

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

S. Pouvreau, E. Fleury, S. Petton, V. Le Roy, I. Queau, P. Le Souchu, P. Barbier, B. Petton
 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, F. D'Amico, C. Barbier, M.P. Tournaire, L. Rigouin, M. Rumèbe, H. Oger-Jeanerret
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Morbihan Pays de Loire' - LER MPL
 J.F. Bouget, N. Cochenne-Laureau

Laboratoire 'Environnement-Ressources Poitou-Charentes' - LER PC

J.L. Seugnet, P. Geairon, J. Grizon, J.M. Chabirand, A. Bruneau

Laboratoire 'Environnement-Ressources Languedoc-Roussillon' - LER LR

F. Lagarde, S. Mortreux, P. Le Gall, G. Messiaen, E. Roque d'Orbcastel, A. Fiandrino

Centre Régional Expérimentation et Application Aquacole - CREAA

AL. Bouquet, A. Geay, M. Bechade, P. Blachier

Armeria

G. Allain

Cochet environnement

H. Cochet

Réf : R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2018-2



MINISTÈRE
 DE L'AGRICULTURE
 ET DE
 L'ALIMENTATION

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

Le Réseau Velyger



- Rapport annuel 2017 -

Coordination & rédaction :

Stéphane Pouvreau

Mars 2018

**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 2017**

Préambule



Les réseaux conchylicoles RESCO (croissance et survie) et VELYGER (reproduction et recrutement) ont été créés en 2008 sur sollicitation du Comité National de la Conchyliculture (CNC). Piloté par l'Ifremer, ces projets ont bénéficié depuis leur lancement de financements accordés par la direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) et la direction générale de l'alimentation (DGAL) ainsi que de fonds européens pour la Pêche et l'Aquaculture (FEP). Ces deux réseaux seront totalement fusionnés dans l'action ECOSCOPA à compter du 1 janvier 2018 pour fournir un observatoire national unique pour le suivi du cycle de vie de la première espèce aquacole française : l'huître creuse, *Crassostrea gigas*. Ce rapport présente la synthèse des données issues du Réseau VELYGER pour l'année 2017. Un autre rapport complémentaire présente l'intégralité des résultats de l'action ECOSCOPA.

Construit comme une fédération de différents suivis régionaux, ces réseaux font aussi appel à :

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



L'analyse et l'interprétation des données de ces réseaux nationaux 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 (avant 2016) et le CREA A depuis 2016.
- **pour la baie de Vilaine**, des données de larves et de recrutement acquises dans le cadre d'une convention locale entre le CRC Bretagne sud et le bureau d'étude Cochet-environnement.
- **pour l'hydrologie et le phytoplancton**, des données acquises par le REPHY, complété par le réseau SOMLIT du CNRS ainsi que, le cas échéant, par des analyses supplémentaires.
- **pour la climatologie**, des données météorologiques des stations proches des sites d'étude vendues par Météo-France.

En savoir plus sur le Réseau VELYGER:

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

En savoir plus sur le Réseau RESCO:

http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Sylvie Lapègue, responsable SG2M Adresse électronique : sylvie.lapegue@ifremer.fr		date de publication : 15/03/2018 nombre de pages : 56 p bibliographie : oui illustration(s) : 28 figures langue du rapport : Français
Titre du rapport : Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger		
Contrat DPMA 2017		Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/>
		Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>
Auteur principal: S. Pouvreau Contributeurs : S. Petton, E. Fleury, V. Le Roy, I. Queau, P. Le Souchu, P. Barbier, B. Petton, H. Palvadeau, S. Herteubise, I. Auby, F. D'Amico, C. Barbier, M.P. Tournaire, L. Rigouin, M. Rumèbe, H. Oger-Jeanneret, J.F. Bouget, N. Cochenec-Laureau, J.L. Seugnet, P. Geairon, J. Grizon, J.M. Chabirand, A. Bruneau, F. Lagarde, S. Mortreux, P. Le Gall, G. Messiaen, E. Roque d'Orbcastel, A. Fiandrino, AL. Bouquet, A. Geay, M. Béchade, P. Blachier, G. allain, H. Cochet.		Organisme / Direction / Service, laboratoire Département Ressources Biologiques et Environnement Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins Laboratoire des sciences de l'environnement marin UMR 6539 LEMAR Laboratoire de Physiologie des Invertébrés
Cadre de la recherche : Action ECOSCOPA - Convention DPMA - Ifremer 2017		
Destinataire :		DPMA-Ifremer

Résumé court

Occupant une place de premier ordre dans nos paysages côtiers, l'ostréiculture est le premier contributeur de la filière aquacole française avec une production estimée à 85000 tonnes ces dernières années. Véritable espèce ingénier, l'huître creuse *Crassostrea gigas*, après son introduction dans les années 1960, s'est aussi progressivement installée naturellement dans de nombreux écosystèmes côtiers de la façade atlantique et de la manche occidentale. Elle y joue désormais un rôle essentiel sur le plan écologique en y rendant de nombreux services écosystémiques. Certains récifs sauvages ont désormais plus de 50 ans d'existence et constituent maintenant un vrai patrimoine sur le plan de la biodiversité. Pourtant, depuis plusieurs années, l'ostréiculture subie une baisse de production et les bancs naturels, seuls garants de la diversité génétique pour la filière, sont aussi mis en danger. Ces phénomènes sont la conséquence directe de l'épizootie causée par OsHV-1 μ Var frappant les naissains et des mortalités d'adultes associées à la bactérie *Vibrio aestuarianus*. Par ailleurs, la filière ostréicole repose sur un approvisionnement en naissain qui provient majoritairement du captage naturel, pratiqué désormais dans plusieurs bassins ostréicoles (principalement le bassin d'Arcachon et les Pertuis Charentais mais aussi la baie de Bourgneuf, la rade de Brest, et même la lagune de Thau ou la baie de Vilaine). Cependant, sur tous ces secteurs, la reproduction et le recrutement présentent des performances très variables.

Afin de mieux comprendre les facteurs de variations du recrutement et du captage qui en dépend, l'Ifremer a mis en place, à la demande du Comité National de la Conchyliculture, un réseau national de suivi de la reproduction : le Réseau Velyger. Créé en 2008 sur financements européens et financé désormais par la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture dans le cadre de l'action ECOSCOPA, 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) 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 2017 de ce réseau d'observation et fait appel, pour la partie hydro-climatique, à des données acquises par d'autres réseaux régionaux et nationaux. Il détaille et analyse par site toutes les caractéristiques du cycle de reproduction de l'huître creuse : maturation et fécondité des adultes, période de ponte, abondance et survie des larves, intensité du captage à l'automne. Il fournit ensuite une interprétation et une synthèse des résultats 2017 à la lueur des résultats des années antérieures.

Sommaire

1	Introduction générale	8
2	Matériel et méthode	11
2.1	Mise en œuvre du dispositif national	11
2.1.1	<i>Sites étudiés</i>	11
2.1.2	<i>Paramètres suivis</i>	11
2.2	Gestion et Analyse des données	16
3	Suivis des conditions environnementales 2017	18
3.1	Conditions climatiques générales	18
3.1.1	<i>Température de l'air</i>	18
3.1.2	<i>Pluviométrie</i>	20
3.2	Données hydrologiques	21
3.2.1	<i>Température de l'eau de mer</i>	21
3.2.2	<i>Salinité</i>	24
3.2.3	<i>Concentration en phytoplancton</i>	25
3.2.4	<i>pH et acidification de l'océan</i>	26
3.2.5	<i>Développement de site d'observation à instrumentation accrue</i>	27
4	Cycle de reproduction 2017	29
4.1	Maturation et indice de condition	29
4.1.1	<i>Comparaison spatio-temporelle de la maturation</i>	29
4.1.2	<i>Indice de condition 2017</i>	30
4.2	Date de ponte	31
4.2.1	<i>Valeurs 2017</i>	31
4.2.2	<i>Phénologie de la ponte et tendance sur le long terme</i>	32
4.3	Abondance, développement et survie des larves	34
4.3.1	<i>Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire</i>	34
4.3.2	<i>Survie larvaire</i>	38
4.3.3	<i>Larves grosses et intensité du captage</i>	39
4.4	Estimation du recrutement à l'automne	41
4.4.1	<i>Comparaison à l'échelle nationale</i>	41
4.4.2	<i>Structuration géographique du recrutement</i>	43
5	Synthèse sur la reproduction 2017	44
5.1	Schéma général et caractéristiques majeures	44
5.2	Les principaux verrous biologiques du cycle de reproduction	45
6	Conclusion	51
7	Références bibliographiques	53

1 Introduction générale

Occupant une place de premier ordre dans nos paysages côtiers, l'ostréiculture est le premier contributeur de la filière aquacole française avec une production estimée à 85000 tonnes ces dernières années. Véritable espèce ingénieur, l'huître creuse *Crassostrea gigas*, après son introduction dans les années 1960, s'est aussi progressivement installée naturellement dans de nombreux écosystèmes côtiers de la façade atlantique et de la manche occidentale. Elle y joue désormais un rôle essentiel sur le plan écologique en y rendant de nombreux services écosystémiques (Beck et al., 2009). Certains récifs sauvages ont désormais plus de 50 ans d'existence et constituent maintenant un vrai patrimoine sur le plan de la biodiversité (Figure 1).



Figure 1 : Récifs sauvages d'huîtres creuses en France, 50 ans après l'introduction de l'espèce pour les besoins de l'ostréiculture. A gauche : récifs d'huîtres d'Arés dans le bassin d'Arcachon, à droite : récifs d'huîtres de la rivière du Faou en rade de Brest.

Pourtant, depuis plusieurs années, l'ostréiculture subit une baisse de production et les bancs naturels, seuls garants de la diversité génétique pour la filière, sont aussi mis en danger. Ces phénomènes sont la conséquence directe de l'épizootie causée par OsHV-1 μ Var frappant les naissains et des mortalités d'adultes associées à la bactérie *Vibrio aestuarianus*. Par ailleurs, la filière ostréicole repose sur un approvisionnement en naissain qui provient majoritairement du captage naturel, pratiqué désormais dans plusieurs bassins ostréicoles. Il s'agit principalement du bassin d'Arcachon (e.g. Maurer et al., 2009a ; Auby et al., 2012) et des Pertuis Charentais (e.g. Geay et Bouquet, 2009), qui depuis l'origine de l'ostréiculture, maintiennent cette activité traditionnelle, mais il faut y ajouter désormais la baie de Bourgneuf, la rade de Brest, et même la lagune de Thau (Lagarde et al., 2017) ou la baie de Vilaine. Cependant, sur tous ces secteurs, la reproduction et le recrutement présentent des performances très variables (Figure 2).

Cette variabilité du recrutement associé aux épisodes de mortalités accrues nous amènent à élaborer des outils plus complets permettant de mesurer objectivement, par différents moyens et à plusieurs échelles, l'état de santé des huîtres, leur susceptibilité aux infections et l'impact des variations environnementales et/ou anthropiques sur leur cycle de vie (reproduction, écologie larvaire, recrutement, croissance, survie). Ces outils organisés en observatoire doivent permettre de mieux évaluer sur le long terme les risques biologiques encourus par la filière (risques associés aux transferts, aux évolutions des pratiques culturelles, ainsi qu'à l'émergence potentielle de nouvelles maladies) ainsi que ceux encourus pour l'écosystème (e.g. perte d'habitats, de biodiversité et de services liés à la disparition des récifs d'huîtres). Dans la mesure où l'élevage de l'huître creuse est, pour la quasi-totalité du cycle, réalisé en milieu naturel, ces outils font nécessairement appel à des systèmes organisés d'observation sur le long terme et à grande échelle permettant d'appréhender aussi la diversité des écosystèmes exploités et des milieux naturels dans lesquels l'huître creuse s'est installée depuis son introduction.

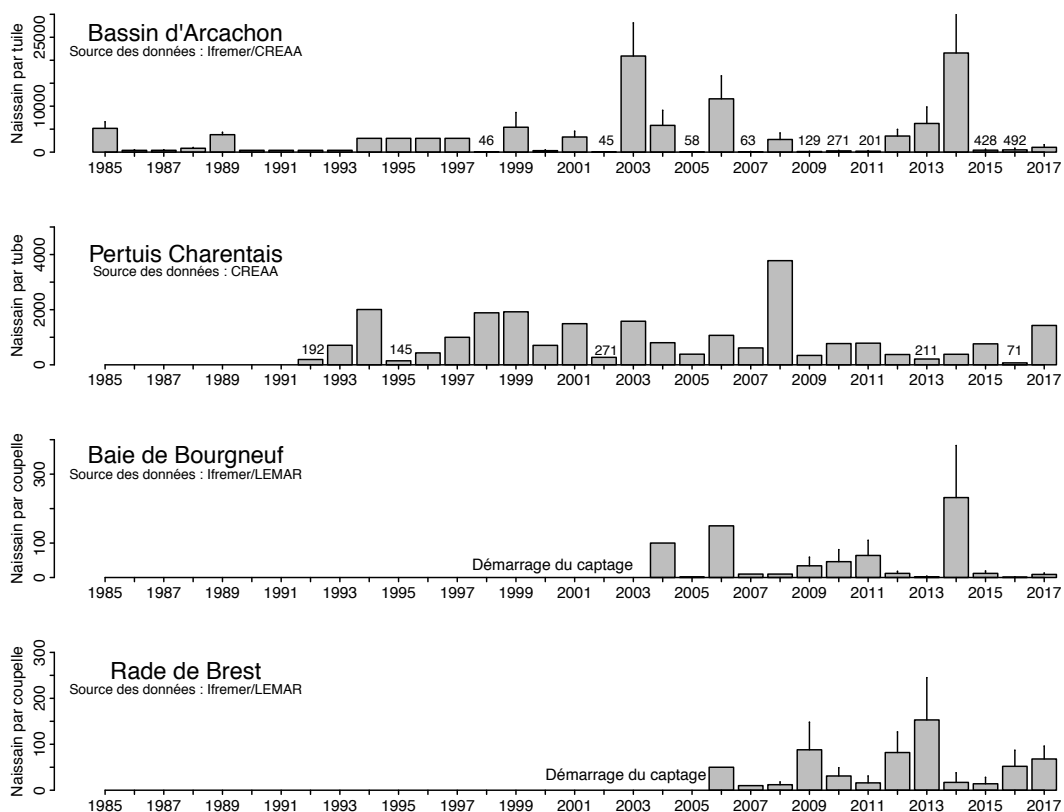


Figure 2 : Série historique de recrutement annuel sur collecteur (captage) dans les bassins d'Arcachon et de Marennes Oléron depuis les années 1985 et sur les sites dits « émergents » pour la pratique du captage : baie de Bourgneuf et rade de Brest. Pour Arcachon, Bourgneuf et rade de Brest, les données sont obtenues annuellement sur la base d'un échantillonnage à l'échelle du bassin. Pour Marennes Oléron, il s'agit de données issues d'un seul parc de captage géré par le CREA, mais jugé représentatif. Ce parc est localisé au sud de l'estuaire de la Charente (St Froult jusqu'en 1997 et Les Longées à partir de 1998). Enfin, pour Arcachon, les valeurs mentionnées de 1990 à 1997, résultent juste d'une estimation approximative par enquête et n'ont qu'une valeur indicative.

Pour mieux comprendre les causes de la variabilité du recrutement et suite à la demande initiale du Comité National de la Conchyliculture (CNC), l'Ifremer a mis en place en 2008 un projet d'envergure nationale sur cette problématique : le projet Velyger (Observer, Analyser et **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 trois bureaux d'études sur la façade atlantique (Cochet Environnement, Armeria, AEL plancton) et utilisant des données provenant de réseaux tiers (les réseaux Ifremer de suivi du phytoplancton, REPHY et d'observation conchylicole, RESCO, ainsi que le réseau des Stations Météorologiques de Météo-France).

A partir du printemps 2011, la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) a souhaité la poursuite de ce réseau et son inscription dans une convention socle entre la DPMA et l'Ifremer, négociée chaque année. En 2017, la poursuite du réseau VELYGER est inscrite dans l'action ECOSCOPA dont l'objectif est de **pérenniser les dispositifs d'observation actuel basés sur différents écosystèmes côtiers**, créés antérieurement et d'y ajouter progressivement de nouveaux indicateurs physiologiques et environnementaux, contribuant à une analyse pertinente de l'intégralité du cycle de vie de cette espèce en lien avec les pressions climatiques et anthropiques. Le présent rapport ne traite que des résultats du réseau VELYGER, mais un rapport supplémentaire présente l'intégralité de l'action ECOSCOPA.

Sur le plan opérationnel et adossé à un portail Internet, le réseau 'Velyger' repose sur le suivi d'une série de descripteurs adaptés sur 5 écosystèmes depuis 2011 (Arcachon, Marennes Oléron, baie de Bourgneuf, rade de Brest et lagune de Thau, Figure 3) :

- Descripteurs climatiques : Température, Pluviométrie et Régime de vents ;
- Descripteurs hydro-biologiques : Température de l'eau et Phytoplancton ;
- Descripteurs biologiques (Phase adulte): Maturation et ponte des adultes ;
- Descripteurs biologiques (Phase larvaire): Concentration et survie des larves ;
- Descripteurs biologiques (Phase juvénile): Abondance moyenne du naissain ;

Depuis 2015, le secteur de baie de Vilaine fait aussi l'objet de suivis similaires, mais de façon partielle pour le moment.

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

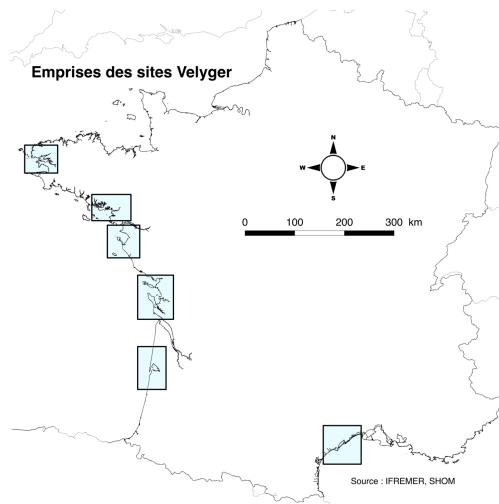


Figure 3 : Sites suivis par le réseau Velyger ►

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

2 Matériel et méthode

2.1 Mise en œuvre du dispositif national

2.1.1 Sites étudiés

Le dispositif est mis en place sur plusieurs sites ateliers de la côte française, assez espacés sur un plan latitudinal, 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 (bassin d'Arcachon et pertuis Charentais) ; (2) soit des sites plus récents en terme de recrutement de l'espèce et donc d'activité de captage (rade de Brest, baie de Bourgneuf) ; soit des sites pour lesquels une activité de captage professionnel est envisagé par les Centres Régionaux Conchylicoles (baie de Vilaine et lagune de Thau)

La carte présentée sur la 1 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.

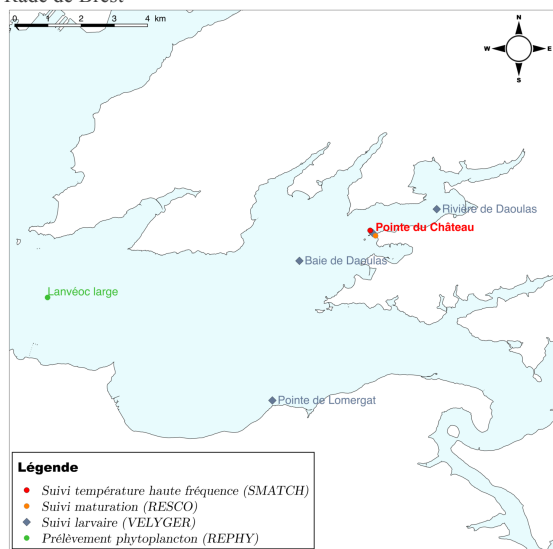
2.1.2 Paramètres suivis

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

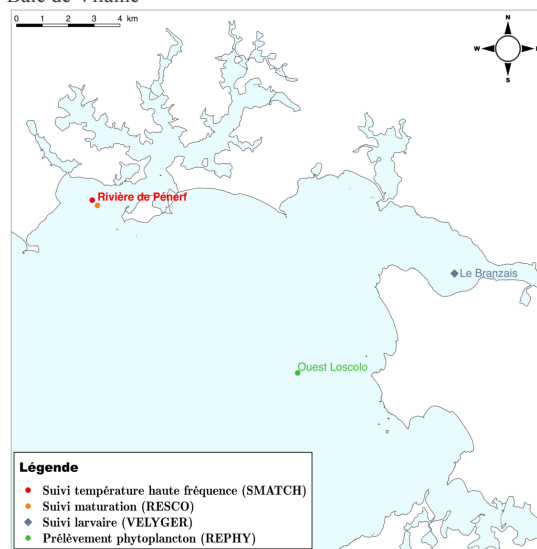
Tableau 1 : Descripteurs suivis sur chaque site atelier.

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 ³ 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

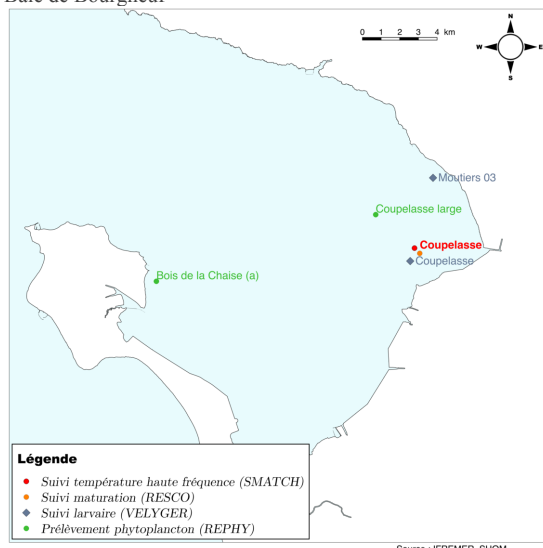
Rade de Brest



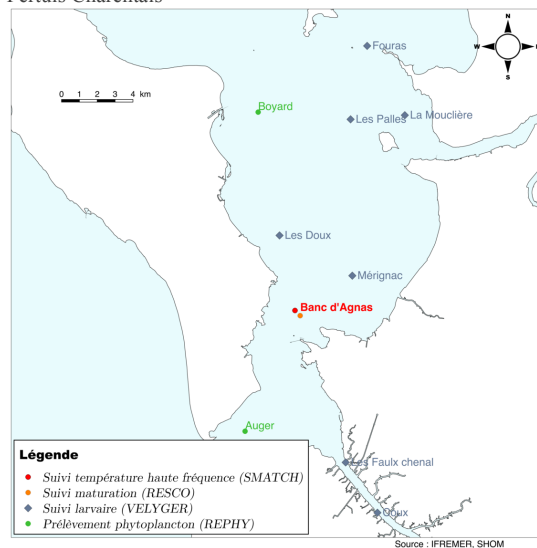
Baie de Vilaine



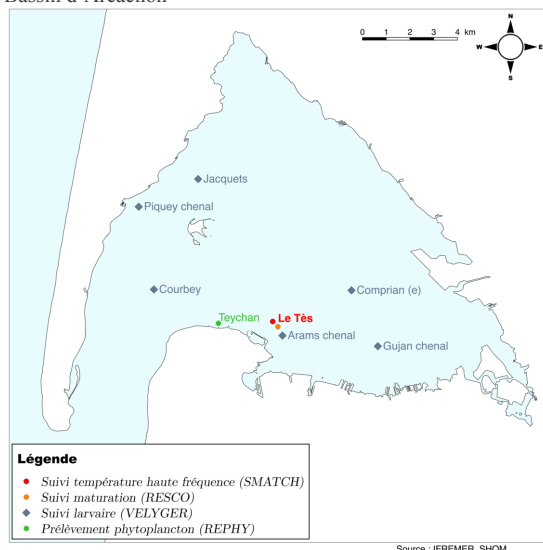
Baie de Bourgneuf



Pertuis Charentais



Bassin d'Arcachon



Lagune de Thau

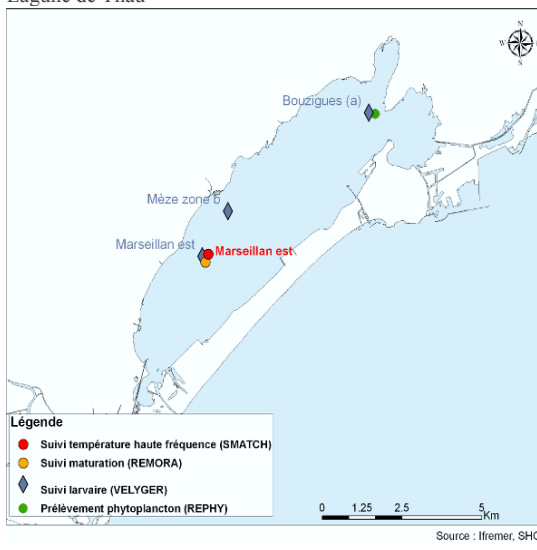


Figure 4 : Présentation des 6 sites étudiés. Le secteur de la baie de Vilaine fait l'objet de suivis partiels sur la reproduction de l'huître et est intégré pour ces raisons dans le réseau.

2.1.2.1 Reproduction des adultes

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

- proximité d'un stock important d'huîtres adultes;
- station bien documentée en termes d'hydrologie (point REPHY complet en vert sur la 1) et de ressources biologiques (point de suivi RESCOII 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 Vilaine, il s'agit du site de Pénérf, pour la baie de Bourgneuf, il s'agit du site de 'la Coupelasse', pour les pertuis Charentais, il s'agit du site 'Agnas', pour le bassin d'Arcachon, il s'agit du site du 'Tés' et enfin pour la lagune de Thau, il s'agit du site de 'Marseillan'. Ces points sont signalés en orange sur la 1.

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

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

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

2.1.2.2 Abondance et survie larvaire

Un **deuxième descripteur (B, Tableau 1)** permet d'évaluer la date d'apparition, l'abondance et le bon déroulement du développement des larves émises dans la colonne d'eau. Ce travail se fait de façon similaire dans chacun des sites 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 Thau, par l'Ifremer, à Arcachon et à Marennes Oléron, par l'Ifremer puis repris par le Creaa (*e.g.* Maurer *et al.*, 2009a, Geay et Bouquet, 2009), en rade de Brest, en baie de Vilaine et en baie de Bourgneuf par prestation auprès de 2 bureaux d'étude ('Cochet-environnement' et 'Armeria'). Pour de nombreux sites, la contribution d'ostréiculteurs est sollicitée pour les sorties en mer.

L'évaluation des abondances larvaires se fait par l'intermédiaire de prélèvements de plancton (« les pêches de larves ») réalisés 2 fois par semaine tout au long de l'été. Ces « pêches de larves » se font par pompage (Figure 5) selon la méthode décrite dans Auby *et al.* (2002).

Selon l'étendue géographique des sites atelier, 2 à 7 stations font l'objet de prélèvements (losange bleuté sur la Figure 4).

Figure 5 : 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 m³ 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 6). Les valeurs sont exprimées, pour des raisons historiques, en nombre de larves par 1,5 m³. Ces pêches sont aussi le moyen de mieux caractériser, le cas échéant, l'hydrologie, sur chaque site, par des prélèvements discrets d'eau pour mesure de la température et de la salinité.

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

- Au laboratoire, pré-tamassage sur 500 µm puis double tamassage sur mailles de 132 puis sur 40 µm (excepté pour le site d'Arcachon pour lequel le double tamassage est réalisé sur 125 µm et 40 µm). Le refus du tamis de 500 µm, contenant les macro-algues et débris, est éliminé. Les refus des deux autres tamis sont récupérés séparément dans des éprouvettes de 100 mL. Pour chaque station, on dispose donc de deux fractions qui sont traitées de la même manière : (1) une fraction >125 µm, contenant plutôt les stades âgés et (2) une fraction > 40 µm, contenant plutôt les stades jeunes.
- Chaque fraction est mise à décanter dans une éprouvette graduée de 100 mL afin de mesurer la hauteur du culot. Puis, on ajuste le volume d'eau surnageant en vidant l'éprouvette de manière à ne conserver que 4 fois le volume du culot (approximativement). Pour les échantillons trop concentrés, les dilutions sont réalisées à l'eau de mer filtrée (Cochet-environnement et Armeria) ou à l'eau distillée, voire du robinet (Creaa et LER Arcachon). Dans tous les cas, le volume total de l'échantillon (v) est mesuré.
- Cet échantillon est ensuite homogénéisé directement dans l'éprouvette à l'aide d'un agitateur muni d'un disque perforé à son extrémité. Deux aliquotes (1 et 2) de 0,5 mL sont prélevés à la micropipette et transférés sur deux cellules de numération quadrillées (Sedgewick rafter cell - Ref 02C00415). Les larves de *C. gigas* y sont identifiées, comptées et classées dans les différents stades présentés sur la planche ci-joint (LARVST1 à 5, Figure 6).
- 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 m³, 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 m³).

- Pour chaque stade larvaire, le résultat retenu est la somme des valeurs dénombrées dans les deux fractions. Les concentrations sont exprimées pour 1,5 m3 et le seuil de détection est de 20 à 100 larves/1,5 m3 selon la dilution utilisée pour la lecture.
- L'ensemble des données est ensuite saisi et archivé dans la base nationale Quadriège sous 24 h, permettant la mise à disposition de l'information sur le site Internet de Velyger dans les 48 h suivant la sortie en mer.

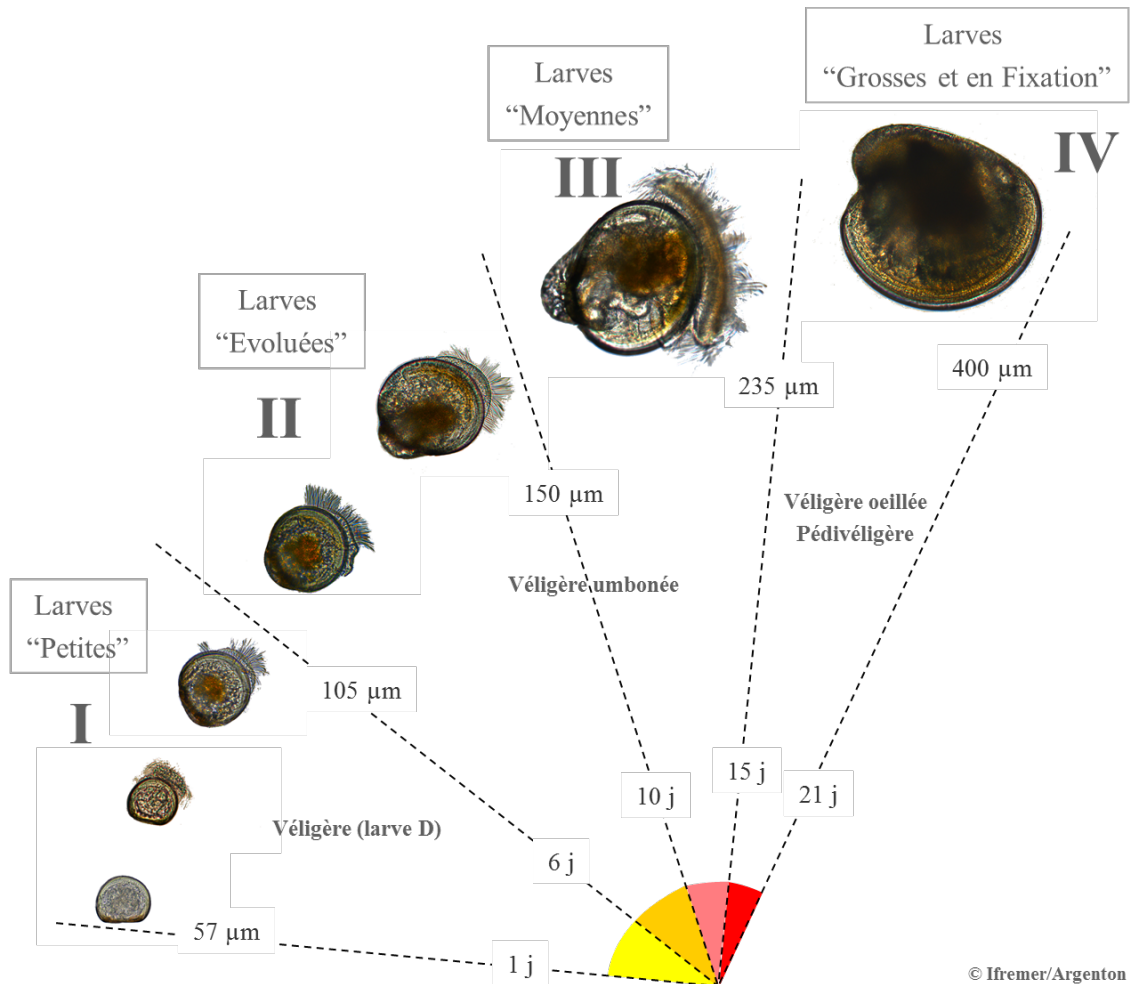


Figure 6 : Planche de détermination des stades larvaires chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Pennec (1978) et His (1991). Certains laboratoires (e.g. Ifremer Arcachon) distinguent parfois un stade V pour les larves grosses 'en fixation'. Pour les autres sites, ce stade n'est pas identifié 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, 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 professionnels¹. La mesure se fait directement à proximité des poches contenant les huîtres 'sentinelles'. Ces points sont en rouge sur la Figure 4).
- 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 (*e.g.* l'analyse des points suivis à la pointe du Château en rade de Brest et sur le banc d'Agnes 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-France², 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 Quadrigé³ au sein des programmes VELYGER et RESCOII. 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.

¹ <http://www.ifremer.fr/co-en/>

² <http://france.meteofrance.com/>

³ <http://www.ifremer.fr/envlit/resultats/quadrige>

Une fois extraites de la base Quadrige2, 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. Utilisant cette notion de quartile, une boîte à moustache permet de synthétiser la dispersion d'une série de données sur la base de 5 valeurs-clés :

- la valeur minimale et la valeur maximale de la série, définissant les extrémités des « moustaches » en deçà d'une limite égale au quartile plus 1,5 fois la distance interquartile (différence entre le premier et le troisième 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.

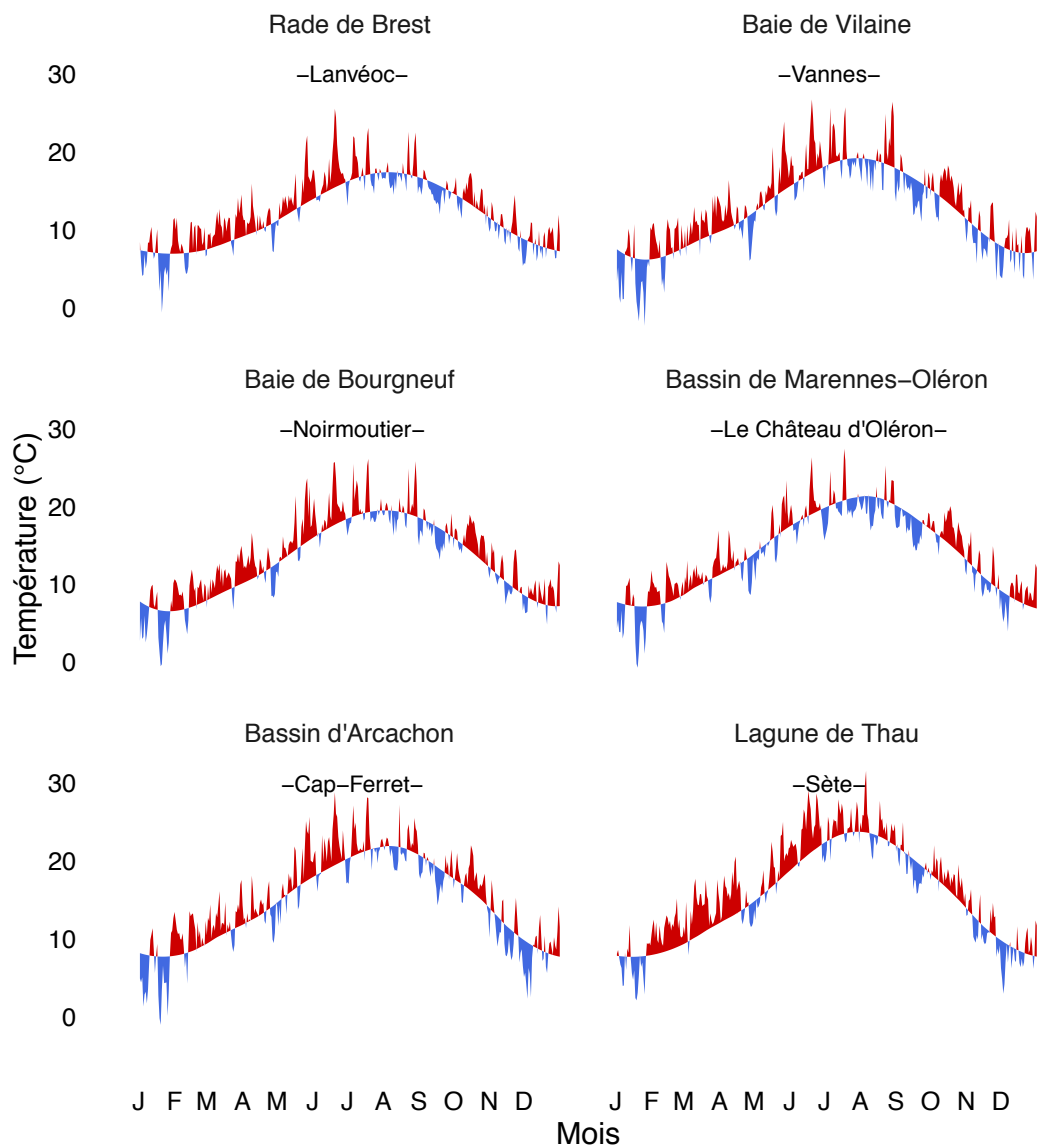
3 Suivis des conditions environnementales 2017

3.1 Conditions climatiques générales

La biologie de l'huître creuse (notamment sa croissance et 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 le milieu ultracôtier, 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 7 présente, de façon synthétique, les variations de la température de l'air en 2017 (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 (depuis 1960).



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

- A l'exception du mois de janvier, caractérisé par des valeurs inférieures aux normales, l'hiver a plutôt été marqué par des températures supérieures aux normales jusqu'à la fin mars.
- Le printemps est marqué par des températures proches des normales, avec des alternances entre des périodes plus froides et plus chaudes mais sur de courtes durées.
- La fin du printemps et le début de l'été sont par contre marqués par une période de vagues de chaleur avec des températures de l'air largement supérieures aux normales jusqu'à la fin juillet. Les mois d'août et de septembre présente par contre un retour à des valeurs proches des normales.
- L'automne reste caractérisé par des températures proches des normales, avec des alternances entre des périodes plus froides et plus chaudes mais sur de courtes durées.

En complément, la Figure 8 présente l'évolution, depuis 1960, de l'anomalie annuelle de la température de l'air sur chacun des sites du réseau. Cette figure montre que l'année 2017 s'inscrit toujours dans la tendance au réchauffement enregistrée depuis les années 1990 et présente une anomalie positive, en moyenne sur l'année, de 0,5 à 1,0°C du nord au sud.

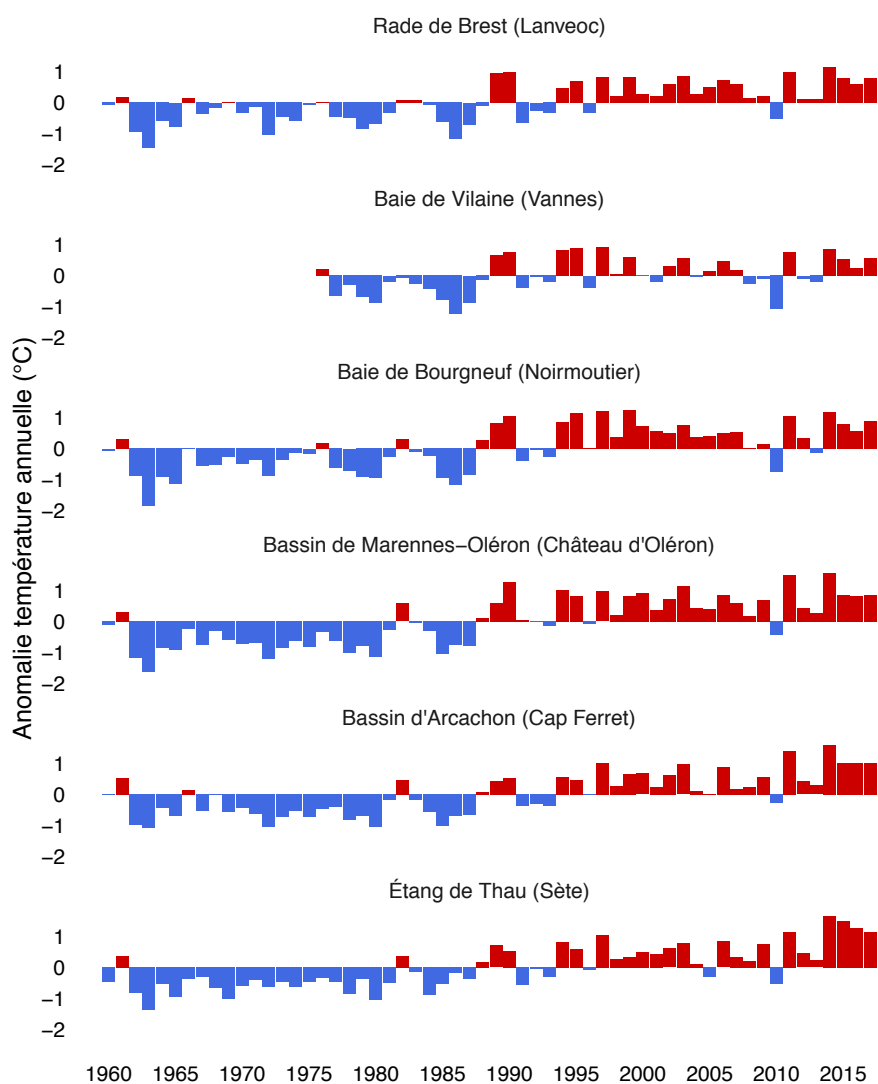


Figure 8 : Anomalies de température de l'air (moyenne annuelle en °C) pour chaque site d'étude depuis 1960, à l'exception de la station Météo de Vannes, pour laquelle les données ne sont disponibles qu'à partir de 1976 (Source des données : Météo-France).

Ainsi, de façon assez similaire aux 3 années antérieures, l'année 2017 apparaît comme une année plutôt chaude avec un hiver et une première partie de l'été nettement au dessus des normales.

3.1.2 Pluviométrie

La Figure 9 présente, de façon synthétique, les cumuls mensuels de pluie relevés en 2017 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 à nouveau par des conditions pluviométriques dans les normes, à l'exception de la lagune de Thau qui subit des conditions plutôt déficitaires.
- Au printemps, les cumuls de pluie se situent plutôt dans les normales, et sont occasionnellement excédentaires en mai juin sur la façade atlantique.
- En été, les cumuls mensuels sont dans les normales en juillet et septembre, un peu déficitaires en août, à l'exception de la lagune de Thau pour laquelle des épisodes de pluies orageuses et de phénomènes cévenoles entraînent plus de variabilité sur cette période.
- En automne, si les mois d'octobre et de novembre sont plutôt déficitaires, les cumuls deviennent à nouveau supérieurs aux normales en décembre sur tous les sites de la façade atlantique.

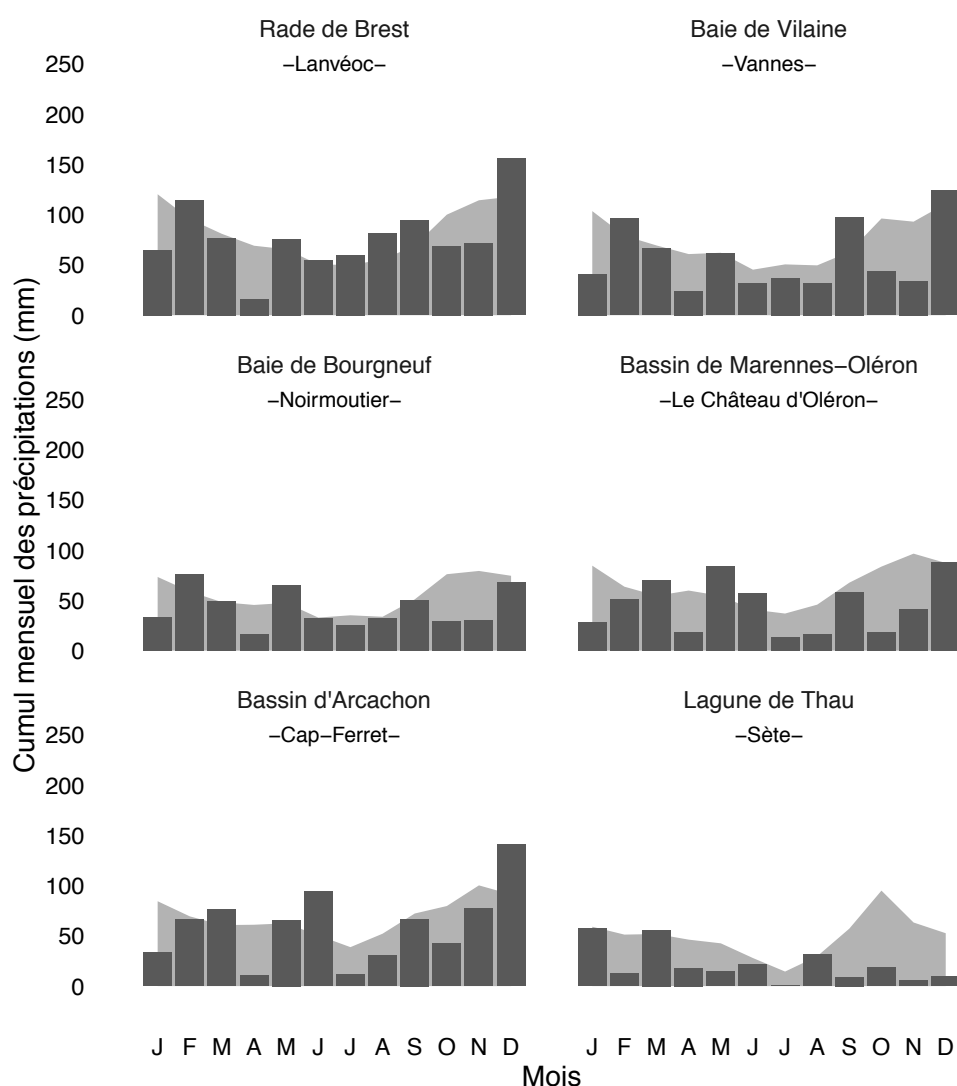


Figure 9 : Cumul pluviométrique mensuel pour l'année 2017 et normale des 50 dernières années pour les 6 sites (données issues des stations Météo-France les plus proches des points de suivis).

En complément, la Figure 10 présente l'anomalie annuelle 2017 de pluviométrie pour chacun des sites du réseau et permet de la comparer avec celles enregistrées depuis 1960. Cette figure montre que l'année 2017 s'inscrit au final comme une année proche des normales voire déficitaire comme les années antérieures. Ce déficit est marqué pour la lagune de Thau.

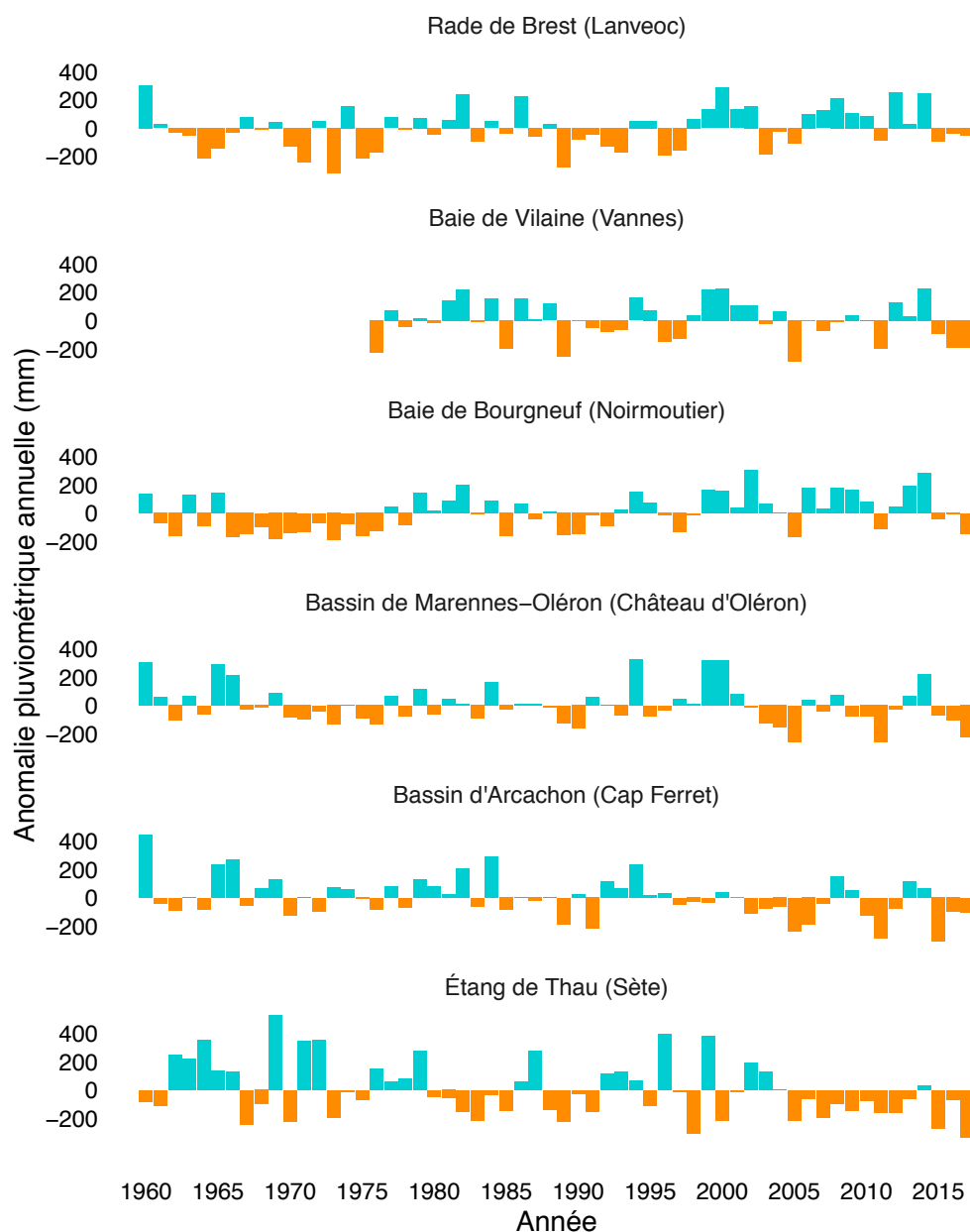


Figure 10 : Anomalies annuelles de pluviométrie (mm) depuis 1960 pour chaque site d'étude, à l'exception de la station Météo de Vannes, pour laquelle les données ne sont disponibles qu'à partir de 1976 (Source des données : © Météo-France).

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). Elle est aussi un facteur essentiel dans les épisodes de mortalité.

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

La figure 8 et 9 présentent, de façon synthétique, la température de l'eau de mer (respectivement moyenne journalière calculée à partir de données hautes fréquences et moyenne mensuelle calculée à partir de données ponctuelles) et son degré d'anomalie par comparaison à la normale.

L'année 2017 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les faits suivants :

- Après un mois de janvier plutôt déficitaire, l'hiver est marqué par une longue période pendant laquelle la température de l'eau est restée supérieure aux normales avec, sur certains secteurs, des anomalies de l'ordre de +3°C (lagune de Thau).
- Le printemps présente des valeurs toujours au dessus des normales sur toute la période avec même des anomalies fortement positives en juin (jusqu'à +3°C fin juin).
- Au cours de l'été, il n'y a pas de réelles anomalies sur de longues périodes, à l'exception de la rade de Brest qui présente des valeurs supérieures aux normales tout au long de l'été de 1°C voire 2°C.
- L'automne se positionne, dans son intégralité, au dessus des normales, à l'exception de la lagune de Thau qui présente des valeurs déficitaires à partir de novembre.

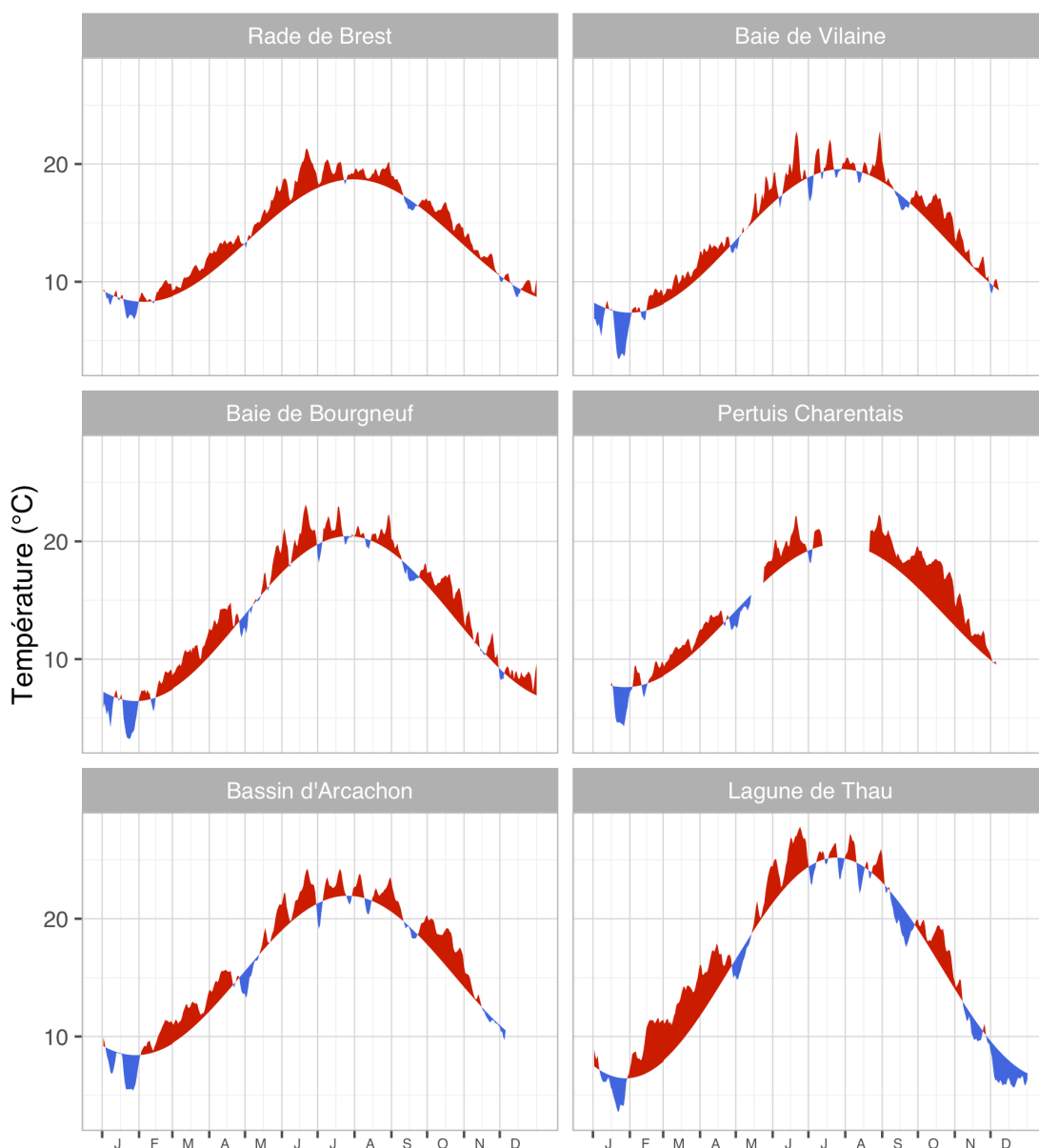


Figure 11 : Température moyenne journalière de l'eau de mer en 2017 et anomalies par rapport à la normale recalculée des 30 dernières années pour les 6 sites (© Ifremer). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu. Quelques problèmes techniques sur le site des Pertuis Charentais ont entraîné un manque de données sur deux périodes de l'année.

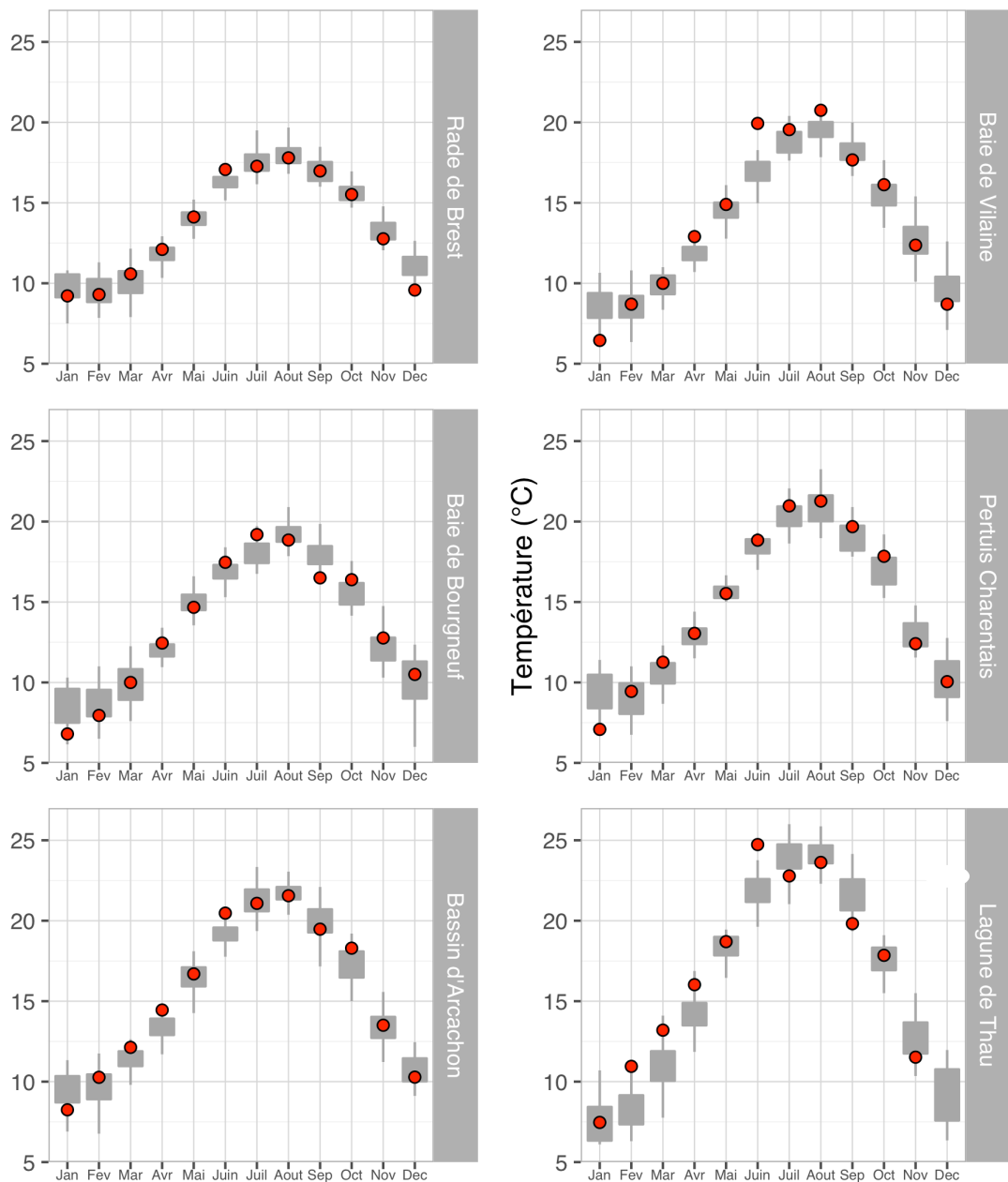


Figure 12 : Valeurs moyennes mensuelles 2017 (points rouge) de température (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 20 dernières années (boîtes à moustache grisées) pour chacun des 6 écosystèmes étudiés. Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Ouest Loscolo en baie de Vilaine, 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.

3.2.2 Salinité

La salinité joue un rôle indirect sur la croissance et le succès de la reproduction de l'huître creuse : c'est un indicateur du débit des fleuves et rivières et donc un proxy⁴ des apports de sels nutritifs entrant dans le système et régulant, en partie, le niveau de production primaire et les efflorescences phytoplanctoniques.

La Figure 13 présente la salinité de l'eau de mer (moyenne et dispersion). L'année 2017 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les résultats suivants :

- A l'exception du mois de janvier, l'hiver est marqué par des valeurs plutôt déficitaires. La lagune de Thau présente par contre des valeurs au dessus des normales sur toute la période.
- Le printemps présente des valeurs dans les normes ou déficitaires selon les sites, avec de fortes dessalures principalement de la baie de Vilaine aux Pertuis Charentais en juin.
- La seconde partie de l'été mais surtout l'automne et le début de l'hiver se caractérisent par des valeurs plutôt élevées souvent positionnées dans les quartiles supérieurs des observations antérieures, dans un schéma similaire à l'année 2016.

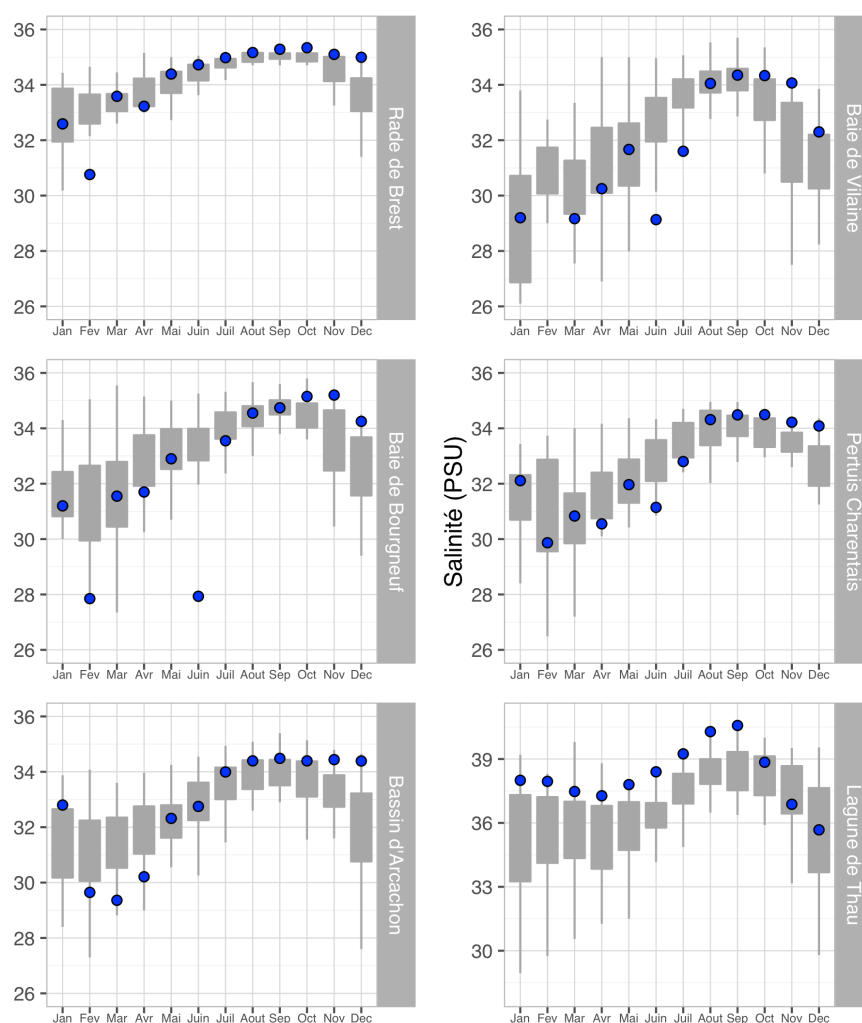


Figure 13 : Valeurs moyennes mensuelles 2017 (points bleu) de salinité (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 20 dernières années (boîtes à moustache grisées) pour chacun des 6 secteurs étudiés. Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Ouest Loscolo en baie de Vilaine, 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.

⁴ Proxy = Outil, indicateur permettant une quantification, une semi-quantification ou une estimation d'une (ou plusieurs) variable(s) biotique(s) ou abiotique(s) d'un écosystème donné. Traceur d'un paramètre environnemental.

3.2.3 Concentration en phytoplancton

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

La Figure 14 présente, de façon synthétique, la concentration 2017 en chlorophylle *a* de l'eau de mer mesurée à pleine mer (moyenne mensuelle issue du Réseau REPHY) et son degré d'anomalie par comparaison à la distribution des moyennes des 20 dernières années.

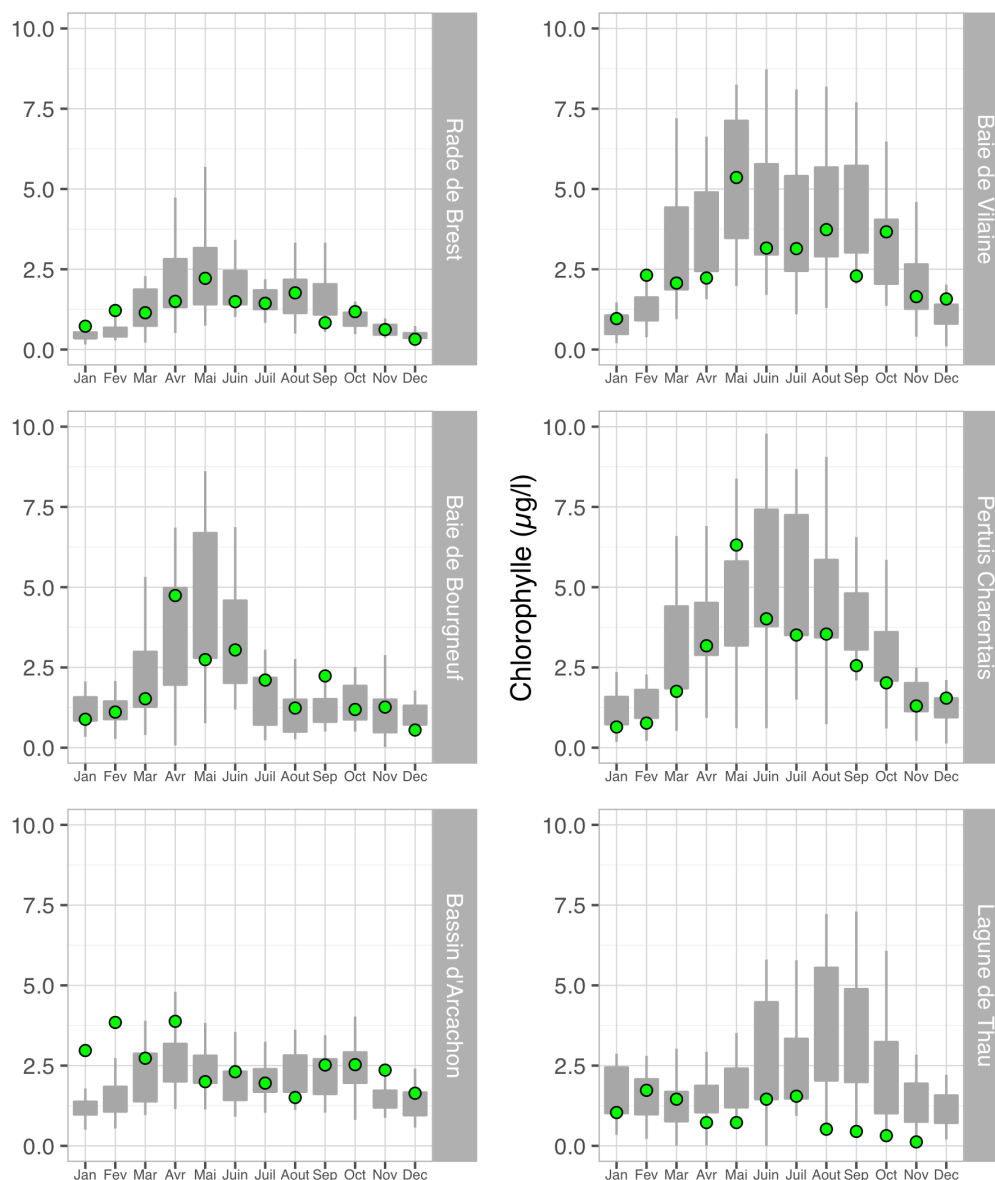


Figure 14 : Valeurs moyennes mensuelles 2017 de concentration en chlorophylle *a* de l'eau de mer (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 6 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en rade de Brest, Ouest Loscolo en baie de Vilaine, Bois de la chaise en baie de Bourgneuf, Boyard dans le bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le bassin d'Arcachon et Bouzigues dans la lagune de Thau). © Ifremer/ REPHY. A noter que le point Lanvéoc en rade de Brest est un site historique du REPHY pour lequel nous disposons de séries historiques mais il est resté sous influence océanique. Depuis 2008, une nouvelle série temporelle de phytoplancton est en cours de constitution sur un secteur plus proche des populations d'huîtres.

D'une façon générale, il apparaît que la concentration en chlorophylle *a*, au cours de l'année 2017, se caractérise par des valeurs plutôt déficitaires souvent situées dans les quartiles inférieurs. Sur certains sites et des périodes courtes, on peut observer ponctuellement de fortes valeurs. Notons que, comme les dernières années, la lagune de Thau présente des valeurs très faibles souvent situées dans les quartiles inférieurs quasiment tout au long de l'année.

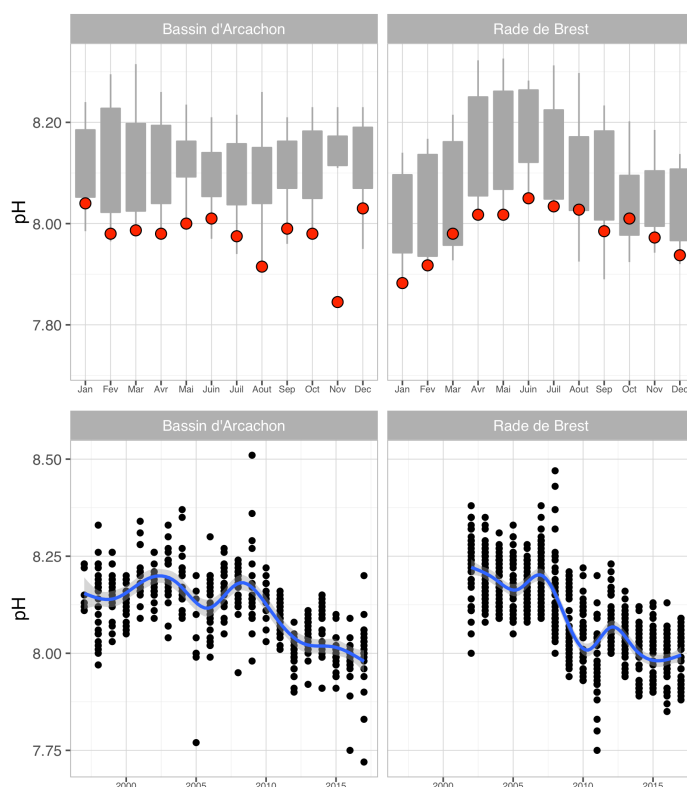
3.2.4 pH et acidification de l'océan

Outre l'augmentation de température, l'un des changements majeurs d'ici la fin de ce siècle réside dans l'acidification des océans liée à l'augmentation progressive des rejets de CO₂ (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 SOMLIT⁵ du CNRS.

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

Figure 15 : *Haut* : Valeurs moyennes mensuelles 2017 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 2017 sont comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. ***Bas* :** Evolution du pH (moyenne annuelle +/- ECT) depuis les années 1998 (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée de la rade de Brest et du bassin d'Arcachon. Ces graphes ont été obtenus à partir des données acquises par le Service d'Observation en Milieu Littoral, mis en œuvre par l'INSU-CNRS (Réseau SOMLIT). Pour en savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>



On constate que les données 2017 s'inscrivent, pour ces deux secteurs, dans une tendance à la diminution avec des valeurs se situant dans la gamme inférieure des observations enregistrées depuis le début des années 2000 par le réseau SOMLIT (Figure 15). Pour l'instant, les valeurs moyennes annuelles du pH sur l'année 2017 sont proches de 8.00 que ce soit en rade de Brest ou dans le bassin d'Arcachon (la moyenne établie sur les 15 dernières années sur les deux sites

⁵ <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

étant de 8.15). Ces moyennes annuelles restent toujours supérieures au seuil de 7.6 - valeur considérée comme problématique pour la vie larvaire de l'huître creuse. Cependant, ce paramètre hydrologique (ainsi que le suivi de la lysocline⁶) mérite, sans conteste, une attention accrue dans les années à venir.

3.2.5 Développement de site d'observation à instrumentation accrue

Progressivement dans le cadre de l'action ECOSCOPA, il est prévu d'équiper certains secteurs remarquables par une instrumentation hydrologique plus développée. Le premier site atelier à bénéficier de cet effort a été le secteur de la baie de Daoulas en rade de Brest. En effet, en complément des sondes STPS standard utilisées depuis le début des réseaux RESCO et VELYGER, des sondes multi-paramètres HYDROLAB OTT ont été mises en œuvre depuis 2011 sur le site estran de la baie de Daoulas (pointe du Château). Cet effort particulier permet désormais de disposer d'une série temporelle unique en haute fréquence sur 7 années associant température, salinité et signal de fluorescence *in vivo*, converti en chlorophylle *a* (Figure 16).

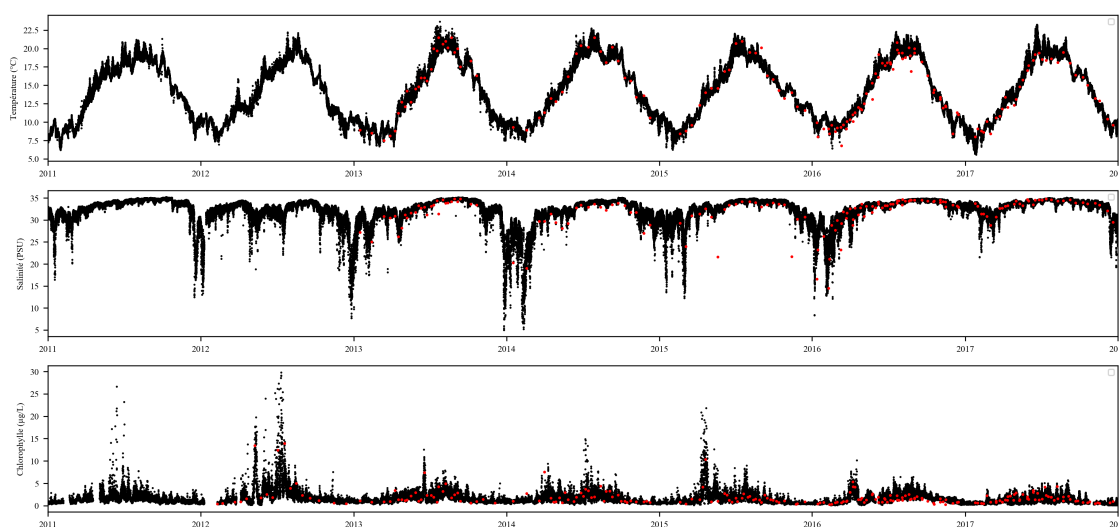


Figure 16 : Suivis hydrologiques haute fréquence de la baie de Daoulas (site estran, pointe du Château) depuis 2011. De haut en bas : Température, Salinité et Chlorophylle a. Périodiquement les valeurs des sondes (en noir sur la figure) sont contrôlées par des mesures discrètes par prélèvement d'eau (en rouge sur la figure). Notez les dessalures hivernales et les blooms printaniers et estivaux, variables en intensité selon les années.

Depuis 2017, et en complément de ce site estran, un site complémentaire, toujours en baie de Daoulas (le banc du Roz), a été mis en œuvre en plongée afin de déployer de nouveaux capteurs exigeants d'être toujours immergés (Figure 17). L'association de ces deux secteurs (Roz et Château) constitue l'observatoire hydrobiologique de la baie de Daoulas, site remarquable abritant différentes populations de bivalves sauvages (notamment huîtres creuses, huîtres plates, pétoncles). Ainsi, en complément des sondes multi-paramètres du site estran, une sonde pH SeaFET a été déployée au mois de mars 2017 ainsi qu'une sonde Wetlab ECO FLNTU depuis le début du mois d'août 2017.

L'avantage de la sonde pH réside dans la technologie du capteur (ISFET) qui permet d'éviter des dérives connues avec les électrodes en verre classiques. Toutefois, pour assurer une précision de l'ordre du millième (± 0.005 pH), il faut régulièrement effectuer un prélèvement d'eau au niveau de la sonde lors d'une mesure, puis analyser ce prélèvement avec une mesure de spectrophotométrie (Dickson et al., 2007) afin de corriger régulièrement les mesures brutes de la sonde (Martz et al., 2015).

⁶ La lysocline est la profondeur dans l'océan à partir de laquelle la solubilité du calcaire (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 : Vue du site d'instrumentation sous marine du banc du Roz (Baie de Daoulas). Photo de gauche : jeux de sondes déployées sur le fond, photo de droite : détail des capteurs pH, STPS et ECO FL-NTU.

Côté fluorescence *in vivo* de l'eau, l'avantage du capteur Wetlab ECO FLNTU réside dans la protection de sa cellule de mesure et la précision de sa mesure. Il permet la mesure de fluorescence *in vivo* (mesure corrélée à la concentration de phytoplancton) ainsi que de la turbidité à raison de 5 mesures toutes les 15 minutes.

Les premiers résultats de ces nouveaux suivis sont présentés sur la Figure 18. En ce qui concerne le pH, il s'agit des toutes premières données haute fréquence disponible sur la côte atlantique et en milieu estuarien. Ce jeu de données sera bientôt intégré automatiquement à la base de donnée Coriolis (<http://www.coriolis-cotier.org>).

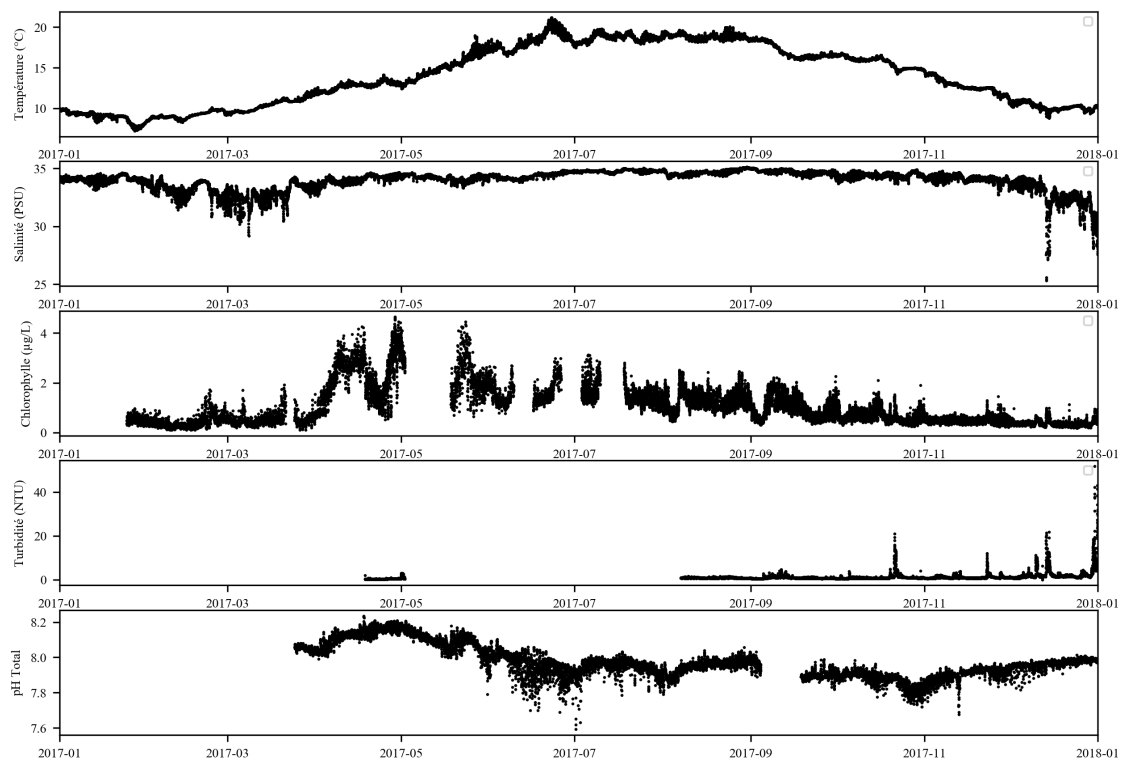


Figure 18 : Suivis hydrologiques haute fréquence de la baie de Daoulas (site sous marin, banc du Roz) depuis 2017. De haut en bas : Température, Salinité et Chlorophylle a, Turbidité et pH. Notez les dessalures hivernales et les blooms printaniers et estivaux, mais surtout les fortes variations journalières du pH, supérieures à 0.3 unité pH au cours l'été 2017 lors des blooms estivaux de phytoplancton.

4 Cycle de reproduction 2017

4.1 Maturation et indice de condition

Chez l'huître creuse, la gamétogénèse 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.

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).

4.1.1 Comparaison spatio-temporelle de la maturation

La mise en place, chaque année depuis 2008, d'une population d'huîtres 'sentinelles', dans chaque écosystème, en fin d'hiver permet d'étudier la variabilité inter-annuelle et inter-bassin de la croissance et de la reproduction notamment au travers du suivi de l'indice de condition. La dynamique printanière de la croissance en chair permet le suivi du déroulement de la gamétogénèse et la valeur maximale de l'indice de condition juste avant la ponte est un très bon proxy de la fécondité. Tous les graphes de croissance (poids total, poids de coquille, poids de chair) et d'indice de condition, par site, par bassin et par année sont disponibles sur le site internet du réseau Velyger : <http://www.ifremer.fr/velyger>, dans la rubrique : accès aux données. Nous ne présentons, dans ce rapport, que des graphes de synthèse concernant la croissance en chair et l'indice de condition permettant de comparer aisément l'année en cours par rapport aux années antérieures ou par rapport aux autres sites et de détecter d'éventuelles anomalies annuelles ou tendances de moyen terme.

A cette fin, la Figure 19 fournit un récapitulatif de l'ensemble des suivis menés depuis le début des réseaux RESCO et VELYGER et permet d'apprécier la variabilité interannuelle et inter-site de la croissance. Chaque courbe se caractérise par une dynamique temporelle similaire : un gain de biomasse au cours du printemps, lié à la maturation (gamétogénèse), suivie d'une chute plus ou moins marquée au cours de l'été correspondant à la ponte (ou à une régression) et se terminant ou non par un engraissement automnal.

Sur le plan géographique, il ressort, indépendamment des années, que les sites rade de Brest et pertuis charentais présentent généralement les croissances les plus fortes et à l'opposé les sites baie de Vilaine et bassin d'Arcachon les croissances les plus faibles. C'est le cas à nouveau en 2017. Par contre, aucune tendance temporelle significative ne se dégage sur les 8 années de suivis : certaines années présentent, indépendamment des sites, des valeurs systématiquement plutôt faibles (e.g. 2011, 2012, 2014) ou plutôt fortes (e.g. 2015, 2016). Dans ce contexte, l'année 2017 présente une position intermédiaire en terme de performances un peu en retrait par rapport aux deux années antérieures mais néanmoins supérieures aux années à faible croissance.

En outre, toutes ces courbes montrent en cours d'été un accident plus ou moins marqué correspondant à l'émission des gamètes. Cet événement est clairement visible en 2017 sur chacun des sites.

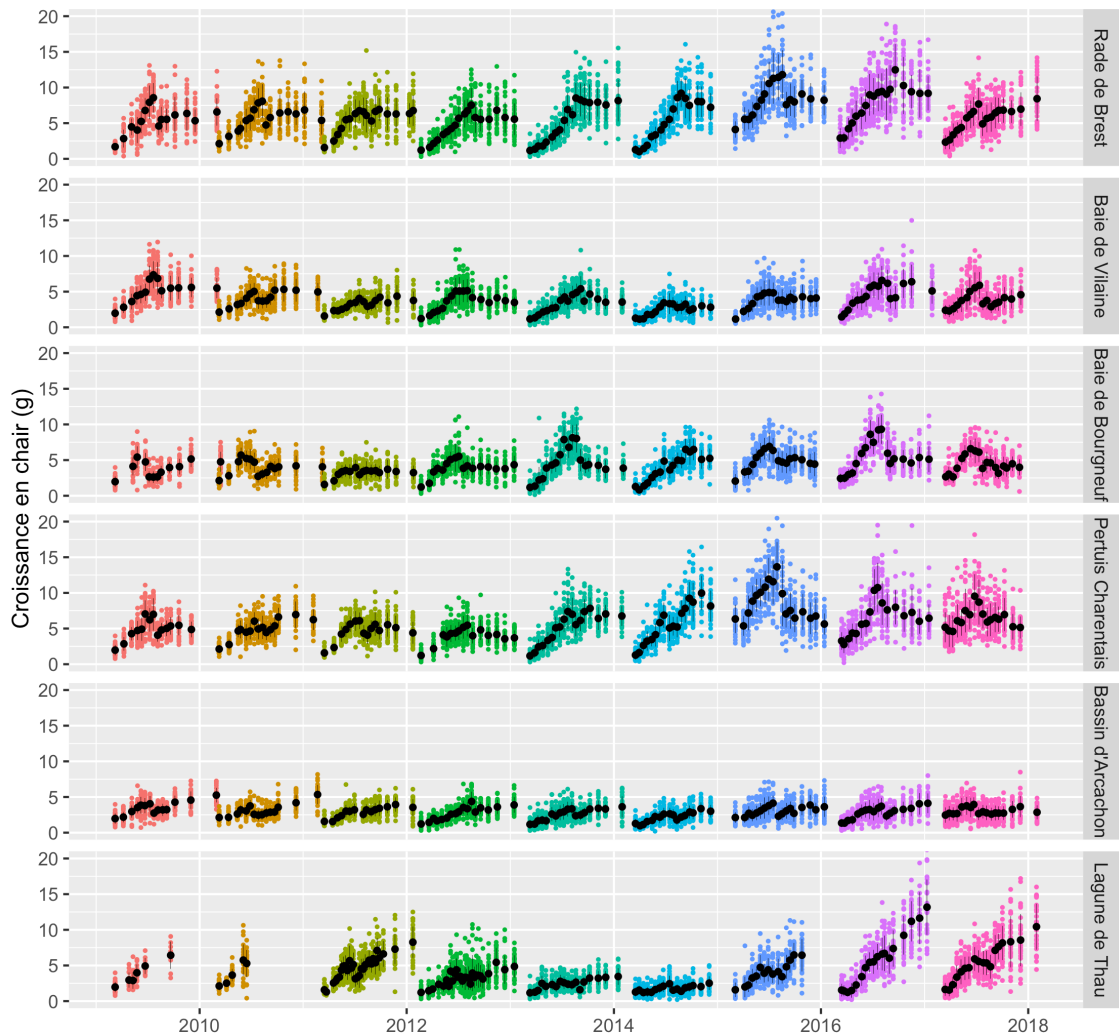


Figure 19 : Evolution et variabilité inter-annuelle et inter-site de l'indice de condition d'une population d'huîtres sentinelles placée dans chaque secteur en début d'année. L'indice de condition avant ponte est un bon proxy de la fécondité potentielle de l'huître creuse.

4.1.2 Indice de condition 2017

En complément des suivis de croissance, la Figure 20 fournit, par secteur, les valeurs maximales de l'indice de condition observées juste avant la ponte pour l'année 2017 et les compare aux valeurs des années antérieures. Pour chacun des sites d'études, on relève, en 2017, les valeurs maximales suivantes :

- Rade de Brest : **IC = 19,5** (contre 23,3 en 2014, 20,1 en 2015 et 21,4 en 2016)
- Baie de Vilaine : **IC = 15,3** (contre 15,0 en 2014, 16,3 en 2015 et 17,1 en 2016)
- Baie de Bourgneuf : **IC = 16,6** (contre 20,0 en 2014, 17,7 en 2015 et 21,4 en 2016)
- Pertuis Charentais : **IC = 17,9** (contre 23,7 en 2014, 22,0 en 2015 et 24,8 en 2016)
- Bassin d'Arcachon : **IC = 14,6** (contre 14,1 en 2014, 13,5 en 2015 et 15,2 en 2016)
- Lagune de Thau : **IC = 17,2** (contre 11,7 en 2014, 17,0 en 2015 et 19,8 en 2016)

Ces valeurs, inférieures aux valeurs des années précédentes, se positionnent généralement dans les quartiles inférieures des observations (excepté pour Arcachon et Thau). En termes de variabilité inter-sites, et malgré ces performances en retrait, cette année se caractérise, à nouveau, par des valeurs d'indice de condition plus fortes dans les écosystèmes plus nord (rade

de Brest, baie de Bourgneuf et pertuis charentais) et plutôt faibles dans les écosystèmes sud (bassin d’Arcachon et lagune de Thau). Ce constat est souvent le même chaque année (e.g. Pouvreau et al., 2011) avec, tout de même cette année, une gamme de valeurs plus restreinte que pour les années précédentes.

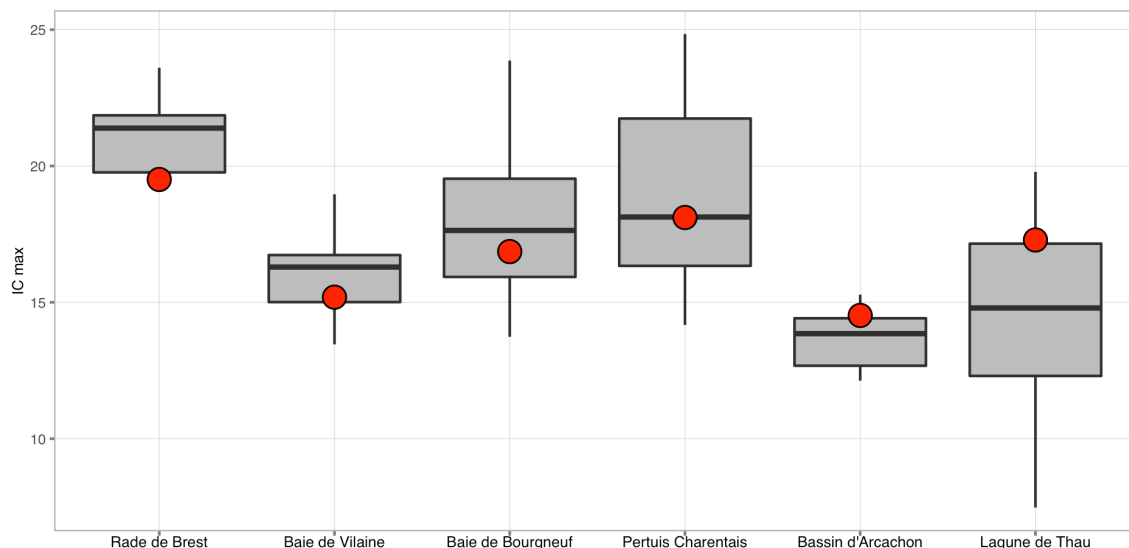


Figure 20 : Valeurs maximales de l'indice de condition sur l'année 2017 et comparaison avec les valeurs antérieures pour chaque site Velyger. L'indice de condition avant ponte est un bon proxy de la fécondité potentielle de l'huître creuse.

4.2 Date de ponte

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

Il en ressort que les fortes amplitudes thermiques journalières associées aux marées de vives-eaux apparaissent comme deux conditions favorisant des pontes massives et synchrones sur un même secteur. A l'inverse, des conditions thermiques moins contrastées entraînent généralement un retard de ponte, associé parfois à des phénomènes de pontes asynchrones et/ou partielles (tous les individus d'un même banc ne pondent pas en même temps et certains n'émettent que partiellement leurs gamètes). En termes prévisionnels, les températures moyennes de l'eau de mer en début d'été (15 juin - 15 juillet) constituent un bon proxy de la date de ponte (e.g. Auby et Maurer, 2004 ; Pouvreau et al., 2011).

Dans la perspective du changement climatique, nombres de phénomènes périodiques risquent d'être perturbés dans le monde du vivant : l'étude de ces phénomènes périodiques s'appelle la phénologie. La date de ponte est un événement phénologique d'intérêt car il va conditionner la période d'apparition des larves et donc leurs conditions de vie, ce qui peut impacter le succès du recrutement. L'évolution temporelle de cette date de ponte fait donc l'objet d'une analyse particulière.

4.2.1 Valeurs 2017

La Figure 21 montre la relation, actualisée pour 2017, 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 2017 se positionnent, par site, à l'extrémité inférieure de chaque sous nuage de point et de façon logique corrélativement à la

température. Les pontes ont, en effet, été précoces pour les écosystèmes de la rade de Brest à la lagune de Thau compte tenu des très fortes chaleurs et températures du mois de juin.

En outre, depuis le début du réseau Velyger, on constate pour chaque secteur étudié, les faits généraux suivants :

- La lagune de Thau présente toujours les pontes les plus précoces ;
- A l’opposé, la rade de Brest et la baie de Vilaine présente les pontes les plus tardives ;
- La baie de Bourgneuf, les pertuis Charentais, le bassin d’Arcachon occupent des positions intermédiaires avec une variabilité interannuelle importante expliquée en partie à la température.

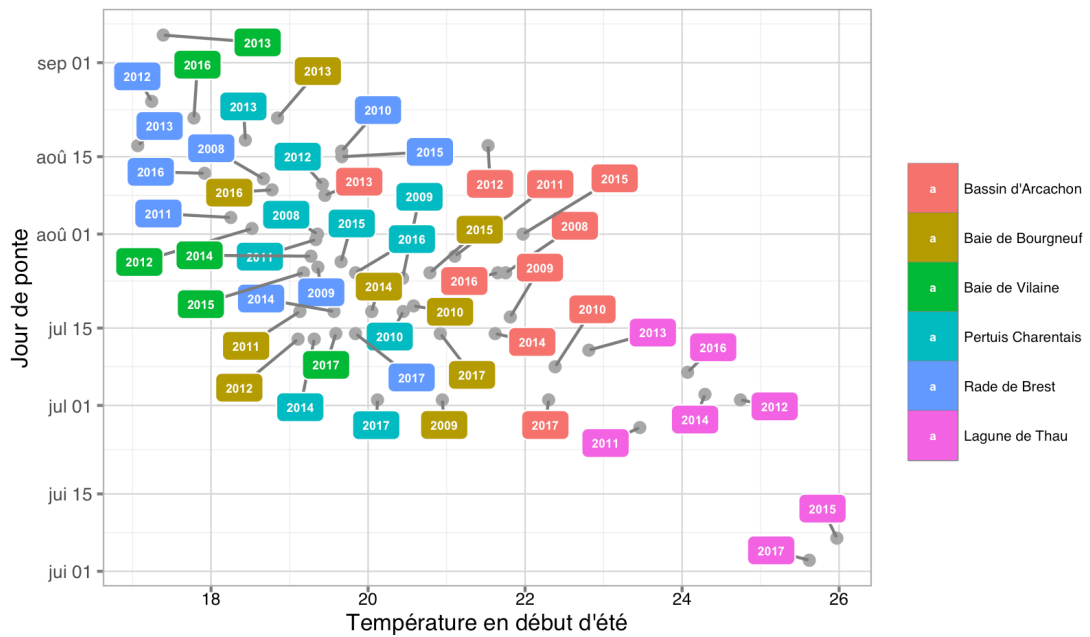


Figure 21 : Relation entre la température de l’eau en début d’été (moyenne issue des données journalières de sonde haute fréquence sur la période 21 juin-10 juillet) et la date d’émission principale des gamètes, tous sites et années confondus. La date d’émission des gamètes est obtenue à partir du suivi des populations sentinelles de chaque site conforté par le suivi des abondances de larves.

4.2.2 Phénologie de la ponte et tendance sur le long terme

En complément, au travers de séries biologiques acquises depuis plusieurs années, il devient possible de dégager d’éventuelles tendances sur le moyen terme. La Figure 22 présente conjointement les cinq séries historiques de phénologie de la ponte principale de l’huître creuse, démarrées depuis les années 1980 à Arcachon et Marennes Oléron et plus récemment en baie de Bourgneuf, en rade de Brest et dans la lagune de Thau.

On confirme que, pour 3 secteurs sur 5, la ponte principale de l’année 2017 fait partie des pontes les plus précoces observées depuis le début des suivis : c’est le cas dans les pertuis Charentais, en rade de Brest et dans la lagune de Thau. Pour le bassin d’Arcachon, la ponte est précoce, mais ne présente pas de caractère exceptionnel, ce qui est probablement à relier avec la tendance de retard de ponte observée sur le long terme pour ce secteur. C’est aussi un peu le cas pour la baie de Bourgneuf.

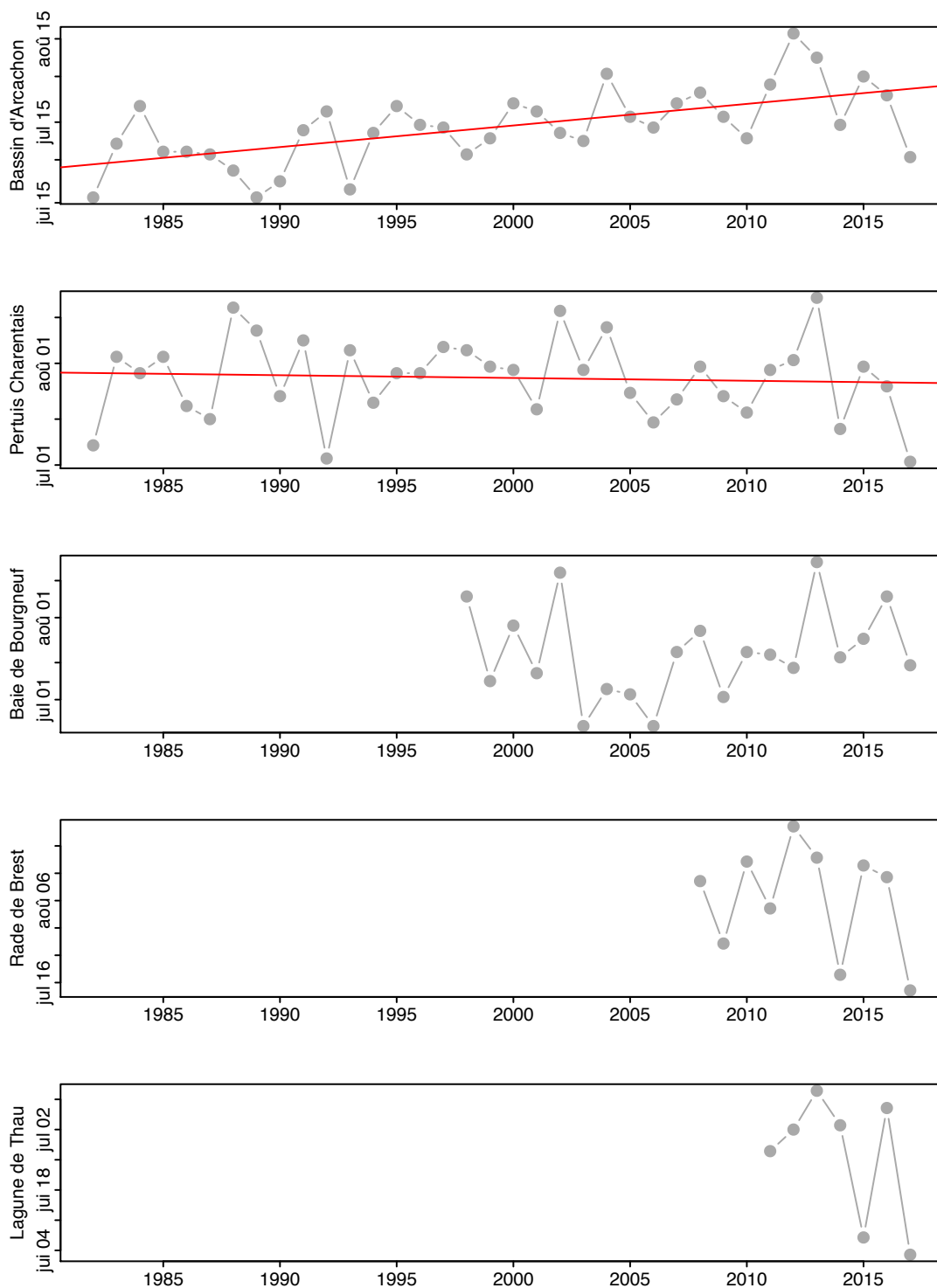


Figure 22 : Evolution pluri-décennale de la date de ponte principale dans le bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest), le bassin de Marennes Oléron (secteur Seudre) et la baie de Bourgneuf (secteur nord). La date de ponte est estimée ici à partir des pics d'abondances de larves au stade « petites » relevés sur chacun des secteurs et des pertes de masse de chair enregistrées dans les populations sentinelles d'huîtres placées dans chaque écosystème. Dans le cas de la baie de Bourgneuf, la date de ponte de 1998 à 2008 a été rétro-calculé à partir d'un modèle bioénergétique de type DEB (e.g. Thomas et al., 2016).

4.3 Abondance, développement et survie des larves

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

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

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

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

4.3.1 Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire

L'ensemble des graphes d'abondance larvaire, par stade, par site, par bassin, par année est disponible depuis 2008 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 en cours par rapport aux années antérieures et (2) de présenter l'évolution sur le moyen terme afin d'identifier d'éventuelles tendances temporelles. En fin de paragraphe, une figure traite de la relation entre le stade 'évoluées' et le stade 'grosses'. Pour cette relation, on privilégie les données de larves au stade 'évoluées' plutôt qu'au stade 'petites' (ce dernier présente parfois un biais d'échantillonnage liés à la dynamique spatio-temporelle très rapide d'apparition de ce stade).

Dans un premier temps, la Figure 23 permet d'analyser les concentrations larvaires moyennes observées sur l'été 2017 par rapport à celles des années antérieures sur chacun des secteurs Velyger. Il ressort que :

- Pour le premier stade (« petites »), la plupart des secteurs présentent des valeurs dans les normales (se situant dans l'intervalle interquartile) à l'exception du bassin d'Arcachon qui présente des valeurs plutôt faibles;
- Au cours du développement larvaire, cette distribution évolue peu et la plupart des secteurs conservent des concentrations en larves grosses dans les normes à l'exception toutefois de la baie de Bourgneuf et surtout du bassin d'Arcachon qui présentent des valeurs plutôt faibles positionnant 2017 parmi les plus faibles scores enregistrés depuis le début des suivis (inférieures à 10 larves/1,5m³).

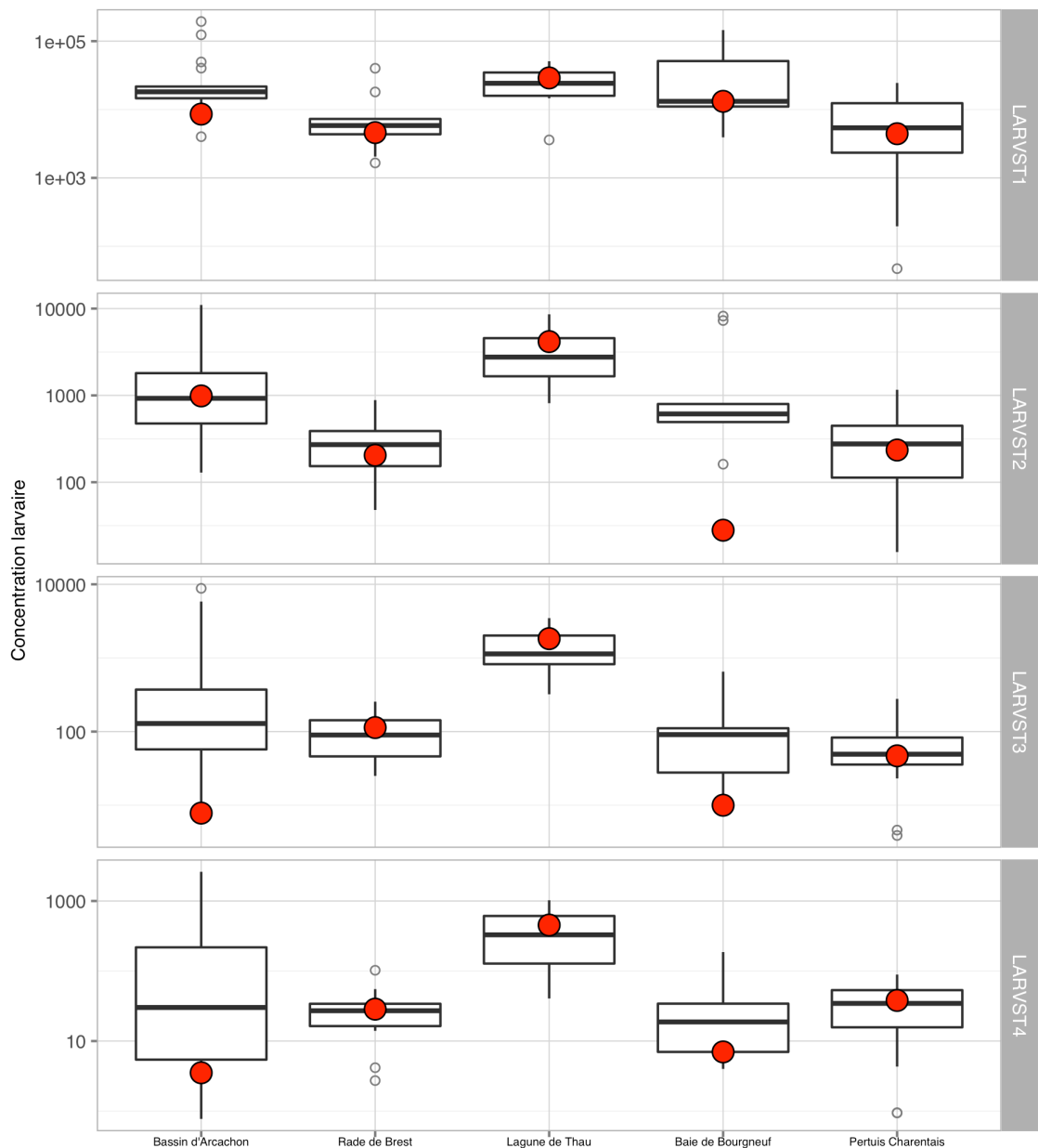


Figure 23 : Abondance larvaire moyenne (Nb larves évoluées/1,5 m³) sur l'année 2017 (point rouge) pour chaque secteur Velyger et pour chaque stade d'évolution larvaire et comparaison avec celles des années antérieures (boîte à moustaches et outliers). Pour rappel : LARVST1= Stade « petites », LARVST2= Stade « évoluées », LARVST3= Stade « moyennes », LARVST4= Stade « grosses ».

En complément, la Figure 24 montre l'évolution sur le long terme des abondances larvaires, pour chaque stade de développement et chaque secteur. 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 (très nette sur les premiers stades). Cette diminution est générale sur le bassin, mais elle est plus marquée dans le secteur Est que le secteur Ouest. L'année 2017 se place toujours dans cette évolution décroissante et présente les valeurs moyennes les plus faibles depuis les années 2000. Ces faibles valeurs contrastent, d'un facteur 10, avec les bonnes performances encore enregistrées récemment (2012-2014). Cette situation est vraiment à surveiller dans les années à venir.

- Les pertuis Charentais (site pour lequel nous disposons d'une série assez longue aussi) présentent jusqu'à maintenant des concentrations larvaires plutôt stables, et ce pour chaque stade. C'est à nouveau le cas en 2017.
- Pour les autres secteurs, nous disposons de séries de données moins longues, mais pour l'instant, il ne ressort aucune tendance particulière sur le moyen terme. Il convient cependant de noter que depuis 3 années consécutives, les concentrations en larves grosses sont particulièrement faibles en baie de Bourgneuf, cette situation mérite là aussi d'être surveillée.

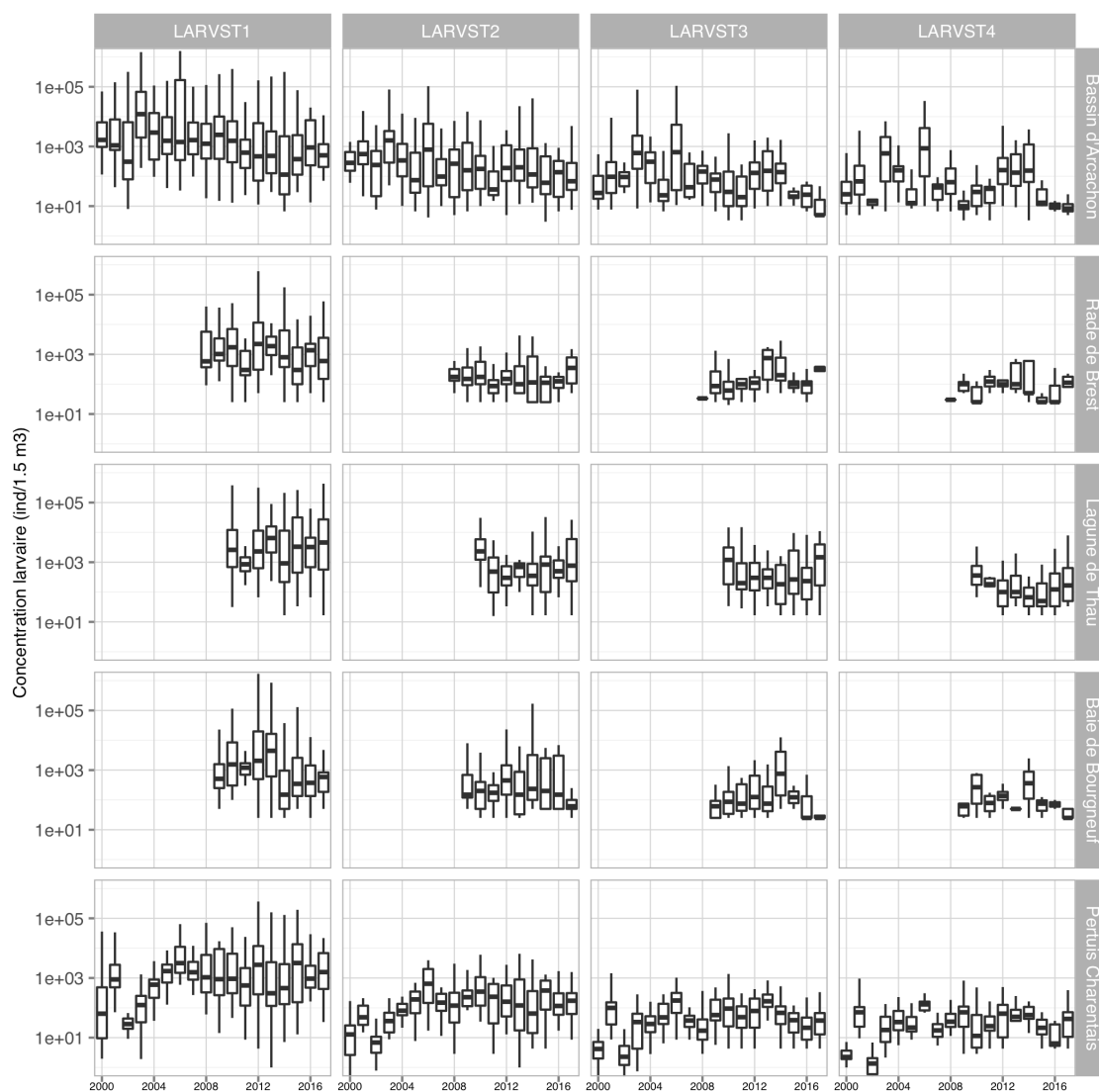


Figure 24 : Evolution des abondances moyennes de larves sur l'été pour chaque stade et pour chaque secteur Velyger. Pour rappel : LARVST1= Stade « petites », LARVST2= Stade « évoluées », LARVST3= Stade « moyennes », LARVST4= Stade « grosses ». Noter la faible concentration en larves grosses sur le bassin d'Arcachon et en baie de Bourgneuf ces dernières années.

Enfin, en complément de cette description de la variabilité spatio-temporelle de l'abondance de larves, la Figure 25 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 2017 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 des pertuis Charentais par des concentrations en larves (évoluées et grosses) nettement supérieures avec des années record (comme 2003, 2006). A l’opposé, les pertuis pouvaient présenter de très mauvaises années (2000, 2002). Et, d’une façon générale, les nuages de points pour ces deux sites étaient bien distincts : les valeurs des pertuis 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 des pertuis. C’était notamment le cas des années 2011 et 2016 à Arcachon, qui se positionnait au milieu du nuage des points des pertuis Charentais. C’est à nouveau le cas en 2017 : cette année se positionne dans la limite basse du nuage de points pour Arcachon, ce qui contraste avec des années encore récentes (2013 et 2014) pour lesquelles les valeurs étaient normales (positionnées au barycentre des observations sur ce secteur).
- Le site rade de Brest se positionne plutôt au cœur du nuage avec des concentrations modérées de larves (c’est le cas en 2017) et au final une variabilité interannuelle faible.
- De façon contrastée, la baie de Bourgneuf présente généralement des valeurs très variables d’une année à l’autre et les observations s’éparpillent dans le nuage. L’année 2017 constitue l’année présentant les plus faibles scores pour ce secteur et se positionne en limite basse du nuage de points.
- Enfin, la lagune de Thau présente des valeurs qui se positionnent généralement dans le cadran supérieur du nuage de points proches des bonnes années sur Arcachon. C’est à nouveau le cas en 2017.

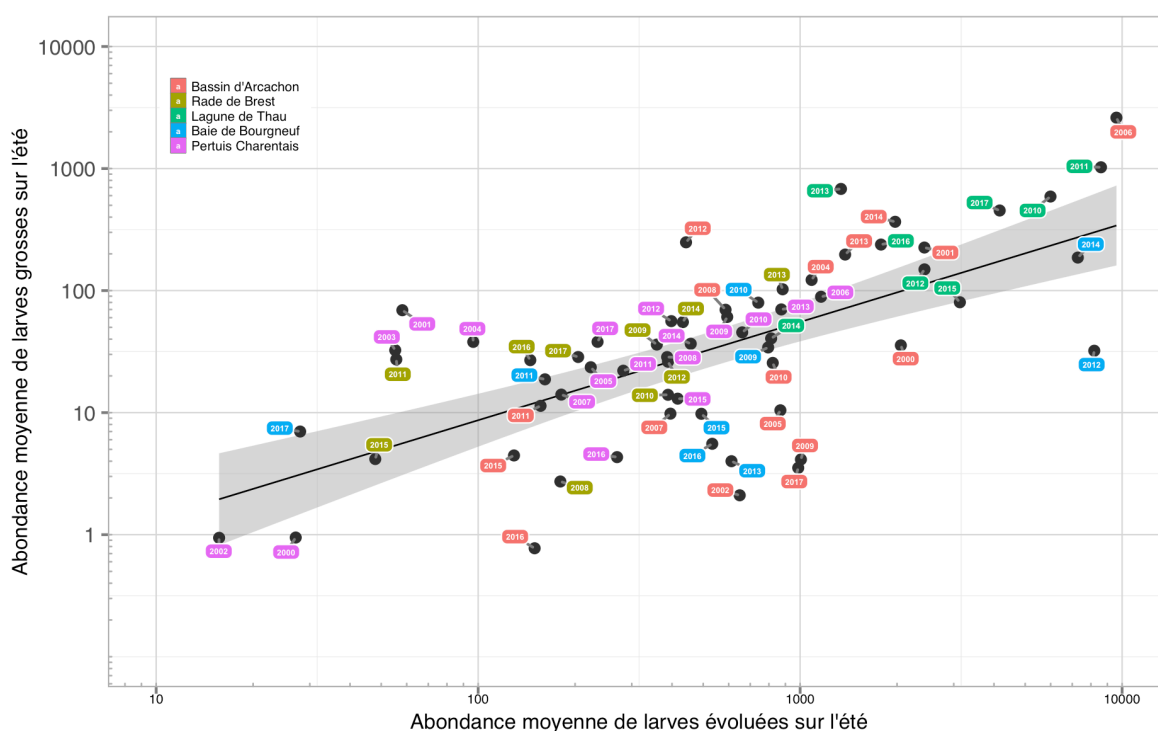


Figure 25 : Relation entre l’abondance de larves évoluées et l’abondance de larves grosses pour les 5 sites du réseau Velyger toutes années confondues. Notez que la régression établie sur ce nuage de points présente un coefficient de détermination R^2 de 0,60 et permet d’évaluer une survie moyenne de l’ordre de 10% entre ces deux stades. Certaines années (points projetés dans la partie inférieure du nuage) 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, 2016 pour le bassin d’Arcachon, 2008 pour la rade de Brest ainsi que 2012, 2013, 2016 pour la baie de Bourgneuf).

4.3.2 Survie larvaire

La survie larvaire peut être approchée, en partie, par le calcul du rendement entre l'abondance de larves grosses et l'abondance de larves petites sur l'été. Ce rendement est avant tout fonction des caractéristiques physiques du bassin (temps de résidence, conditions hydrodynamiques, volume moyen) mais aussi des conditions environnementales moyennes rencontrées lors de la vie larvaire. La Figure 26 montre les valeurs moyennes obtenues pour chaque écosystème et permet de positionner l'année 2017 par rapport aux années antérieures.

Il ressort, pour l'année 2017, que :

- Le bassin d'Arcachon présente des valeurs de rendement faibles (inférieures à 0,1 %) se positionnant dans le quartile inférieur de la distribution ;
- La survie observée en baie de Bourgneuf est généralement plus faible que sur les autres secteurs et cette année la valeur de survie moyenne pour 2017 se positionne dans l'intervalle interquartile mais reste là aussi inférieure à 0,1 % ;
- La rade de Brest, les pertuis Charentais et la lagune de Thau présente des valeurs 10 fois supérieures s'approchant de 1 % et se positionnant dans la norme des observations pour ces secteurs.

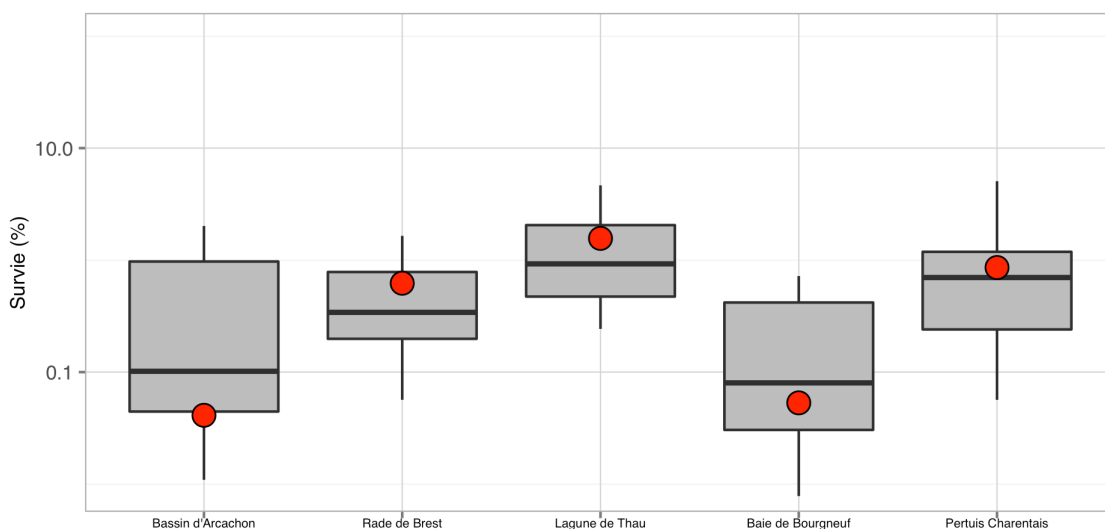


Figure 26 : Rendement larvaire (S, %) pour les principales cohortes observées en 2017 dans chaque écosystème Velyger. Cette survie est calculée à partir d'un ratio entre le nombre moyen sur l'été de larves en stades 1 et 4.

De façon plus détaillée, pour le bassin d'Arcachon, site pour lequel nous disposons du maximum de données et 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 2017, démontre les résultats majeurs suivants :

- D'une façon générale, il existe une forte différence interannuelle (pouvant atteindre un facteur 1000) entre la survie larvaire mesurée par cohorte chaque année ;
- Il ressort une relation significative entre la température de l'eau et la survie larvaire: la survie est inférieure à 0.01% en dessous de 22°C et augmente exponentiellement avec la température pour atteindre plus de 1% au-dessus de 25°C ;
- En 2014, on notait un survie particulièrement forte (1,7 %) pour la principale cohorte observée sur Arcachon en relation avec les températures favorables (> 23,5°C) enregistrées au moment de la vie larvaire ;

- En 2015, on notait une survie particulièrement faible (0,002 %) pour la principale cohorte observée sur Arcachon. Cette faible survie est à mettre en relation avec les températures très basses pour ce secteur ($> 21,5^{\circ}\text{C}$) enregistrées au moment de la vie larvaire.
- En 2016, la survie (pour la seule petite cohorte observée sur Arcachon) était dans les normes (0,2 %) corrélativement à la température moyenne enregistrée sur cette période ($22,7^{\circ}\text{C}$).
- En 2017, pour les deux cohortes observées, les températures au moment de la vie larvaire étaient plutôt basses (inférieures à 23°C) et les survies sont restées faibles ($< 0,1\%$).

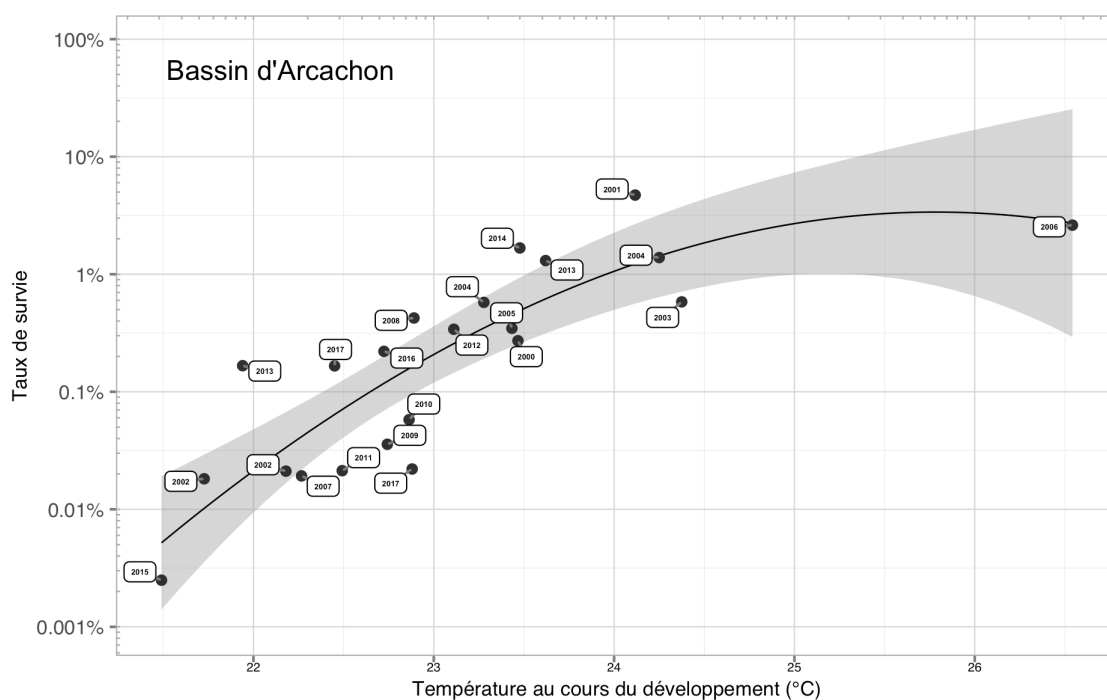


Figure 27 : Relation entre la température de l'eau ($^{\circ}\text{C}$) au cours du développement larvaire et le taux de survie larvaire (%) pour chacune des cohortes larvaires repérées sans ambiguïté sur le bassin d'Arcachon depuis 2001.

4.3.3 Larves grosses et intensité du captage

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

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

La Figure 28, présente la relation entre la concentration moyenne en larves au stade « Grosses » obtenue à la fin de l'été pour un secteur donné et l'intensité du recrutement cumulé (sur coupelle) estimé à l'automne sur ce même secteur (nombre total de naissain incluant individus morts et vivants). Cette relation, actualisée pour l'année 2017, se caractérise toujours par un fort coefficient de corrélation ($R^2 = 0,60$) et reste indépendante des secteurs étudiés (au moins pour ceux de la façade atlantique). Elle permet, en outre, d'établir, dès la fin de l'été, une prévision du captage à l'automne. Cette forte relation entre abondance de larves grosses et recrutement montre aussi qu'il n'y a vraisemblablement pas de verrous biologiques clés, chez cette espèce, au moment de la métamorphose et de la fixation.

Par contre, dans la lagune de Thau, cette relation n'est pour l'instant pas démontrée et cette exception prouve que le problème lié à la variabilité du captage dans la lagune de Thau trouve son explication dans une cause différente de celles rencontrées sur la façade atlantique. Des travaux sont menés au LER LR sur ces aspects (Lagarde et al, 2017).

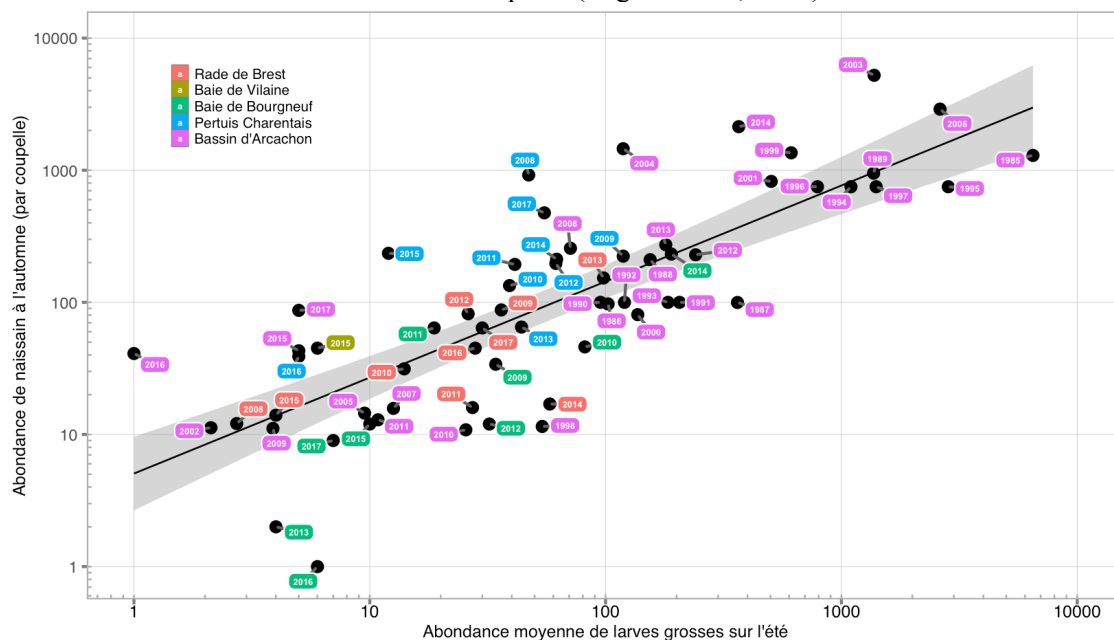


Figure 28 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été (pour $1,5\text{ m}^3$) et l'intensité du captage estimé à l'automne (nombre total de naissain exprimé en équivalent coupelle, $R^2=0,60$ sans les données de la lagune de Thau). *NB : Les valeurs pour la lagune de Thau ne sont pas représentées sur ce graphe, car pour ce secteur la variabilité du recrutement reste encore lié à la pratique du captage par les professionnels (technique et calendrier de pose des collecteurs, méthode d'exondation, durée d'immersion totale).*

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

- Une abondance moyenne de larves grosses, sur l'ensemble de l'été, inférieure à 20 larves/ $1,5\text{ m}^3$ 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/ $1,5\text{ m}^3$ 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/ $1,5\text{ m}^3$ 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/ $1,5\text{ m}^3$ apporte un captage très abondant, supérieur à 2000 naissains par coupelle, qualifié de « **d'exceptionnel** ».

Ainsi, pour l'année 2017, les résultats sont contrastés selon les secteurs :

- Dans le bassin d'Arcachon, la faible abondance de larves grosses mesurées sur l'été (5 larves/ $1,5\text{ m}^3$) s'est tout de même traduite par un captage modéré situé entre 84 et 115 naissains/coupelle selon les secteurs.
- Dans les pertuis Charentais, la concentration modérée de larves grosses de l'été 2017 (55 larves/ $1,5\text{ m}^3$) s'est traduite par un captage modéré, variant de 136 à 476 naissains/coupelle selon les secteurs.
- En baie de Bourgneuf, les concentrations moyennes en larves grosses ont été à nouveau très faible comme en 2013 et 2016 avec seulement 7 larves/ $1,5\text{ m}^3$; il en ressort un captage très faible inférieur à 10 naissains par coupelle.

- En rade de Brest, les abondances de larves grosses mesurées sur l'été (30 larves/1,5m³), un peu plus élevés que dans les secteurs précédents, ont permis un captage modéré variant entre 64 à 93 naissains/coupelle selon les secteurs.
- Enfin, dans la lagune de Thau, la pratique du captage reste encore expérimentale et les performances obtenues dépendent totalement des techniques mises en œuvre par les professionnels. Cela dit, la moyenne sur l'été de larves grosses a été de 468 larves/1,5m³. Dans ce contexte, le captage aurait pu être excellent sur certaines zones. Les résultats obtenus donnent des valeurs très variables selon les méthodes utilisées comprises entre 9 et 141 naissains/coupelle.

4.4 Estimation du recrutement à l'automne

4.4.1 Comparaison à l'échelle nationale

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. La méthodologie utilisée sur chaque site est adaptée de Maurer et al. (2009b). Ces résultats restent néanmoins indicatifs et n'ont pas vocation à quantifier l'abondance de naissain au détroquage l'année suivante. Mais, étant réalisées chaque année de la même façon et à la même période, ces campagnes permettent des comparaisons inter-sites et interannuelles dès la fin d'année. Notons qu'il existe plusieurs types de collecteurs (tuile, coupelle, tube crénelé, plénos) et les bassins n'utilisent pas forcément le même type. Dans le cadre du réseau VELYGER et dans un souci d'inter-comparaison, le collecteur choisi comme référence a été la coupelle (car elle est utilisée dans chaque bassin). Cependant, à titre d'indication, les précédents rapports fournissent des éléments de corrélation permettant d'établir des équivalences entre types de collecteurs.

La Figure 29 synthétise, pour chaque secteur, sur une cartographie, les résultats de la campagne 2017 d'estimation du captage et permet de comparer ces résultats avec les années antérieures. Il ressort clairement que, pour l'année 2017 :

- La rade de Brest est à nouveau caractérisée par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes comprises entre 64 et 93 naissains par coupelle. Ces résultats sont comparables à ceux enregistrés en 2016.
- La baie de Vilaine a été suivie pour la troisième année consécutive par le bureau d'étude Cochet-environnement. Sur ce secteur, le captage y est **bon** avec 371 naissains par coupelle et supérieur aux années précédentes.
- La baie de Bourgneuf est à nouveau caractérisée par **un captage faible** avec des valeurs inférieures à 10 naissains par coupelle. Ces résultats comparables aux deux années antérieures contrastent très fortement ceux de l'année 2014 et des années 2009 à 2011.
- Les pertuis charentais sont caractérisés par **un captage modéré à bon**, avec des valeurs moyennes selon les secteurs comprises entre 136 et 471 naissains par coupelle. Selon un schéma récurrent, le secteur Charente enregistre les meilleurs scores sur ce bassin.
- Le bassin d'Arcachon est caractérisé par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes comprises entre 84 et 115 naissains par coupelle selon les secteurs. Ces résultats meilleurs que les deux dernières années restent cependant faibles pour Arcachon.
- La lagune de Thau est caractérisée par **un captage toujours variable** avec des valeurs moyennes comprises, cette année, entre 9 et 141 naissains par coupelle. Cette variabilité, malgré une abondance élevée en larves grosses, tient, en partie, à la pratique zootechnique encore incertaine. Dans les années à venir, l'optimisation puis la maîtrise de cette pratique devrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats et surtout moins variables dans cet écosystème favorisé par l'absence de marée.

En résumé, l'année 2017, meilleure que l'année 2016, constitue une année avec un captage modéré : certains secteurs présentent des meilleurs scores (pertuis charentais), d'autres des valeurs très basses (baie de Bourgneuf). Ces résultats très différents d'une année et d'un site à l'autre montrent, à nouveau, toute la complexité de la chaîne de facteurs à l'origine du recrutement de l'huître creuse en France.

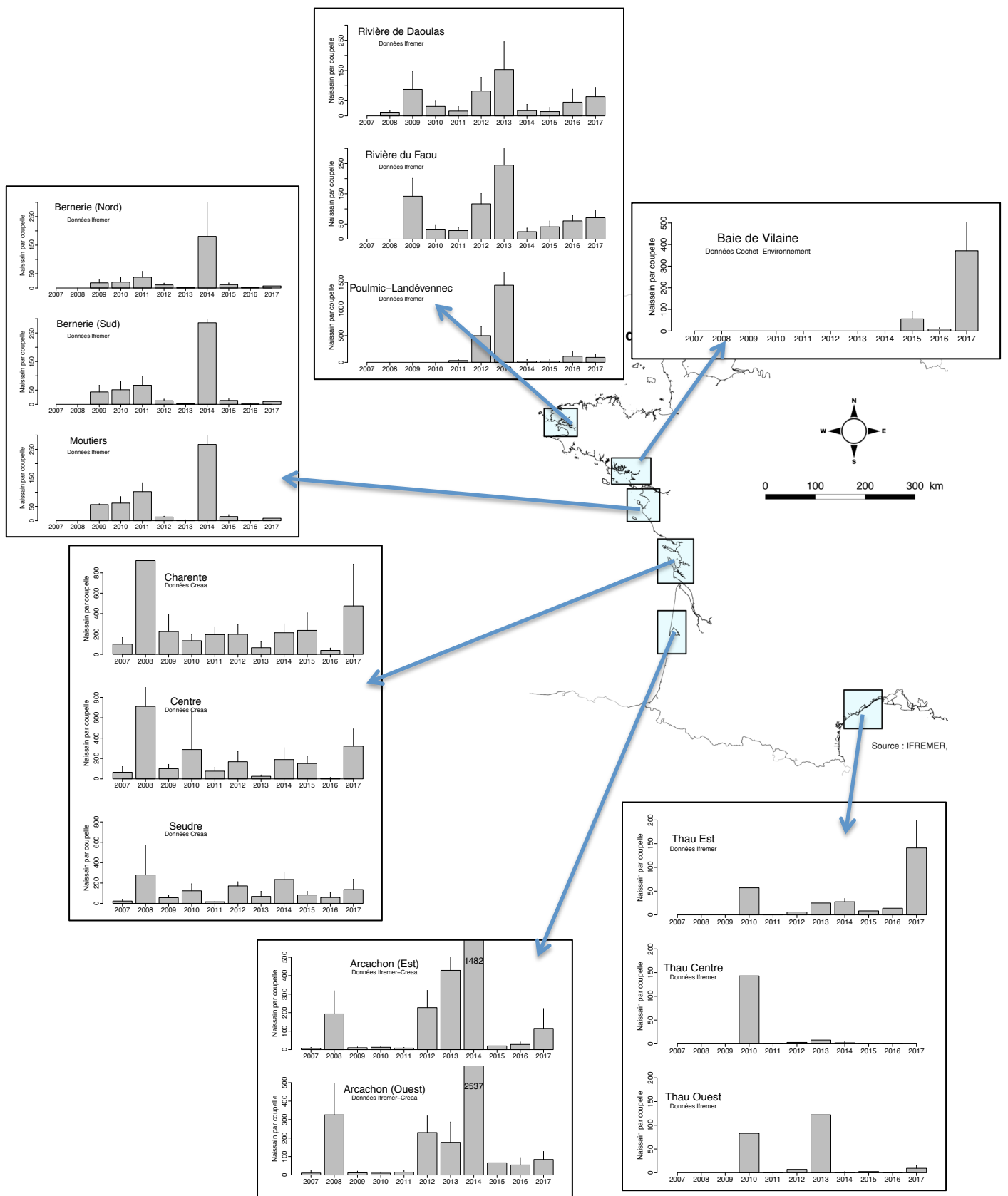


Figure 29 : Abondance moyenne du captage en France par secteur: nombre moyen de naissains par couplet (vivants et morts) en 2017 et comparaison aux années antérieures (Source des données : Ifremer – Crea – Cochet environnement)

4.4.2 Structuration géographique du recrutement

Au sein de chaque bassin, le recrutement est plus ou moins corrélé entre les sites étudiés. La Figure 30 fournit les corrélations géographiques les plus significatives qui se dégagent au fur et à mesure des suivis du réseau VELYGER.

En rade de Brest, le recrutement obtenu dans la rivière du Faou est corrélé au recrutement obtenu en rivière de Daoulas ($R^2=0.98$) en y étant systématiquement supérieur. En baie de Bourgneuf, le recrutement est corrélé entre les différents sites suivis, avec un gradient croissant du nord vers le sud. La figure montre la corrélation ($R^2=0.95$) entre le secteur le plus au nord (Bernerie Nord) et le secteur le plus au sud (Moutiers). Dans les pertuis Charentais, seuls les secteurs Charente et Centre sont corrélés ($R^2=0.87$), la Seudre présente systématiquement un recrutement différent sans relation avec les deux autres secteurs du bassin. Dans le bassin d'Arcachon, les deux secteurs Ouest et Est présentent toujours des performances de recrutement corrélés ($R^2=0.95$), avec des valeurs souvent supérieures sur la partie Ouest. Enfin, aucune tendance ne se dégage dans la lagune de Thau (non représenté).

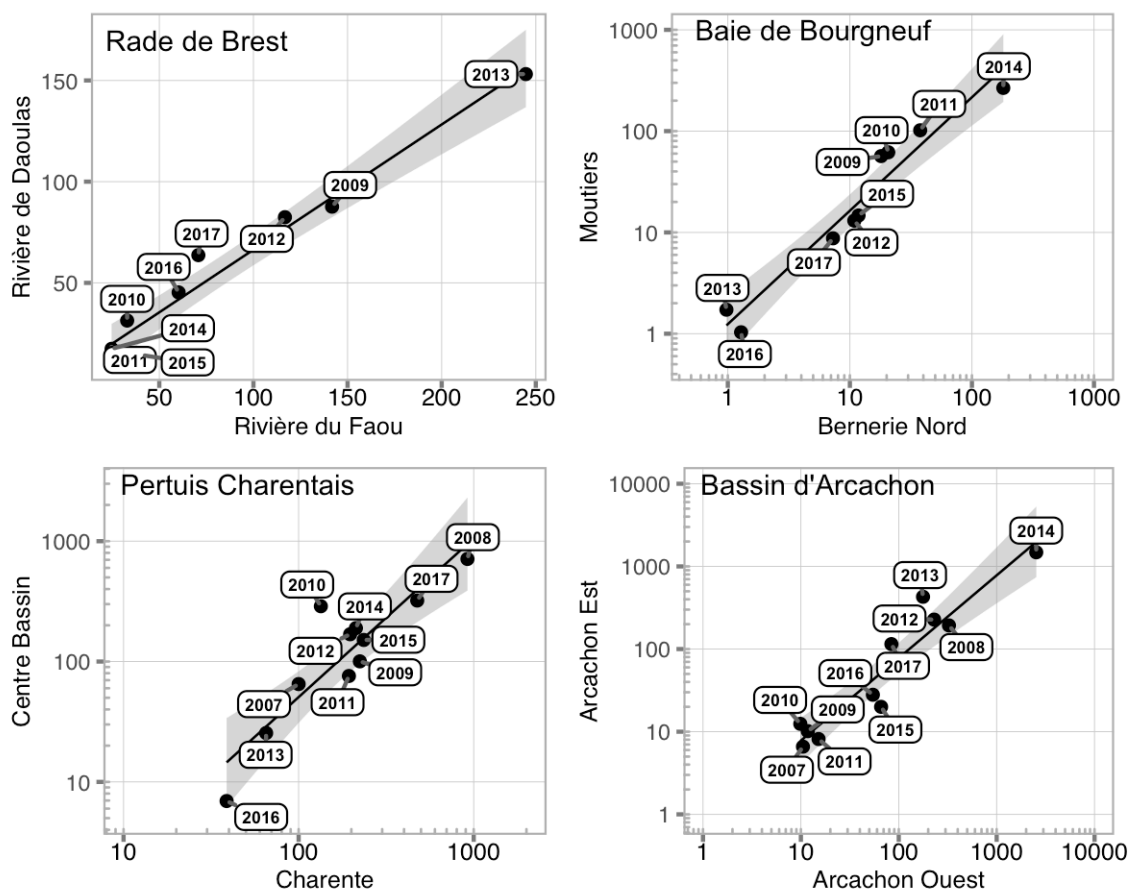


Figure 30 : Relation géographique entre les intensités de captage obtenues dans les différents sites au sein de chaque bassin étudié dans le réseau VELYGER. Les sites présentant peu de corrélations spatiales entre eux n'ont pas été représentés : il s'agit de la Seudre dans les pertuis Charentais et des différents sites suivis dans la lagune de Thau.

5 Synthèse sur la reproduction 2017

5.1 Schéma général et caractéristiques majeures

Sur la base des résultats antérieurs obtenus par le réseau Velyger depuis sa création (*e.g.* Pouvreau et al., 2016) et des nouvelles données acquises au cours de l'année 2017 présentées tout au long de ce rapport, il nous est possible de proposer un schéma général pour expliquer la variabilité spatio-temporelle 2017 de la reproduction de l'huître creuse en France. Ce schéma, que l'on peut construire comme une chaîne de facteurs, est résumé sur la Figure 31 et s'organise de la manière suivante :

- (1) L'abondance printanière en phytoplancton agit quantitativement sur la maturation et détermine les niveaux maximums d'indice de condition et de fécondité de début d'été. Cette abondance en phytoplancton est en partie sous la dépendance des apports d'eau douce hivernaux et printaniers. En 2017, sur le plan hydrique, l'hiver et le printemps se sont situés dans les normes, en conséquence, **les concentrations en phytoplancton sont restées proches des normales et les indices de maturation ont été proches de la médiane, mais en retrait par rapport à l'année précédente.**
- (2) La température moyenne de l'eau en début d'été détermine en partie la date de ponte. Sur la façade atlantique, en raison d'un mois de juin particulièrement chaud (petite canicule), la température de l'eau était au-dessus des normales en début d'été. Dans ce contexte, **la ponte principale en 2017 est survenue de façon précoce** pour l'ensemble des secteurs en conformité avec le modèle thermique proposé depuis plusieurs années.
- (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 du synchronisme de leur ponte, ce synchronisme étant favorisé par les forts contrastes thermiques (*e.g.* Bernard et al., 2011). En 2017, **les pontes ont été plutôt synchrones et les abondances de jeunes larves ont été dans les normales. A noter toutefois des valeurs en retrait dans le bassin d'Arcachon.**
- (4) Une fois les larves émises, leur vitesse de développement et leur abondance à chaque stade (*i.e.* leur survie) dépendent directement de la température de l'eau lors du développement. Une température basse rallonge la durée de la vie larvaire (PLD), ce qui favorise une dispersion plus importante et une survie plus faible. Cette survie peut varier **d'un facteur 1000** (*i.e.* de 0,01 % à presque 10 %) selon les sites et la température. **En 2017, la durée de vie larvaire s'est située dans les normes et un peu faible à Arcachon et Bourgneuf.** Il convient de noter que contrairement au mois de juin, l'été n'a pas réellement présenté d'excédents de température, sans quoi la survie eut été améliorée.
- (5) La quantité de larves grosses dépend directement de l'abondance de jeunes larves (étape 3) et de leur survie (étape 4). **En 2017, ces étapes ont été plutôt favorables, excepté à Arcachon et Bourgneuf.** Ainsi, cela aboutit en moyenne sur la façade atlantique à des abondances de larves « grosses » faibles à modérés, comprises entre 5 larve/1,5 m³ (dans le bassin d'Arcachon) à plus de 400 larves/1,5 m³ (dans la lagune de Thau).
- (6) Enfin, une relation de proportionnalité directe existe entre l'abondance moyenne de larves grosses (étape 5) au cours de l'été et le recrutement observé à l'automne sur les collecteurs. Cette relation permet une prédiction du captage dès la fin de l'été. **En 2017, le captage a donc été faible à modéré selon les secteurs (conformément aux abondances de larves grosses).**
- (7) Seule exception à cette règle de proportionnalité : la lagune de Thau qui malgré des abondances de larves « grosses » plutôt élevées présente chaque année un captage souvent faible. Une pratique zootechnique adaptée à ce secteur sans marée devrait permettre à terme d'assurer un bon captage systématique (cf projet régional PRONAMED, Lagarde et al., 2013, Lagarde et al., 2017).

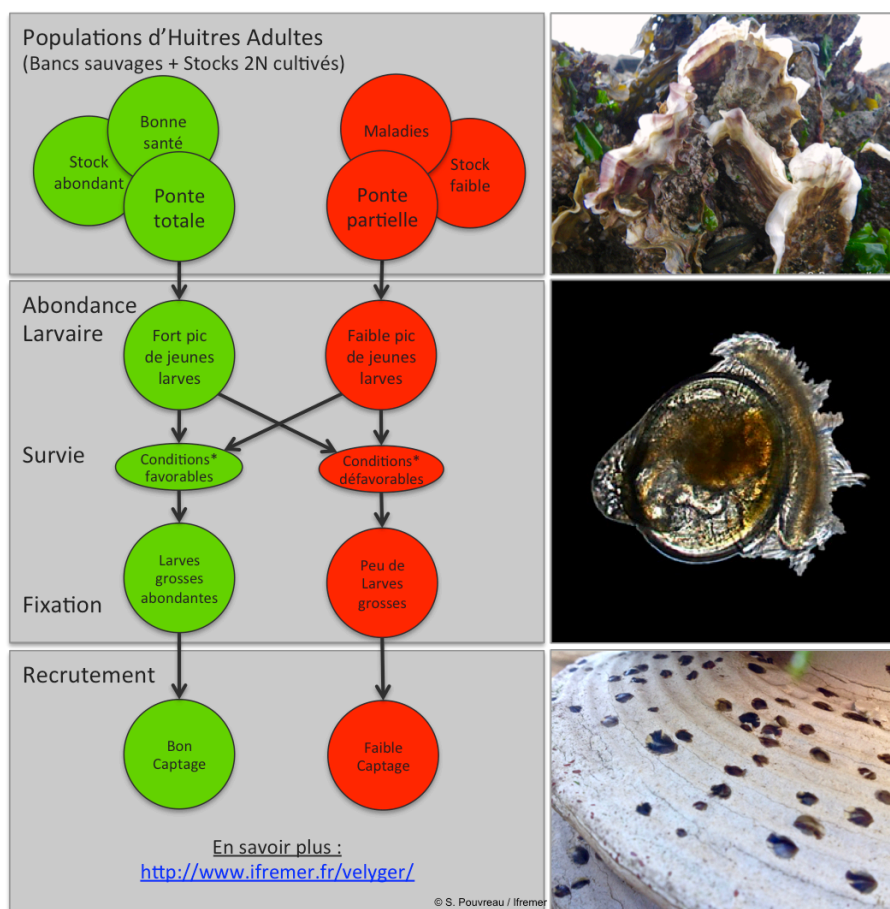


Figure 31 : Schéma récapitulatif expliquant les grands traits de la variabilité du recrutement et du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises. Légende : * la température estivale est le facteur majeur influençant la survie des larves, mais les facteurs contrôlant le temps de résidence des masses d'eau (hydrodynamique du secteur, coefficient de marée, régime de vent) ainsi que les conditions trophiques (petit phytoplancton) jouent aussi un rôle déterminant.

5.2 Les principaux verrous biologiques du cycle de reproduction

Depuis 2008, le réseau Velyger suit les grandes étapes du cycle de reproduction de l'huître creuse dans les différents écosystèmes côtiers de la rade de Brest à la lagune de Thau. Ce réseau s'intéresse plus spécifiquement aux étapes suivantes : fécondité des adultes, phénologie de la ponte, abondance larvaire et intensité du recrutement (mesuré à l'automne). Il ressort progressivement de ces suivis différents résultats essentiels qui sont synthétisés ci-dessous.

- **La fécondité et la ponte des adultes**

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. Cette étape conduit à un gain de chair (relativement à la croissance en coquille) qui se traduit par une augmentation progressive de l'indice de condition, celui-ci devenant maximal juste avant la ponte. Cet indice de condition maximal constitue un proxy de la fécondité potentielle d'une population d'huîtres pour une année et un site donnés.

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 reproducteur, et notamment la quantité d'ovocytes, peut être un facteur déterminant dans l'abondance de jeunes larves. De plus, tous les bancs d'huîtres n'émettent pas forcément leurs gamètes de façon synchrone, la localisation géographique de ces différents bancs de reproducteurs au sein de chaque bassin constitue donc aussi un élément très important dans l'approvisionnement en jeunes larves. Ces stocks et leur nature (localisation, sauvages, cultivés, 2N/3N, niveau

bathymétrique) restent très mal connus et le réseau fait l'hypothèse d'une relative stabilité d'une année à l'autre. Mais, sur le long terme, des tendances aux effets difficiles à évaluer sont probablement à l'œuvre : augmentation des densités de triploïdes dans les élevages, mortalités inconnues sur les stocks sauvages. **Le réseau VELYGER recommande une évaluation décennale de ces stocks par bassin et préconise des politiques locales de conservation des récifs sauvages devenus maintenant patrimoniaux (Beck et al., 2009).** Néanmoins, depuis 2008, la fécondité des huitres adultes et la période de ponte sont mesurées au sein du réseau et les variations de ces indices d'un site à l'autre, d'une année à l'autre donnent de réelles indications sur les atouts de chaque secteur et les verrous biologiques qui peuvent être rencontrés à certaines occasions.

Tout d'abord, il ressort du réseau que **la fécondité individuelle des huitres adultes est généralement élevée dans les sites septentrionaux (la rade de Brest aux pertuis Charentais).** C'est encore le cas en 2017. Seuls les sites plus au sud (bassin d'Arcachon et lagune de Thau) présentent des valeurs d'indices de condition plus faibles et donc une fécondité potentielle plus restreinte. Ce gradient « Nord-Sud » est quasiment récurrent chaque année et il convient de surveiller ce point pour les années à venir pour les deux secteurs les plus faibles, car il pourrait constituer un facteur limitant du recrutement certaines années.

Le deuxième point très important qui ressort du réseau concerne la date de la ponte principale dans chaque secteur. **Cet événement « fugace » mais majeur qui se déroule sur quelques heures constitue une clé importante dans l'intensité du recrutement** de l'année (Bernard et al., 2016). Avec 10 ans de suivis, le réseau met en évidence des résultats assez marqués par secteurs :

- Sur les secteurs « Nord », de la rade de Brest à la baie de Bourgneuf, la date de ponte est très variable d'une année à l'autre. Cette variabilité est notamment très forte en baie de Bourgneuf : sur ce secteur, la date de ponte principale **peut varier entre le début juillet et la fin août** selon les années. En rade de Brest, la ponte est souvent tardive (généralement en août) et il y a des années pour lesquelles localement certaines « populations » d'huitres ne pondent pas du tout (on parle de ponte asynchrone). Pour ces secteurs, l'abondance larvaire et *in fine* le recrutement semble vraiment dépendre du synchronisme et de la précocité de la ponte. Les années à ponte tardive et asynchrone entraînent généralement un mauvais recrutement. *A contrario*, un été chaud (associé à un printemps chaud) devrait permettre des pontes synchrones, de fortes abondances de jeunes larves, une survie élevée et un captage 'bon à excellent'.
- Sur le secteur des pertuis Charentais, la date de ponte principale semble plus stable et a lieu généralement **dans la deuxième quinzaine de juillet** (éventuellement début août). Cette relative stabilité entraîne généralement un recrutement (au moins pour le secteur Charente) toujours significatif. Depuis 2008, le recrutement sur ce secteur présente, en effet, la plus faible variation inter-annuelle et en moyenne les meilleurs rendements français, c'est encore le cas en 2017.
- Sur le secteur du bassin d'Arcachon, la date de ponte se révèle être **de plus en plus tardive** et une tendance décennale se détecte spécialement sur ce secteur. Avant les années 2000, la ponte principale avait généralement lieu début juillet, désormais elle peut survenir au delà du 15 août. Ce décalage phénologique de plus d'un mois a des conséquences directes : les jeunes larves peuvent apparaître lors des vives eaux du mois d'août avec le risque d'être plus rapidement dispersées hors du bassin. Cette tendance pourrait expliquer en partie l'augmentation de la variabilité interannuelle du captage observée depuis les années 2000. Mais exceptionnellement en 2017, à la faveur d'un mois de juin particulièrement chaud la ponte a eu lieu début juillet dans ce secteur.
- Enfin pour la lagune de Thau, les pontes y sont **généralement très précoces** mais aussi asynchrones. Elles ont lieu systématiquement avant les autres secteurs de la façade atlantique, généralement entre le 15 juin et le 15 juillet. Et on peut désormais affirmer que les déficits de recrutement sur ce secteur ne sont vraisemblablement pas liés à cette étape de la reproduction.

- **L'abondance et la survie des larves**

La ponte principale sur un secteur se traduit généralement par un pic massif de jeunes larves dans les jours qui suivent. L'intensité, la dynamique et l'évolution de ces pics constituent des descripteurs très fins pour évaluer l'abondance, le développement et la survie des jeunes larves émises. Ces proxys sont généralement des clés essentielles pour comprendre le recrutement ultérieur. La durée du développement des larves ainsi que leur survie sont extrêmement variables d'un site à l'autre, d'une année à l'autre car elles dépendent de nombreux facteurs : température de l'eau, conditions hydrodynamiques (forcées par les coefficients de marée et les régimes de vent), conditions trophiques (en liaison avec la compétition), présence de prédateurs, pathogènes et/ou de polluants. Depuis 2008, le réseau VELYGER suit ces abondances larvaires tout au long de l'été et sur l'ensemble des secteurs du réseau dans le cadre de différentes collaborations et contrat d'études. Cette base de donnée est unique et est désormais accessible à la communauté au travers du serveur Seanoe (Pouvreau et al., 2016). Il ressort de cet observatoire pluriannuel les points remarquables suivants.

Tout d'abord, l'abondance en jeunes larves est complètement sous la dépendance de la nature des pontes : les pontes totales et synchrones se traduisent par des pics élevés de jeunes larves ($> 100\ 000$ larves/ $1.5\ m^3$) alors que des pontes peu synchrones se traduisent par des faibles pics de jeunes larves ($< 10\ 000$ larves/ $1.5\ m^3$). L'année 2017 est plutôt une année au cours de laquelle les pics de jeunes larves ont été plutôt élevés ($>10\ 000$ larves/ $1.5\ m^3$). La dynamique d'apparition de ces jeunes larves et notamment la taille de ces pics est une caractéristique très variable d'une année à l'autre **mais il ne se dégage pas de tendance sur le long terme, à l'exception du bassin d'Arcachon. Pour ce dernier, il s'avère que, la quantité de petites larves tend à diminuer ces dernières années (depuis les années 2005, Figure 32).** Cette diminution pourrait trouver en partie une explication dans une fécondité restreinte des reproducteurs, qui elle-même est à relier aux abondances phytoplanctoniques plutôt modérées sur ce secteur (Bernard et al., 2014).

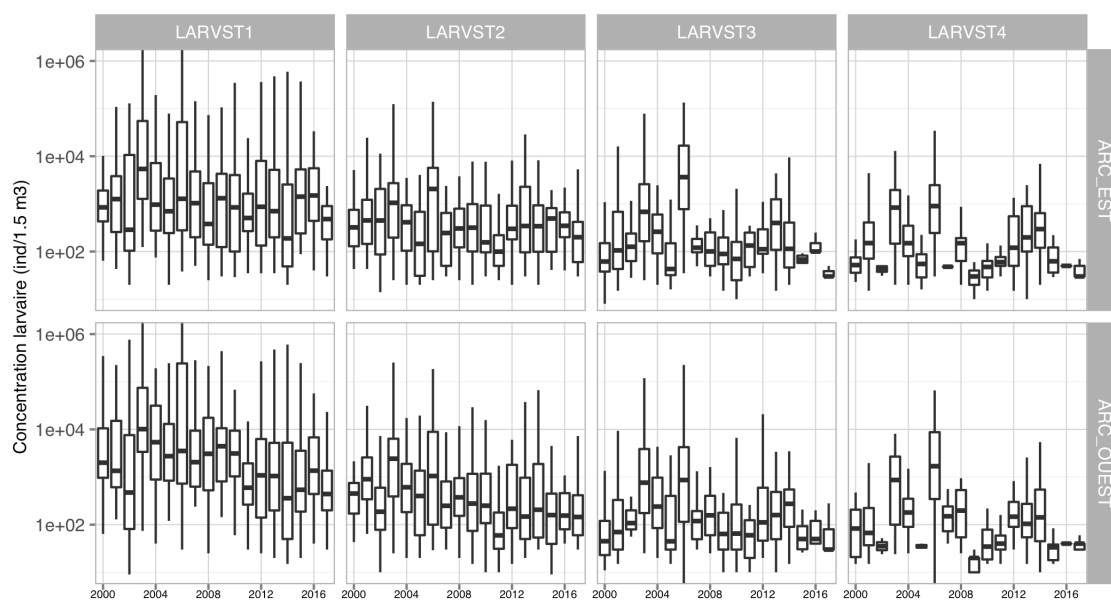


Figure 32 : Abondance larvaire (par stade) pour chaque secteur du bassin d'Arcachon. Notez la décroissance plus forte des stades 1 et 2 dans l'Ouest du bassin.

Une fois les jeunes larves émises, la température et le temps de résidence des masses d'eau sur chaque secteur au moment du développement larvaire constituent vraisemblablement les autres clés du recrutement, au moins pour les secteurs de la façade atlantique. Or, chaque secteur de recrutement présente des caractéristiques physiques, notamment hydrodynamiques, qui lui sont propres.

La partie Est de la rade de Brest présente probablement **les temps de résidence les plus longs** des secteurs Velyger (à l'exception de la lagune de Thau). Il s'agit aussi d'un site pour lequel les durées de vie larvaire sont généralement longues (20-25 jours), compte tenu des températures toujours un peu plus faibles dans ce bassin septentrional. Dans ces conditions, si les températures de l'eau sont favorables, le recrutement y est généralement bon. Les larves sur ce secteur sont présentes généralement en août et on montre effectivement que le recrutement y est particulièrement corrélé à la température des masses d'eau au mois d'août (Figure 33).

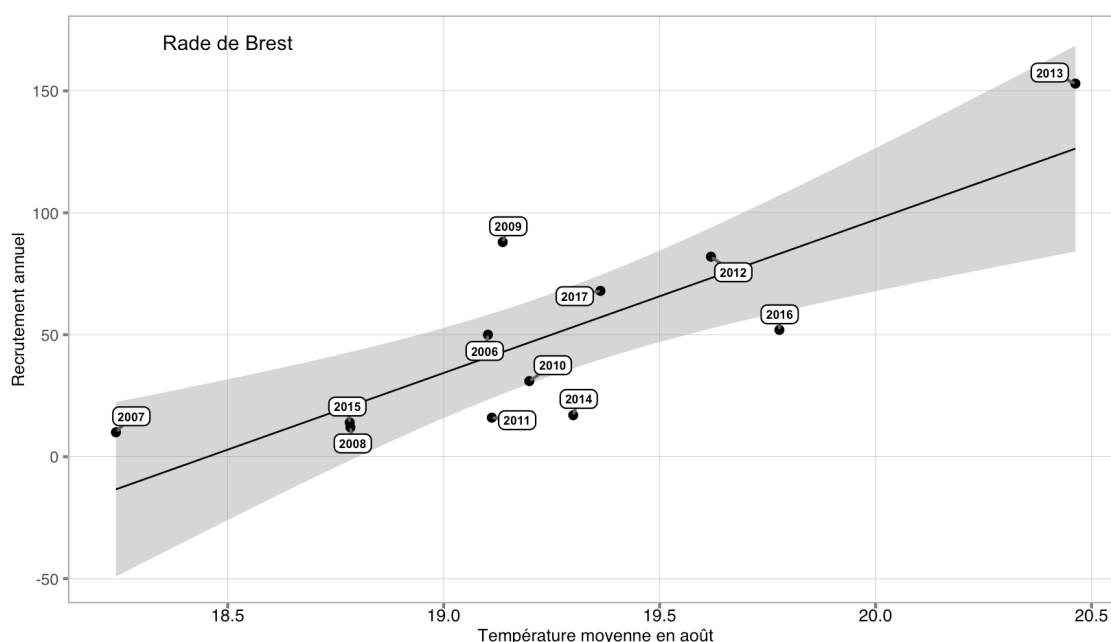


Figure 33 : Relation entre la température moyenne de l'eau au mois d'août et le recrutement à l'automne en baie de Daoulas (rade de Brest).

Sur le secteur de la baie de Bourgneuf, beaucoup d'éléments acquis depuis le début du réseau laissent penser que **la circulation hydrodynamique de ce système relativement ouvert pourrait être un facteur défavorable à la survie larvaire** surtout lors d'étés frais ou tout juste dans les normes. La mise en oeuvre d'un modèle hydrodynamique reste une étape à envisager dans les années à venir si l'on souhaite mieux comprendre la dynamique du recrutement dans ce secteur particulier. Il ressort en tout cas que la survie larvaire y est très variable d'une année à l'autre et cela décide ensuite de l'efficacité du recrutement. C'est encore le cas en 2017.

Pour les pertuis Charentais, il ressort de l'ensemble des suivis, **une grande complexité dans la distribution spatiale et la dynamique des larves** sur l'ensemble du bassin. En effet, pour tous les autres écosystèmes étudiés dans le réseau national, il y a toujours une corrélation intra-bassin assez élevée entre l'abondance en larves (stade « grosses ») et le recrutement ultérieur, mais cette relation est peu significative pour ce secteur. Il en est de même pour le suivi des cohortes larvaires. Dans la plupart des écosystèmes, l'identification des cohortes est évidente, alors que pour ce secteur elle est systématiquement délicate à réaliser: les larves « petites » disparaissent assez rapidement sans forcément présenter d'évolution et l'arrivée sporadique de larves « grosses » reste difficile à interpréter.

Cette complexité est à relier à la circulation hydrodynamique ouverte de cet écosystème proposé par Bernard *et al.*, (2010). Ces travaux montrent que selon les conditions hydro-climatiques de l'été, les secteurs au nord (Charente) peuvent bénéficier d'apports allochtones de larves et les secteurs au sud (Seudre) présentent un risque accru d'export de larves (Figure 28). Dans ce contexte, la préservation des stocks sauvages de reproducteurs en amont de ces zones constitue, sans aucun doute, une garantie d'avenir pour la pérennité du captage dans les pertuis Charentais.

Pour le bassin d'Arcachon, il ressort que la température de l'eau lors du développement des cohortes est un critère décisif pour la survie : pour des températures inférieures à 21.5°C, la survie larvaire devient très basse (< 0,01%) et le captage irrémédiablement faible. Par contre, en cas d'été favorable (> 23°C), les températures élevées garantissent une bonne survie (> 1%) et assurent un captage satisfaisant voire excellent.



Figure 28 : 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)

Enfin, en ce qui concerne la lagune de Thau, les températures de l'eau sont toujours très élevées lors du développement larvaire (> 25°C) et par conséquent les durées de vie larvaire sont les plus courtes des sites Velyger (PLD ~12 j) et les survies toujours favorables (> 1 %). Dans ces conditions, les concentrations moyennes de larves 'grosses' sont souvent modérées à fortes et constituent généralement les meilleurs scores sur le plan national. C'est à nouveau le cas en 2017.

• Larves grosses et recrutement

A l'issue de toutes les étapes rappelées précédemment, il reste dans la colonne d'eau, en concentration variable, des larves au stade « grosses » prêtes à se fixer. A l'exception de la lagune de Thau, le réseau VELYGER montre une relation assez forte entre l'abondance moyenne de ces larves grosses sur l'été et le recrutement estimé à l'automne. Cette relation peut se résumer de façon assez simple de la manière suivante :

- Une abondance moyenne de larves grosses, sur l'ensemble de l'été, inférieure à 20 larves/1,5m³ 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/1,5m³ 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/1,5m³ 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/1,5m³ apporte un captage très abondant, supérieur à 2000 naissains par coupelle, qualifié de « d'exceptionnel ».

Selon les années, les abondances de larves grosses sont variables selon les secteurs, mais il ressort trois comportements distincts.

- Les sites atlantiques les plus au nord (Rade de Brest - pertuis Charentais) présentent des concentrations en larves grosses généralement moins variables et comprises selon les années entre 5

et 200 larves/1.5 m³. Cette caractéristique leur confère généralement des performances de captage généralement significatives mais sans excès.

- Le bassin d'Arcachon, par contre, peut présenter des valeurs beaucoup plus variables comprises entre 1 et 2000 larves/1.5 m³. Cette caractéristique est à l'origine de l'extrême variabilité du captage enregistré ces dernières années (de faible à exceptionnel).
- La lagune de Thau présente toujours des concentrations en larves grosses importantes, comprises entre 100 et 1000 larves/1.5 m³. Le captage devrait donc y être bon systématiquement, mais il reste généralement faible. Sur ce secteur, le verrou biologique du recrutement se situe justement au niveau de la fixation et de la métamorphose. Ce problème très spécifique à la lagune de Thau a été pris en charge dans le cadre du projet PRONAMED II (2013-2014) puis dans le cadre d'une thèse qui sera soutenue fin 2018 (F. Lagarde).

6 Conclusion

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

En termes pratiques, cet observatoire national propose les produits suivants :

- Constitution de séries temporelles biologiques uniques permettant d'analyser l'effet de l'environnement hydro-climatique sur la biologie d'une espèce modèle en milieu marin (notion d'invertébrés marins « sentinelles ») ;
- Acquisition de données de référence sur l'état physiologique de l'huître creuse et l'état de santé global des populations dans des écosystèmes conchylicoles contrastés ;
- Aide à la décision dans le cadre d'anomalies biologiques, de calamités agricoles, d'études d'impacts, d'utilisation du DPM ;
- Développement et validation de nouveaux marqueurs biologiques d'intérêt qui pourraient être mis en œuvre en routine dans l'observatoire ;
- Socle national opérationnel et réactif de suivis standardisés sur lequel des études ponctuelles peuvent rapidement facilement être mis en oeuvre.

Pour l'année 2017, il ressort les faits marquants suivants. Sur le plan des facteurs environnementaux, l'année 2017 se caractérise, après un mois de janvier plutôt froid et sec, par un hiver relativement doux à partir de février, un printemps dans les normales et un été là aussi très proches des normales **à l'exception d'un mois de juin particulièrement chaud** sur l'ensemble des secteurs. Au plan biologique, ces conditions hydro-climatiques générales ont eu comme principales répercussions : (1) une croissance printanière et une maturation dans les normales avec toujours l'existence d'un gradient nord-sud observé chaque année, corrélativement à la concentration en phytoplancton, (2) une ponte principale très précoce compte tenu des très fortes anomalies thermiques positives en début d'été, (3) un développement larvaire un peu contraint par un été juste dans les normales sur le plan thermique. En conséquence, l'année 2017, se caractérise par **un captage globalement « modéré »** dans tous les secteurs s'échelonnant autour de 10 naissains/coupelle (baie de Bourgneuf) à plus 400 naissains/coupelle en Charente, ces valeurs sont néanmoins plus élevées que l'an dernier. Bien sûr, des exceptions à ce schéma général existent et leur analyse est détaillée tout au long du rapport. Elles sont rappelées brièvement ici :

- Pour la rade de Brest (mais aussi la baie de Vilaine), le facteur limitant du recrutement réside principalement dans la température estivale, une température des masses d'eau supérieure à 21°C en août y assure un recrutement fort.
- Pour la baie de Bourgneuf, ce constat est aussi valable, mais ce site présente en outre des temps de résidence des masses d'eau assez courts, ce qui augmente encore les risques de dispersion larvaire et de faible recrutement en cas de conditions hydroclimatiques défavorables.
- A l'inverse, les pertuis charentais, et surtout le secteur Charente, bénéficie d'une circulation hydrodynamique favorable à la rétention des larves et le recrutement y est généralement modéré voire excellent quand les autres conditions hydro-climatiques sont bonnes. Les bancs sauvages situés en amont, plus au nord, sont donc à préserver.
- Pour le bassin d'Arcachon, la fécondité plus restreinte, le décalage progressif de la date de ponte, une évolution dans la localisation des bancs de géniteurs, des pressions anthropiques accrues font partie des causes avancées à l'origine de la diminution des abondances larvaires et donc d'une

augmentation de la variabilité du recrutement. Dans cette configuration actuelle, seuls les étés chauds garantissent un bon recrutement.

- Pour la lagune de Thau, bien que la fécondité soit faible (en lien avec une faible concentration en phytoplancton), les températures estivales et les temps de résidence des masses d'eau très élevés garantissent de très fortes abondances larvaires. Le succès du recrutement reste lié, dans cet écosystème sans marée, à l'optimisation des pratiques zootechniques nécessairement spécifiques.

7 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., 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/>
- 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>
- 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-
- Beck, M. W., Brumbaugh, D. R., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L. D., Crawford, C., Zhang, G. (2009)**. Shellfish reefs at risk: a global analysis of problems and solutions. The Nature Conservancy, Arlington VA.
- 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., Allain G., Auby I., Plus M., Drean T., Gasmi S., David V., Pouvreau S., Maurer D. (2014)** Etude de la fécondité de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon en 2013 en lien avec la qualité de l'eau. Compte-rendu final du programme FeLiBA. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29002/>
- Bernard I., 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., Massabuau J.-C., Ciret P., Sow M., Sottolichio Aldo, Pouvreau S., Tran D. (2016)** In situ spawning in a marine broadcast spawner, the Pacific oyster *Crassostrea gigas* : Timing and environmental triggers. Limnology and Oceanography, 61, 635-647.
- Cassou, C. (2004)**. Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation nord-atlantique. La Météorologie, 45, 21-32.
- Chen IT, Aoki T, Huang YT, Hirono I, Chen TC, Huang JY, Chang GD, Lo CF, Wang HC (2011)**. White Spot Syndrome Virus Induces Metabolic Changes Resembling the Warburg Effect in Shrimp Hemocytes in the Early Stage of Infection. J. Virol. 85, 12919-12928. doi:10.1128/JVI.05385-11
- Corporeau C, Tamayo D, Pernet F, Quéré C, Madec S (2014)**. Proteomic signatures of the oyster metabolic response to herpesvirus OsHV-1 μ Var infection. J Proteomics. Sep 23;109:176-87.
- Daniel A. (2009)** Document de méthode hydrologie : Consignes pour le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de mesures hydrologiques. Rapport DYNECO/PELAGOS/09.01, 19 p

- David V., Maurer D., Neaud-Masson N., Aubry I., Gasmi S., Salvo F., Bernard I., Cassou C., Savoye N., Del Amo Y., Bachelet G., Lesur-Irichabeau G., Péreau J.-C., Pouvreau S. (2017).** Oysters facing climate change: reproduction anomalies caused by food quality alteration. *Submitted to Global Change Biology*
- Dickson, A.G., Sabine, C.L. and Christian, J.R. (2007)** Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication 3, 191 pp.
- Galluzzi, L., Brenner, C., Morselli, E., Touat, Z., Kroemer, G., 2008.** Viral control of mitochondrial apoptosis. *PLoS Pathog* 4, e1000018.
- 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 végétaux de *Crassostrea Gigas* (Thunberg) dans le bassin d'Arcachon. PhD Thesis, Université Bordeaux I. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3347/>
<http://dx.doi.org/10.1002/Ino.10240>
- Kuhihara H., Kato S., Ishimatsu A. (2007)** Effects of increased seawater pCO₂ on early development of the oyster *Crassostrea gigas*. *Aquat. Biol.* 1: 91-98. <http://dx.doi.org/10.3354/ab00009>
- Lagarde F., Roque D'Orbcastel E., Perignon A., Mortreux S., Fuhrmann M., Le Gall P., Leurion A., Chiantella C., Bec B., Roques C., Bonnet D., Cochet H., Boj M., Gervasoni E., Miron G., Fiandrino A., Pouvreau S., Pernet F. (2013)** Larval recruitment of *Crassostrea gigas* in a french Mediterranean lagoon. 40th CIESM Congress, 28 October - 1 November 2013, Marseille. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00165/27653/>
- Lagarde F., Roque d'orbcastel E., Ubertini M., Mortreux S., Bernard I., Fiandrino A., Chiantella C., Bec B., Roques C., Bonnet D., Miron G., Richard M., Pouvreau S., Lett C. (2017).** Recruitment of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in a shellfish-exploited Mediterranean lagoon: discovery, driving factors and a favorable environmental window. *Marine Ecology Progress Series*, 578, 1-17. Publisher's official version : <http://doi.org/10.3354/meps12265>, Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00398/50899/>
- Lemasters JJ and Holmuhamedov E (2006).** Voltage-dependent anion channel (VDAC) as mitochondrial governor—Thinking outside the box. *Biochim. Biophys. Acta BBA - Mol. Basis Dis.* 1762, 181–190. doi:10.1016/j.bbadis.2005.10.006
- Lepennec, M. (1978)** Genèse de la coquille larvaire et postlarvaire chez divers Bivalves Marins. Th. Univ. Bretagne Occidentale, Tome II, 130 p.

Lü, A.-J., Dong, C.-W., Du, C.-S., Zhang, Q.-Y., 2007. Characterization and expression analysis of *Paralichthys olivaceus* voltage-dependent anion channel (VDAC) gene in response to virus infection. *Fish Shellfish Immunol.* 23, 601–613. doi:10.1016/j.fsi.2007.01.007

Lupo C., Canier C., Fleury E., François C., Normand J., Osta Amigo A., Robert S. (2017) Bilan 2016 du dispositif national de surveillance de la santé des mollusques marins. Convention DGAL/IFREMER 16/1212709

Martz, T., K. McLaughlin, S.B. Weisberg (2015) Best Practices for autonomous measurement of seawater pH with the Honeywell Durafet pH sensor. California Current Acidification Network (C-CAN).

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.

Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/4747/>

Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00009/11996/>

Pernet F, Barret J, Le Gall P, Corporeau C, Degremont L, Lagarde F, Pepin JF, Keck N (2012). Mass mortalities of Pacific oysters *Crassostrea gigas* reflect infectious diseases and vary with farming practices in the Mediterranean Thau lagoon, France. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3), 215-237.

Pernet F, Lagarde F, Jeannée N, Daigle G, Barret J, Le Gall P, Quere C, D'orbcastel ER (2014) Spatial and temporal dynamics of mass mortalities in oysters is influenced by energetic reserves and food quality. *PLoS One*, 9(2):e88469.

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., Maurer D., Auby I., Lagarde F., Le Gall P., Cochet H., Bouquet AL, Geay A., Mille D. (2016). VELYGGER Database: The Oyster Larvae Monitoring French Project. SEANOE. <http://doi.org/10.17882/41888>

Pouvreau S., Petton S., Queau I., Haurie A., Le Souchu P., Alunno-Bruscia M., Palvadeau H., Auby I., Maurer D., D'Amico F., Passoni S., Barbier C., Tournaire MP., Rigouin L., Rumebe M., Fleury E., Fouillaron P., Bouget JF., Robert S., Pepin JF., Grizon J., Seugnet JL., Chabirand JM., Le Moine O., Guesdon S., Lagarde F., Mortreux S., Le Gall P., Messiaen G., Roque D'Orbcastel E., Quemener L., Repecaud M., Mille D., Geay A., Bouquet AL. (2015).

Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger. Rapport annuel 2014. <http://dx.doi.org/10.13155/38990>
Publisher's official version : <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.018>
Publisher's official version : <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.054>

Puyraimond-Zemmour D and Vignot S. (2013). Le métabolisme de la cellule tumorale : l'effet Warburg. *Oncologie* 15, 435–440. doi:10.1007/s10269-013-2318-2

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.

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.

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