de la façade atlantique par de très fortes dessalures en hiver correspondant aux épisodes de fortes pluviométries présentées précédemment. Les valeurs reviennent dans les normales à partir du mois de mai.

Seule exception à la règle, la lagune de Thau se caractérise par des valeurs au dessus des normales quasiment tout au long de l'année, sauf à partir de l'automne, période à laquelle, en 2014, on note un épisode cévenol particulièrement important à l'origine de ces dessalures.

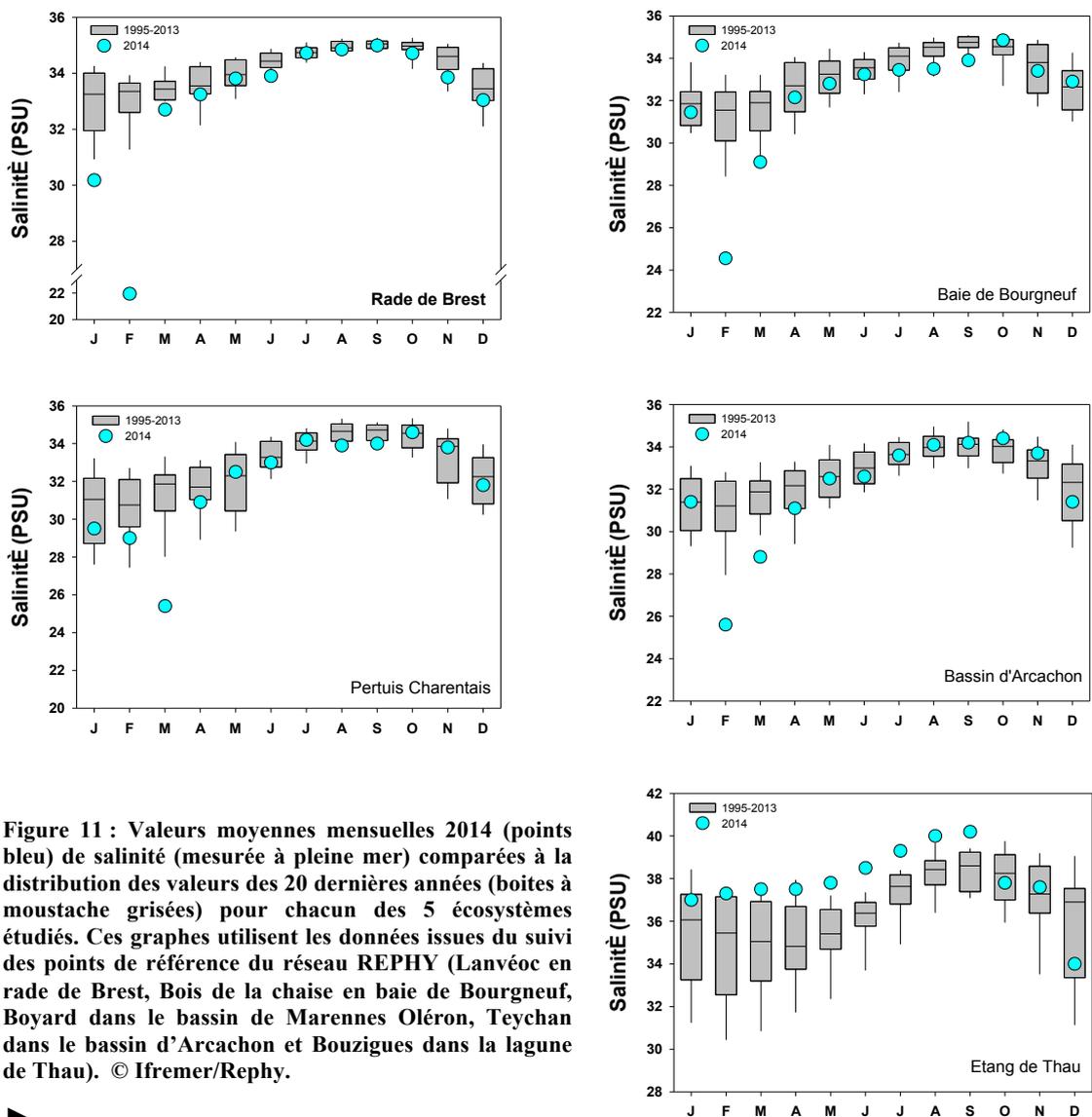


Figure 11 : Valeurs moyennes mensuelles 2014 (points bleu) de salinité (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 20 dernières années (boîtes à moustache grisées) pour chacun des 5 écosystèmes étudiés. Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Bois de la chaise en baie de Bourgneuf, Boyard dans le bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le bassin d'Arcachon et Bouzigues dans la lagune de Thau). © Ifremer/Rephy.

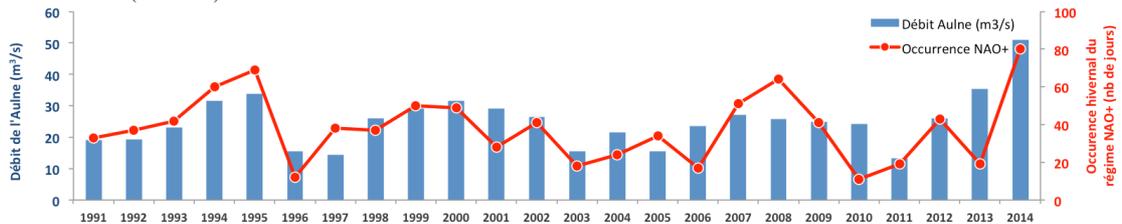


<sup>5</sup> Proxy = Outil, indicateur permettant une quantification, une semi-quantification ou une estimation d'une (ou plusieurs) variable(s) biotique(s) ou abiotique(s) d'un écosystème donné. Traceur d'un paramètre environnemental.

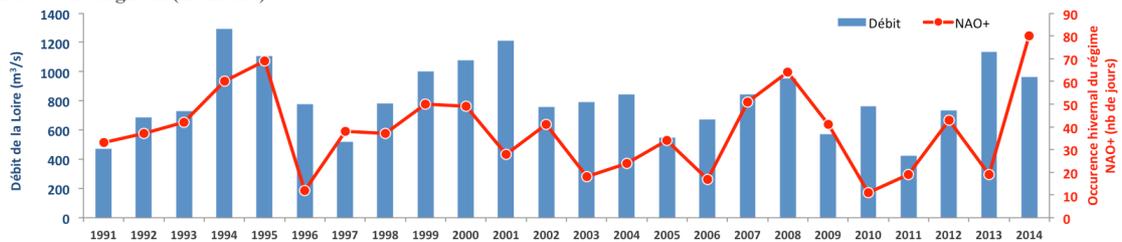
En complément, la Figure 12 montre l'évolution des débits des principaux fleuves et rivières alimentant les écosystèmes étudiés dans le cadre du Réseau Velyger (excepté lagune de Thau). Conjointement à l'analyse des anomalies de pluviométrie et de salinité abordée précédemment, cette figure révèle les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

- Les débits 2014 sont particulièrement élevés et se situent parmi les 3 valeurs les plus fortes enregistrées depuis 1990;
- 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). L'année 2014 avec 80 jours de régime NAO+ au cours de l'hiver fait partie des années records sur la série.

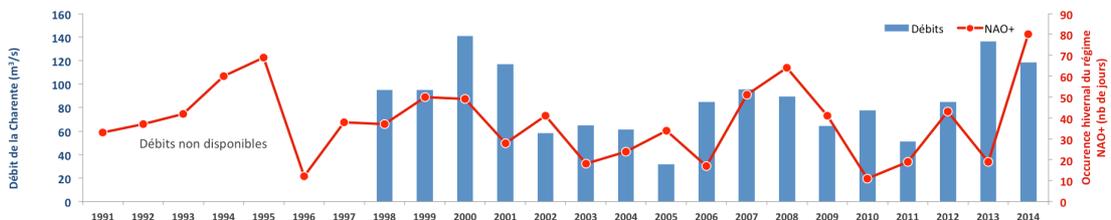
#### Rade de Brest (L'Aulne)



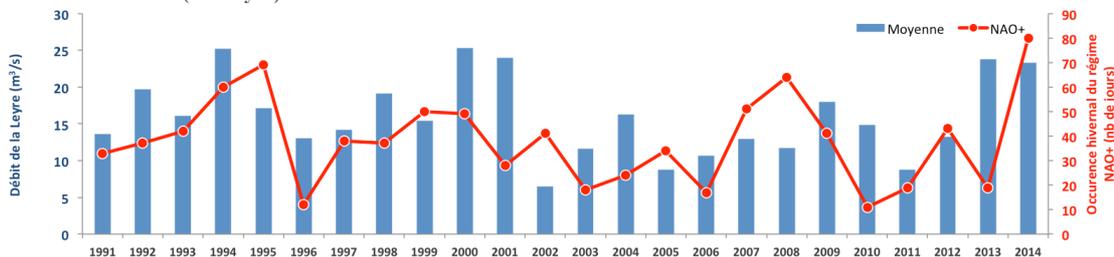
#### Baie de Bourgneuf (La Loire)



#### Bassin de Marennes Oléron (La Charente)



#### Bassin d'Arcachon (La Leyre)



**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 régule au printemps l'effort de reproduction des bancs de géniteurs (e.g. Bernard *et al.*, 2011) et en été la rapidité de croissance et la survie des larves (e.g. Rico-villa *et al.*, 2010). 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.

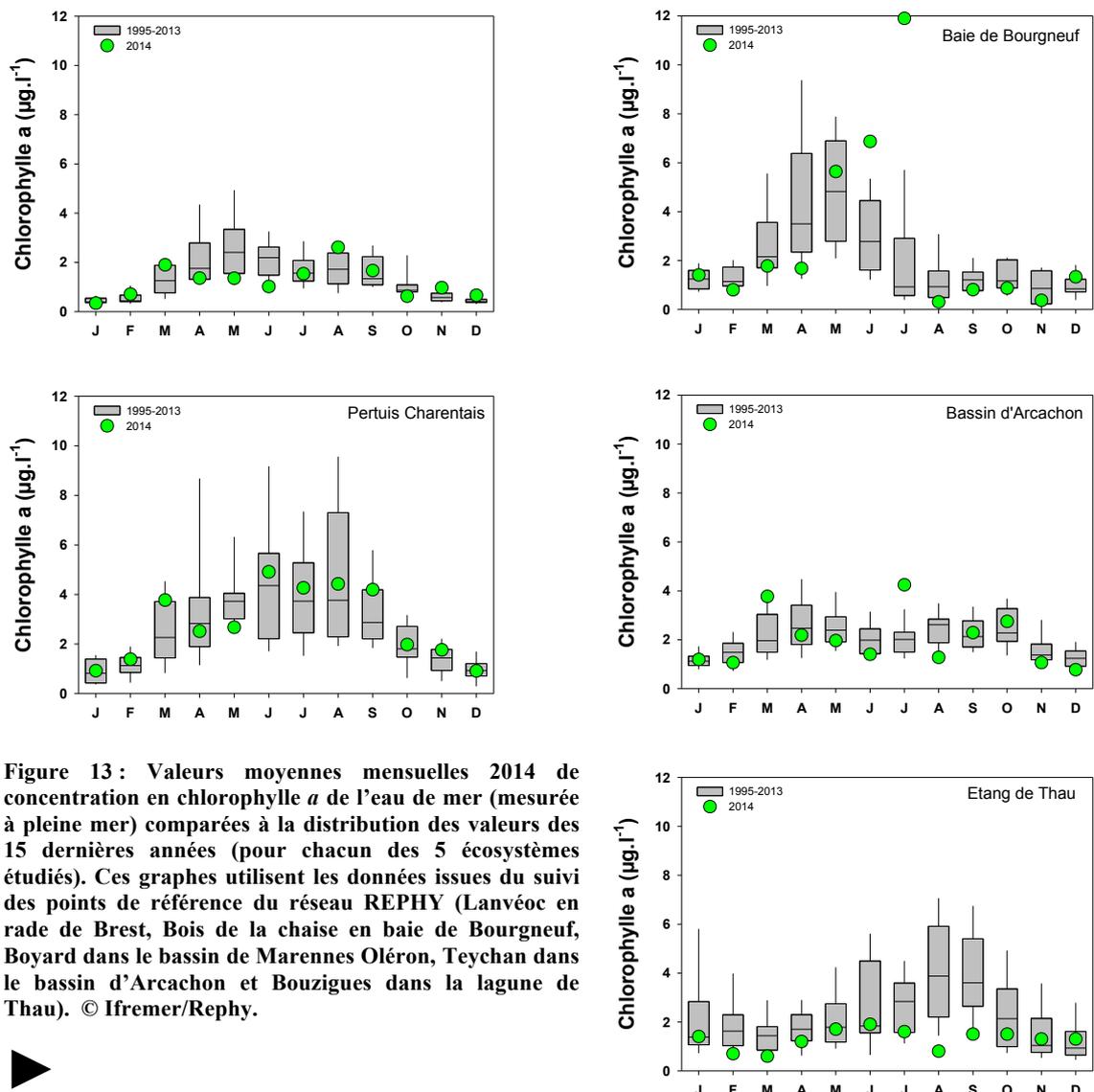


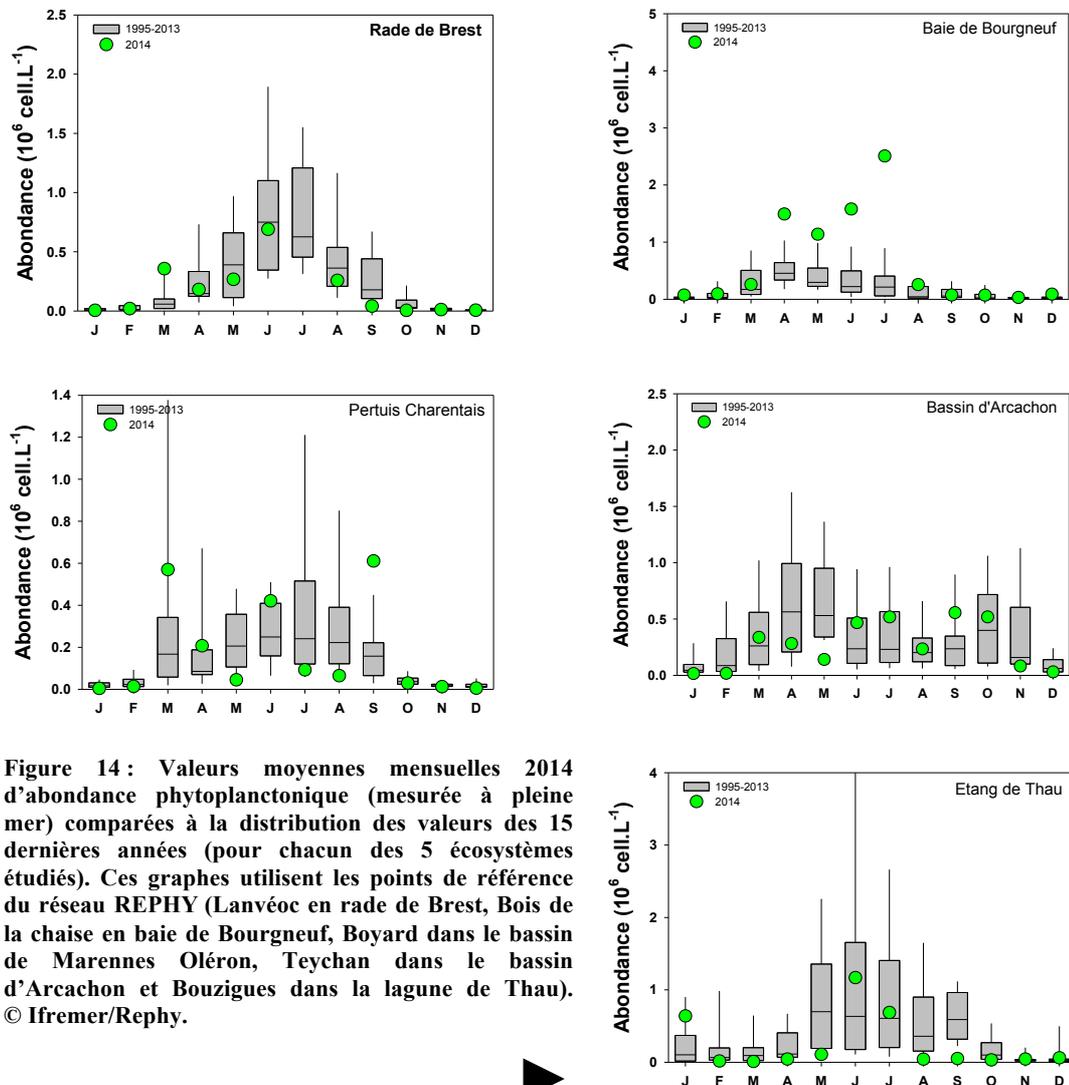
Figure 13 : Valeurs moyennes mensuelles 2014 de concentration en chlorophylle *a* de l'eau de mer (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Bois de la chaise en baie de Bourgneuf, Boyard dans le bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le bassin d'Arcachon et Bouzigues dans la lagune de Thau). © Ifremer/Rephy.



D'une façon générale, il apparaît que la concentration en chlorophylle *a*, au cours de l'année 2014, se caractérise par des valeurs très contrastées selon les sites : (1) plutôt dans les normales dans les pertuis Charentais et dans le bassin d'Arcachon, (2) plutôt inférieures aux normales en rade de Brest et dans la lagune de Thau et (3) très variable en baie de Bourgneuf. Sur ce dernier secteur, les valeurs sont très faibles en hiver, totalement au-dessus des normales de mai à juillet

et à nouveau très faibles sur l'arrière saison. A noter que, comme les dernières années, la lagune de Thau présente des valeurs plutôt faibles qui se positionnent généralement dans les quartiles inférieurs.

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.



**Figure 14 : Valeurs moyennes mensuelles 2014 d'abondance phytoplanctonique (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Bois de la chaise en baie de Bourgneuf, Boyard dans le bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le bassin d'Arcachon et Bouzigues dans la lagune de Thau). © Ifremer/Rephy.**

De façon similaire aux valeurs de chlorophylle *a*, on constate que :

- Les sites du pertuis Charentais et du bassin d'Arcachon se caractérisent par des valeurs très variables d'un mois à l'autre mais en moyenne proches des normales sur ces secteurs.
- Le site de la baie de Bourgneuf présente des valeurs records tout au long du printemps.
- Les sites rade de Brest et lagune de Thau présentent des valeurs plutôt faibles situées souvent dans les quartiles inférieurs.

On retiendra donc, à partir de l'analyse de ces 2 proxys du phytoplancton, que l'année 2014 se caractérise par une concentration de phytoplancton très élevée pour la baie de Bourgneuf, dans les normales pour les pertuis Charentais et le bassin d'Arcachon et plutôt inférieure aux normales pour la rade de Brest et la lagune de Thau à l'exception de certains mois particuliers.

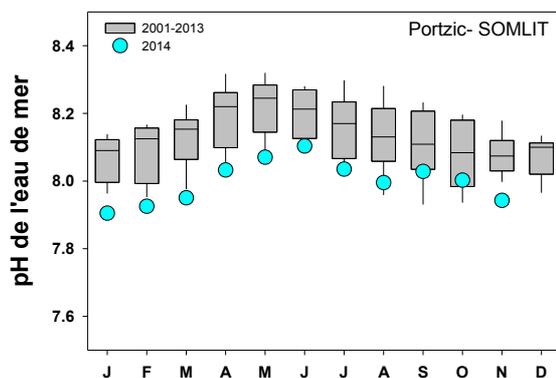
### 3.2.4 pH et acidification de l'océan

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

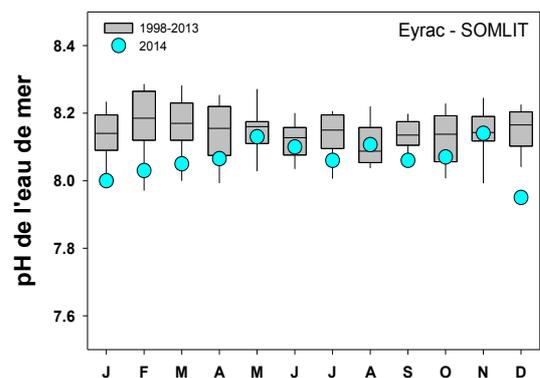
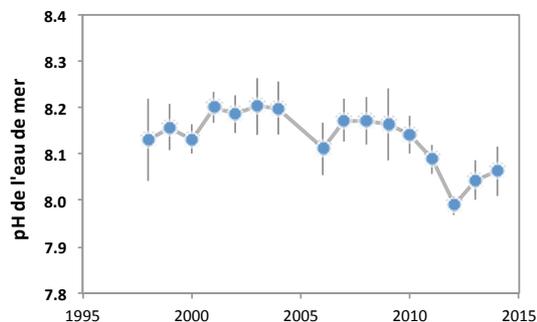


Figure 15 : Valeurs moyennes mensuelles 2014 du pH de l'eau de mer (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée du bassin d'Arcachon (site « Eyrac ») et de la rade de Brest (site « Portzic »). Ces valeurs 2014 sont comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir 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

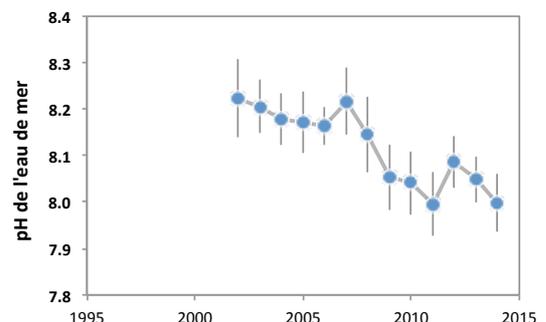


Figure 16 : Evolution du pH (moyenne annuelle +/- ECT) depuis les années 1998 à l'entrée de la rade de Brest et du bassin d'Arcachon (© CNRS-INSU/SOMLIT). Notez la tendance à la diminution ces dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données acquises par le Service d'Observation en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

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

On constate que les données 2014 s'inscrivent, pour ces 2 secteurs, dans une tendance à la diminution avec des valeurs se situant dans la gamme inférieure des observations enregistrées depuis le début des années 2000 par le réseau SOMLIT (Figure 15). Pour l'instant, les valeurs moyennes annuelles du pH sur l'année 2014 (Figure 16) sont de 8.00 en rade de Brest et 8.06 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 ( $\text{pH} < 7.6$ ), 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 simplement la fécondité potentielle d'une population d'huîtres pour une année et un site donnés. Il présente l'avantage d'être aisé à obtenir et d'être indépendant de la taille ou de l'âge, contrairement aux valeurs directes de masses de chair. Le **taux de croissance printanier standardisé** (corrigé de la température) est aussi un indicateur qui peut servir d'indicateur du niveau d'investissement vers la reproduction.

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

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

#### 3.3.1 Comparaison spatio-temporelle

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

L'ensemble des graphes de croissance par site, par bassin et 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 2014 par rapport aux années antérieures ou par rapport aux autres sites et (2) d'analyser l'effet des facteurs environnementaux (abondance phytoplanctonique notamment).

La Figure 17 montre tout d'abord l'évolution saisonnière depuis 2008 de l'indice de condition. Sur chaque site, le schéma est récurrent : cet indice augmente au cours du printemps et atteint en début d'été une valeur maximum, variable selon les années et les sites (cf Figure 18). Il s'en suit une chute brutale de cet indice lors de la ponte. La période post-ponte est quant à elle caractérisée par une relative stabilité de cet indice tout au long de l'automne.

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

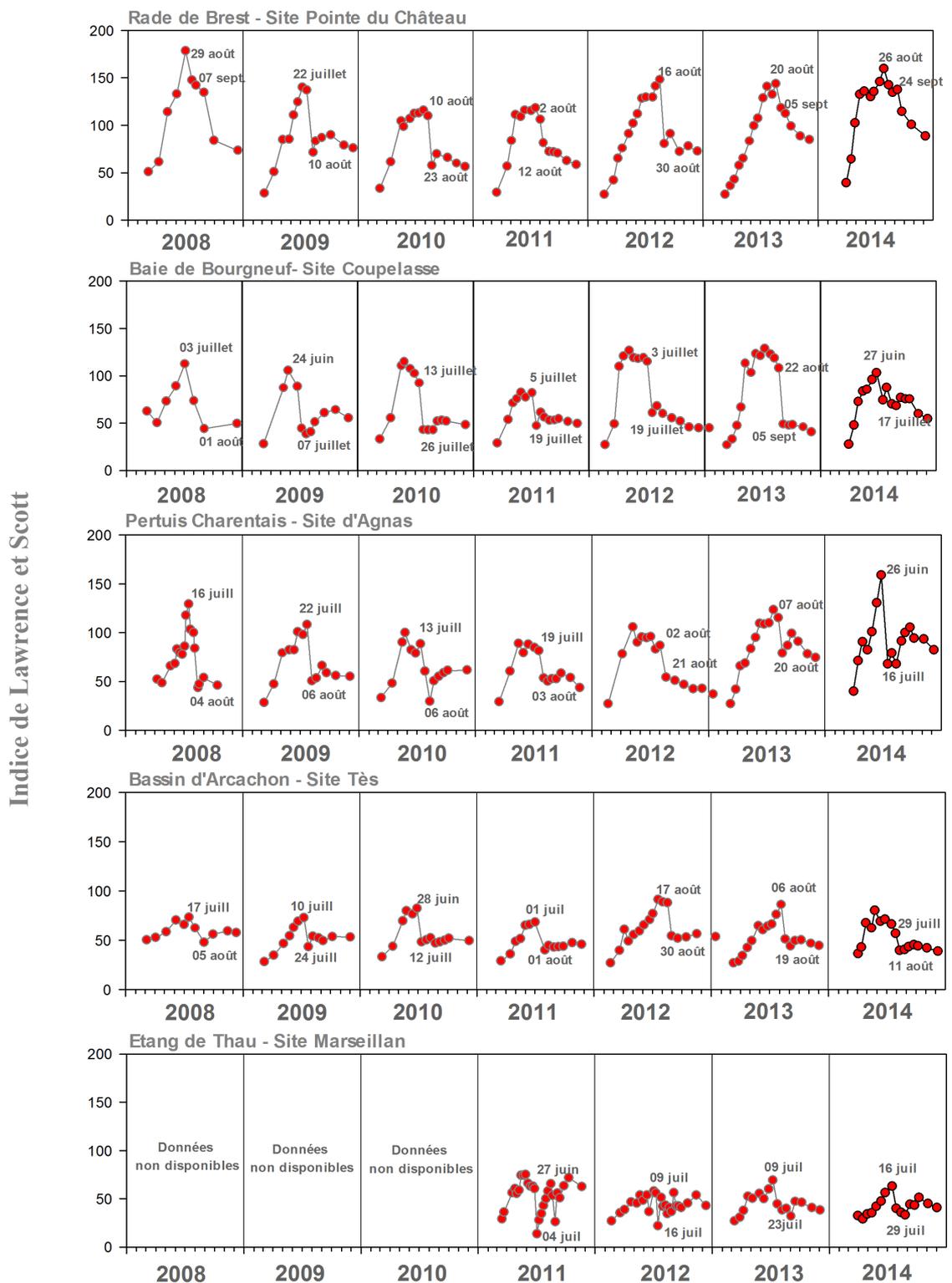
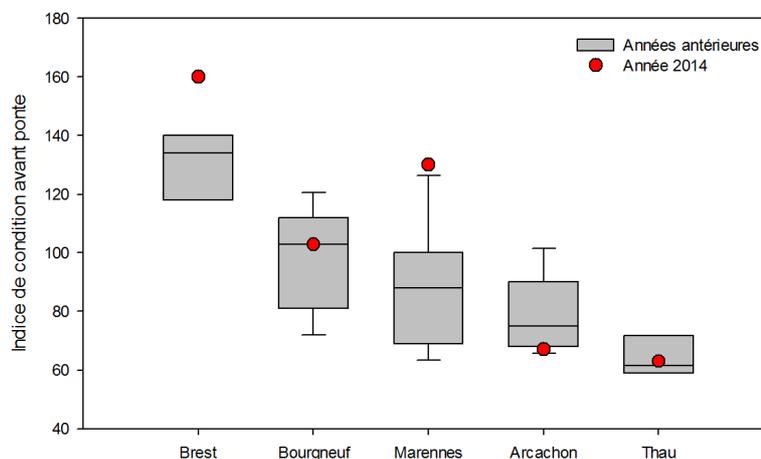


Figure 17 : Evolution de l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott) de chaque lot sentinelle placé chaque année sur les 5 sites Velyger (Thau, Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) depuis 2008. Les lots suivis sont transplantés chaque année en fin d'hiver, les huîtres utilisées sont 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.

En complément, la Figure 18 fournit, pour chaque secteur, les valeurs maximales de l'indice de condition observées juste avant la ponte pour l'année 2014 et les compare aux valeurs des années antérieures. Il ressort qu'en termes de variabilité inter-annuelle, l'année 2014 se caractérise par des valeurs maximales d'indice de condition plutôt élevées dans les écosystèmes nord (rade de Brest, baie de Bourgneuf et pertuis Charentais) et plutôt faibles dans les écosystèmes sud (bassin d'Arcachon et lagune de Thau). Pour chacun des sites d'études, on relève, en 2014, les valeurs maximales suivantes :

- Rade de Brest : **IC = 159** (contre 148 en 2012 et 144 en 2013)
- Baie de Bourgneuf : **IC = 103** (contre 115 en 2012 et 129 en 2013)
- Bassin de Marennes Oléron : **IC = 130** (contre 87 en 2012 et 123 en 2013)
- Bassin d'Arcachon : **IC = 67** (contre 88 en 2012 et 86 en 2013)
- Lagune de Thau : **IC = 63** (contre 56 en 2012 et 69 en 2013)

En termes de variabilité inter-sites, on constate toujours (*e.g.* Pouvreau et al., 2011) en 2014 l'existence d'un net gradient Nord-Sud sur l'indice de condition avec une gamme de valeurs allant de 159 en rade de Brest à 63 dans la lagune de Thau.



**Figure 18 : Valeurs maximales de l'indice de condition sur l'année 2014 et comparaison avec les valeurs antérieures pour chaque secteur Velyger. Pour les sites de baie de Bourgneuf, de Marennes et d'Arcachon, ce graphe fait appel à des données antérieures au réseau Velyger. Pour les sites de rade de Brest et lagune de Thau, le manque de données antérieures limite pour l'instant la représentation graphique et la pertinence de l'interprétation.**

### 3.3.2 Facteurs d'explications : le phytoplancton

La Figure 19 montre les relations actualisées pour 2014, pour chacun des sites, entre la concentration en phytoplancton (abondance phytoplanctonique en  $\mu\text{g chloa.L}^{-1}$ , enregistrée tout au long de la maturation et à proximité des populations sentinelles) et les paramètres physiologiques liés à la maturation (indice de condition maximal des huîtres mesuré en juillet juste avant la ponte et taux de croissance printanier standardisé). Ces relations présentent systématiquement de forts coefficients de corrélation ( $R^2 > 0.70$ ).

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

Plus particulièrement, pour l'année 2014, l'analyse du nuage de points montre que :

- La rade de Brest se caractérise toujours par de très fortes valeurs d'indice de condition ou de taux de croissance associées à de fortes valeurs de concentration phytoplanctonique.
- La baie de Bourgneuf et le bassin de Marennes-Oléron se positionnent aussi dans cette partie supérieure du nuage de points, à noter tout de même des valeurs en retrait pour la baie de Bourgneuf en 2014.
- Le bassin d'Arcachon présente, de façon analogue aux autres années, des valeurs plutôt faibles, du même niveau que celles enregistrées dans la lagune de Thau.
- Et d'une façon générale, un très fort gradient 2014 entre la lagune de Thau et la rade de Brest.

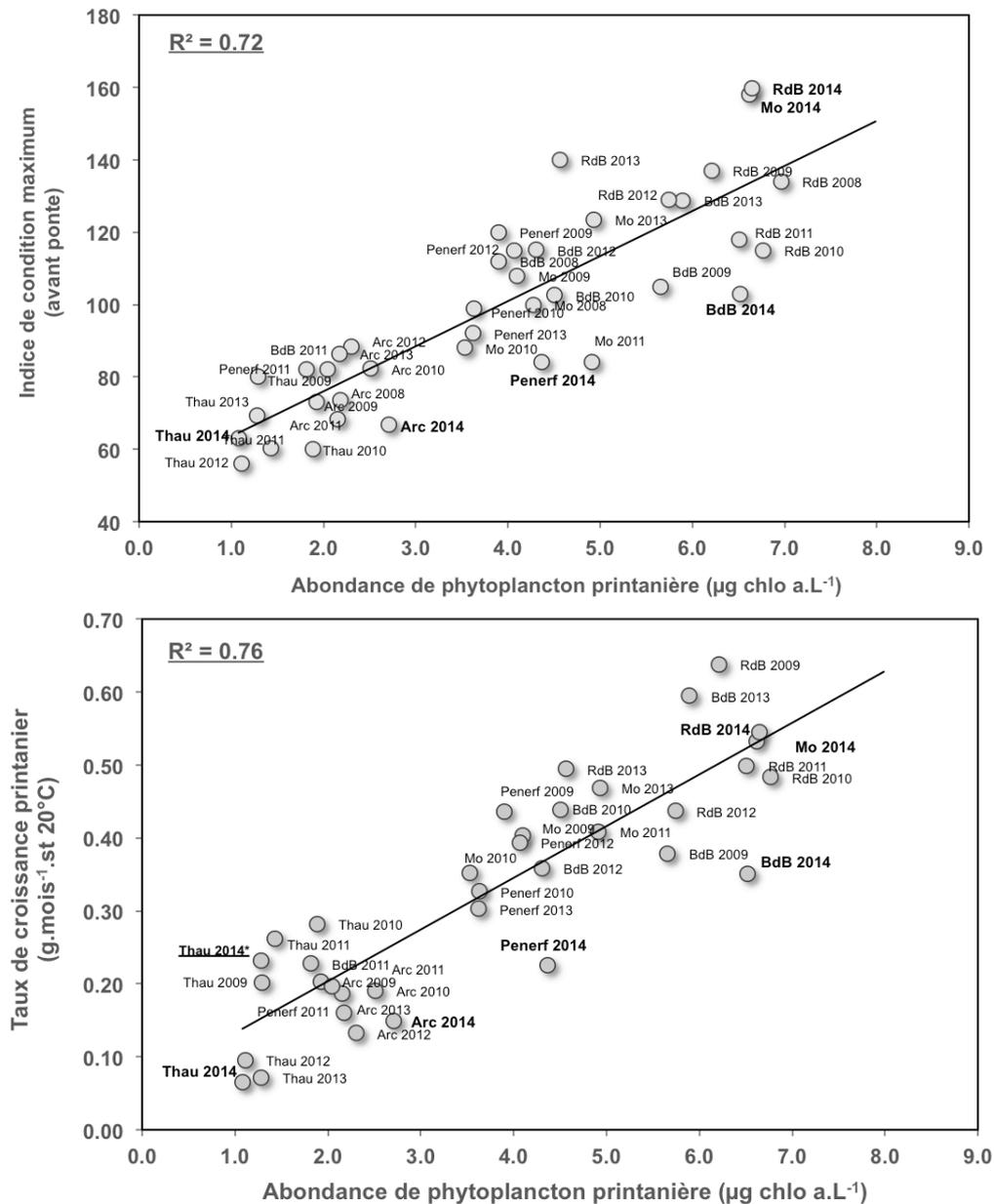


Figure 19 : Relation entre la concentration en phytoplancton ( $\mu\text{g chlo.a.L}^{-1}$ ) et l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott maximal mesuré avant la ponte) ou le taux de croissance printanier standardisé des huîtres sentinelles placées dans chaque bassin depuis 2008. Légende : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon - Thau : Lagune de Thau. Ces graphes présentent aussi les valeurs d'un nouveau site Velyger (Penerf) dont la mise en place est prévue pour 2016.

### 3.4 Date de ponte

En début d'été, une fois la gamétogenèse achevée, l'émission des gamètes (ou frai), communément appelée ponte, a lieu, après un laps de temps généralement de quelques jours permettant à l'huître d'entrer dans une phase instable, phase pendant laquelle elle devient très sensible aux stimuli de ponte (His, 1976). L'étude de l'effet des facteurs environnementaux stimulant l'émission des gamètes a fait l'objet de travaux assez anciens (His, 1976), ré-analysés récemment par Bernard (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 leurs 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 2014

La Figure 20 montre la relation, actualisée pour 2014, entre la température moyenne de l'eau de mer en début d'été (calculée sur les 20 premiers jours de l'été) et le jour d'observation de la ponte principale ( $R^2 = 0.56$ ).

On constate que les données 2014 se positionnent à proximité voire un peu en-dessous du modèle linéaire établi sur l'ensemble des années. En outre, cette année se caractérise par des dates de pontes dans la norme et assez synchrones entre les écosystèmes, autour de la mi-juillet. Seule la lagune de Thau présente, comme chaque année, une date de ponte plus précoce.

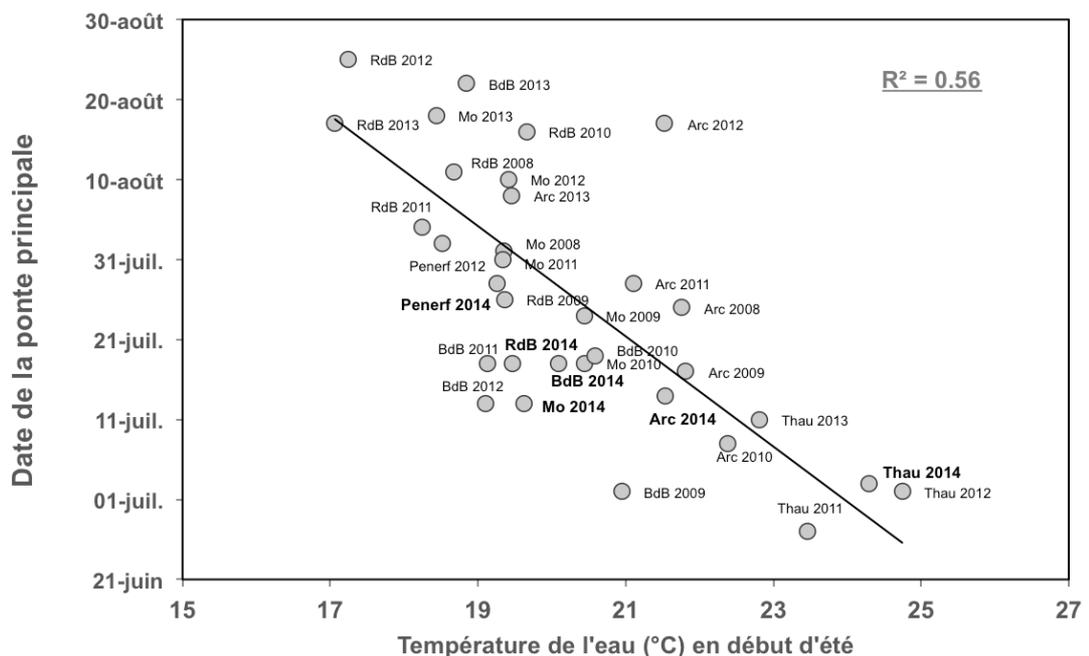
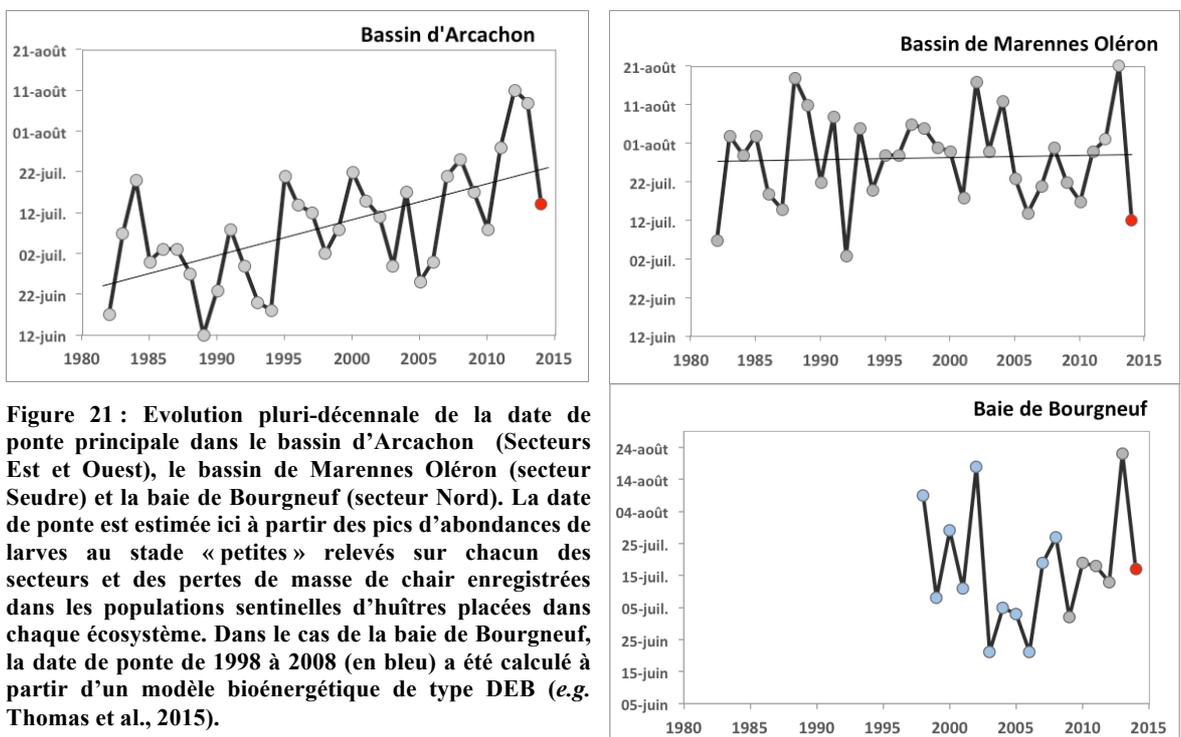


Figure 20 : Relation entre la température de l'eau en début d'été (moyenne issue des données journalières de sonde haute fréquence sur la période 21 juin-10 juillet) et la date d'émission principale des gamètes, tous sites et années confondus. La date d'émission des gamètes est obtenue à partir du suivi des populations sentinelles de chaque site conforté par les abondances de larves. Les valeurs pour l'année 2014 sont signalées avec la légende suivante : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon - Thau : Lagune de Thau. Ce graphe présente aussi les valeurs d'un nouveau site Velyger (Penerf) dont la mise en place est prévue pour 2016.

### 3.4.2 Séries historiques

Ainsi, après plusieurs années caractérisées par des dates de ponte principale plutôt tardives, l'année 2014 retrouve des valeurs plus proches des normes 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.

On constate que, pour ces trois secteurs, la ponte principale de 2014 qui a eu lieu autour de la mi-juillet se situe plus dans des valeurs normales, voire précoces, selon chaque série temporelle disponible. Il convient, en outre, de noter que pour le bassin d'Arcachon, la ponte 2014 ne s'inscrit pas dans la tendance décennale, observée depuis les années 1995, caractérisée par un progressif retard de la période de ponte principale.



**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'huîtres 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., 2015).**

### 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 (plus précisément le rendement entre le pic de larves grosses et le pic de larves petites pour une cohorte donnée, notée S) liée aux conditions hydrodynamiques (forcées par les coefficients de marée et les régimes de vent régnant sur le secteur), aux conditions trophiques (en liaison avec la compétition), à la prédation (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, considéré comme dominant par les auteurs.

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

L'ensemble des graphes d'abondance larvaire, par stade, par site, par bassin, par année est disponible sur le site Internet de Velyger : <http://www.ifremer.fr/velyger>, dans la rubrique : accès aux données. Nous ne présentons, dans cette partie, que des graphes de synthèse permettant (1) de comparer aisément l'année 2014 par rapport aux années antérieures et (2) de présenter l'évolution sur le long terme à partir des données disponibles sur les sites « historiques » (bassin d'Arcachon et pertuis Charentais). Seules les données de larves 'évoluées' sont utilisées ici, car ce stade présente l'avantage par rapport au stade 'petites' d'éviter d'éventuelles confusions pouvant avoir lieu au moment de la reconnaissance morphologique ainsi que des biais d'échantillonnage liés à la dynamique spatio-temporelle d'apparition des larves petites. En fin de paragraphe, une figure traite de la relation entre le stade 'évoluées' et le stade 'grosses'.

Dans un premier temps, la Figure 22 permet d'analyser la concentration larvaire moyenne observée en 2014 par rapport à celle des années antérieures. Il ressort tout d'abord un schéma général dans lequel la rade de Brest et les pertuis Charentais présentent systématiquement les concentrations les plus faibles, toujours inférieures à 1000 larves/1,5 m<sup>3</sup>. Les trois autres sites, quant à eux, présentent des valeurs moyennes supérieures et du même ordre de grandeur (comprises entre 1000 et 10000 larves/1,5 m<sup>3</sup>). Ensuite, plus spécifiquement pour l'année 2014, il ressort que :

- La baie de Bourgneuf présente les valeurs moyennes les plus élevées (3860 larves/1,5m<sup>3</sup>), situées dans le quartile supérieur de la gamme d'observations disponible sur ce secteur.
- Le bassin d'Arcachon se positionne en deuxième place avec des valeurs autour de 1800 larves/1,5m<sup>3</sup>, mais il convient de noter que, pour ce secteur, la moyenne 2014 se positionne juste sur la médiane des observations.
- Les trois secteurs suivants (lagune de Thau, rade de Brest et pertuis Charentais) présentent des valeurs nettement inférieures (entre 400 et 800 larves/1,5m<sup>3</sup>). Si les valeurs pour la rade de Brest et les pertuis Charentais sont plutôt élevées (situées dans le quartile supérieur), la valeur pour la lagune de Thau est la plus faible observée depuis le début des suivis Velyger.

Malgré tout, il convient de remarquer que, tout comme en 2013, il y a finalement 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> à l'exception de la baie de Bourgneuf.

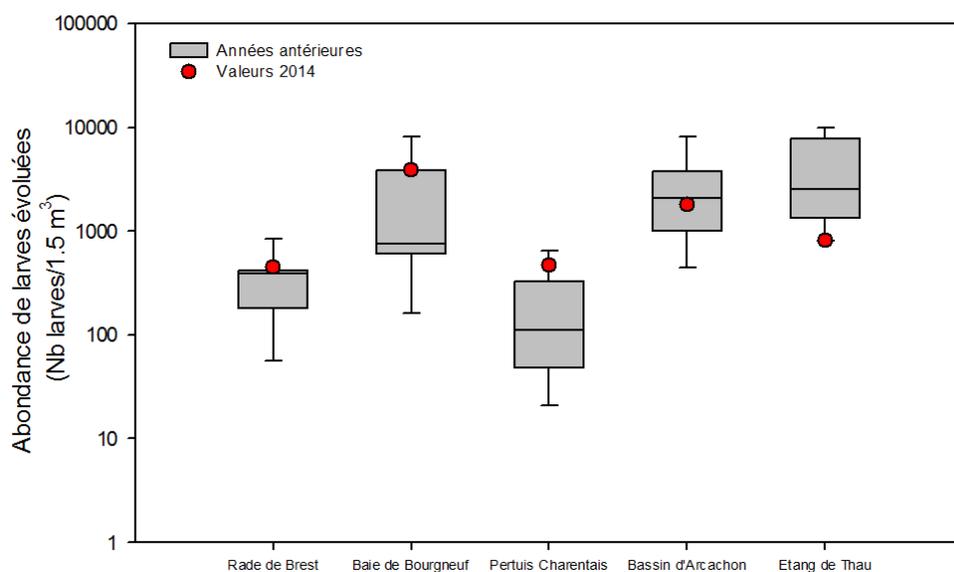
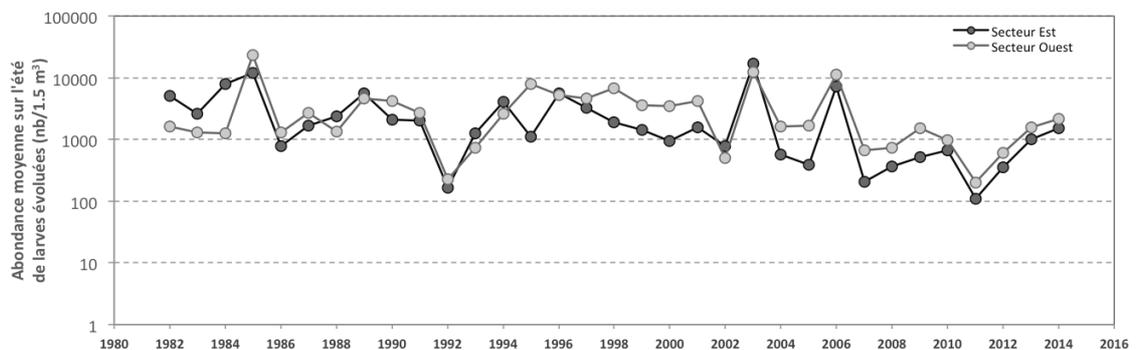


Figure 22 : Abondance larvaire moyenne (Nb larves évoluées/1,5 m<sup>3</sup>) sur l'année 2014 pour chaque secteur Velyger et comparaison avec celles des années antérieures.

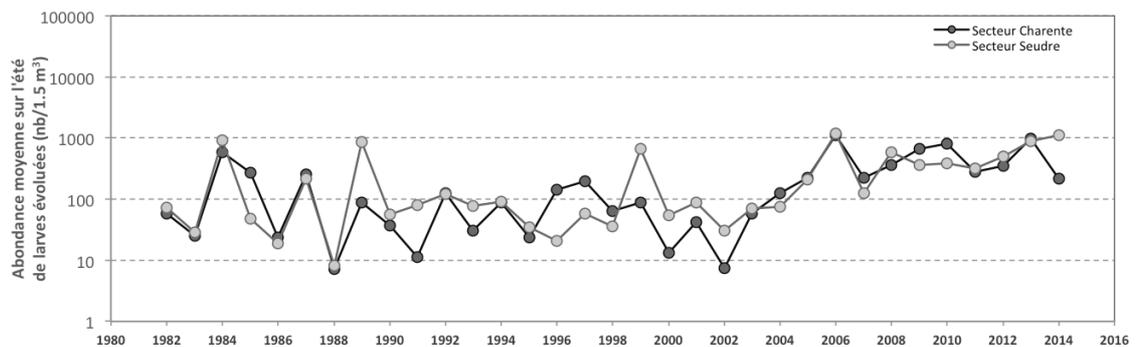
En complément, la Figure 23 montre l'évolution sur le long terme de l'abondance larvaire (ici le stade 'larves évoluées') à partir des données disponibles sur les sites « historiques » de captage (bassin d'Arcachon et pertuis Charentais). Il ressort de l'analyse de cette figure :

- Une tendance à la diminution de l'abondance de larves sur le bassin d'Arcachon depuis une quinzaine d'années. Cette diminution est générale sur le bassin, mais elle est plus marquée dans le secteur Est que le secteur Ouest. Cependant, l'année 2014 présente les valeurs moyennes les plus fortes depuis 2007 largement supérieures (d'un facteur 10) aux valeurs minimales enregistrées en 2011 (en moyenne 1800 larves/1,5m<sup>3</sup> en 2014 contre 156 larves/1,5m<sup>3</sup> en 2011). Petit à petit, il semblerait que la tendance décennale à la diminution s'estompe.
- A l'opposé, le bassin de Marennes Oléron enregistre depuis une quinzaine d'années une augmentation de la concentration en larves. L'année 2014 confirme cette tendance et les concentrations moyennes en larves sur le secteur Seudre sont dans les mêmes gammes de valeurs que celles mesurées dans le bassin d'Arcachon secteur Est (1000 larves/1,5m<sup>3</sup>). Cependant, un fait qu'il conviendra de surveiller : les concentrations de larves évoluées dans le secteur Charente ont été, pour la première fois depuis plus de 10 ans, inférieures à celles enregistrées dans le secteur Seudre.

#### Bassin d'Arcachon



#### Bassin de Marennes Oléron



**Figure 23 : Evolution des abondances moyennes sur l'été de larves (stade 'évoluées') sur les deux bassins de captage « traditionnels » du réseau Velyger. En haut : le bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest) – en bas : le bassin de Marennes Oléron (Secteurs Seudre et Charente). Noter la différence en 2014 entre les secteurs Charente et Seudre.**

Enfin, en complément de cette première description de la variabilité spatio-temporelle de l'abondance de larves (stade 'évoluées'), la Figure 24 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 2014 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 2014, tout comme en 2013, la situation redevient plus normale pour Arcachon avec des valeurs se positionnant au barycentre des observations sur ce secteur.
- Les sites rade de Brest et baie de Bourgneuf, pour lesquels, pour l'instant, nous ne disposons que de 7 années d'observation, présentent généralement des valeurs très variables. En 2014, la rade de Brest se positionne au milieu du nuage de points et la baie de Bourgneuf présente des valeurs très proches de celles d'Arcachon.
- La lagune de Thau présente des valeurs qui se positionnent généralement dans le cadran supérieur du nuage de points typiques des bonnes années sur Arcachon. Mais, en 2014, les valeurs sont inférieures et plus proches de celles observées dans les pertuis Charentais et en rade de Brest.
- 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).

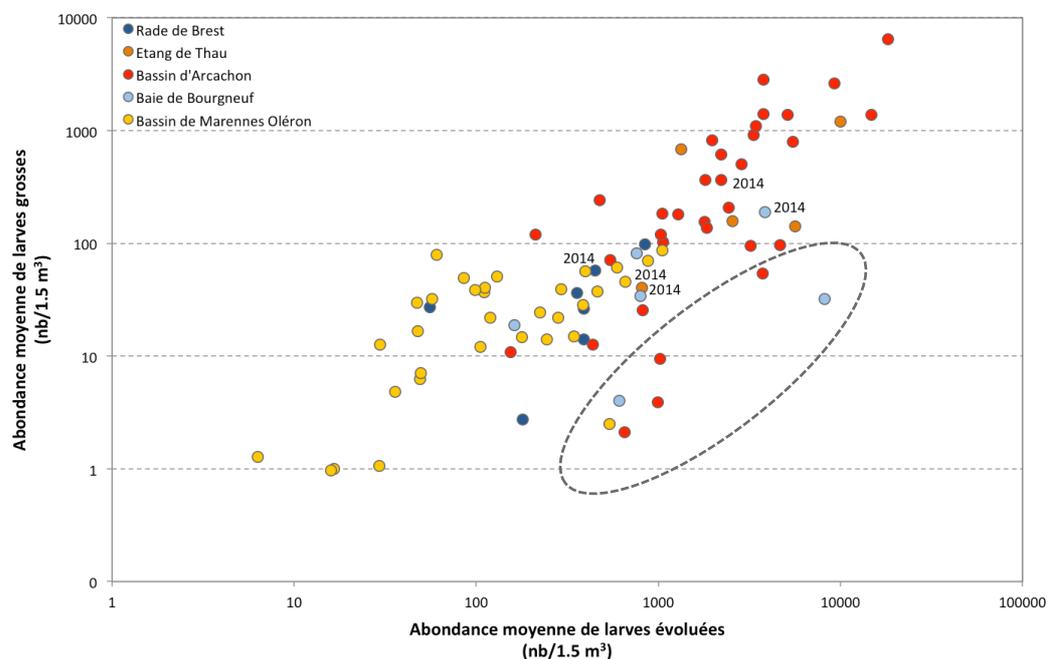


Figure 24 : Relation entre l'abondance de larves évoluées et l'abondance de larves grosses pour les 5 sites du réseau Velyger toutes années confondues. L'année 2014, tous sites confondus, se positionne parfaitement au coeur du nuage. Notez que la régression établie sur ce nuage de points présente un 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 25, actualisée pour l'année 2014, 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 2014 ( $R^2=0.64$ ) 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, et occasionnellement en baie de Bourgneuf et dans les pertuis Charentais) ;
- moins de 10 jours au-delà de 23°C (conditions rencontrées lors d'étés chauds à Arcachon et exceptionnellement en baie de Bourgneuf comme cela a été le cas pour la cohorte 2014 et conditions très fréquentes dans la lagune de Thau).

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

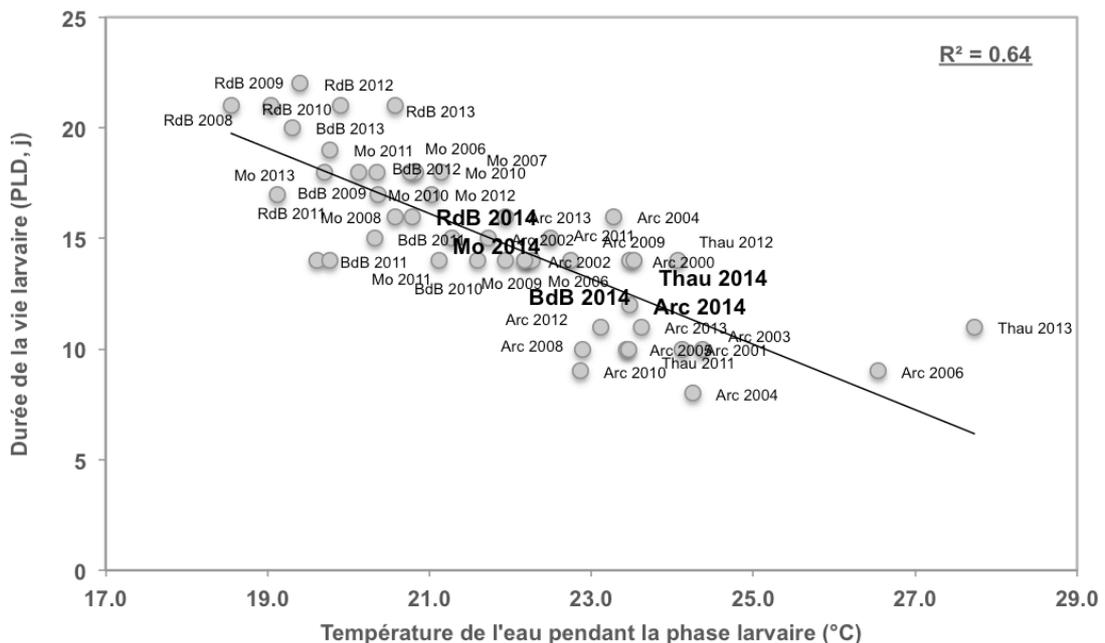


Figure 25 : Relation entre la durée du développement larvaire (PLD en jours) et la température de l'eau sur tous les sites et années Velyger pour lesquels des cohortes larvaires ont été repérées sans ambiguïté. La durée du développement larvaire est estimée ici, sur chaque cohorte, à partir du nombre 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 2014 se caractérisent, par rapport aux valeurs enregistrées antérieurement, de la manière suivante :

- Durée de vie courte pour les cohortes présentes cette année dans le bassin d'Arcachon, la lagune de Thau et la baie de Bourgneuf (PLD < 15 j.).
- Durée de vie intermédiaire pour les cohortes observées dans les pertuis Charentais et en rade de Brest (PLD > 15 j.).
- Par contre, contrairement aux années passées, aucune cohorte n'a présentée une durée de vie longue (PLD > 20 j.).

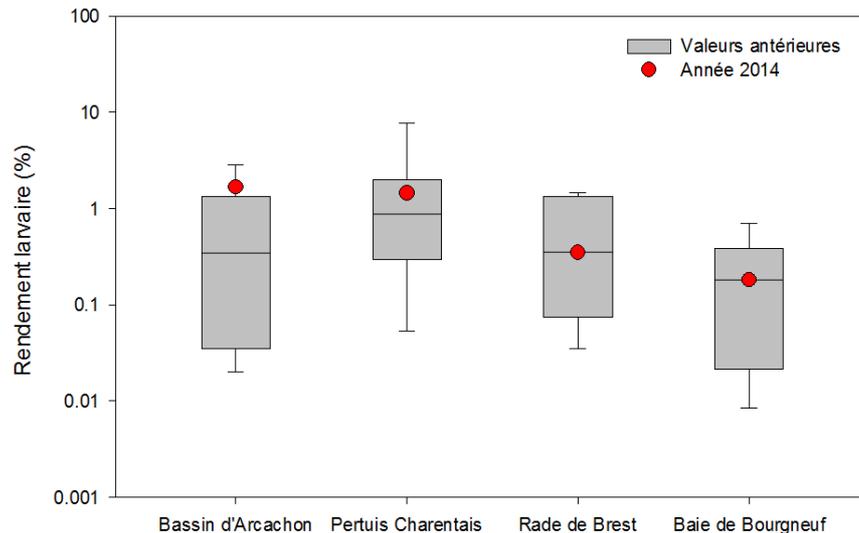
### 3.5.3 Survie larvaire

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

La survie larvaire peut être approchée, en partie, par le calcul du rendement entre le pic de larves grosses et le pic de larves petites pour une cohorte donnée. Ce rendement est bien sur fonction des caractéristiques du bassin (temps de résidence, conditions hydrodynamiques, volume moyen). La Figure 26 montre les valeurs obtenues pour chaque écosystème et permet de positionner l'année 2014 par rapport au jeu de données des années antérieures.

Il ressort, pour l'année 2014, que :

- Le bassin d'Arcachon et les pertuis Charentais présentent des valeurs de rendement assez fortes (respectivement 1.7 % et 1.4 %) se positionnant dans les quartiles supérieures de la distribution.
- Les cohortes observées en baie de Bourgneuf et rade de Brest présente une survie se positionnant juste dans la médiane de la distribution (respectivement 0.2 et 0.3%).
- Dans la lagune de Thau (données non représentées sur la figure), la survie de la principale cohorte 2014 est de 0.5 %.



**Figure 26 : Rendement larvaire (S, %) pour les principales cohortes observées en 2014 dans chaque écosystème Velyger. Les données disponibles pour la lagune de Thau sont insuffisantes pour l'instant pour figurer sur ce diagramme.**

De façon plus détaillée, pour le bassin d'Arcachon, site pour lequel nous disposons du maximum de données et site pour lequel les cohortes larvaires sont aisément identifiables chaque année, il se dégage une relation assez nette entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes repérées sans ambiguïté sur ce secteur depuis 2001 (Figure 27). La relation, actualisée pour 2014, démontre trois résultats majeurs :

- D'une façon générale, il existe une forte différence interannuelle (pouvant atteindre un facteur 1000) entre la survie larvaire mesurée pour chaque cohorte chaque année.
- Il ressort une relation significative entre la température de l'eau et la survie larvaire ( $R^2 = 0.60$ ): en dessous de 23°C, la survie est inférieure à 0.1% ; de 23 à 25°C, la survie est comprise entre 0.1% et 1%, au-dessus de 25°C, la survie devient supérieure à 1%.
- En 2014, on note une survie particulièrement forte (1.7 %) pour la principale cohorte observée sur Arcachon en relation avec les températures favorables (> 23.5°C) enregistrées au moment de la vie larvaire.

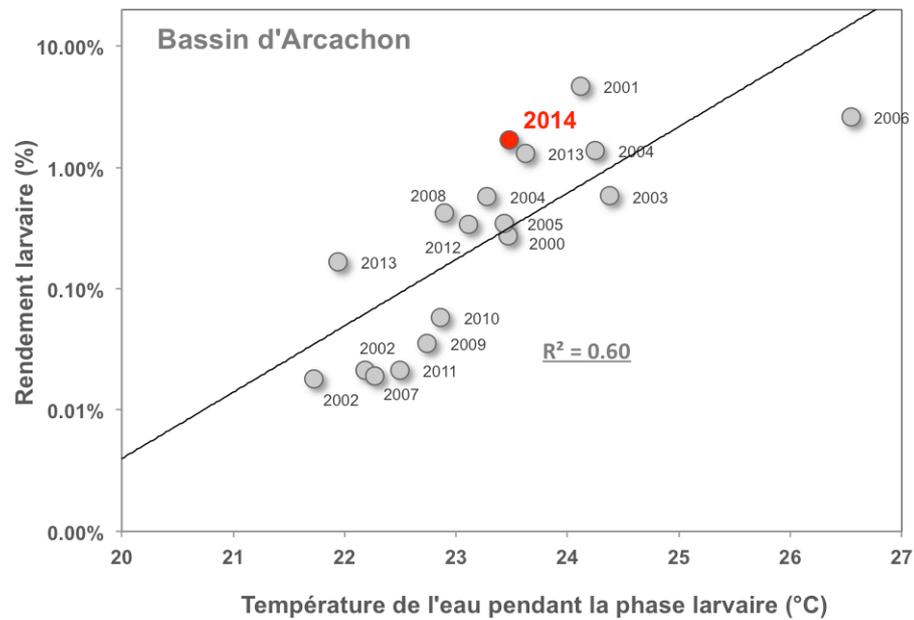


Figure 27 : Relation entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes larvaires repérées sans ambiguïté sur le bassin d'Arcachon depuis 2001. Les valeurs pour l'année 2014 sont signalées en rouge. La corrélation avec la température est hautement significative ( $R^2 = 0.60$ ).

### 3.5.4 Larves grosses et intensité du captage

En complément des graphes précédents, la Figure 28 présente l'abondance moyenne de larves grosses (prêtes à fixer) sur l'été et pour chaque site Velyger et la compare aux valeurs des années antérieures. Ces abondances ont été fortes en baie de Bourgneuf et dans le bassin d'Arcachon, modérées dans les autres secteurs. Bien que le nombre d'observation pour les années antérieures soit encore limité, il ressort que ces valeurs, par rapport à celles des années antérieures, ont été particulièrement basses pour la lagune de Thau et plutôt élevées pour la rade de Brest.

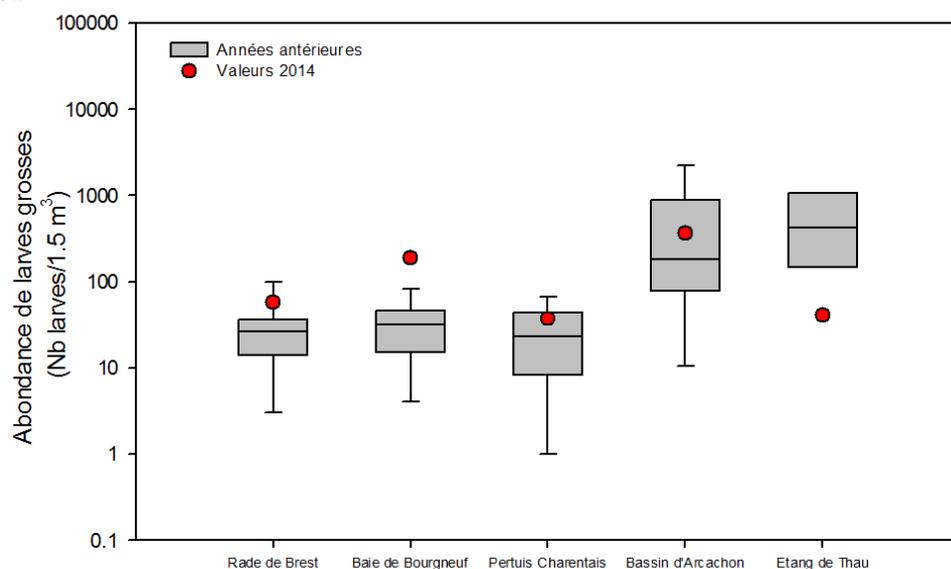


Figure 28 : Abondance larvaire moyenne (Nb larves grosse/1.5 m<sup>3</sup>) sur l'année 2014 pour chaque secteur Velyger et comparaison avec celles des années antérieures.

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

Pour se faire, seuls les secteurs faisant l'objet d'une estimation du captage la plus optimisée possible (Maurer *et al.*, 2009b) ont été utilisés : le secteur de la Seudre a été écarté, car trop faiblement échantillonné et les résultats encore expérimentaux obtenus sur la lagune de Thau sont ajoutés sur le nuage de points à titre d'information.

A l'exception de la lagune de Thau, la Figure 29, actualisée pour l'année 2014, montre toujours une forte corrélation ( $R^2 = 0.60$ ) 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, chez cette espèce, 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 la lagune de Thau notamment en 2011 et 2012 (et dans une moindre mesure en 2013 et 2014) : 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 la lagune de Thau trouve son explication dans une cause différente de celles rencontrées sur la façade atlantique. Nous reviendrons sur ce cas particulier dans la discussion.

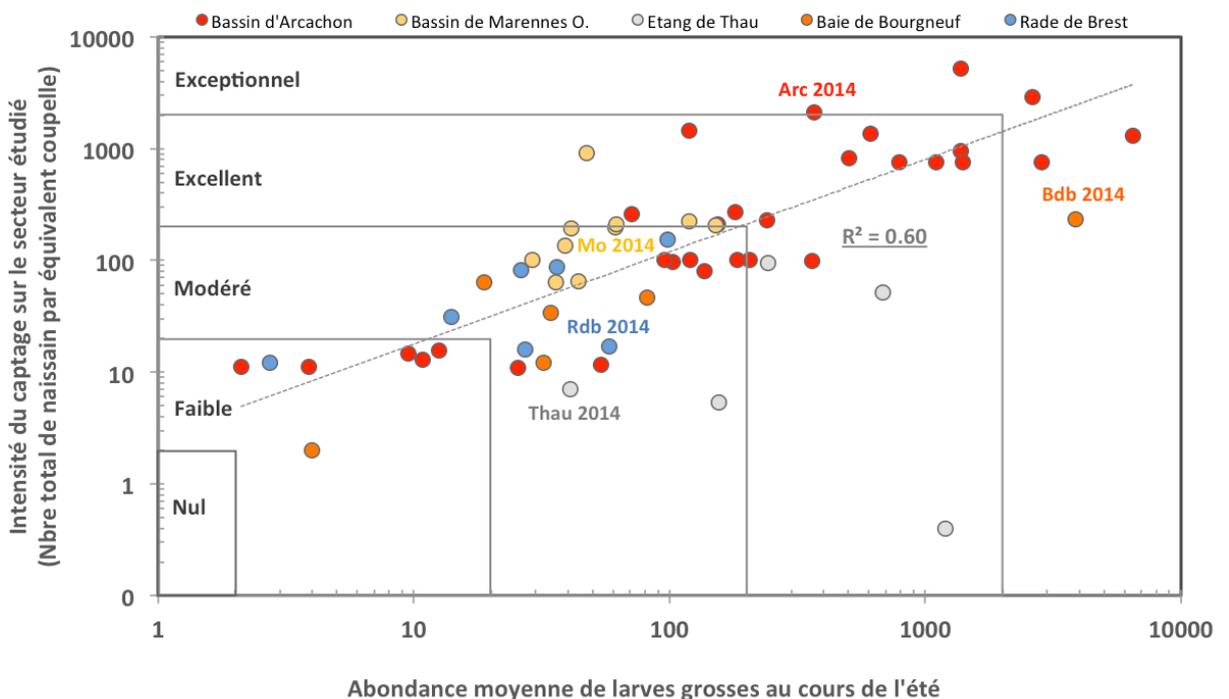


Figure 29 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été et l'intensité du captage estimé à l'automne (nombre total de naissain exprimé en équivalent coupelle,  $R^2=0.62$ ). NB : Pour la Baie de Bourgneuf, lors de notre échantillonnage réalisé en octobre comme chaque année, il y avait en moyenne 230 naissains/coupelle mais de nombreux collecteurs avaient déjà été relevés pour éviter des pertes par décrochage. On peut raisonnablement penser que le captage moyen était pour ce secteur plus proche de 1000 naissains/coupelle.

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

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

Ainsi, pour l'année 2014, les résultats sont contrastés selon les secteurs :

- Dans le bassin d'Arcachon, la très forte abondance de larves grosses mesurées sur l'été (367 larves/1,5m<sup>3</sup> - valeurs records depuis le démarrage du réseau Velyger) s'est traduit par un captage excellent à exceptionnel avec plus de 2000 naissains/coupelle dans le secteur W.
- En baie de Bourgneuf, là aussi, la très forte concentration de larves grosses (3860 larves/1,5m<sup>3</sup> - valeurs records depuis le démarrage du réseau Velyger) s'est traduit par un captage excellent voire exceptionnel. Lors de notre échantillonnage réalisé en octobre, il y avait en moyenne 230 naissains/coupelle mais de nombreux collecteurs avaient déjà été relevés pour éviter des pertes par décrochage. On peut raisonnablement penser que le captage moyen était pour ce secteur plus proche de 1000 naissains/coupelle.
- Dans le bassin de Marennes-Oléron, les abondances modérées de larves grosses mesurées sur l'été (62 larves/1,5m<sup>3</sup>) ont permis un captage modéré (voire excellent dans certains secteurs) avec 200 naissains/coupelle. On aurait pu s'attendre à de meilleures performances au regard des valeurs enregistrées en baie de Bourgneuf et dans le bassin d'Arcachon.
- En rade de Brest, malgré des abondances modérées de larves grosses mesurées sur l'été (58 larves/1,5m<sup>3</sup>), le captage a été inférieur à ce qu'il aurait dû être : il est resté modéré (voire faible) autour de 20 naissains/coupelle. Ce mauvais score, mal expliqué par nos indicateurs habituels, fera l'objet d'une discussion spécifique.
- Dans la lagune de Thau, la pratique du captage reste encore expérimentale (3 années de recul via le projet Pronamed) et les performances obtenues dépendent totalement des techniques mises en œuvre. Cela dit, la moyenne de larves grosses sur l'été n'a été que de 41 larves/1,5m<sup>3</sup> (valeur la plus faible depuis le début des suivis). Dans ce contexte, les faibles valeurs de captage obtenues (autour de 7 naissains/coupelle) ont peut-être pour l'explication, en partie, le déficit en larves grosses.

### 3.6 Estimation précoce du recrutement

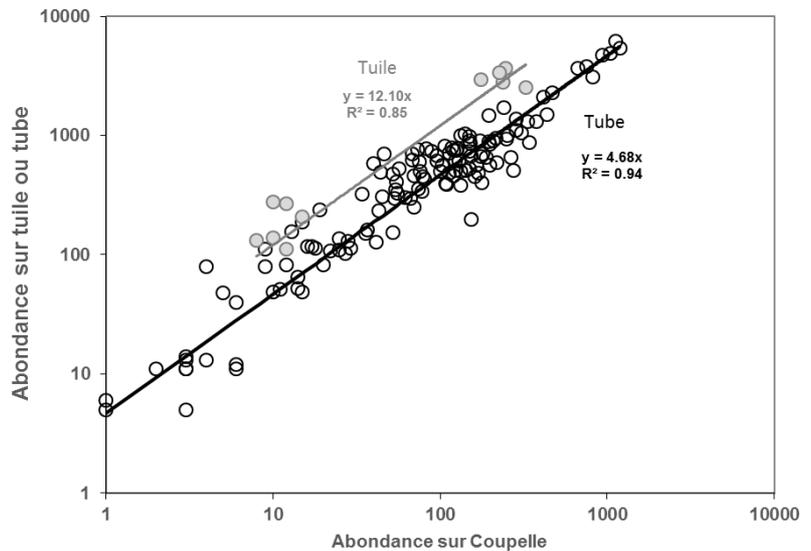
Chaque année, des campagnes d'échantillonnage sont effectuées, en période automnale (octobre-novembre) dans chaque bassin afin d'estimer, sur les parcs de captage, l'abondance moyenne du recrutement à l'automne. La méthodologie utilisée sur chaque site est adaptée de Maurer et al. (2009b).

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 30 fournit des éléments de corrélation permettant d'établir une équivalence entre type de collecteurs.

**Figure 30 : 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 2014 d'estimation du captage et permettent de comparer ces résultats avec les années antérieures. Il ressort clairement que, pour l'année 2014 :

- La rade de Brest (Figure 31) est caractérisée par **un captage modéré (voire faible)**, avec des valeurs moyennes autour de 20 naissains par coupelle. Ces résultats sont plutôt décevants pour ce secteur compte tenu des conditions estivales et comparables à ceux enregistrés en 2011.
- La baie de Bourgneuf (Figure 32) est caractérisée par **un captage excellent (voire exceptionnel)**, avec des valeurs moyennes allant de 181 à 367 naissains par coupelle. Il convient de signaler que ces résultats sont en fait une sous-estimation de la réalité, car à la période de l'échantillonnage les collecteurs les plus chargés avaient déjà été détroqués pour éviter une chute en grappe du naissain. Il s'agit des valeurs les plus fortes jamais enregistrées sur ce secteur par le réseau Velyger. En 2013, ce site avait enregistré un captage nul !
- Le bassin de Marennes Oléron (Figure 33) est caractérisé par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes par secteur autour de 200 naissains par coupelle. Il convient de noter l'absence de différence entre les secteurs Nord et Sud.
- Le bassin d'Arcachon (Figure 34), est caractérisé par **un captage excellent à exceptionnel**, avec des valeurs moyennes par secteur de 1481 à 2537 naissains par coupelle. Ces résultats sont les meilleurs depuis le début du réseau Velyger (notamment dans le secteur Est) et les valeurs obtenues sur tuile (collecteur de référence pour ce secteur) supérieures à 20000 naissains placent l'année 2014 en première position depuis le début des suivis en 1985, devant l'année 2003 (année caniculaire).
- La lagune de Thau (Figure 35) est caractérisé par **un captage faible à modéré** avec des valeurs moyennes comprises entre 1 et 22 naissains par coupelle. Cette variabilité tient, en partie, à la pratique zootechnique encore incertaine (modalités d'exondation périodique des collecteurs) qui est en train d'être mise en œuvre dans cet écosystème sans marée.

En résumé, en 2014, les plus fortes intensités de captage sont enregistrées en baie de Bourgneuf et dans le bassin d'Arcachon avec des valeurs vraiment exceptionnelles. On aurait pu s'attendre aussi à des valeurs similaires dans les pertuis Charentais, mais le captage y est resté modéré. De la même manière, compte tenu des conditions estivales favorables, on aurait pu espérer un captage plus élevé en rade de Brest.

Ce « palmarès » très différent de l'année précédente (surtout en baie de Bourgneuf !) mais aussi d'un site à l'autre montre toute la complexité de la chaîne de facteurs à l'origine du recrutement de l'huître creuse en France.

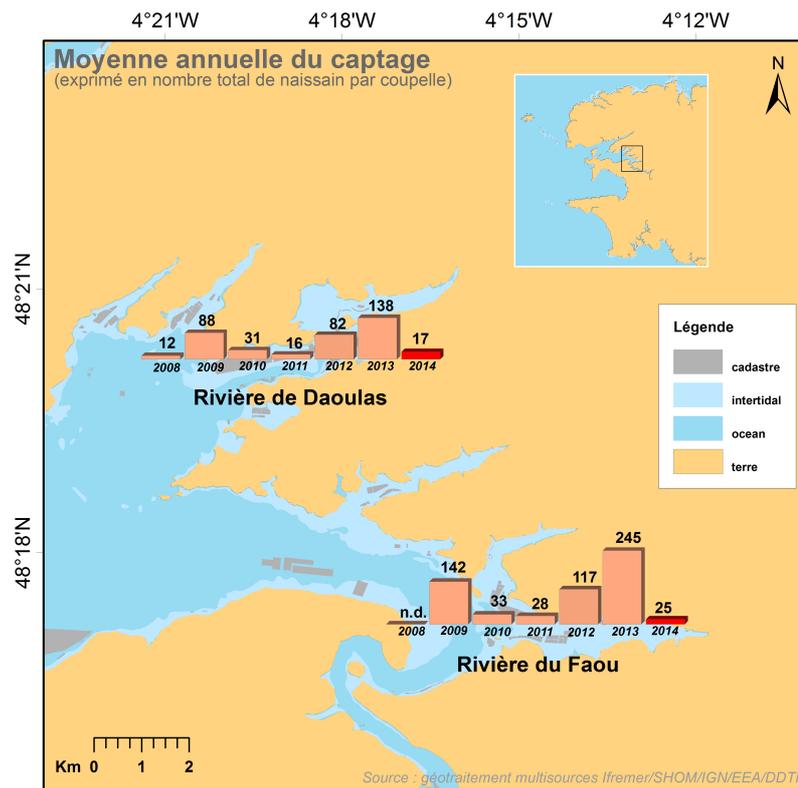


Figure 31 : Abondance moyenne par secteur du captage en rade de Brest : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2014 et comparaison aux années antérieures.

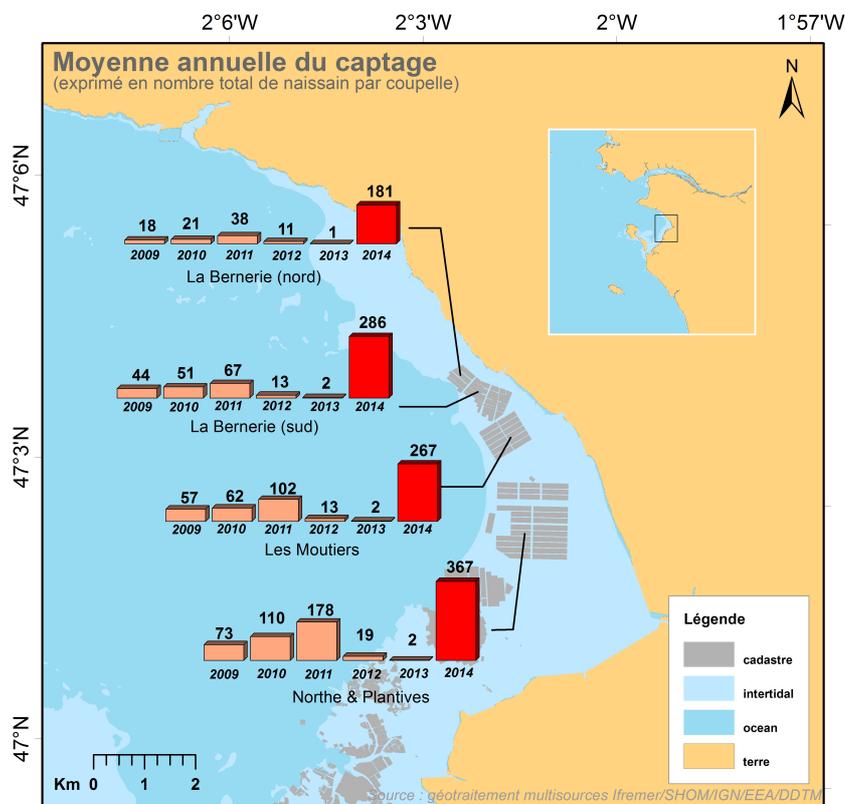


Figure 32 : Abondance moyenne par secteur du captage en baie de Bourgneuf : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2014 et comparaison aux années antérieures.

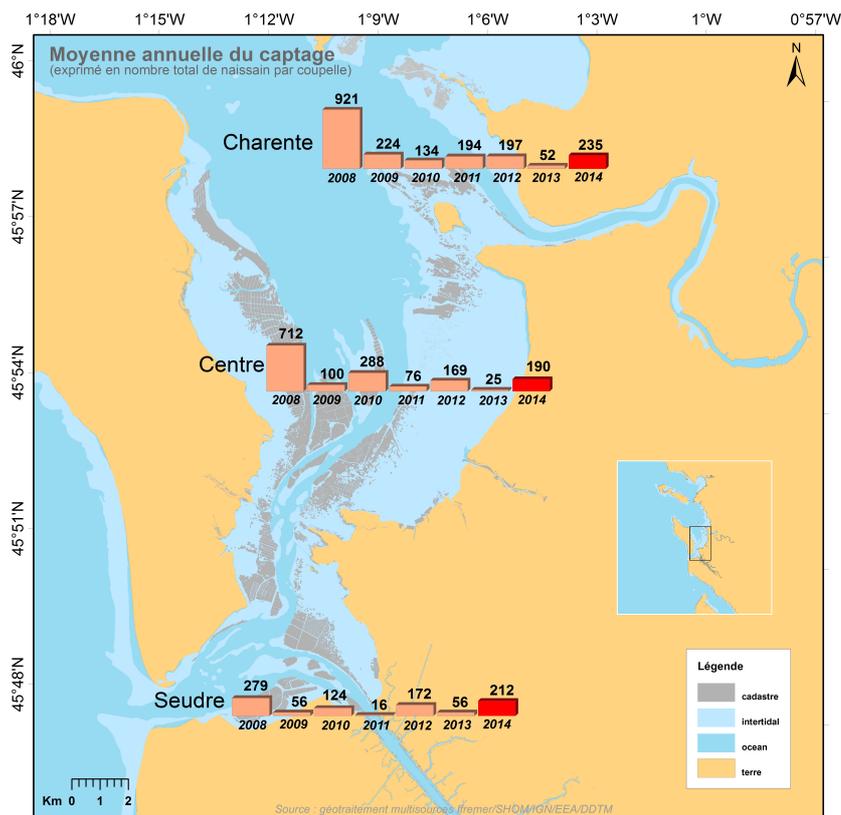


Figure 33 : Abondance moyenne par secteur du captage en bassin de Marennes Oléron : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2014 et comparaison aux années antérieures.

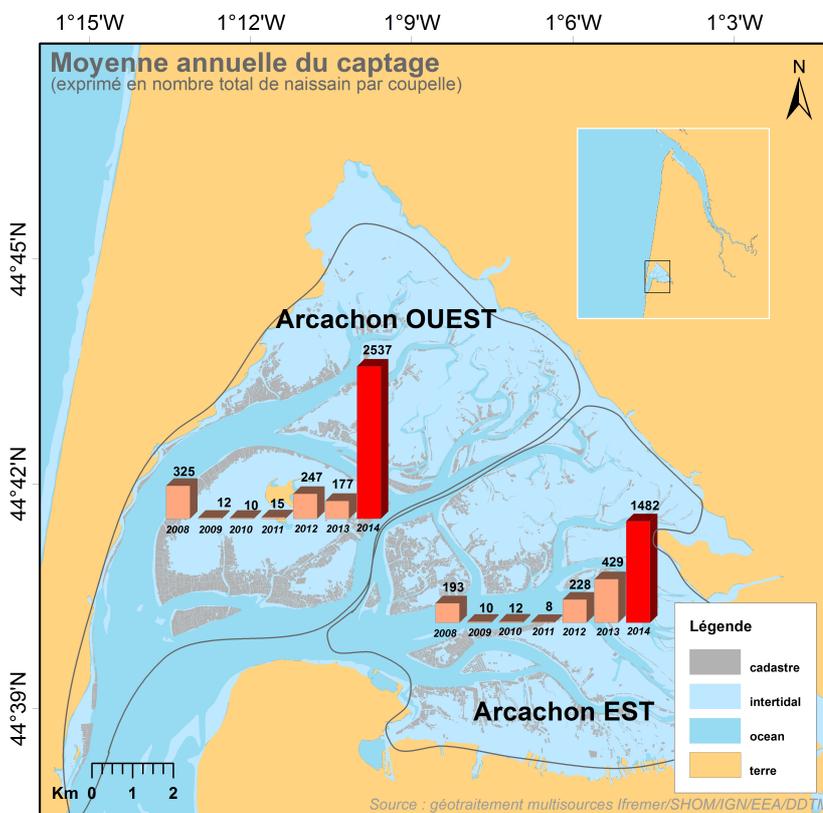


Figure 34 : Abondance moyenne par secteur du captage dans le bassin d’Arcachon: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2014 et comparaison aux années antérieures.

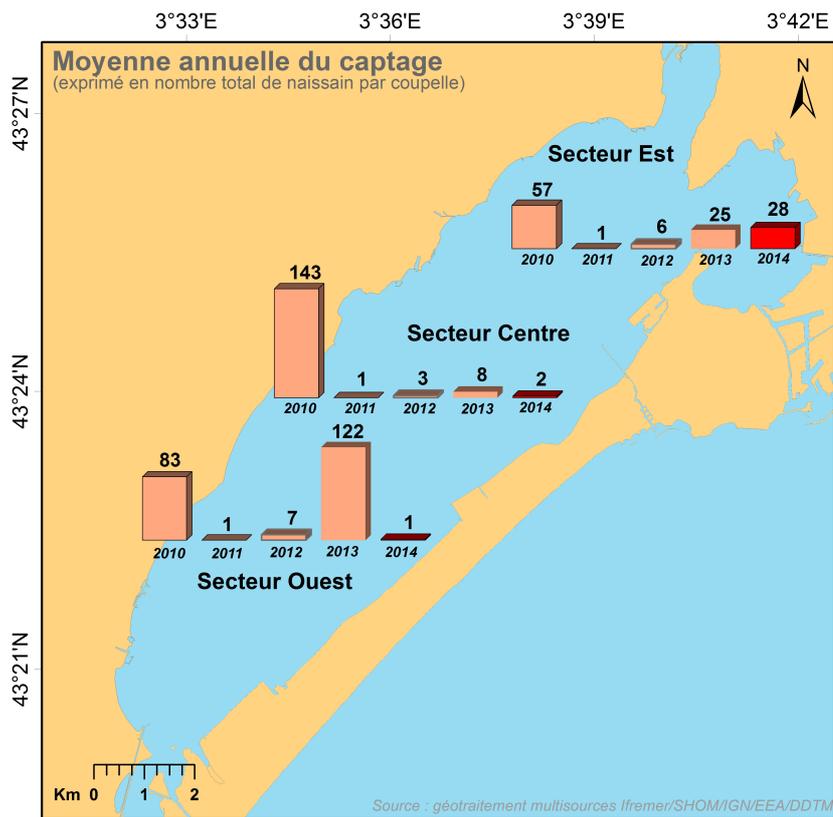


Figure 35 : Abondance moyenne par secteur du captage dans la lagune de Thau: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2014 et comparaison aux années antérieures.

## 4 Synthèse

### 4.1 Schéma général

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

- (1) L'abondance printanière en phytoplancton agit quantitativement sur la maturation et détermine les niveaux maximums d'indice de condition et de fécondité en juillet avant la ponte (Figure 18 & Figure 19). Cette abondance en phytoplancton est en partie sous la dépendance des apports d'eau douce hivernaux et printaniers. **En 2014, l'hiver dominé par un régime climatique NAO+ particulièrement actif a été extrêmement humide et doux sur toute la façade atlantique ce qui a contribué à une abondance en phytoplancton plutôt élevée (surtout en fin de printemps et début d'été) et des indices de maturation plutôt forts.** Ce constat s'estompe en partie pour le bassin d'Arcachon et pour la lagune de Thau, sites pour lesquels la faible concentration en phytoplancton entraîne 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 locale.
- (2) La température moyenne de l'eau en début d'été détermine la date de ponte. Sur la façade atlantique, en raison d'un hiver et d'un printemps extrêmement doux, la température de l'eau a présenté sur tous les sites une anomalie fortement positive jusqu'à l'été (Figure 10). Rappelons ici que l'année 2014 fait partie des 5 années les plus chaudes depuis 1960 (Figure 7). Dans ce contexte, **la date de la ponte principale en 2014 a été dans les normes (voire même plutôt précoce) sur tous les écosystèmes de la façade atlantique** (Figure 20 & Figure 21). En outre, comme chaque année, sur la lagune de Thau, les températures printanières et estivales généralement plus élevées que sur les sites de la façade atlantique permettent 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 2014, **les abondances moyennes de jeunes larves** (Figure 22) **sont élevées dans les écosystèmes les plus riches (de la rade de Brest au pertuis Charentais) et plutôt faibles dans le bassin d'Arcachon et la lagune de Thau corrélativement à l'indice de condition** (Figure 18). Notons tout de même que sur Arcachon, après plusieurs années de valeurs très basses, la tendance est à l'amélioration en 2014 en ce qui concerne l'abondance larvaire (Figure 23).
- (4) Une fois les larves émises, leur vitesse de développement et leur abondance à chaque stade (*i.e.* leur survie) dépendent directement de la température de l'eau lors du développement. Une température basse rallonge la durée de la vie larvaire (PLD), ce qui favorise une dispersion plus importante et une survie plus faible. Cette survie peut varier **d'un facteur 1000** (*i.e.* de 0.01 % à presque 10 %) selon les secteurs et la température (Figure 26 & Figure 27). **En 2014, la durée de vie a été assez similaire entre les secteurs, plutôt courte (entre 10 et 15 jours) et conforme au modèle thermique proposé précédemment** (Figure 25).
- (5) La quantité de larves grosses dépend directement de l'abondance de jeunes larves (étape 3) et de leur survie (étape 4). **En 2014, ces deux étapes ont été plutôt favorisées par les conditions hydro-climatiques au cours l'évolution larvaire.** Ainsi, cela aboutit à différents cas de figures : des abondances de larves grosses fortes à très fortes dans le bassin d'Arcachon et en baie de Bourgneuf (entre 300 et 4000 larves/1,5m<sup>3</sup>), modérées en rade de Brest et à Marennes Oléron (58 à 62 larves/1,5m<sup>3</sup>) et plus faibles que d'habitude la lagune de Thau (41 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 (Figure 29). Cette relation permet une prédiction du captage dès la fin de l'été. **En 2014, le captage a donc été plutôt bon voire exceptionnel sur certains secteurs (conformément aux abondances de larves grosses).** Cependant, en rade de Brest (et dans une moindre mesure dans les pertuis Charentais), le recrutement s'est avéré être un peu inférieur à ce que l'abondance de larves grosses annonçait. Ce point sera discuté au cas par cas dans le paragraphe suivant.
- (7) Seule exception à cette règle de proportionnalité : la lagune de Thau qui malgré des abondances de larves grosses plutôt élevées présente chaque année un captage souvent faible. Une pratique adaptée à ce secteur sans marée devrait permettre à terme d'assurer un bon captage systématique (cf projet régional PRONAMED, Lagarde et al., 2013).

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

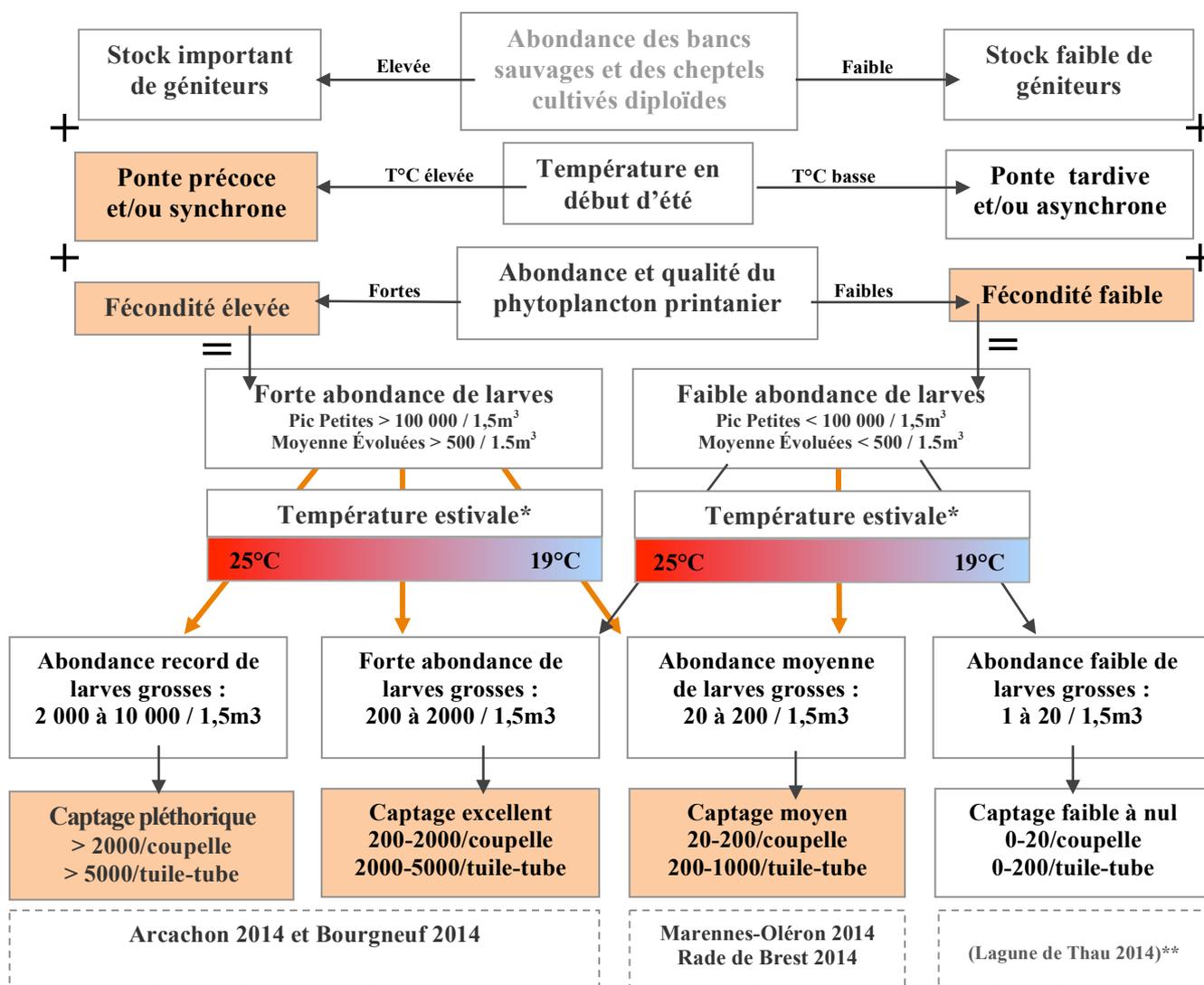


Figure 36 : Schéma récapitulatif et quantifié expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises et positionnant les caractéristiques 2014 (en orange). Le cadre grisé indique que, l'état des connaissances ne permet pas d'affirmer la relation, mais que l'hypothèse forte mérite d'être prise en compte. Légende : \* la température estivale est le facteur majeur influençant la survie des larves, mais les facteurs contrôlant le temps de résidence des masses d'eau jouent aussi un rôle clés (hydrodynamique du secteur, coefficient de marée, régime de vent). \*\* Pour l'instant, la performance du captage à Thau tient pour beaucoup à la pratique zootechnique en cours de mise au point (zone de captage hors table, exondation périodique et raisonnée des collecteurs). Dans ce contexte, la relation entre abondance larvaire et recrutement trop partielle s'inscrit difficilement dans ce schéma récapitulatif.

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

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier de la rade de Brest au cours de l'année 2014 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

Période d'intérêt	Conditions hydroclimatiques	Conséquence biologique
Hiver-printemps (pendant la gamétogénèse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> <li>✓ Pluie : excédentaire</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration normale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gamétogénèse : accélérée</li> <li>✓ Fécondité : élevée</li> </ul>
Début d'été (pendant la ponte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Date de ponte : normale</li> <li>✓ Ponte : partielle (fréquente sur ce secteur)</li> <li>✓ Abondance jeunes larves : moyenne</li> </ul>
Été (pendant la vie larvaire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : normales</li> <li>✓ Phytoplancton : Présence d'algues toxiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Survie larvaire : moyenne</li> <li>✓ Abondance larves grosses : moyenne</li> </ul>
Fin d'été (pendant la fixation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recrutement : moyen (à faible)</li> </ul>

En résumé, en rade de Brest, en 2014, l'hiver et le printemps anormalement doux et humides (Figure 6 à Figure 12) et les concentrations en phytoplancton plutôt élevées (Figure 13) ont permis aux populations d'huîtres du secteur de développer une gamétogénèse rapide et de présenter une fécondité élevée (Figure 18). En outre, les températures de début d'été toujours assez élevées ont permis une ponte précoce (Figure 20), mais partielle comme c'est souvent le cas sur cet écosystème.

En raison du caractère partielle des pontes, les abondances maximales de larves (pic de larves) n'ont pas été élevées ( $< 100\,000$  larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>) et les abondances sur l'été sont restées dans des valeurs modérées (450 larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été, Figure 22).

Au cours de la vie larvaire, les températures de l'eau proche de 21°C ont permis une durée de vie larvaire moins longue que les autres années (PLD = 16 j, Figure 25) avec une survie plutôt dans les normales (~ 0.3 %, Figure 26). Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a été modérée (58 larves/1,5m<sup>3</sup>) ce qui s'est traduit par un captage modéré à faible selon les secteurs (17 à 25 naissains par coupelle à l'automne). Comme chaque année, il convient de noter que les densités de naissains par coupelle sont toujours un peu plus élevées dans la rivière du Faou qu'en rivière de Daoulas. Cela dit, on aurait pu s'attendre à un captage un peu plus élevé (proche de 50 naissains par coupelle) et la question de l'effet des algues toxiques présentes tout au long de l'été 2014 sur ce secteur (*Alexandrium minutum*) se pose réellement.

Concernant ce secteur, nous réaffirmons la conclusion émise dans les rapports précédents (e.g. Pouvreau et al., 2013) : les conditions climatiques de l'été constituent le principal frein au recrutement de l'huître creuse et aux performances du captage qui en dépendent. Plus précisément, le facteur limitant en rade de Brest apparaît clairement être la température estivale (et printanière). Un été chaud (associé à un printemps chaud) devrait permettre des pontes synchrones, de fortes abondances de larves, une survie élevée et un captage 'bon à excellent'. Cependant la présence d'algues toxiques depuis 2-3 ans, en pleine période de reproduction, pose sérieusement question.

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

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier de la baie de Bourgneuf au cours de l'année 2014 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

Période d'intérêt	Conditions hydroclimatiques	Conséquence biologique
Hiver-printemps (pendant la gamétogénèse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> <li>✓ Pluie : excédentaire</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gamétogénèse : accélérée</li> <li>✓ Fécondité : élevée</li> </ul>
Début d'été (pendant la ponte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Date de ponte : normale</li> <li>✓ Ponte : totale et synchronisée</li> <li>✓ Abondance jeunes larves : très forte</li> </ul>
Été (pendant la vie larvaire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> <li>✓ Phytoplancton : concentration élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Survie larvaire : forte</li> <li>✓ Abondance larves grosses : très forte</li> </ul>
Fin d'été (pendant la fixation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Température : supérieure aux normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recrutement : excellent à exceptionnel</li> </ul>

En résumé, en baie de Bourgneuf, en 2014, l'hiver et le printemps anormalement doux et humides (Figure 6 à Figure 12) et les concentrations en phytoplancton très élevées (Figure 13) ont permis aux populations d'huîtres du secteur de développer une gamétogénèse rapide et de présenter une fécondité élevée (Figure 18). En outre, les températures de début d'été toujours assez élevées ont favorisé une ponte précoce et très synchronisée (Figure 20).

En raison du caractère total et synchronisé de cette ponte, les abondances maximales de larves (pic de larves) ont été très élevées (> 1 000 000 larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>) et les abondances sur l'été ont atteint des valeurs records pour ce secteur (~ 4000 larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été, Figure 22).

Au cours de la vie larvaire, les températures de l'eau élevées (de 23°C) ont permis une durée de vie larvaire relativement courte (PLD = 12 j, Figure 25) avec une survie plutôt dans les normales (~ 0.3 %, Figure 26). Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a donc été forte (200 larves/1,5m<sup>3</sup>) : c'est la valeur la plus forte enregistrée sur ce secteur depuis la création du réseau Velyger. Tout ceci s'est naturellement traduit par un captage excellent voire exceptionnel (> 200 naissains par coupelle à l'automne). Il s'agit d'une année vraiment record pour ce secteur et qui s'explique parfaitement par la succession très favorable des différentes étapes du cycle de reproduction, à l'opposé de la situation 2013.

Ce site de captage, situé à une latitude intermédiaire en France, a bénéficié en 2014 de conditions hydroclimatiques très favorables à chacune des étapes du cycle de reproduction. Ces conditions 2014 confirment totalement nos conclusions présentées dans les rapports précédents : tout comme la rade de Brest, la baie de Bourgneuf constitue un secteur pour lequel, lors d'étés particulièrement chauds, le captage doit être excellent, pour peu que les stocks de géniteurs soient préservés et que les conditions phytoplanctoniques printanières soient favorables.

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

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

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier des pertuis Charentais au cours de l'année 2014 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

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

En résumé, dans les pertuis Charentais, en 2014, l'hiver et le printemps anormalement doux et humides (Figure 6 à Figure 12) et les concentrations en phytoplancton plutôt élevées (Figure 13) ont permis aux populations d'huîtres du secteur de développer une gamétogénèse rapide et de présenter une fécondité élevée (Figure 18). En outre, les températures de début d'été toujours assez élevées ont permis une première ponte précoce (avant la mi-juillet) et très synchrone (Figure 20) de façon similaire à ce qui a été observé en baie de Bourgneuf.

En raison du caractère total et synchrone de cette ponte, les abondances maximales de larves (pic de larves) ont été élevées ( $> 100\,000$  larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>) surtout en Seudre et les abondances moyennes sur l'été ont été modérées ( $\sim 465$  larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été, Figure 22).

Au cours de la vie larvaire, les températures de l'eau favorable (21-22°C) ont permis une durée de vie larvaire moyenne (PLD = 15 j, Figure 25) avec une bonne survie ( $\sim 1\%$ , Figure 26). Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a donc été modérée (37 larves/1,5m<sup>3</sup>). Ces conditions « moyennes » se sont traduit par un captage modéré (200 naissains par coupelle à l'automne). On aurait pu s'attendre à un captage excellent comme tenu des performances enregistrées plus au sud dans le bassin d'Arcachon ou plus au nord en baie de Bourgneuf.

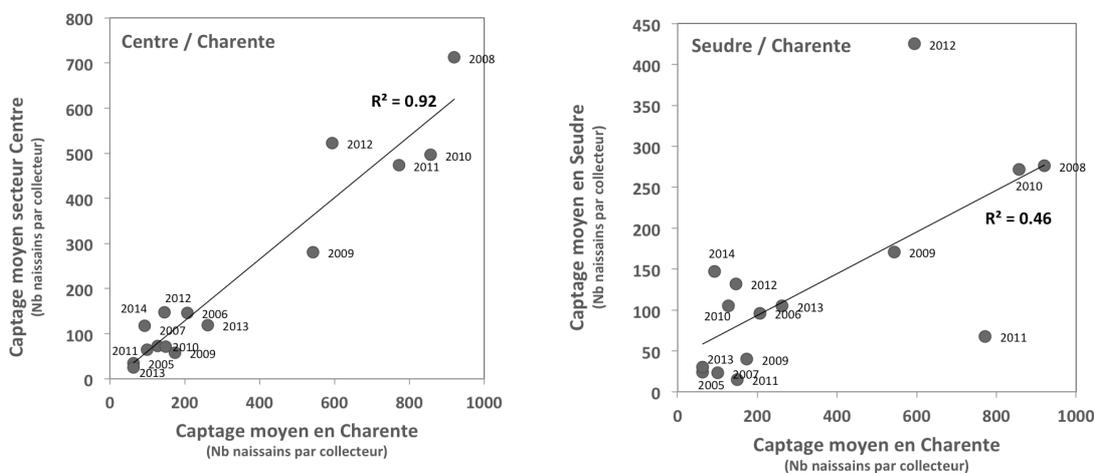
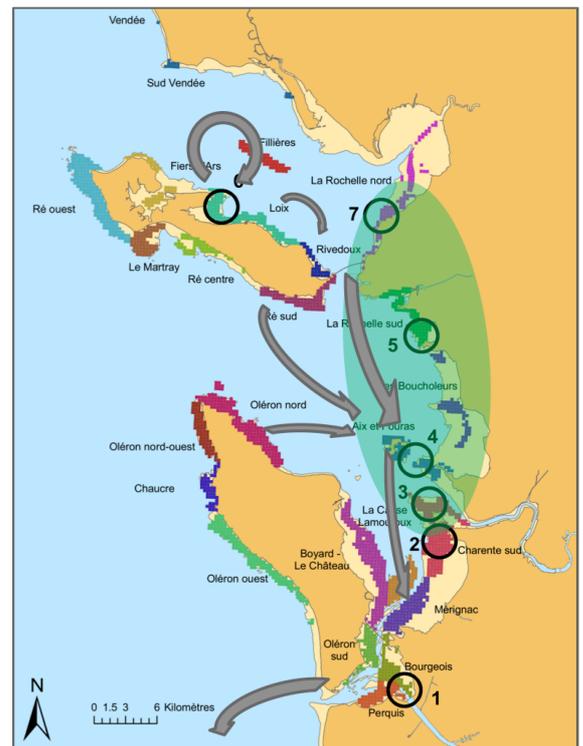


Figure 37 : Relation entre les intensités de captage de chacun des 3 secteurs du bassin de Marennes Oléron (Tubes et Coupelles). D'une façon schématique, on peut considérer que les 2 secteurs Charente et Centre se comportent de façon similaire indépendamment du secteur Seudre. ©Données Creaa 2005-2014

En termes de variabilité spatiale, cette année, le captage est assez similaire dans les trois secteurs suivis dans les pertuis: avec 212 naissains par coupelle dans le secteur Charente, 190 dans le secteur Centre et 235 dans le secteur Seudre. Les valeurs obtenues dans le secteur Centre sont un peu moins élevées que dans le secteur Charente, mais restent conformes à la relation inter-secteur proposée par Pouvreau et al. (2010). Par contre, pour la première fois depuis 2008, la valeur enregistrée en Seudre est la plus élevée des trois secteurs et, à nouveau, on démontre qu'il n'y a pas de relation entre les performances de captage réalisées en Seudre par rapport aux performances réalisées dans les autres secteurs (Figure 37).

Cette année encore confirme la complexité de la distribution des larves et de la dynamique du recrutement dans l'ensemble des pertuis. Pour tous les autres écosystèmes étudiés dans le réseau Velyger, il y a toujours une corrélation intra-bassin (*i.e.* inter-secteur) assez élevée de l'abondance en larves et en naissains. C'est rarement le cas dans les pertuis. Il en est de même pour le suivi des cohortes larvaires (du stade petites au stade grosses). Dans la plupart des écosystèmes, l'identification des cohortes est évidente, alors que dans les pertuis Charentais, elle est systématiquement délicate à réaliser: les larves petites disparaissent assez rapidement sans forcément présenter d'évolution et l'arrivée sporadique des larves grosses reste difficile à interpréter. Fait assez rare cette année en Seudre, il est possible d'identifier trois cohortes facilement, ce qui n'a jamais été le cas depuis 2008 sur ce secteur.

La complexité d'interprétation spatiale des données dans les pertuis Charentais est à relier à la complexité de circulation des masses d'eau dans cet écosystème. Ce système relativement ouvert donne l'impression d'exporter plus ou moins (selon les conditions climatiques de l'été) ses jeunes larves et de recevoir des larves plus âgées provenant d'autres secteurs conformément à la proposition de fonctionnement hydrodynamique proposée par Bernard *et al.* (2010) et schématisée sur la Figure 38.



**Figure 38 : Carte simplifiée des liens privilégiés entre les bancs potentiels d'émission de larves et les zones de captage dans les pertuis Charentais, d'après Bernard (2011).**

Ainsi, dans les pertuis Charentais, l'année 2014 se caractérise par un captage modéré assez homogène sur l'ensemble de la zone. On aurait pu s'attendre à des meilleures performances en Charente, compte tenu des résultats exceptionnels enregistrés en baie de Bourgneuf au nord ou dans le bassin d'Arcachon au sud.

Cette année confirme, à nouveau, la complexité d'analyse spatiale des abondances larvaires et du recrutement dans cet écosystème. Cette complexité est à relier à la circulation hydrodynamique ouverte de cet écosystème : selon les conditions hydro-climatiques de l'été, les secteurs au nord (Charente) peuvent bénéficier d'apport allochtone de larves et les secteurs au sud (Seudre) peuvent exporter plus ou moins leurs larves. Dans ce contexte, la préservation des stocks sauvages de géniteurs 'source' en amont de ces zones constituent, sans aucun doute, une garantie d'avenir pour le captage dans les pertuis Charentais.

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

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier du bassin d’Arcachon au cours de l’année 2014 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l’huître creuse.

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

En résumé, dans le bassin d’Arcachon, en 2014, l’hiver et le printemps anormalement doux et humides (Figure 6 à Figure 12) et les températures de début d’été toujours assez élevées ont permis aux populations d’huîtres du secteur de développer une gamétogénèse rapide se soldant par une ponte à la mi-juillet très synchrone (Figure 20). Pour la première fois depuis 4 ans, la ponte n’a pas été anormalement tardive (Figure 21).

Par contre, si les concentrations de phytoplancton sont situées dans les normes pour ce secteur (Figure 13), elles restent néanmoins 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 2014, un indice de condition et donc une fécondité plutôt faible (Figure 18) mais toutefois comparable aux années précédentes.

En raison du caractère total et synchrone de la ponte principale, les abondances maximales de larves (pic de larves) ont été élevées ( $> 100\,000$  larves évoluées/ $1,5\text{m}^3$ ) et les abondances sur l’été ont atteint des valeurs modérées pour ce secteur ( $\sim 1803$  larves/ $1,5\text{m}^3$  en moyenne sur l’été, Figure 22). Si ces valeurs restent modérées, elles sont néanmoins les plus fortes valeurs enregistrées depuis 2006.

Au cours de la vie larvaire, les températures de l’eau élevées (proche de  $24^\circ\text{C}$ ) ont permis une durée de vie larvaire relativement courte (PLD = 12 j, Figure 25) avec une survie élevée ( $>1\%$ , Figure 26 & Figure 27). Sur l’été, la concentration moyenne de larves ‘grosses’ a donc été forte ( $367$  larves/ $1,5\text{m}^3$ ), valeur la plus forte enregistrée sur ce secteur depuis 2006.

Ces performances satisfaisantes se sont traduites par un captage excellent voire exceptionnel (2000 naissains par coupelle à l’automne). Si on utilise la série historique de captage sur tuile disponible pour ce secteur (e.g. Auby et al., 2012), il s’agit de l’année la plus forte depuis le début des suivis en 1985 (Figure 1).

Le facteur limitant, pour ce bassin, réside dans la quantité de petites larves, en diminution ces dernières années. Cette faible quantité trouve en partie une explication dans une fécondité restreinte des géniteurs, qui elle-même est à relier aux abondances phytoplanctoniques plutôt modérées sur ce secteur. En 2014, 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 2014, les températures élevées garantissent une bonne survie ( $> 1\%$  pour la première cohorte) et assurent un captage satisfaisant voire excellent.

#### 4.1.5 Lagune de Thau

Le tableau ci-dessous résume les principales conditions hydroclimatiques rencontrées sur le site-atelier de la lagune de Thau au cours de l'année 2014 et les conséquences biologiques potentielles sur la reproduction et le recrutement de l'huître creuse.

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

En résumé, sur la lagune de Thau, en 2014, l'hiver et le printemps anormalement doux mais secs (Figure 6 à Figure 12) mais des concentrations en phytoplancton plutôt faibles (Figure 13) se sont traduits au niveau des populations d'huîtres du secteur par une gamétogénèse rapide mais une fécondité individuelle faible (Figure 18). En outre, les températures de début d'été (toujours élevées sur ce secteur) ont permis une ponte précoce (Figure 20), et de façon conforme au modèle thermique établi sur la côte atlantique, mais asynchrone avec la présence de pontes surnuméraires tout au long de l'été comme c'est souvent le cas sur cet écosystème.

Comme tenu du caractère fermé de cet écosystème et malgré le caractère asynchrone des pontes, les abondances maximales de larves (pic de larves) restent assez élevées ( $> 100\,000$  larves évoluées/1,5m<sup>3</sup>) et les abondances sur l'été présentent des valeurs modérées (813 larves/1,5m<sup>3</sup> en moyenne sur l'été, Figure 22). Il s'agit là des valeurs les plus basses enregistrées depuis le début des suivis Velyger sur ce secteur, ce point mérite une attention particulière à l'avenir.

Au cours de la vie larvaire, les températures de l'eau très élevées ( $> 25^{\circ}\text{C}$ ) ont permis une durée de vie larvaire courte (PLD = 12 j, Figure 25) avec une survie favorable ( $\sim 0.5\%$ , Figure 26). Sur l'été, compte tenu du faible nombre de jeunes larves, inférieur aux années antérieures, la concentration moyenne de larves 'grosses' a été modérée à faible (41 larves/1,5m<sup>3</sup>) ce qui s'est traduit par un captage faible à modéré (1 à 28 naissains par coupelle à l'automne).

Au regard des données 2014 et des données acquises depuis 2010, il s'avère que sur ce secteur particulier, outre le problème d'une fécondité un peu faible (compensée par l'avantage des temps de résidence élevés), le verrou biologique du recrutement de l'huître creuse semble se situer au niveau de la fixation et de la métamorphose, au moins dans les zones ostréicoles où sont actuellement placées les points VELYGER. Ce problème très spécifique à la lagune de Thau est pris en charge dans le cadre du projet PRONAMED II (2013-2014) et il semble que les aspects zootechniques liés à la gestion des collecteurs (localisation hors table et technique d'exondation) constituent le levier principal permettant d'améliorer, à termes, les performances du captage sur cet écosystème sans marée.

## 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 2014, les grandes tendances suivantes :

- Sur le plan hydro-climatique, cette année se caractérise par **un hiver et un printemps particulièrement doux et humides**, avec des épisodes de crues marquées sur la façade atlantique suivis d'**un été ensoleillé et relativement chaud** (mais sans épisode caniculaire). On observe des dessalures importantes en fin d'hiver, puis un retour dans les normales au printemps. Le phytoplancton est relativement abondant de la rade de Brest aux pertuis Charentais et plutôt déficitaire dans le bassin d'Arcachon et la lagune de Thau.
- En termes de biologie, ces conditions hydro-climatiques se sont traduites, chez les populations d'huîtres adultes, par des indices de condition généralement élevés, avec toujours l'existence d'un gradient Nord-Sud observé chaque année, corrélativement à la concentration en phytoplancton. En outre, l'excédent thermique enregistré depuis l'hiver et tout au long du printemps s'est traduit par **une ponte dès la mi juillet** sur l'ensemble des écosystèmes de la côte atlantique et encore plus précocement dans la lagune de Thau.
- Grâce à des températures très favorables en juillet et encore favorables en août, la plupart des cohortes larvaires observées ont eu une survie normale à bonne (e.g. 0.2 à 1.4 %), ce qui s'est généralement traduit par **un captage modéré à excellent voire exceptionnel dans certains cas bien précis : la baie de Bourgneuf et le bassin d'Arcachon**. Par contre, en rade de Brest, le captage est en deçà des valeurs auxquelles on aurait pu s'attendre, et la question de l'effet de certaines algues toxiques présentes en abondance au cours de cette saison de reproduction est posée. C'est aussi le cas dans la lagune de Thau, mais sur cet écosystème sans marée 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.
- En conséquence, l'année 2014, se caractérise par **un captage très variable géographiquement** : « faible à modéré » en rade de Brest et dans la lagune de Thau (1 à 30 naissains/coupelle), modéré dans les pertuis Charentais (~200 naissains/coupelle) et excellent à exceptionnel dans le bassin d'Arcachon et en baie de Bourgneuf (de 200 à 2000 naissains/coupelle).

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

- Pour le secteur de rade de Brest, les résultats 2014 confortent la conclusion émise dans les rapports précédents (e.g. Pouvreau et al., 2012 ; 2013) : le facteur limitant réside dans la température estivale (et printanière). Un été chaud (associé à un printemps chaud) devrait permettre des pontes synchrones, de fortes abondances de larves, une survie élevée et assurer ainsi un captage 'bon à excellent'. Mais il apparaît cette année, un déficit de recrutement attribuable à la présence, en quantité importante, d'algues toxiques. Cette hypothèse mérite d'être approfondie et fait actuellement l'objet d'une demande de thèse.
- Pour le secteur de la baie de Bourgneuf, la préservation des stocks sauvages devrait permettre d'assurer un captage généralement modéré, tant que les conditions hydro-climatiques du printemps et de l'été restent favorables. Lorsque les étapes s'enchaînent parfaitement (fécondité élevée, ponte précoce, été chaud), comme cela a été le cas en 2014, le captage sur ce secteur peut être pléthorique. Mais dans les cas de ponte tardive (printemps frais) avec un développement larvaire dans une eau trop fraîche, le captage devient nul comme ce fut le cas en 2013. Cette très forte variabilité inter-annuelle est peut être aussi à relier aux temps de résidence des masses d'eau dans ce secteur relativement ouvert. A l'avenir, la mise en œuvre d'un modèle hydrodynamique sur cet écosystème pourrait permettre de mieux comprendre cette variabilité.

- Les pertuis Charentais ont la particularité de présenter une forte variabilité spatiale sur le plan du recrutement. En sortie de Charente, le recrutement y est peu variable ces dernières années : souvent modéré (voire excellent). Ça reste le cas en 2014, même si les valeurs n'ont rien d'exceptionnel contrairement aux écosystèmes « voisins ». Ce secteur est supposé dépendre d'apport de larves émises par des bancs naturels situés plus du nord (Bernard, 2011). Les bancs sauvages au Nord sont donc à préserver. En Seudre, le recrutement 2014 est meilleur que d'habitude, comme en 2013. Ce secteur semble se comporter différemment et présente des similarités avec le captage à Arcachon. C'est un secteur qui peut exporter ses larves (Bernard, 2011). La préservation des stocks sauvages en amont dans la Seudre est donc à surveiller, là aussi.
- Pour les secteurs Est et Ouest d'Arcachon, l'année 2014, comme les deux précédentes permet de confirmer que lorsque les conditions climatiques estivales sont bonnes, le captage l'est aussi. La succession des captages bon à exceptionnel de 2012 à 2014 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 à surveiller. De récentes études régionales (Bernard et al., 2014) permettent de mieux appréhender les causes de ce phénomène de fond.
- Pour la lagune de Thau, la fécondité est toujours un peu faible (liée à une diminution de la concentration en phytoplancton depuis quelques années), mais les performances de la vie larvaire sont généralement très bonnes grâce aux températures élevées. Le succès du recrutement est donc plutôt lié, dans ce secteur, aux pratiques zootechniques nécessairement spécifiques à cet écosystème sans marée. Il semble qu'une localisation judicieuse des zones de collectage associée à une émergence périodique des collecteurs permettent d'optimiser le captage (e.g. Lagarde et al., 2013, 2014).

## 6 Références bibliographiques

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

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

**Auby I., Maurer D., Valvason M.L., Guegen C., Guillard F. (2002)** Mise au point d'une nouvelle méthode de suivi de la reproduction de l'huître creuse. Comparaison avec la méthode traditionnelle. Rapport Interne RST.DEL/02.01/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'huître dans le bassin d'Arcachon, activité valvaire de *Crassostrea angulata* et de *Crassostrea gigas* ; application à l'étude de la reproduction de l'huître japonaise. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I.

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

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

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

**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 Velyger. Rapport annuel 2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00135/24648/>

**Pouvreau S., Petton S., Queau I., Bellec G., Talarmain E., Le Souchu P., Alunno-Bruscia M., Auby I., Maurer D., D'Amico F., Passoni S., Barbier C., Tournaire MP., Rigouin L., Rumebe M., Fleury E., Langlade A., Bouget JF., Collin K., Fortune M., Palvadeau H., Bedier E., Robert S., Pepin JF., Grizon J., Seugnet JL., Chabirand JM., Le Moine O., Guesdon S.,**

**Lagarde F., Mortreux S., Le Gall P., Messiaen G., Roque D'Orbcastel E., Quemener L., Repecaud M., Bucas K., Barbot S., Guillemot A., Nonnotte L., Duros W., Bonnat A., Tarot S., Mille D., Geay A., Bouquet AL. (2014).** Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger. Rapport annuel 2013. <http://dx.doi.org/10.13155/31091>

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

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

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

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

**Thomas Y., Pouvreau S., Alunno-Bruscia M., Barillé L., Gohin F., Bryère P., Gernez P. (2015).** Global change and climate-driven invasion of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) along European coasts: a bioenergetics modelling approach. Journal of Biogeography, under revision