

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

Département 'Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes' - ODE
 Unité 'Laboratoires Environnement Ressources' - LER
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Arcachon' - LER AR
 I. Auby, D. Maurer, C. Barbier, M.P. Tournaire, F. D'Amico, M. Rumèbe
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Morbihan Pays de Loire' - LER MPL
 E. Fleury, A. Langlade, JF. Bouget, K. Collin, M. Fortune, B. Hitier, E. Bédier
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Poitou-Charentes' - LER PC
 S. Robert, P. Guilpain, J. Grizon, JL. Seugnet, S. Guesdon
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Languedoc-Roussillon' - LER LR
 F. Lagarde, P. Le Gall, S. Mortreux, G. Messaien, E. Roque d'Orbcastel
 Unité 'Dynamique des écosystèmes côtiers' - DYNECO
 Laboratoire 'Ecologie Pélagique' - PELAGOS et ACRI-ST
 F. Gohin, P. Bryère

Département 'Ressources physiques et Ecosystèmes de fond de Mer' - REM
 Unité 'Recherches et Développements Technologiques' - RDT
 Service 'Développements de Systèmes Mécaniques Instrumentaux' - DSMI
 L. Quemener, M. Repecaud
 Service 'Electronique Informatique et Mesures in situ' - EIM
 K. Bucas, S. Barbot, A. Guillemot

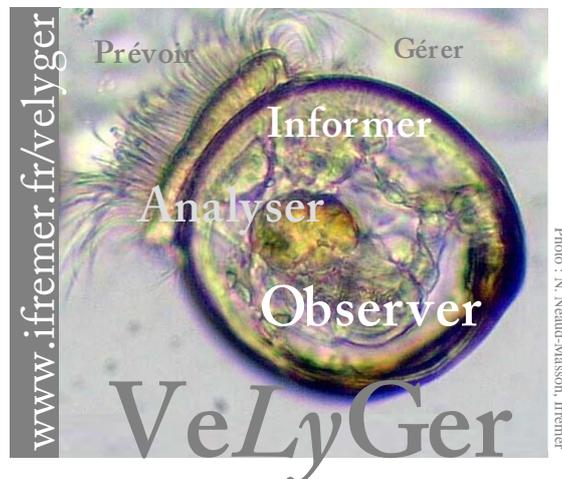
Département 'Infrastructures Marines et Numériques' - IMN
 Unité 'Informatique et Données Marines' - IDM
 Service 'Systèmes d'Information Scientifiques pour la Mer' - SISMER et ALTRAN
 L. Nonnotte, W. Duros, A. Bonnat, S. Tarot

Centre Régional Expérimentation et Application Aquacole - CREA
 D. Mille, A. Geay, AL. Bouquet.

Réf : R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2013-1

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

Le Réseau Velyger



- Rapport annuel 2012 -

Coordination - Rédaction : Stéphane Pouvreau

Mars 2013

Convention DPMA N°11/1219611/NYF du 12/12/2011

Préambule

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



MINISTÈRE
DE L'ALIMENTATION
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

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

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



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

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

En savoir plus :

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

Le projet Velyger fait partie intégrante de l'Observatoire National de la Conchyliculture créé en 2009 par l'Ifremer, dont l'objectif principal est de caractériser, chaque année et au plan national, l'évolution et la dynamique spatio-temporelle des performances de survie, de croissance et de reproduction de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Ainsi, les 5 sites Velyger font partie des 13 sites-ateliers de l'observatoire national conchylicole. Le réseau Velyger vient donc compléter au niveau de la reproduction et du recrutement dans les principaux bassins de captage, les descripteurs recueillis dans le cadre de l'observatoire.

En savoir plus :

http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole

Résumé

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

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

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

Ce rapport présente donc les résultats 2012 de ce réseau d'observation et fait appel, pour la partie hydro-climatique, à des observations acquises par d'autres réseaux. Il détaille toutes les caractéristiques par secteur du cycle de reproduction de l'huître creuse : maturation des adultes, période de ponte, abondance et survie des larves, intensité du captage et mortalités précoces. Il fournit ensuite une interprétation et une synthèse des résultats 2012 par secteur et à la lueur des résultats des années antérieures.

Ainsi, pour l'année 2012, on retiendra les faits majeurs suivants :

- Après une année 2011 particulièrement sèche, l'année 2012 s'avère plutôt humide à partir du printemps avec un gradient Nord-Sud marqué. Ce gradient se retrouve dans les concentrations phytoplanctoniques : elles sont élevées en Rade de Brest et Baie de Bourgneuf, normales à faibles du Bassin de Marennes Oléron à l'Étang de Thau. En outre, jusqu'au mois de juillet, les températures de l'air et de l'eau sont tout justes dans les normes voire déficitaires pour les sites les plus au nord.
- Ces conditions hydro-climatiques ont imprimé un gradient dans la maturation et la fécondité des huîtres adultes avec un indice de condition très élevé en Rade de Brest, élevé en Baie de Bourgneuf, normal à faible du Bassin de Marennes Oléron à l'Étang de Thau. En outre, le manque de chaleur jusqu'en juillet s'est traduit par une ponte plutôt tardive sur l'ensemble des écosystèmes de la côte atlantique, à l'exception de la ponte en Baie de Bourgneuf qui a été très précoce compte tenu des conditions. A *contrario*, le Bassin d'Arcachon enregistre la ponte la plus tardive jamais observée sur ce secteur (au-delà du 15 août). A ce titre, le mécanisme du déclenchement de la ponte mériterait une attention particulière dans les années à venir.
- Cela dit, grâce à un mois d'août favorable sur le plan thermique, les cohortes larvaires présentes à cette période ont eu une survie normale à bonne (e.g. 0.3 à 0.8 %), ce qui s'est traduit par un captage modéré à bon sur l'ensemble des secteurs de la façade atlantique. Il convient cependant de noter que la ponte trop précoce en Baie de Bourgneuf, qui s'est déroulée dans des eaux fraîches, n'a pas permis une bonne évolution de la cohorte larvaire (survie de 0.03 %) et le captage reste, sur ce secteur, faible à modéré en 2012.
- En conséquence, l'année 2012, très différente de l'année 2011, se caractérise par un captage qualifié de « bon » dans le Bassin d'Arcachon (~230 naissains/coupe), modéré dans le Bassin de Marennes-Oléron (~ 180 naissains/coupe) et en Rade de Brest (~ 100 naissains/coupe), modéré à faible en Baie de Bourgneuf (15 naissains/coupe) et faible à nul dans l'étang de Thau (~ 5 naissains/coupe).

Ce rapport montre aussi que l'étang de Thau joue un rôle d'exception. Malgré une ponte d'intensité normale, des abondances de larves élevées et une bonne survie des cohortes, le captage 2012 y est très faible ce qui positionne l'étang de Thau en dehors du modèle de fonctionnement admis pour le cycle de reproduction de l'huître creuse sur la façade atlantique. Il semble que, sur ce site, la métamorphose constitue un verrou biologique qu'il convient d'étudier.

Sommaire

1	Introduction générale	5
2	Organisation du réseau Velyger	7
2.1	Matériel, Méthode, Mise en Œuvre	7
2.1.1	Sites étudiés	7
2.1.2	Paramètres suivis	7
2.2	Gestion et Analyse des données	13
3	Principaux résultats de l'année 2012	14
3.1	Conditions climatiques générales	14
3.1.1	Température de l'air	14
3.1.2	Pluviométrie	16
3.2	Données hydrologiques	18
3.2.1	Température de l'eau de mer	18
3.2.2	Salinité	19
3.2.3	Phytoplancton	21
3.2.4	Composition spécifique du phytoplancton	23
3.2.5	pH et acidification de l'océan	25
3.3	Maturation, indice de condition et fécondité	27
3.3.1	Comparaison spatio-temporelle	27
3.3.2	Indice de condition et abondance de larves	30
3.3.3	Facteurs d'explications : le phytoplancton	30
3.4	Date de ponte	32
3.4.1	Valeurs 2012	32
3.4.2	Séries historiques	33
3.5	Abondance, développement et survie des larves	34
3.5.1	Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire	34
3.5.2	Durée du développement larvaire	37
3.5.3	Survie larvaire	38
3.5.4	Larves grosses et intensité du captage	39
3.6	Estimation précoce du recrutement	40
4	Synthèse	44
4.1	Schéma général	44
4.2	Bilan par secteur	46
4.2.1	Rade de Brest - secteurs Daoulas et Faou	46
4.2.2	Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie et Coupelasse	47
4.2.3	Bassin de Marennes Oléron – secteurs Charente et Centre	48
4.2.4	Bassin de Marennes Oléron – secteur Seudre	49
4.2.5	Bassin d'Arcachon - secteurs Est et Ouest	50
5	Conclusion et recommandations	51
6	Références bibliographiques	54

1 Introduction générale

Depuis 2008, la filière ostréicole française est fortement affaiblie par des épisodes de mortalités affectant l'huître creuse, *Crassostrea gigas*. Ces phénomènes particulièrement intenses affectent principalement le naissain avec des taux de mortalités supérieurs à 70% sur la première année et posent le problème récurrent de l'approvisionnement en juvéniles pour cette filière.

Le naissain utilisé en France provient soit d'écloseries soit du captage naturel. Désormais quatre sites ostréicoles en France pratiquent le captage naturel de l'huître creuse. Il s'agit, tout d'abord, des Bassins de Marennes Oléron (e.g. Geay et Bouquet, 2009) et d'Arcachon (e.g. Maurer *et al.*, 2009a ; Auby *et al.*, 2012) qui, depuis l'origine de l'ostréiculture, maintiennent cette activité traditionnelle. Il faut y ajouter désormais la Baie de Bourgneuf et la Rade de Brest, sites pour lesquels le captage commence à devenir une activité régulière pour plus d'une trentaine d'ostréiculteurs (Pouvreau *et al.*, 2011). Enfin, la volonté de développer le captage dans l'Etang de Thau se concrétise depuis 3 ans par la mise en place d'un projet régional PRONAMED (Rayssac *et al.*, 2011) soutenu par le réseau national VELYGER.

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

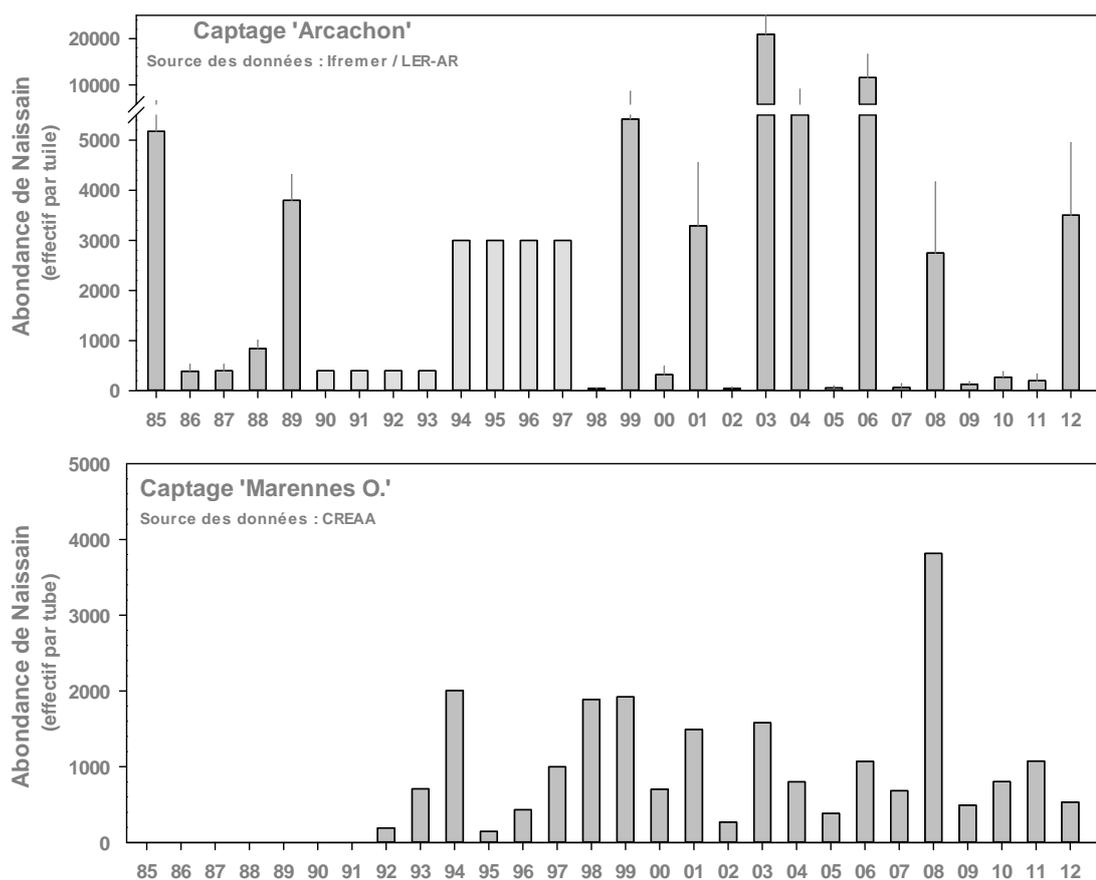


Figure 1 : Série historique de recrutement sur collecteur (captage) dans les Bassins d'Arcachon et de Marennes Oléron depuis les années 1985. Pour Arcachon, les données sont obtenues annuellement sur la base d'un échantillonnage à l'échelle du bassin par la station Ifremer d'Arcachon (de 1990 à 1997,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

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

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

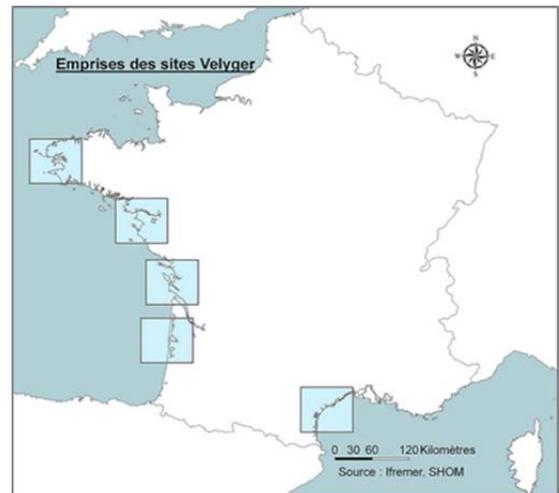
Ce projet a permis la création d'un véritable réseau national d'observation de la reproduction de l'huître creuse, de nature fédérative et composite, piloté par le Laboratoire de Physiologie des Invertébrés (basé à Brest et Argenton), associant les Laboratoires Environnement Ressources de l'Ifremer (Arcachon, Poitou-Charentes et Morbihan Pays de Loire), le Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole du Château d'Oléron (CREAA), faisant appel à 3 bureaux d'études sur la façade atlantique (Cochet Environnement, Armeria, AEL plancton) et utilisant des données provenant de réseaux tiers (les réseaux Ifremer de suivi du phytoplancton, REPHY et d'observation conchylicole, RESCO, ainsi que le réseau des Stations Météorologiques de METEO-FRANCE).

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

En termes opérationnels, adossé à un portail Internet temps réel, le réseau 'Velyger' repose sur le suivi d'une série de descripteurs adaptés sur 5 écosystèmes en 2011 (Arcachon, Marennes Oléron, Baie de Bourgneuf, Rade de Brest et Etang de Thau, Figure 2) :

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

Figure 2 : Sites suivis dans le réseau Velyger ►



Les données issues de ce réseau intéressent : (1) la profession ostréicole, en leur permettant d'optimiser les stratégies de pose de collecteurs par une meilleure appréhension de la variabilité environnementale entre les sites et entre les années, (2) les scientifiques, par la constitution de séries biologiques uniques permettant d'analyser l'effet de l'environnement hydro-climatiques sur la biologie d'une espèce modèle en milieu marin côtier, et (3) l'Etat et les services territoriaux pour la gestion, l'encadrement et le soutien à de cette filière économique traditionnelle. Ce rapport présente donc, de la façon la plus synthétique et standardisée possible, les résultats de ce réseau obtenus pour l'année 2012, fournit une synthèse élaborée à la lueur des résultats antérieurs et apporte une série de recommandation pour chaque secteur d'étude.

2 Organisation du réseau Velyger

2.1 Matériel, Méthode, Mise en Œuvre

2.1.1 Sites étudiés

Le réseau 'Velyger' est un dispositif d'observation de la reproduction intégré à l'Observatoire National de la Conchyliculture¹, mis en place sur plusieurs sites ateliers de la côte française, assez espacés sur un plan latitudinal (Figure 2), afin de couvrir une large gamme de conditions hydro-climatiques.

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

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

2.1.2 Paramètres suivis

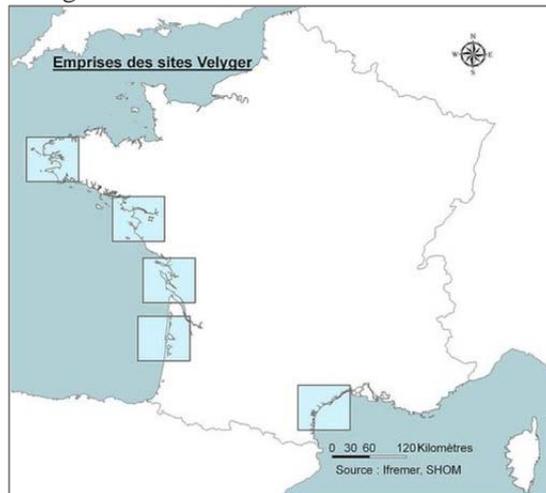
Pour chaque site Velyger, la description du cycle de reproduction de l'huître creuse se fait sur la base de 3 descripteurs biologiques associés à l'analyse des conditions environnementales (Tableau 1).

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

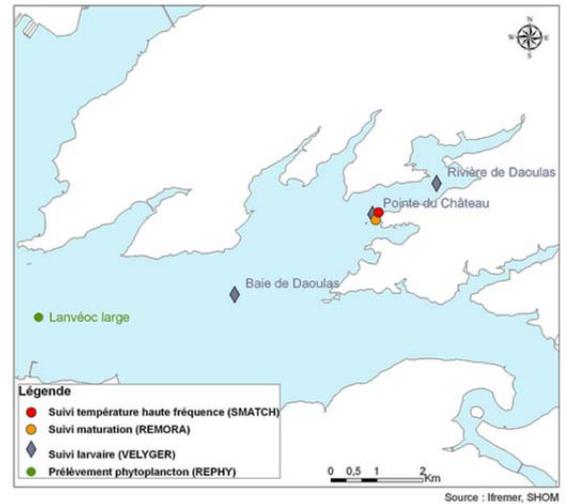
Paramètres suivis	Description	Période et Fréquence d'échantillonnage	Méthode
<u>Descripteur A</u>	<i>Suivi annuel de la croissance et de la maturation d'un lot d'huîtres sentinelles</i>	Mensuel à bi-mensuel en été	Prélèvement aléatoire puis dissection & biométrie en laboratoire (protocole Remora)
<u>Descripteur B</u>	<i>Suivi estival de l'abondance et du développement larvaires</i>	hebdomadaire à bi-hebdomadaire de Juin à Septembre	Pompage 1.5 m 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

¹ http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole

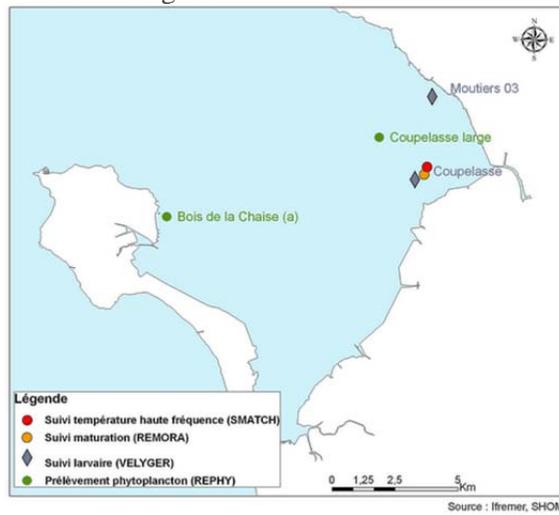
Vue générale des 5 sites



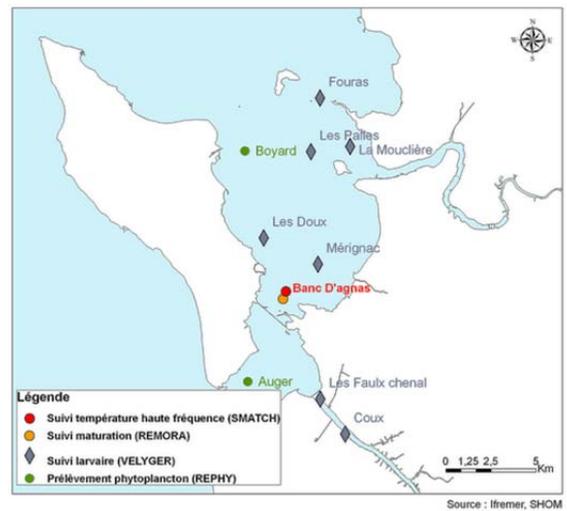
Rade de Brest



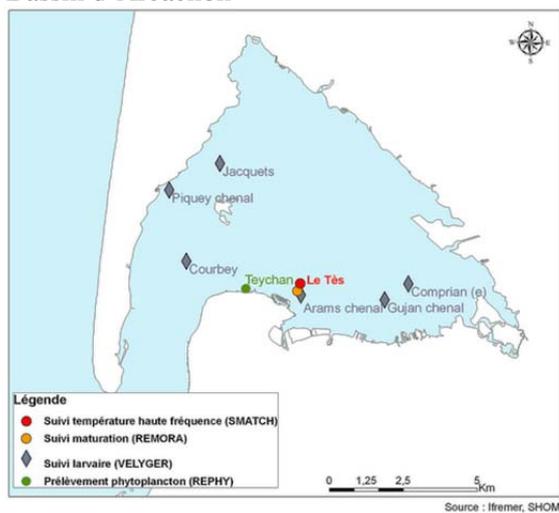
Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon



Etang de Thau

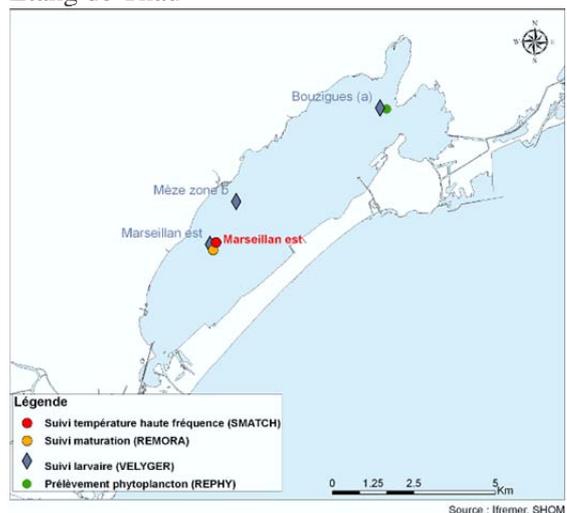


Figure 3 : Présentation des 5 sites du réseau d'observation de la reproduction de l'huître creuse (réseau Velyger). Ces 5 sites font partie, avec le Réseau RESCO, des 13 sites de l'observatoire national conchylicole piloté par l'Ifremer.

2.1.2.1 Reproduction des adultes

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

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

Pour la Rade de Brest, il s'agit du site de 'La pointe du Château', pour la Baie de Bourgneuf, il s'agit du site de 'la Coupelasse', pour le Bassin de Marennes Oléron, il s'agit du site de 'D'Agnas', pour le Bassin d'Arcachon, il s'agit du site de 'Tés' et enfin pour l'Etang de Thau, il s'agit du site de 'Marseillan'. Ces points sont signalés en orange sur la Figure 3. Ces 5 sites font partie des 13 sites de l'Observatoire National des Performances Conchylicoles.

Chaque année et pour chaque site atelier, le protocole de mise en place du lot 'sentinelle' est identique et suit la méthodologie mise en œuvre par le réseau Resco (anciennement Remora) : (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 (triplicats) ; (4) ces huîtres ont toujours la même origine (naissain de captage d'origine Fouras, pré-grossis en Bretagne Nord).

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

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

2.1.2.2 Abondance et survie larvaire

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

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

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

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

Figure 4 : Système de pompage et de filtration permettant la récolte des échantillons de plancton contenant les larves d'huîtres. La moto-pompe permet de filtrer 1,5 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 5). 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 et Armeria) ou à l'eau distillée, voire du robinet (Creaa et LER Arcachon). Dans tous les cas, le volume total de l'échantillon (v) est mesuré.
- Cet échantillon est ensuite homogénéisé directement dans l'éprouvette à l'aide d'un agitateur muni d'un disque perforé à son extrémité. Deux aliquotes (1 et 2) de 0,5 mL sont prélevés à la micropipette et transférés sur deux cellules de numération quadrillées (Sedgewick rafter cell - Ref 02C00415). Les larves de *C. gigas* y sont identifiées, comptées et classées dans les différents stades présentés sur la planche ci-joint (LARVST1 à 5, Figure 5).
- Compte tenu des risques de confusion avec d'autres espèces, les larves dont la hauteur est inférieure à 70 µm ne sont pas prises en compte pour l'instant.
- Ainsi, pour une fraction donnée, le nombre N de larves d'un stade donné pour un volume de 1,5 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 Quadrige sous 24 h, permettant la mise à disposition de l'information sur le site Internet de Velyger dans les 48 h suivant la sortie en mer.

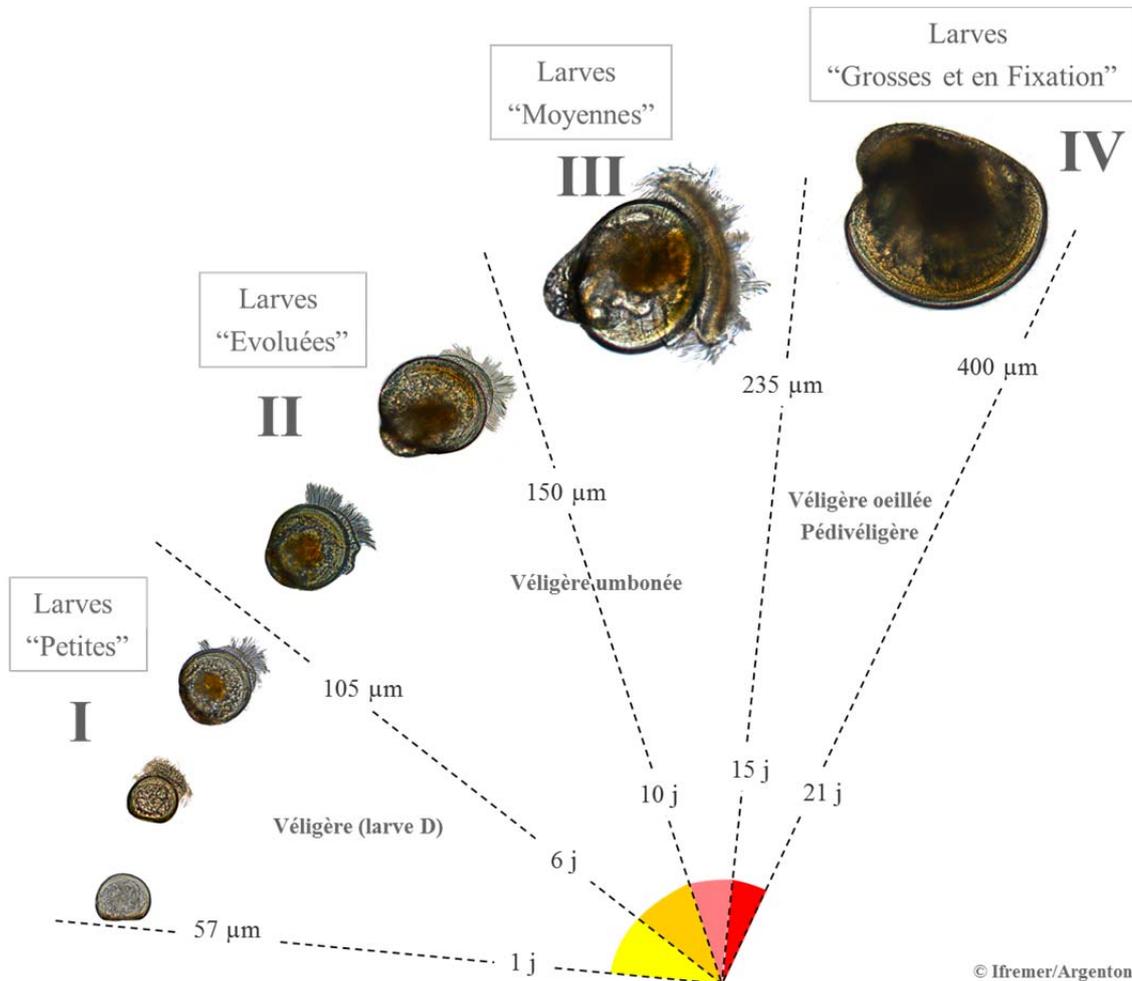


Figure 5 : Planche de détermination des stades larvaires chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Pennec (1978) et His (1991). Certains laboratoires (e.g. Ifremer Arcachon) distinguent un stade V pour les larves grosses 'en fixation'. Pour les autres sites, ce stade n'est pas identifié et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

2.1.2.3 Estimation automnale du captage

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

Ce descripteur vise à être représentatif de chaque secteur d'un même site atelier Velyger. Pour cela, l'abondance est évaluée, de façon stratifiée, sur les différentes zones du bassin à partir d'un comptage de coupelles prélevées de la façon la plus représentative possible 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 professionnels². La mesure se fait directement à proximité des poches contenant les huîtres 'sentinelles'. Ces points sont en rouge sur la Figure 3).
- Température et salinité, en été, par prélèvement discret lors des sorties en mer au cours des pêches de larves (2 fois par semaine en période estivale). La mesure se fait à pleine mer (+/- 2 heures) à 1 m sous la surface, au moment des pêches de larves.
- Biomasse en phytoplancton *via* le proxy chlorophylle *a* si possible selon une fréquence journalière et à proximité des populations d'huîtres adultes. Pour les sites Coupelasse en Baie de Bourgneuf et d'Agnas dans le Bassin de Marennes Oléron, la concentration en chlo *a* a été estimée selon un pas de temps journalier à partir des données satellites (Gohin, 2011) recueillies à proximité du point d'étude. En Rade de Brest (site pointe du château), la concentration en chlorophylle *a* a été mesurée en haute fréquence *via* l'utilisation d'une sonde multiparamètre (© OTT, Hydrolab). Pour les sites de Tès dans le Bassin d'Arcachon et Marseillan dans l'Etang de Thau, la chlorophylle *a* a été mesurée par prélèvement d'eau tous les jours dans le cadre du Réseau Rephy. Les méthodes de prélèvement et d'analyse sont détaillées dans Grossel (2006) et Daniel (2009).
- 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) sur les sites nationaux de 'Flore totale' du réseau Rephy ou sur des sites ajoutés pour les réseaux Resco et Velyger (*e.g.* l'analyse des points suivis à la pointe du Château en Rade de Brest et sur le banc d'Agnas dans le Bassin de Marennes Oléron sont assurés par le bureau d'étude AEL plancton, ceux suivis sur le site de la Coupelasse en Baie de Bourgneuf par C. Arnaud de l'UMR Liens³). Les méthodes de prélèvement et d'analyse sont détaillées dans Grossel (2006) et Daniel (2009).
- Conditions climatiques fournies par Météo-France⁴, 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 <http://www.ifremer.fr/co-en/>

³ <http://liens.univ-larochelle.fr/Littoral-ENvironnement-et-Societes.html>

⁴ <http://france.meteofrance.com/>

2.2 Gestion et Analyse des données

Les données issues de tous ces suivis sont archivées dans la base nationale publique Quadrigé2⁵ au sein des programmes VELYGER et RESCO. Cette action s'accompagne d'une standardisation des procédures et favorise une homogénéité progressive des méthodes entre les sites. Elle permet en outre une extraction aisée des données et facilite ensuite leur exploitation.

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

Une fois extraites de la base Quadrigé2, les données sont exportées et analysées dans Excel (© Microsoft) et SigmaPlot (© Systat software, Inc.). Les procédures statistiques utilisées dans ce rapport restent relativement simples afin de permettre une analyse la moins technique possible et une lecture aisée des graphes et des interprétations associées.

Il est ainsi fait appel à :

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

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

- la valeur minimale et la valeur maximale de la série, définissant les extrémités des « moustaches » en deçà d'une limite égale au troisième (respectivement premier) quartile plus (respectivement moins) 1,5 fois la distance interquartile (différence entre le 3ème et le 1er quartile).

- l'intervalle interquartile, définissant les limites de la boîte contenant 50% des valeurs de la série comprises entre le premier Q1 et le troisième quartile Q3 ;

- la médiane, définie comme la valeur qui partage la série de données en deux groupes de taille égale ;

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

⁵ <http://www.ifremer.fr/envlit/resultats/quadrigé>

3 Principaux résultats de l'année 2012

3.1 Conditions climatiques générales

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

3.1.1 Température de l'air

La Figure 6 présente, de façon synthétique, l'évolution de la température de l'air en 2012 (moyenne journalière relevée par Météo-France à proximité des points de suivis du Réseau Velyger) et son degré d'anomalie par comparaison à la normale (calculée sur les 50 dernières années, *i.e.* de 1960 à 2010).

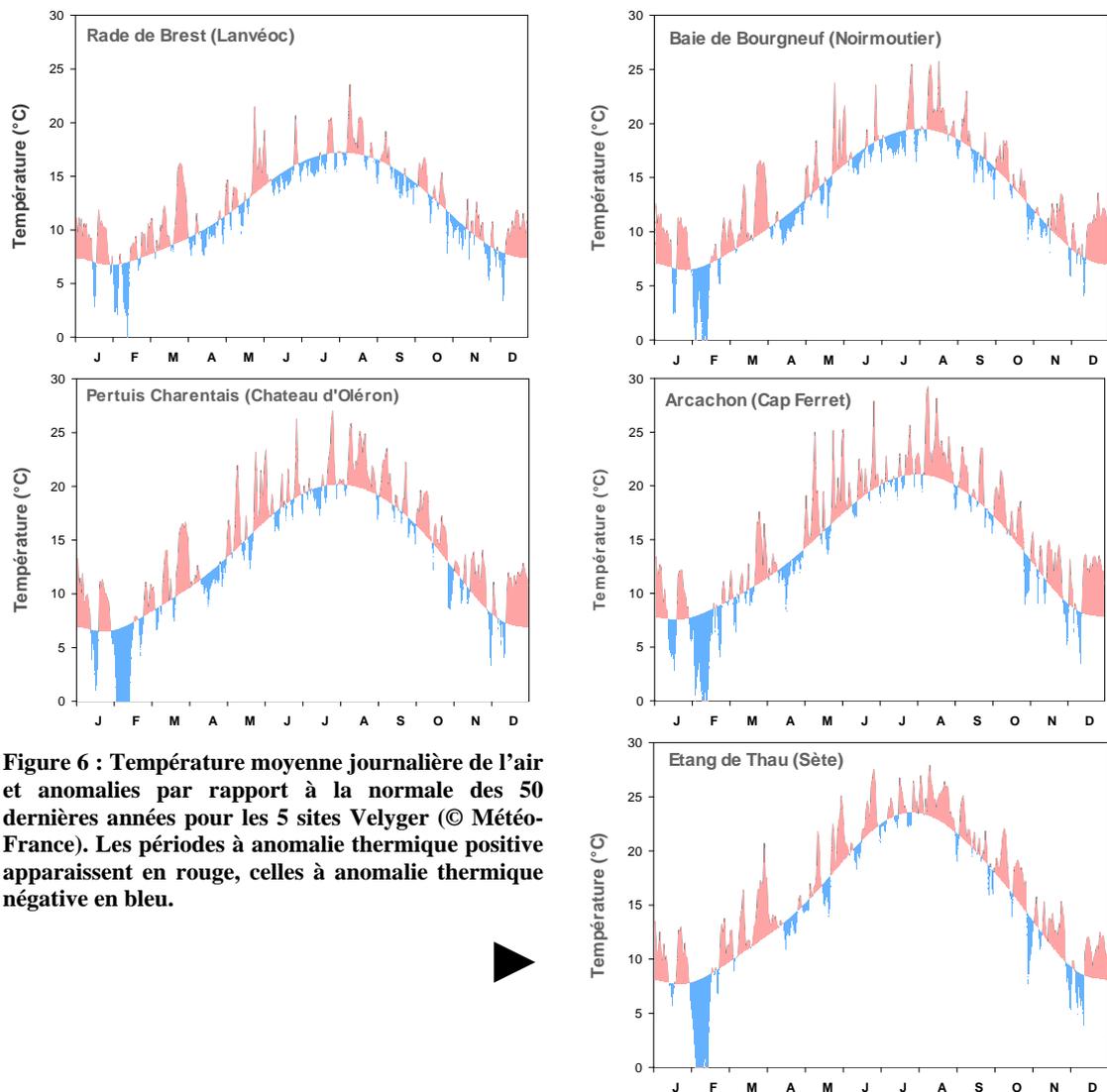


Figure 6 : Température moyenne journalière de l'air et anomalies par rapport à la normale des 50 dernières années pour les 5 sites Velyger (© Météo-France). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.



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

- En hiver, les mois de janvier et mars ont été plutôt doux alors que le mois de février a été particulièrement froid ;

- Au printemps, les mois d'avril et mai ont été plutôt frais (sites nord) ou juste dans les normales (sites sud). Seul le début du mois de juin présente des anomalies franchement positives sur l'ensemble des sites.
- En été, le mois de juillet présente des valeurs déficitaires (notamment sur les sites nord) ou juste dans les normales. Seul le mois d'août présente des valeurs supérieures aux normales avec plus de 5°C d'anomalie positive sur les sites sud.
- En automne, les températures sont plutôt supérieures aux normales, à l'exception des sites nord (Rade de Brest et dans une moindre mesure Baie de Bourgneuf). Il convient de noter un mois de décembre caractérisé par un longue période d'anomalie positive.

En complément, la Figure 7 présente l'évolution, depuis 1960, de l'anomalie annuelle de la température de l'air sur chacun des sites du réseau Velyger. Cette figure montre que si l'année 2012 s'inscrit toujours dans la tendance au réchauffement enregistrée depuis le début des années 1990, elle présente néanmoins une anomalie positive n'excédant pas 0.5°C sur la plupart des sites. A noter que pour le site de la Rade de Brest, l'année 2012 ne présente quasiment aucune anomalie sur le plan thermique et situe juste dans la normale.

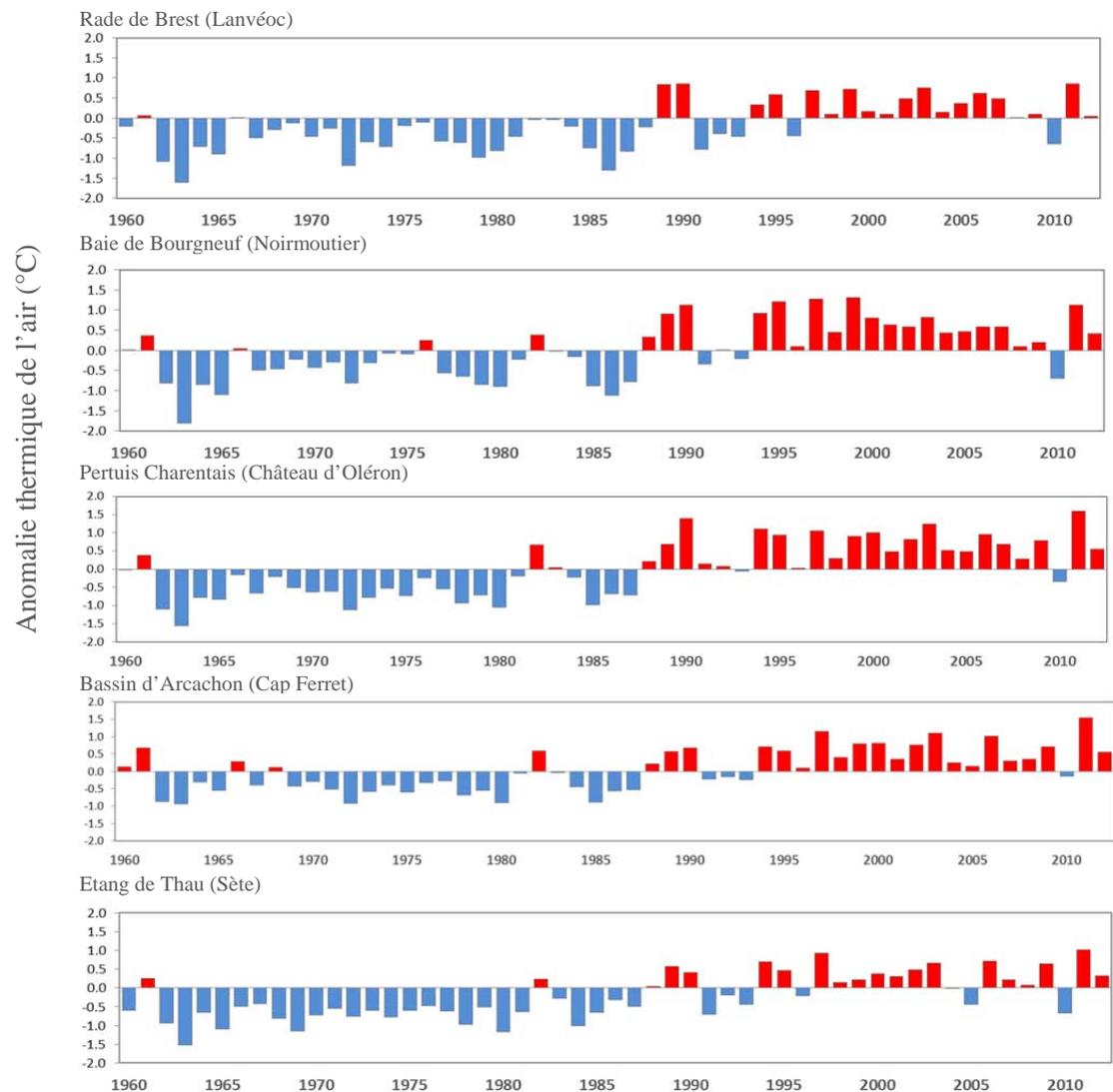


Figure 7 : Anomalies de température de l'air (moyenne annuelle, °C) pour chaque site d'étude (Source des données : Météo-France).

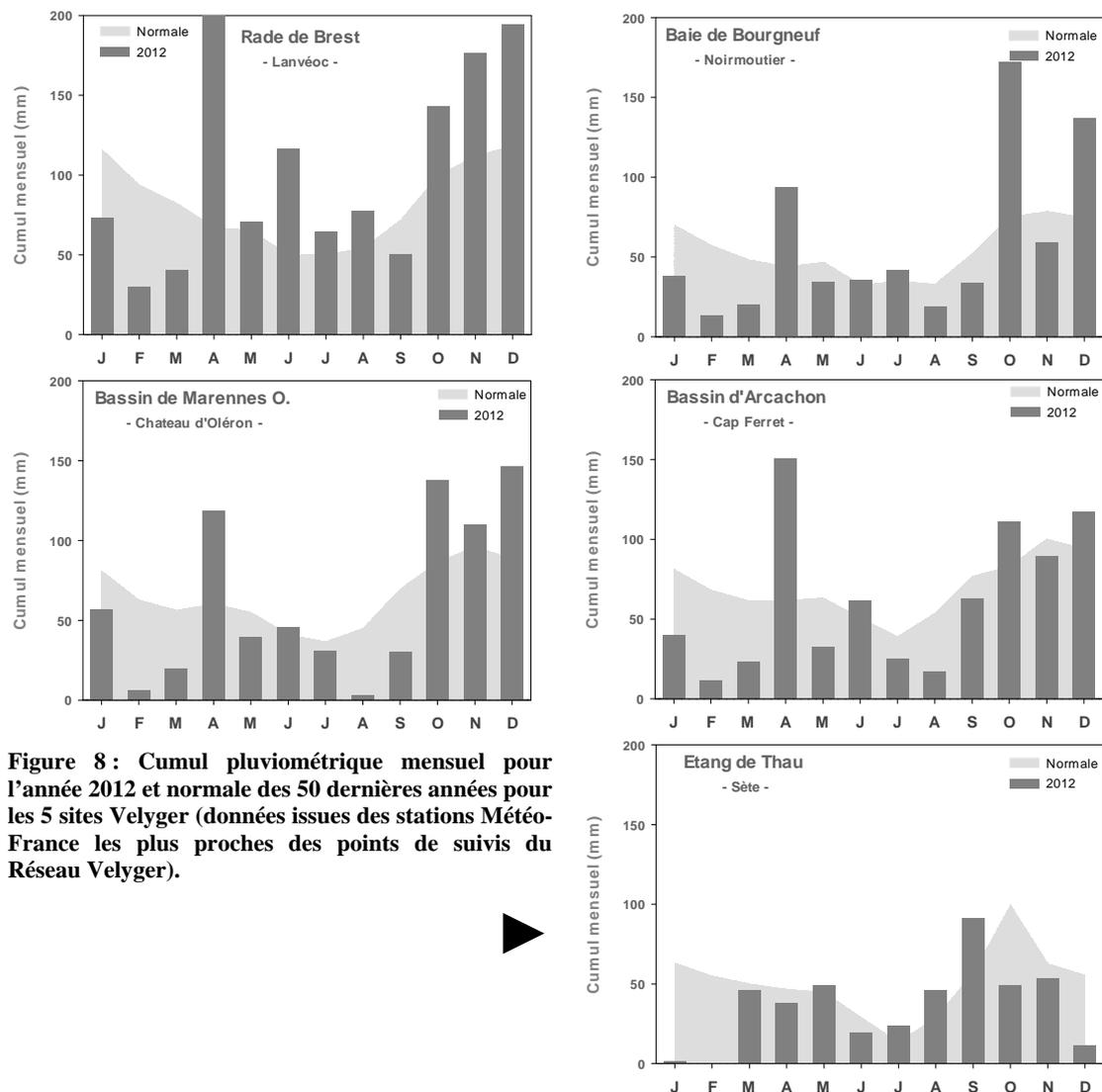
Ainsi, l'année 2012 apparaît comme une année normale à chaude selon les secteurs avec toutefois des anomalies négatives sur une bonne partie du printemps et en début d'été, notamment sur les sites les plus nord.

3.1.2 Pluviométrie

La Figure 8 présente, de façon synthétique, les cumuls mensuels de pluie relevés en 2012 et fournit une comparaison avec les normales (calculées sur les 50 dernières années). L'analyse de cette figure révèle, d'une façon plus ou moins marquée selon les sites, les points suivants :

- L'hiver se caractérise par un déficit hydrique élevé notamment au cours des mois de février et mars.
- Au printemps, les cumuls de pluie sont dans les normales voire fortement excédentaires, notamment sur le mois d'avril pour tous les sites de la façade atlantique.
- En été, les cumuls mensuels sont dans les normes ou les dépassent : c'est notamment le cas de la Rade de Brest caractérisé par une pluviométrie excédentaire tout au long de l'été.
- En automne, les cumuls deviennent largement excédentaires et ce tout au long de l'automne sur tous les sites de façade atlantique. Seul l'Etang de Thau présente des valeurs inférieures aux normales.

Ainsi, l'année 2012, contrairement à l'année 2011, apparaît comme une année plutôt humide, à l'exception de l'hiver et du mois d'août (selon les sites), qui se caractérisent par un déficit pluviométrique marqué.



En complément, la Figure 9 présente l'anomalie annuelle 2012 de pluviométrie pour chacun des sites du réseau Velyger et permet de la comparer avec celles enregistrées depuis 1960.

Cette figure montre que l'année 2012 se caractérise par l'existence d'un gradient Nord-Sud marqué :

- Elle est clairement une année humide pour la Rade de Brest et fait partie des 5 années les plus humides depuis 1960.
- Elle est proche des normales de la Baie de Bourgneuf aux Pertuis Charentais et plutôt sèche dans le Bassin d'Arcachon et l'Etang de Thau ;

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

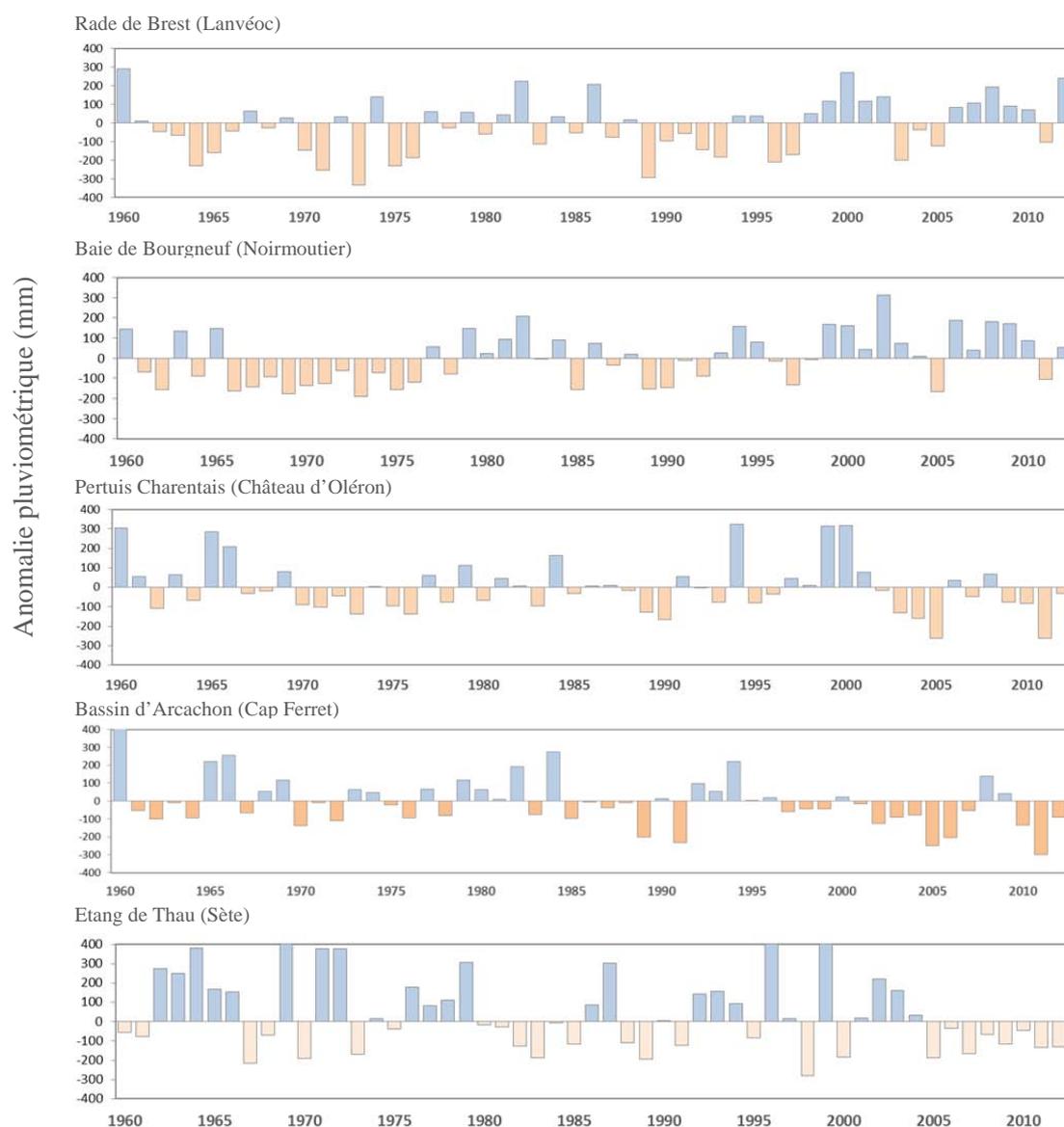


Figure 9 : Anomalies annuelles de pluviométrie (mm) pour chaque site d'étude (Source des données : © Météo-France).

3.2 Données hydrologiques

3.2.1 Température de l'eau de mer

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

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

La Figure 10 présente, de façon synthétique, la température de l'eau de mer (moyenne journalière calculée à partir de données hautes fréquences) et son degré d'anomalie par comparaison à la normale. L'année 2012 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les faits suivants :

- L'hiver est marqué par une température de l'eau supérieure aux normales en janvier et mars mais inférieure aux normales en février, avec des anomalies de -5°C dans le Bassin d'Arcachon ou l'Etang de Thau ;
- Le printemps présente des anomalies négatives sur quasiment toute la période à l'exception de la première quinzaine du mois de juin ;
- L'été se caractérise par un mois de juillet inférieur aux normales, notamment dans les sites nord et un mois d'août supérieur aux normales, avec des anomalies de $+3^{\circ}\text{C}$ dans le Bassin d'Arcachon ;
- L'automne se positionne tout juste dans les normales pour les sites nord et plutôt au-dessus des normales dans les sites sud.
- D'une façon plus générale, on retiendra le gradient Nord-Sud (en août) suivant : maximas thermiques proches des 20°C en Rade de Brest, 22°C en Baie de Bourgneuf et dans le Bassin de Marennes Oléron, 25°C à 27°C dans le Bassin d'Arcachon et l'Etang de Thau.

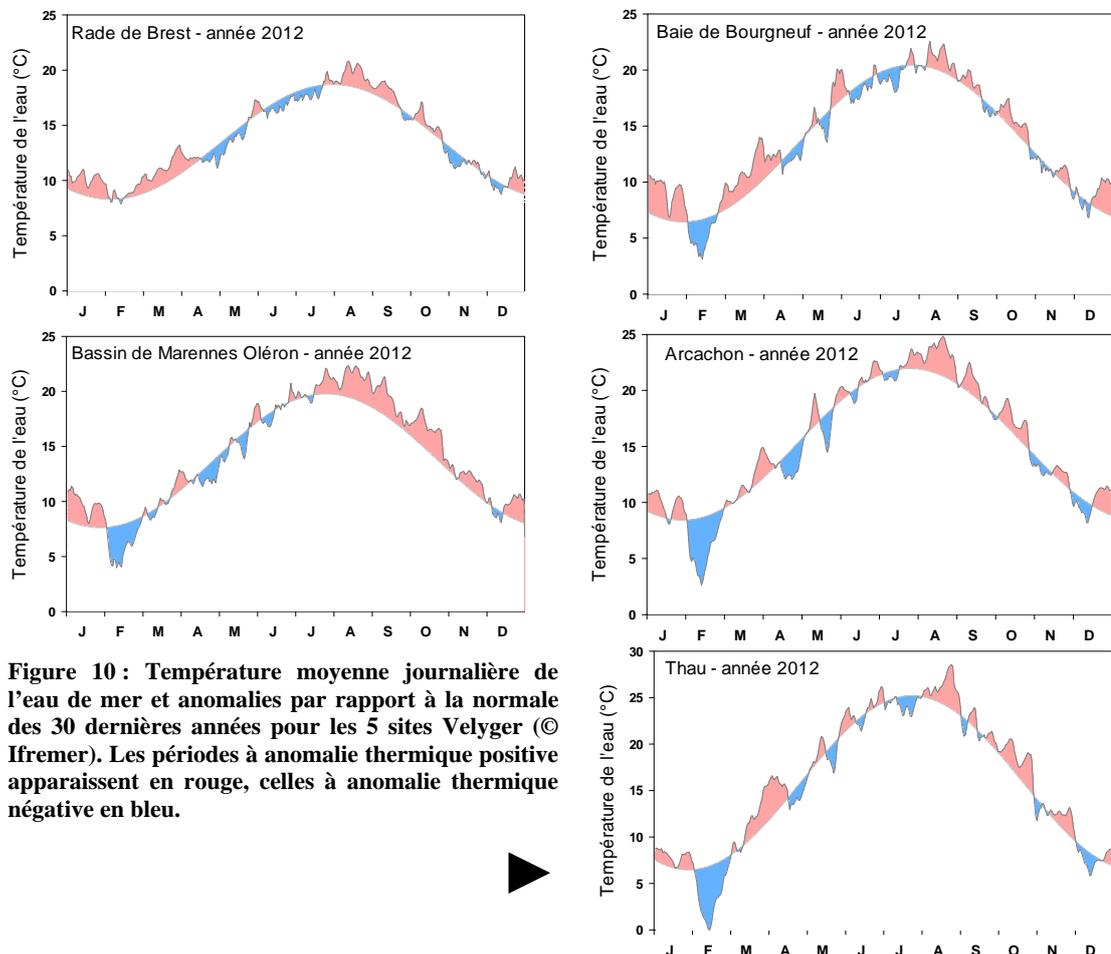


Figure 10 : Température moyenne journalière de l'eau de mer et anomalies par rapport à la normale des 30 dernières années pour les 5 sites Velyger (© Ifremer). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.

3.2.2 Salinité

La salinité joue un rôle indirect sur le succès de la reproduction de l'huître creuse : c'est un indicateur du débit des fleuves et rivières et donc un proxy⁶ des apports de sels nutritifs entrant dans le système et régulant, en partie, le niveau de production primaire et les efflorescences phytoplanctoniques.

La Figure 11 présente la salinité de l'eau de mer (moyenne et dispersion). Il apparaît clairement que la salinité, au cours de l'année 2012, se caractérise, de façon plus ou moins marquée selon les sites, par 3 périodes très distinctes (exception faite de l'Etang de Thau):

- Des valeurs supérieures aux normales ou dans les quartiles supérieurs de janvier à avril;
- Puis des valeurs plutôt dans les quartiles inférieurs à partir du mois de mai et jusqu'au mois de juillet;
- A partir du mois d'août, les moyennes mensuelles de salinité se positionnent à nouveau dans les quartiles supérieurs (exception faite de la fin d'année).
- L'Etang de Thau se distingue de ce schéma en présentant des valeurs de salinité particulièrement élevées tout au long de l'année au-delà du quartile supérieur.

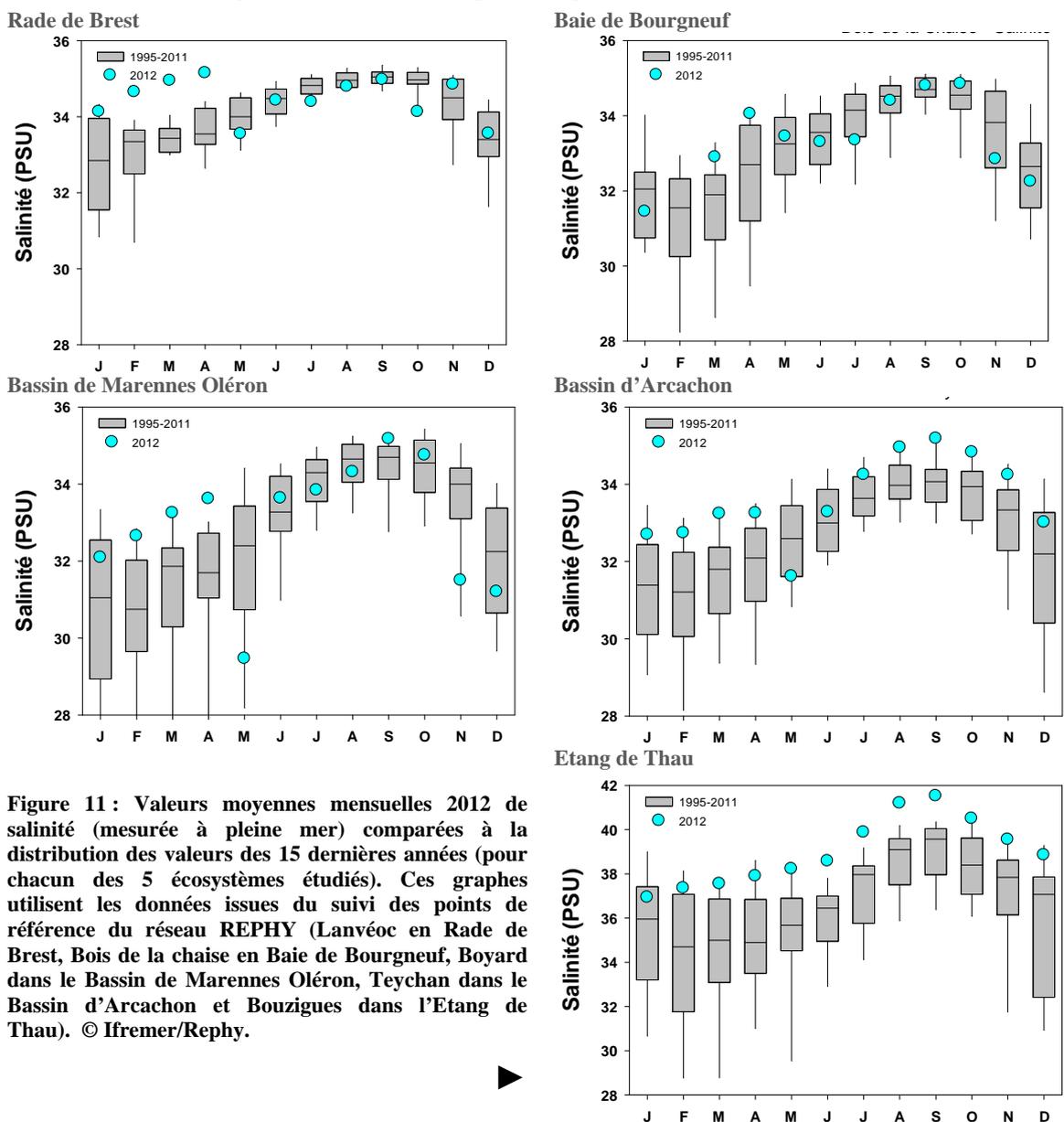


Figure 11: Valeurs moyennes mensuelles 2012 de salinité (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en Rade de Brest, Bois de la chaise en Baie de Bourgneuf, Boyard dans le Bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le Bassin d'Arcachon et Bouzigues dans l'Etang de Thau). © Ifremer/Rephy.

⁶ Proxy = Outil, indicateur permettant une quantification, une semi-quantification ou une estimation d'une (ou plusieurs) variable(s) biotique(s) ou abiotique(s) d'un écosystème donné. Traceur d'un paramètre environnemental.

En complément, la Figure 12 montre l'évolution de la salinité (moyenne annuelle) sur chacun des 5 bassins étudiés dans le réseau Velyger. Conjointement à l'analyse des anomalies pluviométriques abordée précédemment, cette figure révèle les points suivants :

- En Rade de Brest ainsi qu'en Baie de Bourgneuf, la salinité moyenne de l'année 2012 reste proche des valeurs enregistrées depuis 1995 sans qu'aucune tendance décennale ne soit décelable ;
- Dans les Bassins de Marennes-Oléron, d'Arcachon et de Thau, la salinité moyenne de l'année 2012 est en diminution par rapport aux valeurs 2011 mais s'inscrit toujours dans une tendance décennale à l'augmentation;
- Dans l'Etang de Thau, la salinité moyenne 2012 est supérieure aux années précédentes et s'inscrit pleinement dans la tendance décennale à l'augmentation enregistrée sur ce paramètre.

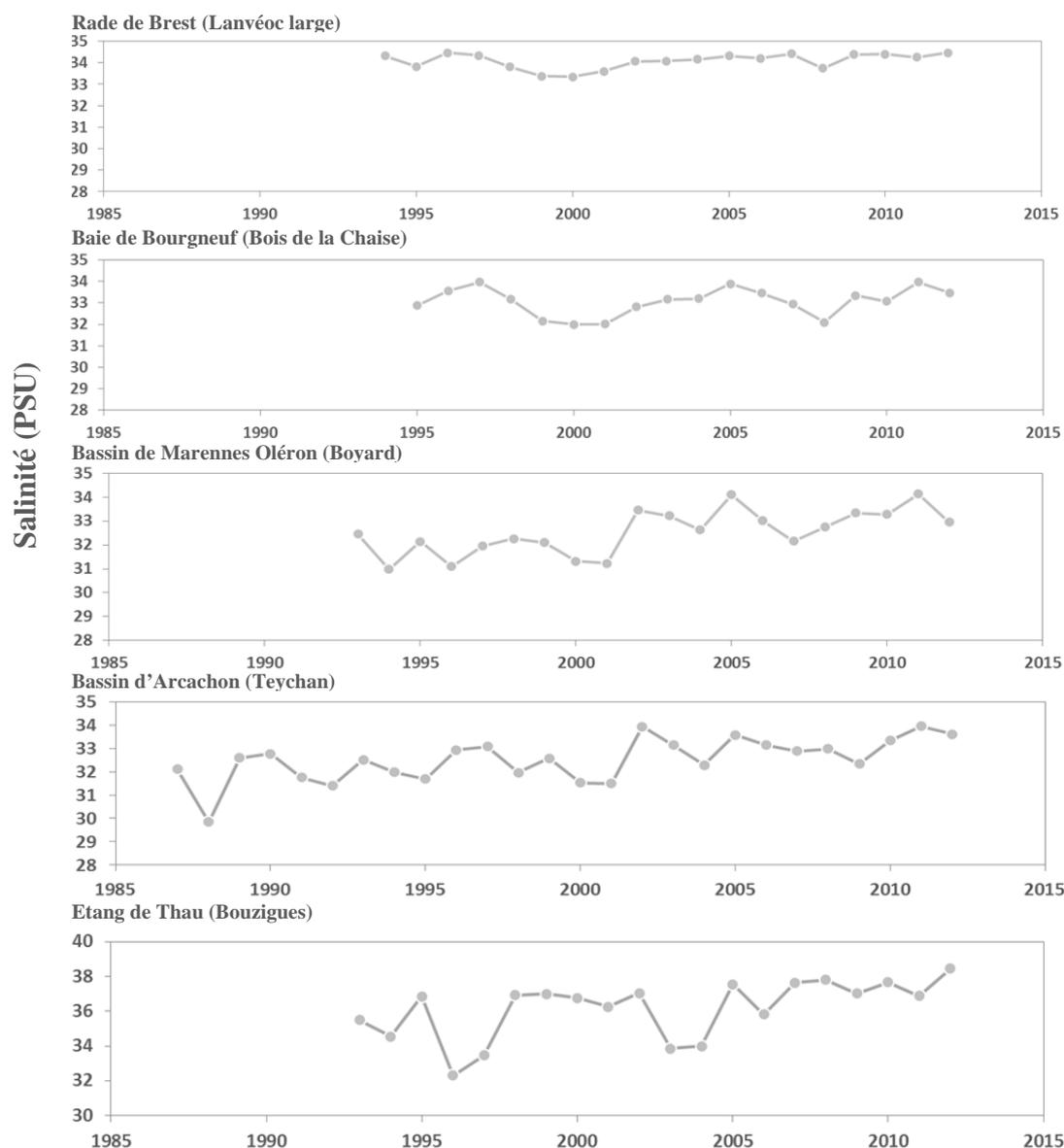
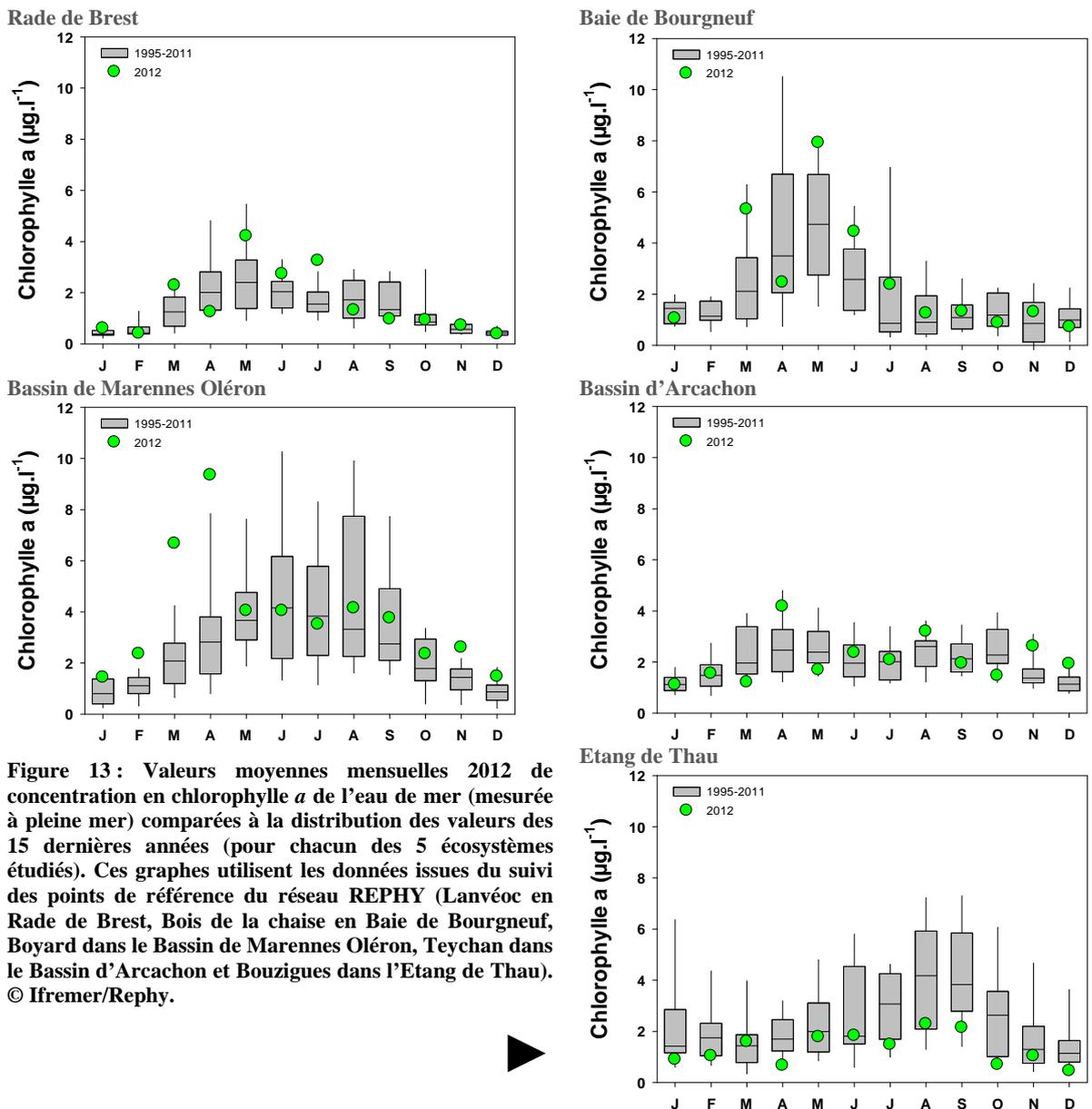


Figure 12 : Evolution de la salinité (moyenne annuelle) depuis les années 1990 sur les 5 sites d'étude (© Ifremer/Rephy). Notez la tendance décennale à l'augmentation de la salinité dans les sites les plus sud (Pertuis Charentais, Bassin d'Arcachon et Etang de Thau).

3.2.3 Concentration en phytoplancton

Le phytoplancton constitue, après la température, le deuxième paramètre clé pour la reproduction de l'huître creuse. En tant que source principale de nourriture, il régle au printemps l'effort de reproduction des bancs de géniteurs (*e.g.* Bernard *et al.*, 2011) et en été la rapidité de croissance et la survie des larves (*e.g.* Rico-villa *et al.*, 2010). Le phytoplancton est étudié ici *via* l'utilisation de deux proxys complémentaires : la chlorophylle *a* et le dénombrement cellulaire (associé à la composition phytoplanctonique).

La Figure 13 présente, de façon synthétique, la concentration en chlorophylle *a* de l'eau de mer mesurée à pleine mer (moyenne mensuelle issue du Réseau Rephy) et son degré d'anomalie par comparaison à la distribution des moyennes des 15 dernières années.



D'une façon générale, il apparaît que la concentration en chlorophylle *a*, au cours de l'année 2012, se caractérise par des valeurs assez fortes généralement dans les quartiles supérieurs sur tous les sites à l'exception du Bassin d'Arcachon et de l'Etang de Thau. Sur le Bassin d'Arcachon, la situation est très contrastée d'un mois à l'autre (*e.g.* avril *versus* mai 2012) et pour l'Etang de Thau, les valeurs sont plutôt faibles pour ce secteur et généralement positionnées dans le

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

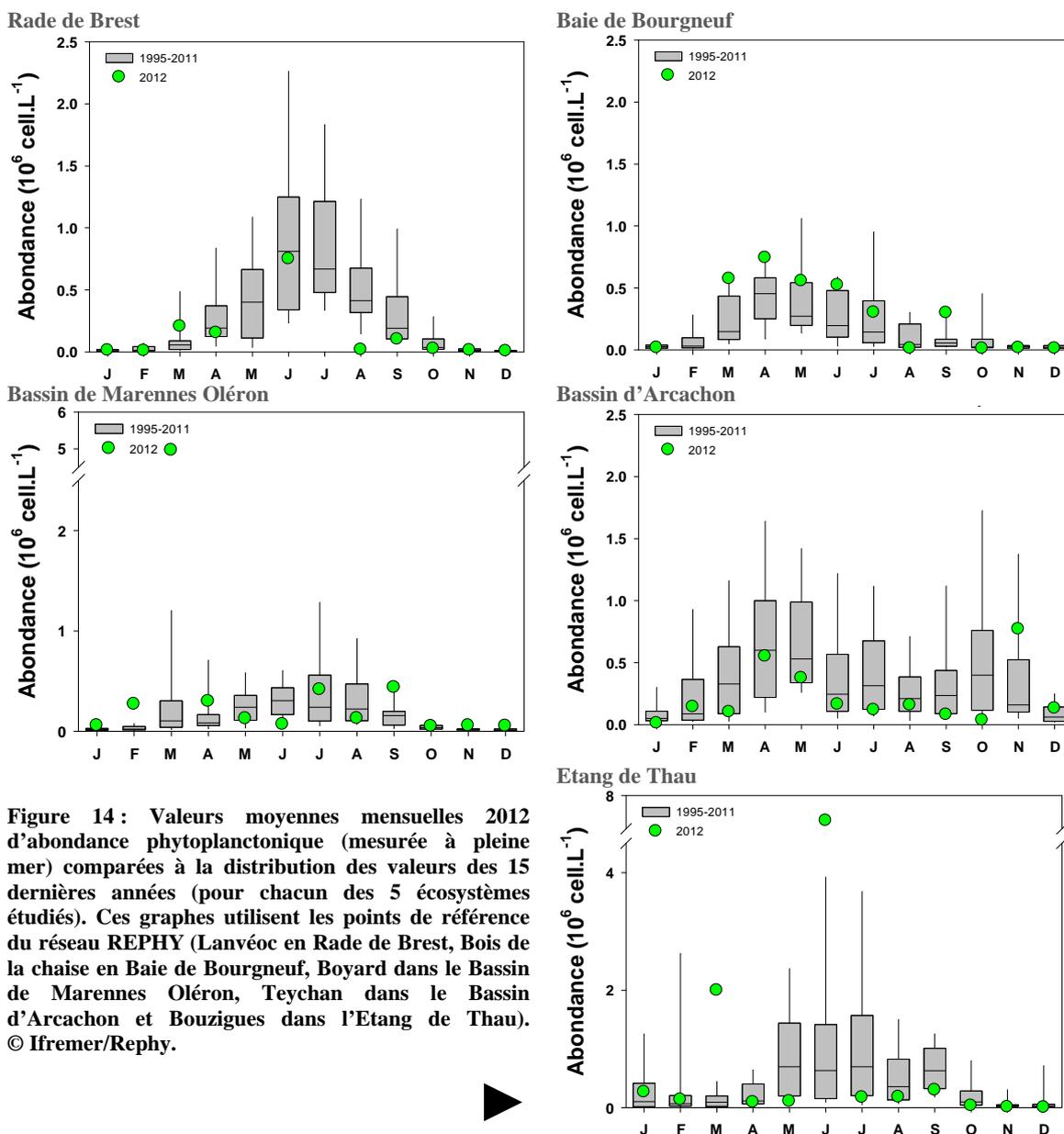


Figure 14 : Valeurs moyennes mensuelles 2012 d'abondance phytoplanctonique (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en Rade de Brest, Bois de la chaise en Baie de Bourgneuf, Boyard dans le Bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le Bassin d'Arcachon et Bouzigues dans l'Etang de Thau). © Ifremer/Rephy.

On constate que :

- Les sites de Baie de Bourgneuf et du Bassin de Marennes Oléron se caractérisent par des valeurs relativement fortes aux printemps et en été conformément aux valeurs élevées de chlorophylle présentées précédemment. Le manque d'échantillon en Rade de Brest empêche toute analyse rigoureuse sur ce site en 2012;
- Les sites sud (Etang de Thau et Bassin d'Arcachon) présentent des valeurs plutôt faibles situées dans les quartiles inférieurs (excepté les valeurs exceptionnelles enregistrées en mars et juin dans l'Etang de Thau sur le secteur particulier de Bouzigues), de façon conforme avec les valeurs de chlorophylle.

On retiendra donc, à partir de l'analyse de ces 2 proxys du phytoplancton, que l'année 2012 se caractérise par une concentration phytoplancton plutôt élevée pour les sites nord (Rade de Brest, Baie de Bourgneuf et Bassin de Marennes Oléron) et plutôt faibles dans les sites sud à l'exception de certains mois particuliers.

3.2.4 Composition spécifique du phytoplancton

Chaque écosystème se caractérise par une diversité phytoplanctonique qui lui est propre, cependant il ressort que certaines espèces dominent nettement en abondance et sont systématiquement présentes, chaque année, dans chacun des 5 écosystèmes suivis dans le réseau Velyger : parmi ces espèces ubiquistes, on distingue prioritairement les genres *Chaetoceros* (nombreuses espèces), *Skeletonema* (principalement *costatum*) et *Leptocylindrus* (principalement *minimus* et *danicus*). Ces genres (au moins les 2 premiers) sont connus pour être plutôt favorables à la croissance et la maturation des huîtres adultes et méritent une attention particulière.

Ce paragraphe s'intéresse donc ici à l'abondance 2012 de ces 3 genres par comparaison à la distribution de leurs abondances sur les 15 dernières années.

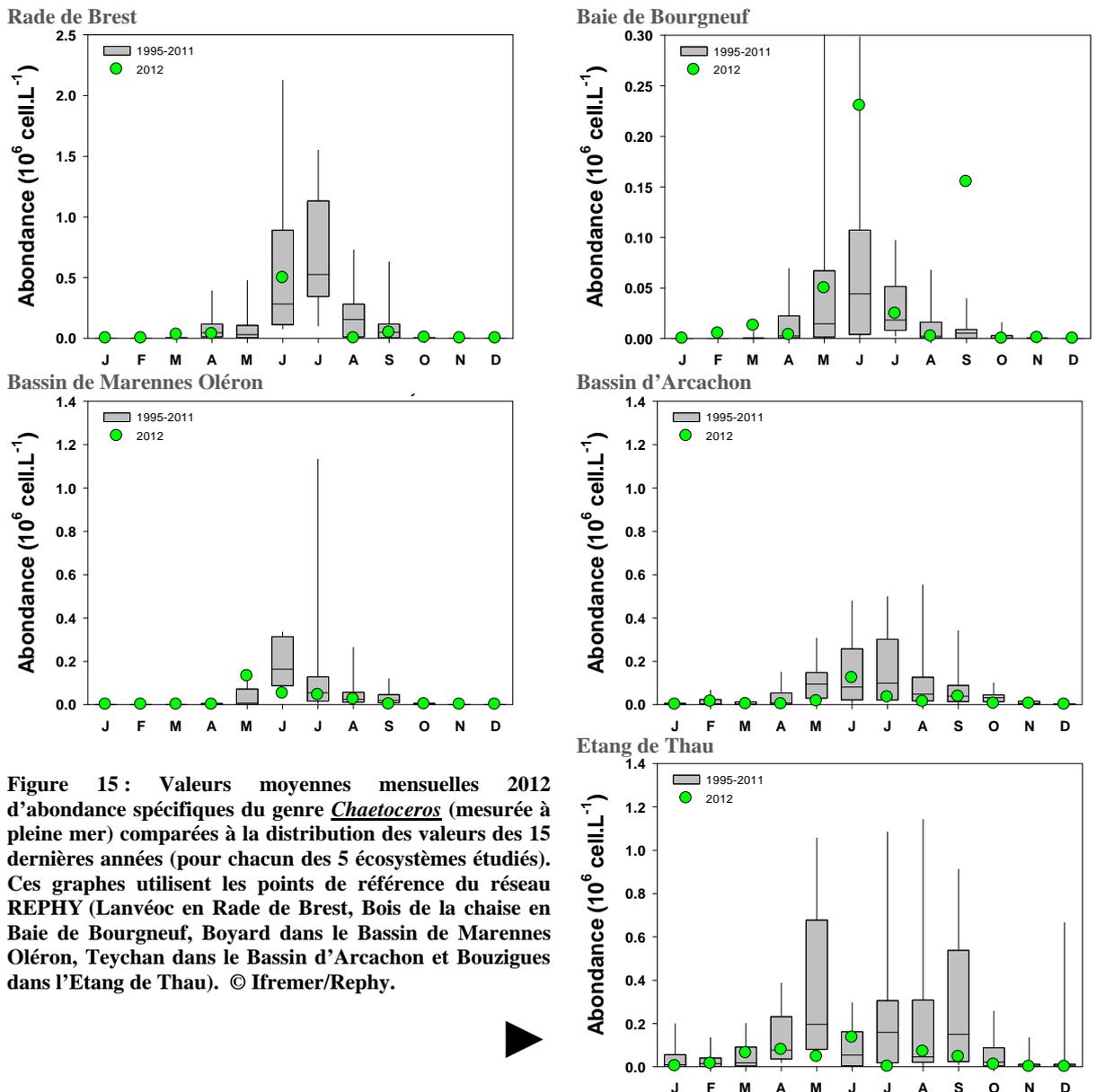


Figure 15 : Valeurs moyennes mensuelles 2012 d'abondance spécifiques du genre *Chaetoceros* (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en Rade de Brest, Bois de la chaise en Baie de Bourgneuf, Boyard dans le Bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le Bassin d'Arcachon et Bouzigues dans l'Etang de Thau). © Ifremer/Rephy.

Ainsi, en 2012, le genre *Chaetoceros* (Figure 15) a été retrouvé en concentration normale voire abondante dans les 2 écosystèmes les plus au nord (Rade de Brest et Baie de Bourgneuf), mais de façon plutôt déficitaire dans les écosystèmes plus au sud (Bassin de Marennes-Oléron, Bassin d'Arcachon et Etang de Thau). La distribution de ce genre en 2012 présente donc un net gradient Nord-Sud au même titre que les 2 proxys précédents.

Au cours de l'année 2012, le genre *Skeletonema* (Figure 16) a, quant à lui, été présent :

- En forte abondance dans les écosystèmes où il est généralement présent (Baie de Bourgneuf, Bassin de Marennes Oléron, Etang de Thau). Les concentrations dépassent plus d'un million de cellule par litre à Marennes Oléron (en mars 2012) et dans l'Etang de Thau (en mars et juin 2012).
- En faible abondance en Rade de Brest et dans le Bassin d'Arcachon. Le fait le plus remarquable reste cependant qu'il est toujours très peu observé dans les eaux du Bassin d'Arcachon sur toute l'année 2012 (et ce depuis 2006).

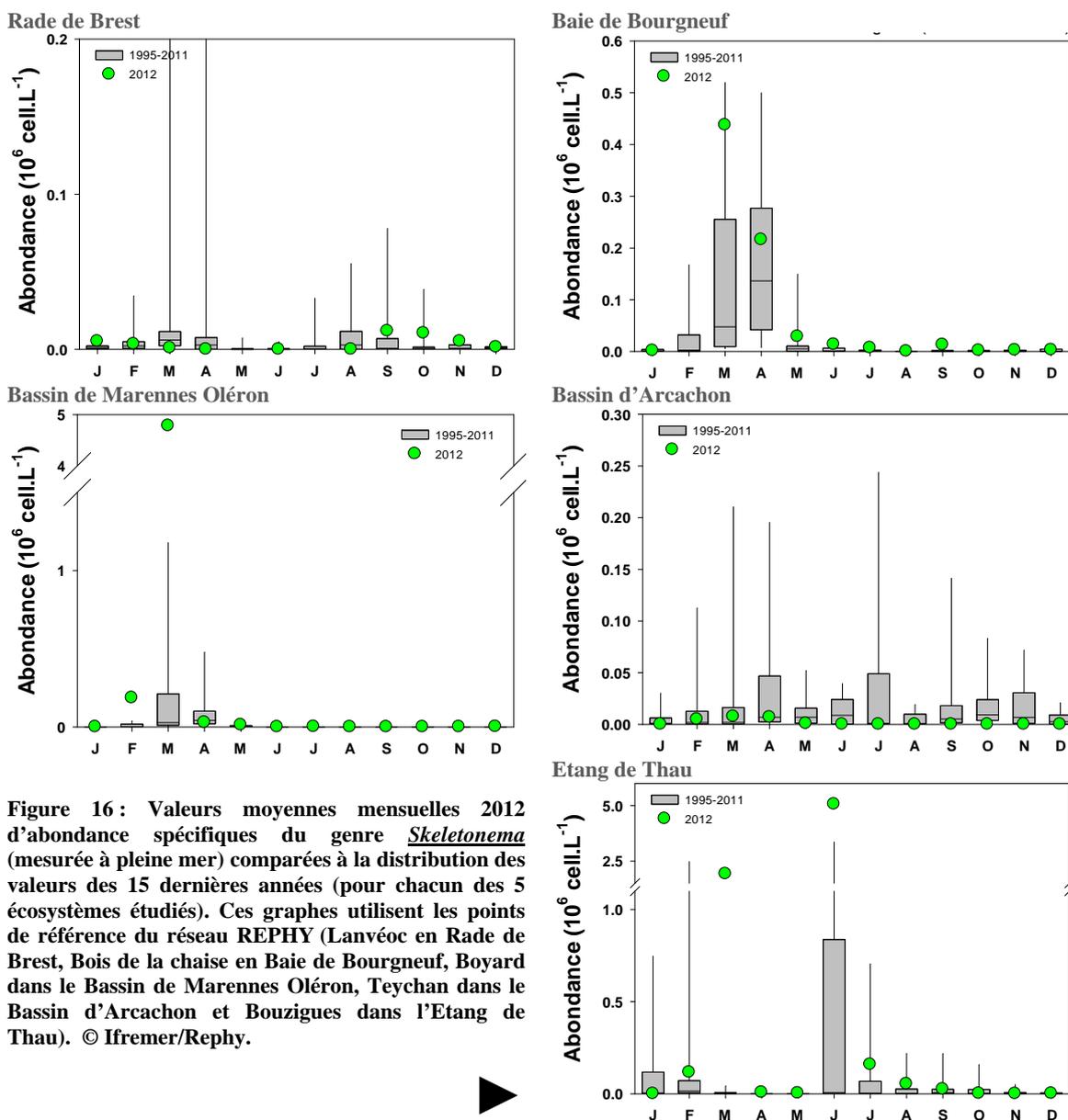


Figure 16 : Valeurs moyennes mensuelles 2012 d'abondance spécifiques du genre *Skeletonema* (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en Rade de Brest, Bois de la chaise en Baie de Bourgneuf, Boyard dans le Bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le Bassin d'Arcachon et Bouzigues dans l'Etang de Thau). © Ifremer/Rephy.

Enfin, le troisième genre d'intérêt, compte tenu de son caractère ubiquiste et abondant, est le genre *Leptocylindrus* (Figure 17).

En 2012, il a été retrouvé en concentration normale voire abondante dans les 3 écosystèmes les plus au nord (Rade de Brest, Baie de Bourgneuf et Bassin de Marennes Oléron), mais de façon plutôt faible voire déficitaire dans les écosystèmes plus au sud (Bassin d'Arcachon et Etang de Thau). Tout comme le genre *Chaetoceros*, la distribution de ce genre en 2012 présente donc un net gradient Nord-Sud au même titre que les 2 proxys précédents.

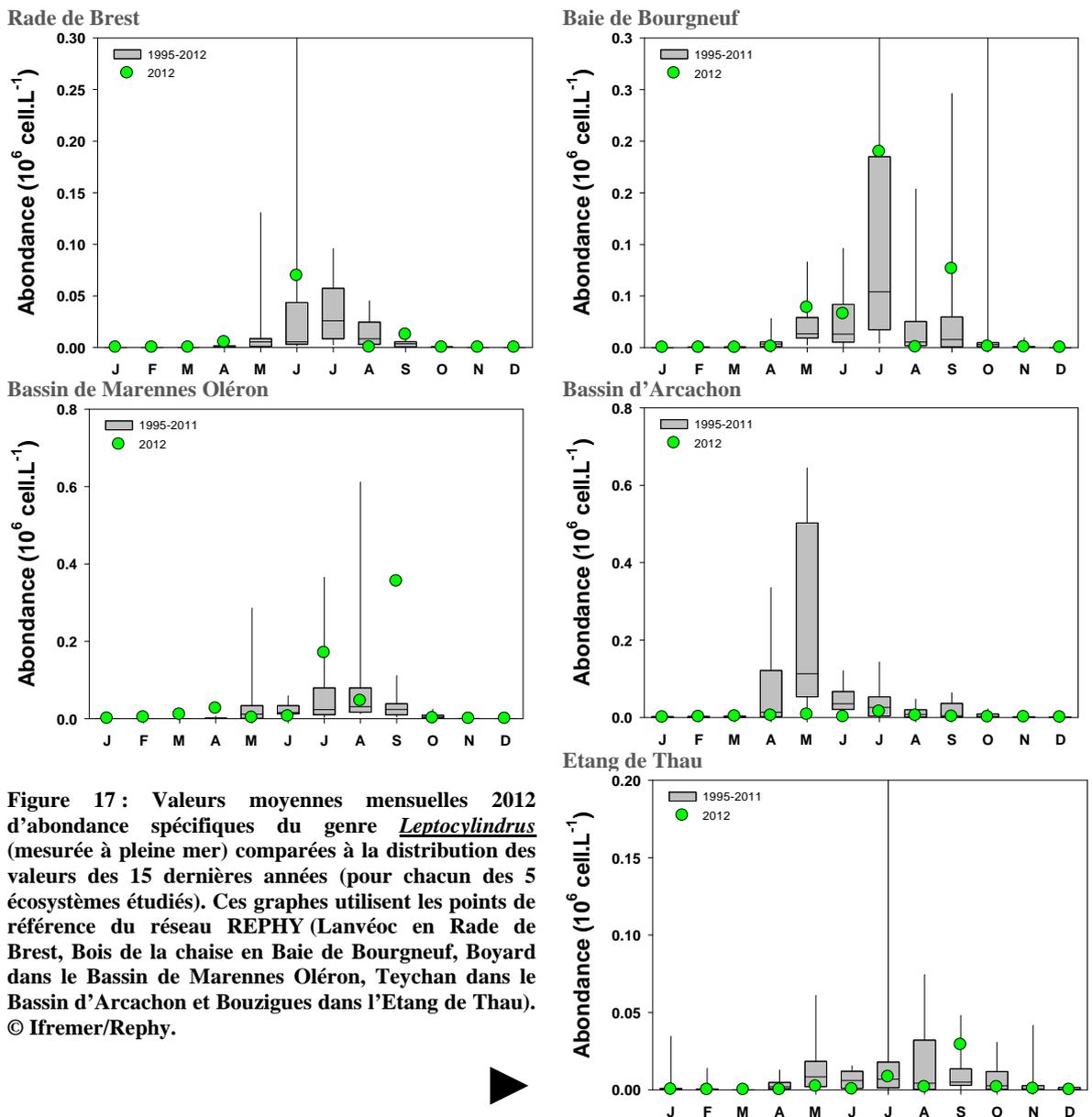


Figure 17 : Valeurs moyennes mensuelles 2012 d'abondance spécifiques du genre *Leptocyindrus* (mesurée à pleine mer) comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années (pour chacun des 5 écosystèmes étudiés). Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY (Lanvéoc en Rade de Brest, Bois de la chaise en Baie de Bourgneuf, Boyard dans le Bassin de Marennes Oléron, Teychan dans le Bassin d'Arcachon et Bouzigues dans l'Etang de Thau). © Ifremer/Rephy.

3.2.5 pH et acidification de l'océan

Outre l'augmentation de température, l'un des changements majeurs d'ici la fin de ce siècle réside dans l'acidification des océans liée à l'augmentation progressive des rejets de CO_2 (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.

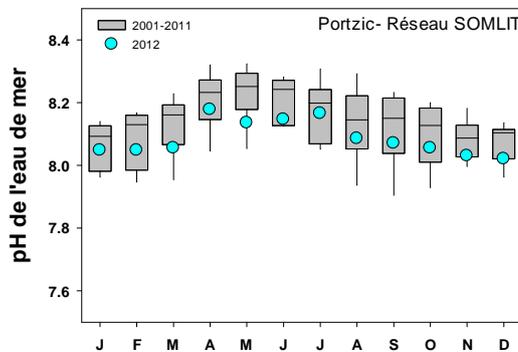
Chez l'huître creuse, le stade larvaire est le plus sensible à une diminution du pH : plusieurs études montrent qu'à partir d'un pH de 7.6, la croissance larvaire est affecté et la survie diminue (e.g. Kurihara et al., 2007). Des expérimentations récentes, réalisées en 2011 dans le cadre du projet Velyger, 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 SOMLIT⁷ du CNRS.

⁷ <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

Les figures ci-dessous présentent l'évolution du pH dans le domaine côtier pour 2 sites étudiés dans le cadre du Réseau Velyger : la Rade de Brest et le Bassin d'Arcachon. Ces données sont obtenues dans le cadre du Réseau Côtier SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral) mis en œuvre par le CNRS-INSU (<http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>).

Rade de Brest



Bassin d'Arcachon

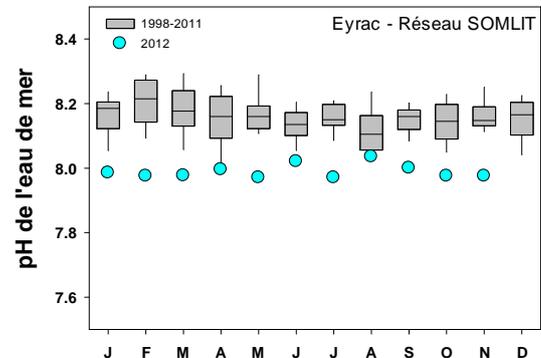
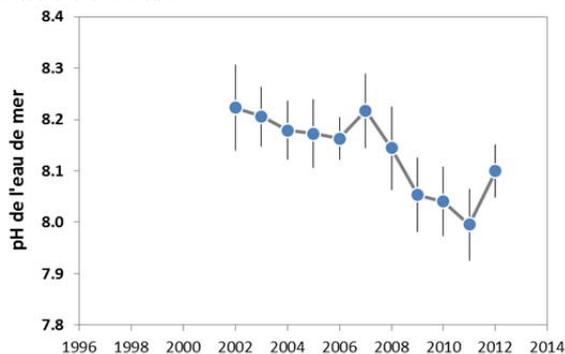


Figure 18 : Valeurs moyennes mensuelles 2012 du pH de l'eau de mer (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée du Bassin d'Arcachon (site « Eyrac ») et de la Rade de Brest (site « Portzic »). Ces valeurs 2012 sont comparées à la distribution des valeurs des 10 dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données du Réseau SOMLIT mis en œuvre par le CNRS-INSU. En savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

Rade de Brest



Bassin d'Arcachon

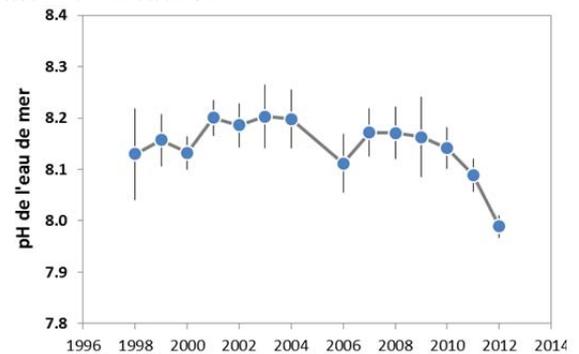


Figure 19 : Evolution du pH (moyenne annuelle +/- ECT) depuis les années 2000 à l'entrée de la Rade de Brest et du Bassin d'Arcachon (© CNRS-INSU/SOMLIT). Notez la tendance à la diminution plus ces dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données du Réseau SOMLIT mis en œuvre par le CNRS-INSU. En savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

On constate que les valeurs 2012 s'inscrivent, pour ces 2 secteurs, dans une tendance à la diminution : les valeurs 2012 sont effectivement dans la gamme inférieure des observations réalisées depuis le début des années 2000 par le réseau SOMLIT (Figure 18).

Pour l'instant, les valeurs moyennes annuelles du pH sur l'année 2012 (Figure 19) sont de 8.09 en Rade de Brest et 7.99 dans le Bassin d'Arcachon (la moyenne sur les 10 dernières années sur les 2 sites étant de 8.15).

Bien qu'on soit encore loin des valeurs considérées comme problématiques pour la vie larvaire de l'huître creuse ($\text{pH} < 7.6$), ce paramètre hydrologique (ainsi que le suivi de la lysocline⁸) mérite une attention particulière dans les années à venir.

⁸ 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).

3.3 Maturation, indice de condition et fécondité

Chez l'huître creuse, la gamétogenèse se déroule tout au long du printemps à la faveur du réchauffement des eaux et des blooms de phytoplancton : on parle communément de maturation. Cette maturation conduit à un gain de chair ou engraissement (relativement à la croissance en coquille) qui se traduit par une augmentation printanière de l'indice de condition, celui-ci devenant maximal juste avant la ponte. Cet **indice de condition maximal, noté IC**, est un indicateur ou proxy qui permet de caractériser la fécondité potentielle d'une population d'huîtres pour une année et un site donnés. Il présente l'avantage d'être aisé à obtenir et d'être indépendant de la taille ou de l'âge, contrairement aux données directes de masses de chair.

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

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

La mise en place et le suivi régulier de la croissance d'une population 'sentinelle' placée dans chaque écosystème en fin d'hiver permet donc d'étudier la variabilité inter-annuelle et inter-Bassin de cet indice de condition maximum IC, proxy de la fécondité.

3.3.1 Comparaison spatio-temporelle

La Figure 20 montre, tout d'abord, l'évolution annuelle depuis 2008 de l'indice de condition de ce lot d'huîtres creuses 'sentinelles', transplanté chaque année en fin d'hiver sur chacun des sites Velyger.

En termes de variabilité inter-annuelle, l'année 2012 se caractérise par des valeurs maximales d'indice de condition plus élevées que les années antérieures pour les sites nord, des valeurs similaires pour Marennes Oléron et Arcachon et des valeurs inférieures dans l'Etang de Thau. Pour chacun des sites d'études, on relève les valeurs maximales suivantes :

- Rade de Brest : IC = 148 en 2012 contre 118 en 2011
- Baie de Bourgneuf : IC = 115 en 2012 contre 82 en 2011
- Bassin de Marennes Oléron : IC = 87 en 2012 contre 84 en 2011
- Bassin d'Arcachon : IC = 88 en 2012 contre 82 en 2010
- Etang de Thau : IC = 56 en 2012 contre 65 en 2011

En termes de variabilité inter-sites, on constate toujours (*e.g.* Pouvreau et al., 2011) en 2012 l'existence d'un net gradient Nord-Sud sur l'indice de condition avec des valeurs maximales :

- Toujours supérieures à 110 en Rade de Brest ;
- Proches de 100 pour le Bassin de Marennes Oléron et la Baie de Bourgneuf ;
- Inférieures à 90 dans le Bassin d'Arcachon et l'Etang de Thau

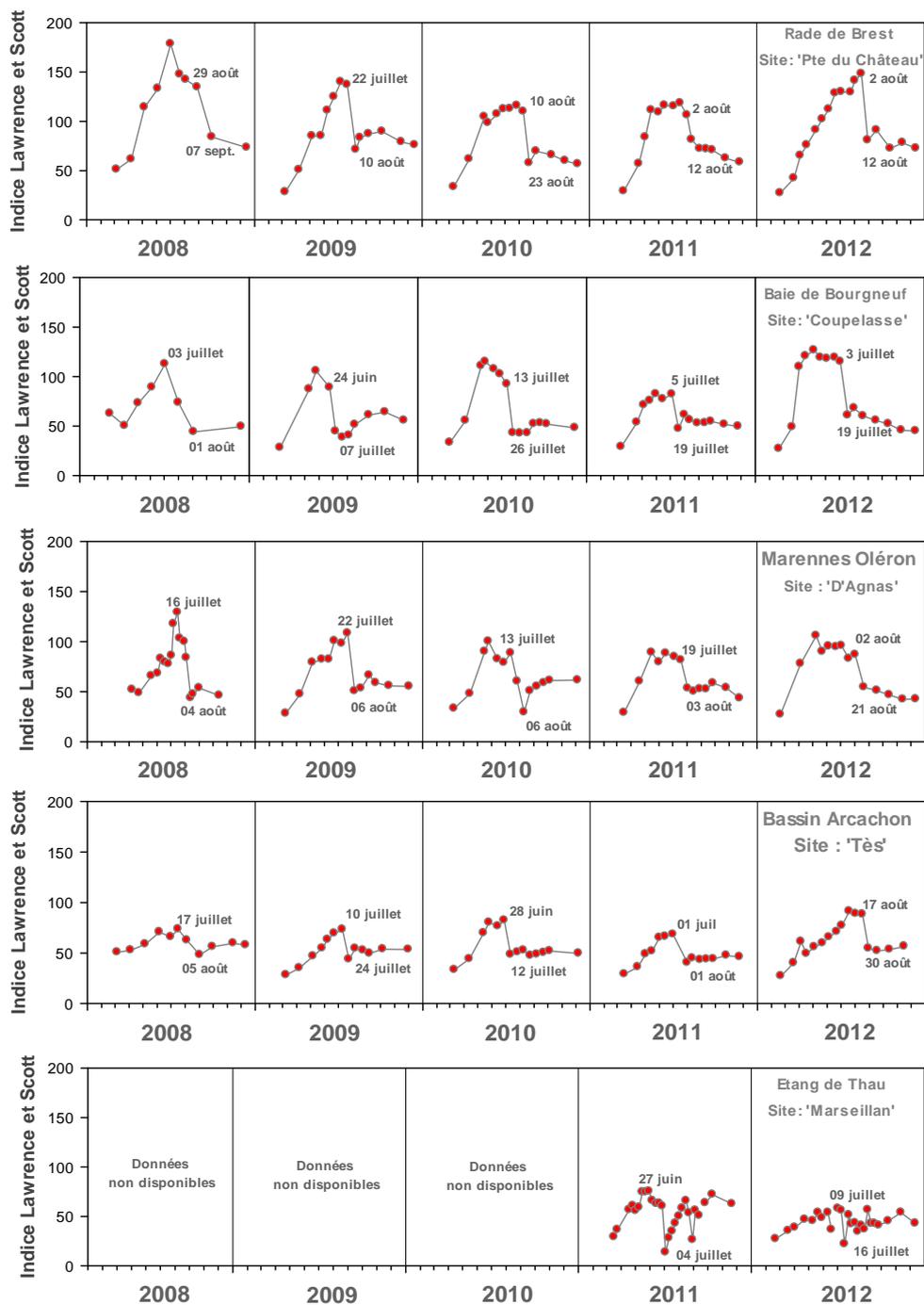


Figure 20 : Evolution de l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott) de chaque lot sentinelle placé chaque année sur les 5 sites Velyger (Etang de Thau, Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) depuis 2008. Les lots suivis sont transplantés chaque année en fin d'hiver, les huîtres utilisées sont alors âgées de 18 mois et généralement calibrées autour de 18 g. La chute brutale de l'indice indique l'intensité et la période d'émission des gamètes. © Ifremer/Resco-Velyger.

En complément à cette description de l'indice de condition, la Figure 21 montre l'évolution annuelle de la masse moyenne de chair sèche du même lot d'huîtres creuses 'sentinelles' et permet de calculer un indice de fécondité F par la perte de masse sèche au moment de la ponte principale. Attention, cet indice absolu est dépendant de la taille initiale du lot ce qui peut limiter l'intérêt d'une comparaison inter-annuelle pour des lots de taille initiale différente.

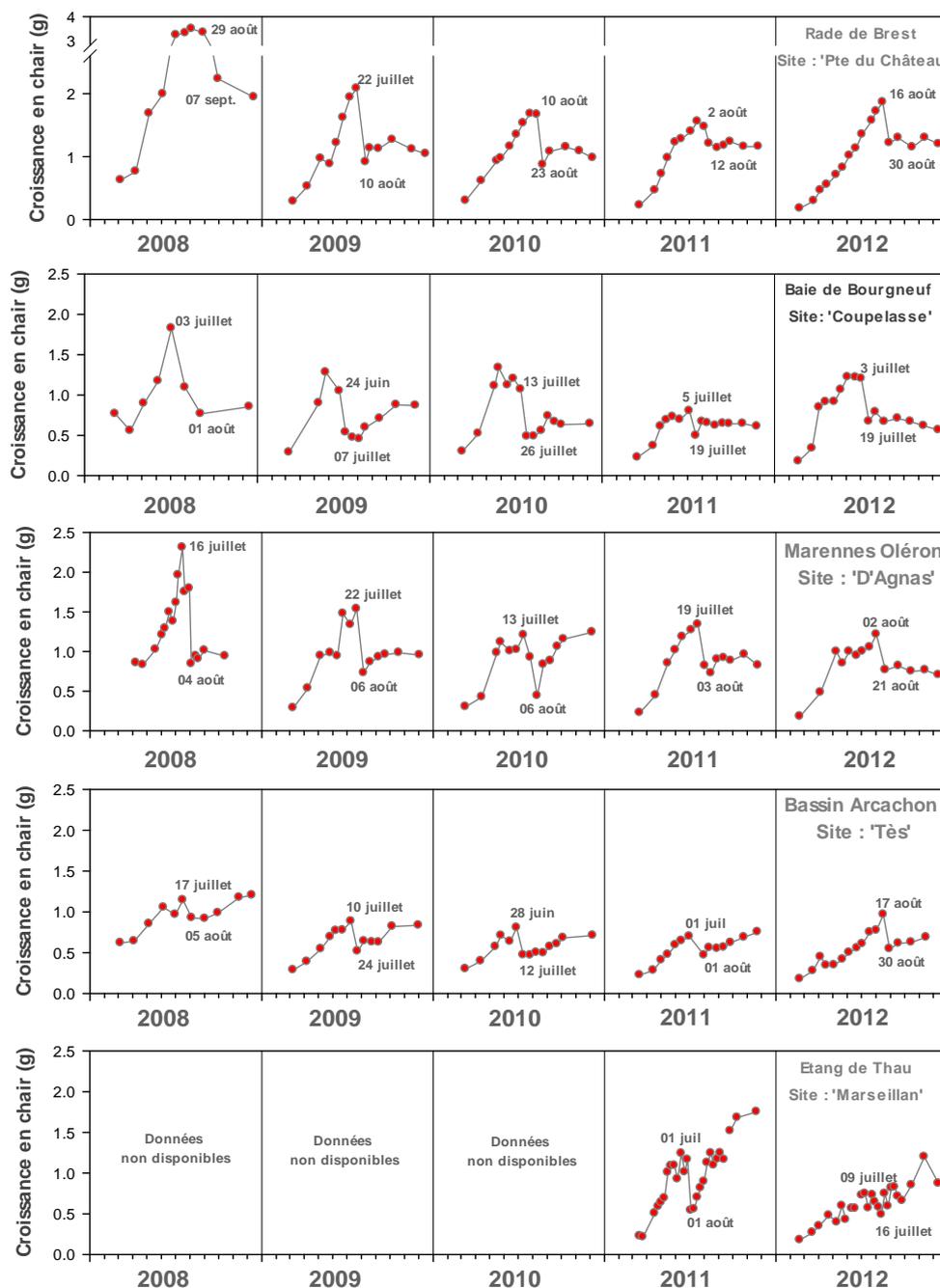


Figure 21 : Croissance en chair (g de matière sèche) et ponte chez les huîtres de chaque lot sentinelle placé, chaque année, sur les 5 sites Velyger (Etang de Thau, Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) depuis 2008. Les lots suivis sont transplantés chaque année en fin d'hiver, les huîtres utilisées sont alors âgées de 18 mois et généralement calibrées autour de 20 g. La chute brutale de la masse de chair indique l'intensité et la période d'émission des gamètes. © Ifremer/Resco-Velyger.

Ainsi, en termes de variabilité inter-annuelle, l'année 2012 se caractérise par des valeurs de fécondité légèrement supérieures à l'année précédente, mais identiques ou inférieures aux années 2008-2010. En outre, les valeurs 2012 de fécondité montrent aussi un net gradient Nord-Sud :

- Rade de Brest : F= 0.65g
- Baie de Bourgneuf : F= 0.53g
- Bassin de Marennes Oléron : F= 0.45g
- Bassin d'Arcachon : F= 0.42g
- Etang de Thau : F= 0.17g

3.3.2 Indice de condition et abondance de larves

Sur le Bassin d'Arcachon, nous disposons d'une série de plus de quinze années permettant d'associer indice de condition (sur des lots d'huîtres adultes) et abondances larvaires. Cette série présentée sur la Figure 22 montre la relation existant entre l'indice de condition maximal d'une population sentinelle d'huîtres (placées sur le secteur du Tès) tel que mesuré dans le paragraphe précédent et la quantité moyenne de larves (au stade évolué) observée sur l'été dans le secteur Est du Bassin d'Arcachon.

On constate que l'année 2012, tout comme les années précédentes (2008-2011), présente une faible fécondité qui se traduit par de faibles abondances larvaires. Il convient cependant de noter que ces années récentes sont analogues aux années 1990-1993.

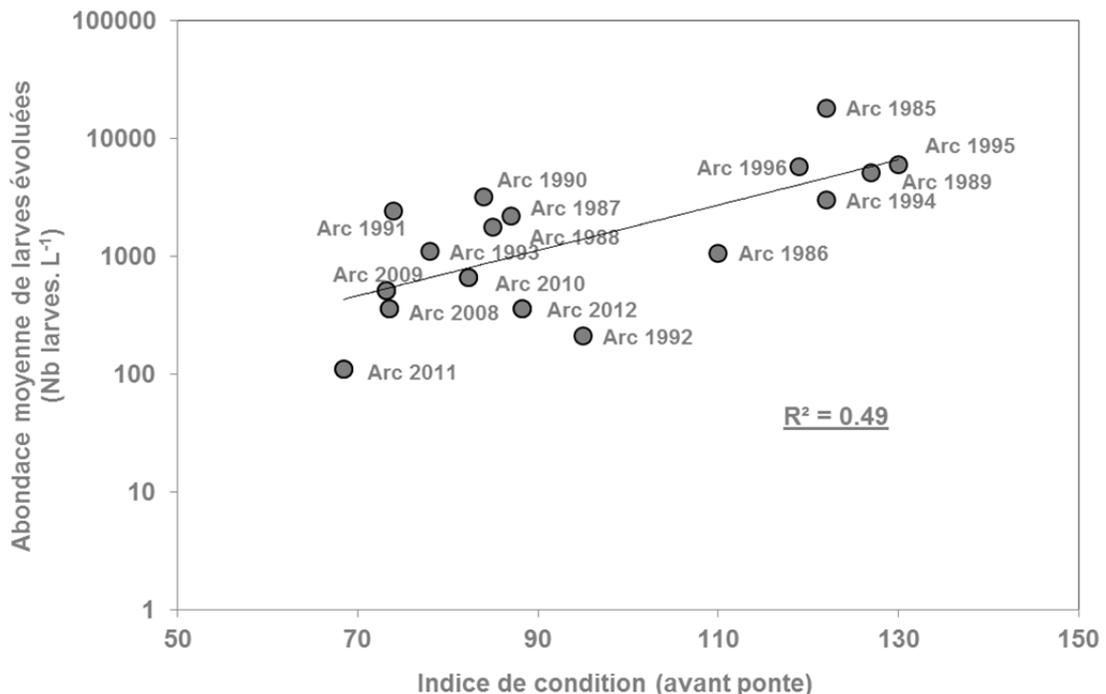


Figure 22 : Relation entre l'abondance de larves évoluées (valeur moyenne sur l'été) et la fécondité potentielle des adultes (mesurée au moyen de l'indice de condition maximal précédant la ponte) sur le Bassin d'Arcachon - secteur Est (droite de régression, $R^2 = 0.49$).

3.3.3 Facteurs d'explications : le phytoplancton

La Figure 23 montre les relations actualisées pour 2012, pour chacun des sites, entre la concentration en phytoplancton (chlorophylle *a* ou abondance phytoplanctonique) enregistrée tout au long de la maturation (de mars à juillet) et l'indice de condition maximal des huîtres (IC), mesuré en juillet juste avant la ponte. Ces relations présentent de forts de coefficient de corrélation ($R^2 > 0.75$).

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

Plus particulièrement, pour l'année 2012, l'analyse des 2 nuages de points montre que :

- La Rade de Brest se caractérise par de très fortes valeurs d'indice de condition associées à de fortes valeurs de concentration phytoplanctonique;
- La Baie de Bourgneuf se positionne elle aussi dans la partie supérieure du nuage de points, avec des valeurs 2012 supérieures aux années antérieures sur ce site;
- Le Bassin de Marennes-Oléron se positionne dans le moitié inférieure du nuage de points avec des valeurs similaires aux années antérieures (très peu de variabilité inter-annuelle sur ce site);
- Le Bassin d'Arcachon présente en 2012, de façon analogue aux autres années, des valeurs plutôt faibles, mais supérieures à celles de l'Etang de Thau.

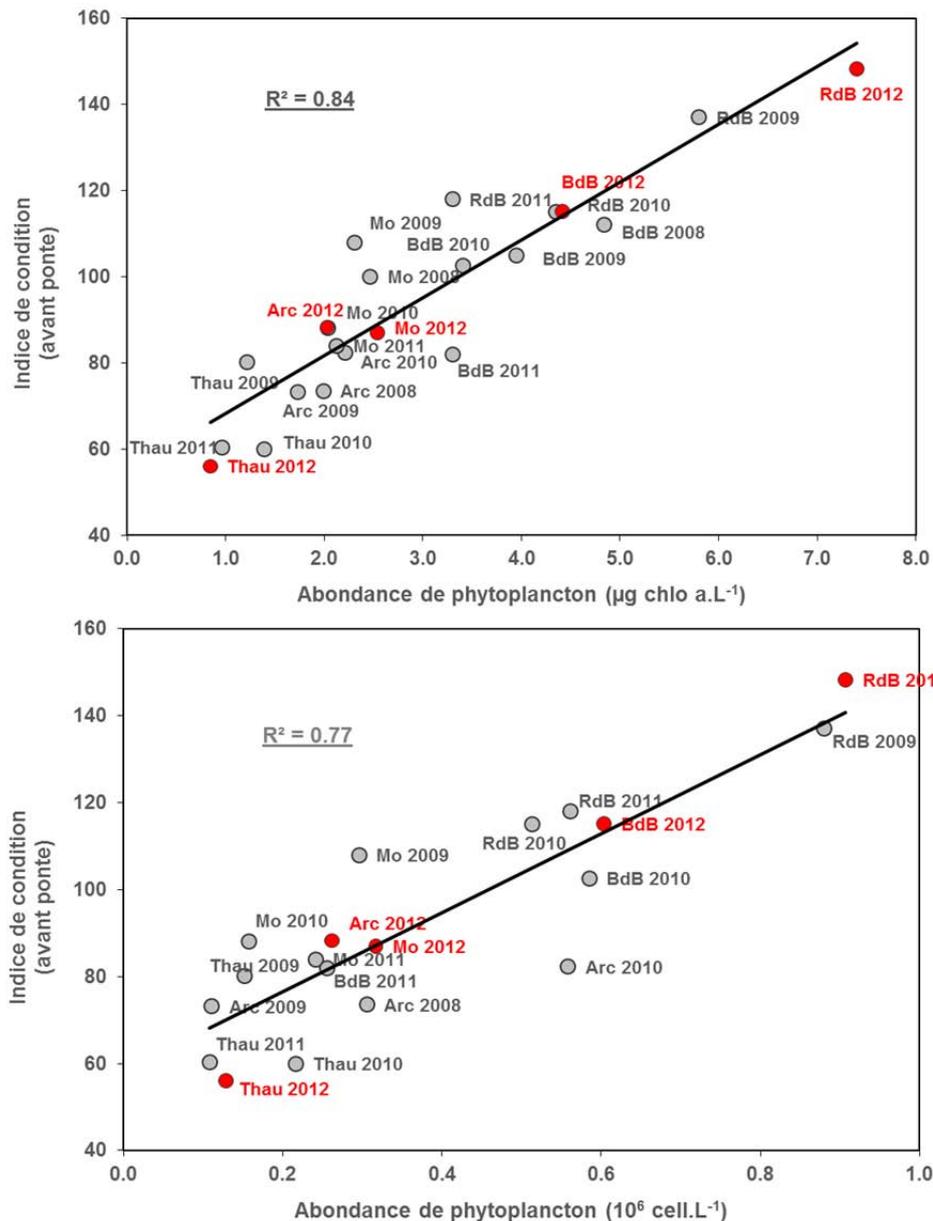


Figure 23 : Relation entre la concentration en phytoplancton (chlo a et dénombrement) et l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott maximal mesuré avant la ponte) des huîtres sentinelles placées dans chaque Bassin depuis 2008. L'année 2012 apparaît en rouge sur les graphes. Légende : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon - Thau : Etang de Thau.

3.4 Date de ponte

En début d'été, une fois la gamétogenèse achevée, l'émission des gamètes (ou frai), communément appelée ponte, a lieu, après généralement un laps de temps de quelques jours permettant à l'huître d'entrer dans une phase instable, phase pendant laquelle elle devient très sensible aux stimuli de ponte (His, 1976). L'étude de l'effet des facteurs environnementaux stimulant l'émission des gamètes a fait l'objet de travaux assez anciens (His, 1976), ré-analysés récemment par Bernard (2011).

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

3.4.1 Valeurs 2012

La Figure 24 montre la relation, actualisée pour 2012, que l'on obtient entre la température moyenne de l'eau de mer en début d'été (calculée sur les 20 premiers jours de l'été) et le jour d'observation de la ponte principale ($R^2 = 0.43$). Même si cette relation est toujours respectée en 2012, on constate surtout que cette année se caractérise par des dates de pontes très contrastées sur l'ensemble des 5 écosystèmes, dont certaines s'éloignent du modèle thermique. Ainsi :

- Pour les deux bassins aux latitudes extrêmes (Etang de Thau et Rade de Brest), les périodes de pontes se positionnent, de façon logique, aux 2 extrémités du nuage de point conformément à la température moyenne de l'eau de mer en début d'été ;
- Pour la Baie de Bourgneuf et le Bassin de Marennes Oléron, la ponte est soit tardive soit précoce compte tenu de la température des masses d'eau ;
- Mais c'est pour le Bassin d'Arcachon, que le caractère 'anormal' est très marqué avec un retard de ponte proche de 1 mois par rapport à la prévision du modèle. Compte tenu des températures de 22°C, la ponte aurait dû avoir lieu vers le 15 juillet.

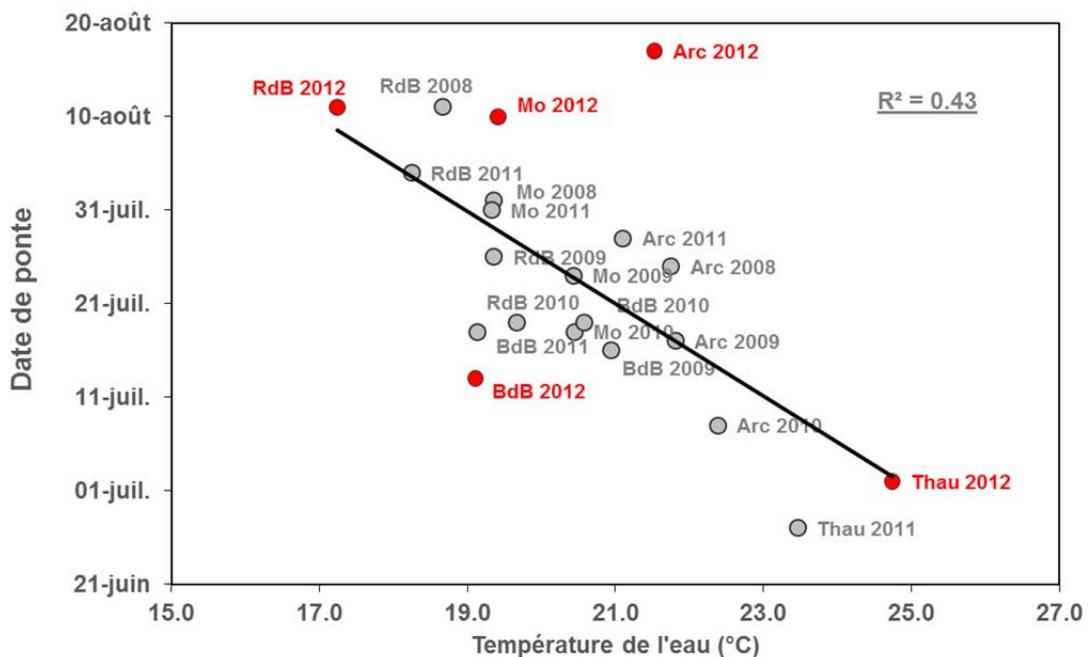


Figure 24 : Relation entre la température de l'eau en début d'été (moyenne issue des données journalières de sonde haute fréquence) et la date d'émission principale des gamètes, tous sites et années confondus. La date d'émission des gamètes est obtenue à partir du suivi des populations sentinelles de chaque site et des abondances de larves. Légende : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon - Thau : Etang de Thau.

3.4.2 Séries historiques

Ainsi, l'année 2012 s'avère être une année relativement tardive en ce qui concerne la date de la ponte principale sur chacun des bassins, à l'exception de l'Étang de Thau et la Baie de Bourgneuf. La Figure 25 vient compléter ce constat en présentant conjointement les 2 séries historiques disponibles sur la date de la ponte principale pour les Bassins d'Arcachon et Marennes-Oléron.

En ce qui concerne Marennes-Oléron (ici le secteur Seudre), on constate que la ponte qui a eu lieu début août, est plutôt dans les normes sur ce secteur (valeur médiane = 29 juillet). Par ailleurs, on ne distingue aucune tendance particulière sur les 30 années de données disponibles.

Par contre, en ce qui concerne le Bassin d'Arcachon (ici le secteur Est), on constate que la ponte principale en 2012, qui a eu lieu vers le 17 août, est extrêmement tardive par rapport la médiane qui s'établit autour du 11 juillet. Cette ponte tardive s'inscrit dans la tendance décennale, observée depuis les années 2000, caractérisée par un progressif retard de la période de ponte. Le paragraphe précédent montre que ce retard de ponte ne peut pas être expliqué par une anomalie dans la température des masses d'eau. L'explication de ce phénomène particulier reste à apporter.

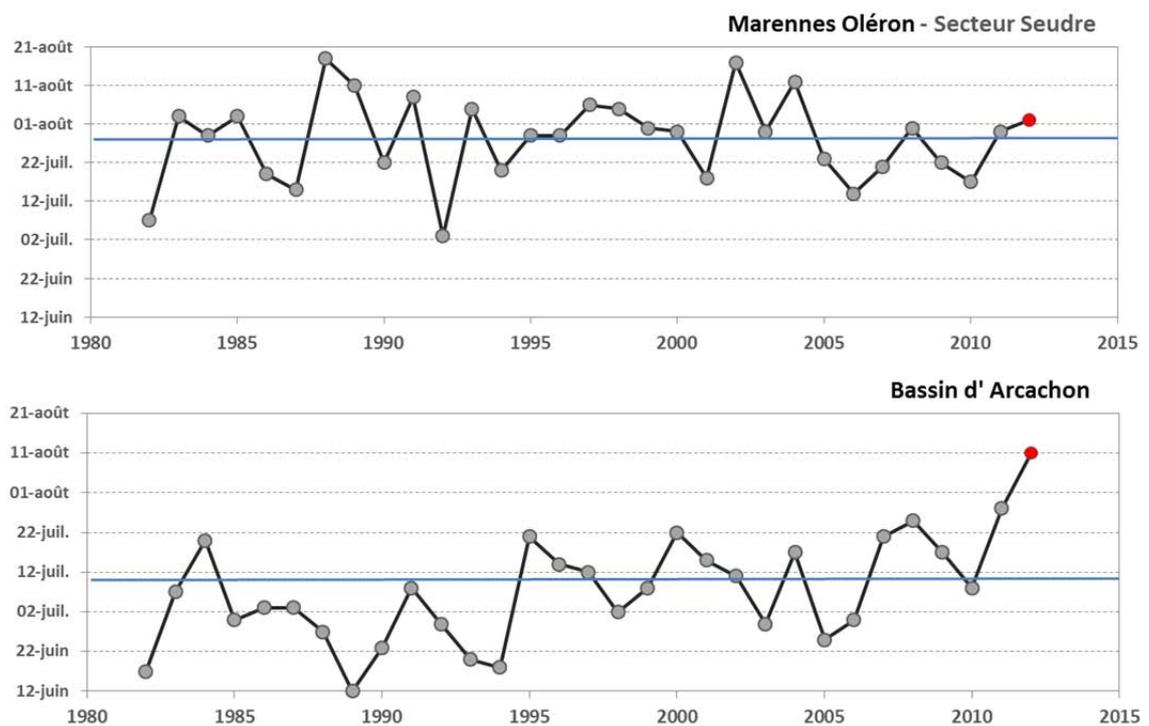


Figure 25 : Evolution depuis 30 ans de la date de ponte principale dans les Bassins de Marennes Oléron (secteur Seudre) et d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest). La date de ponte est estimée ici à partir des pics d'abondances de larves au stade « petites » relevés sur chacun des secteurs. La médiane est symbolisée par la droite bleue, l'année 2012 est indiquée en rouge. Notez le décalage progressif de la date de première ponte sur le Bassin d'Arcachon par comparaison à la relative stabilité enregistrée à Marennes Oléron.

3.5 Abondance, développement et survie des larves

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

- (1) la durée du développement larvaire, communément appelée « PLD » (Pelagic Larval Duration), liée à la température de l'eau et aux conditions nutritives ;
- (2) la survie générale de la cohorte, notée S, liée aux conditions hydrodynamiques (forcées par les coefficients de marée et les régimes de vent régnant sur le secteur), aux conditions trophiques (en liaison avec la compétition), à la prédation (pathogènes inclus) et à la présence de xénobiotiques.

Pour l'instant, et en ce qui concerne le recrutement de l'huître creuse sur les côtes françaises, Auby et Maurer (2004) puis Pouvreau et al. (2011) ont montré que ni la prédation, ni la compétition, ni la présence de pathogènes ne semblait en cause, de façon prioritaire, dans les variations d'abondance larvaire enregistrées à Arcachon. Dans ce contexte, nous nous intéressons ici aux seuls effets des facteurs hydrologiques, notamment celui de la température.

3.5.1 Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire

L'ensemble des graphes d'abondance larvaire, par stade, par site, par bassin, par année est disponible sur le site Internet de Velyger : <http://www.ifremer.fr/velyger>, dans la rubrique : accès aux données. Nous ne présentons, dans cette partie, que des graphes de synthèse permettant (1) de comparer aisément l'année 2012 par rapport aux années antérieures et (2) d'analyser les mécanismes majeurs pouvant expliquer la variabilité observée.

La Figure 26 montre l'évolution de l'abondance larvaire (ici le stade 'larves évoluées') depuis 1982 et permet de caractériser 2012 par rapport à ce référentiel. Cette figure utilise les données de larves 'évoluées', car ce stade présente l'avantage par rapport au stade 'petites' d'éviter d'éventuelles confusions au moment de la reconnaissance ainsi que des biais d'échantillonnage liés à la dynamique spatio-temporelle d'apparition des larves petites. En complément, la figure suivante traite de la relation entre le stade 'évoluées' et le stade 'grosses'.

En termes de variabilité temporelle, on constate :

- Une tendance à la diminution de l'abondance de larves sur le Bassin d'Arcachon depuis une dizaine d'années. Cette diminution est générale sur le bassin, mais elle est plus marquée dans le secteur Est que le secteur Ouest. L'année 2012 s'inscrit toujours dans cette tendance à la diminution avec des valeurs relativement basses mais supérieures aux valeurs minimales enregistrées en 2011 (en moyenne 476 larves/1,5m³ en 2012 contre 154 larves/1,5m³ en 2011).
- A l'opposé, le Bassin de Marennes Oléron enregistre depuis une dizaine d'années une augmentation de la concentration en larves, légèrement plus marquée en Charente qu'en Seudre. L'année 2012 confirme cette tendance et les concentrations moyennes en larves sur le Bassin de Marennes Oléron (398 larves/1,5m³) sont dans les mêmes gammes de valeurs que celles mesurées dans le Bassin d'Arcachon (476 larves/1,5m³).

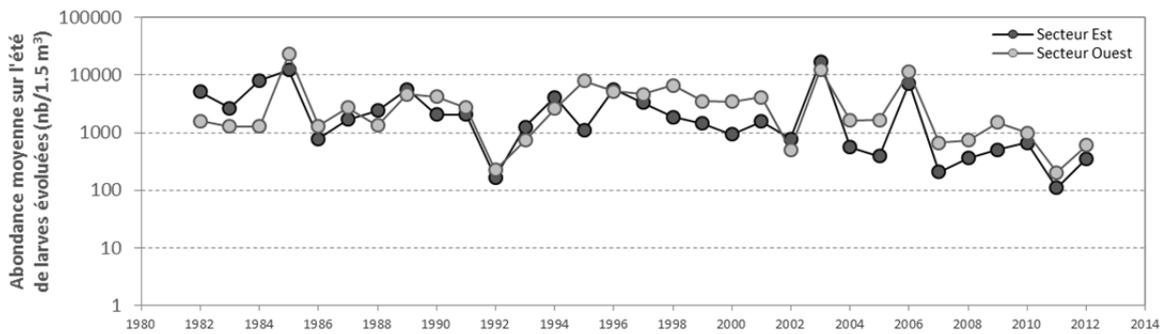
A partir de 2008, il devient possible de comparer ces sites traditionnels aux sites dits 'émergents' en termes de pratique du captage (Rade de Brest, Baie de Bourgneuf et Etang de Thou).

- Dans les années précédentes, la Rade de Brest était le site pour lequel l'abondance était la plus faible (Pouvreau et al., 2011) : pour la première fois en 2012 ce site présente des valeurs comparable aux sites traditionnels avec 389 larves/1,5m³ observée en moyenne sur l'été.
- La Baie de Bourgneuf présente en 2012 des concentrations records en larves évoluées avec une moyenne (8195 larves/1,5m³) supérieure à celle observée dans les autres bassins de la façade atlantique. Ces concentrations s'expliquent par une ponte majeure et synchrone sur ce secteur.

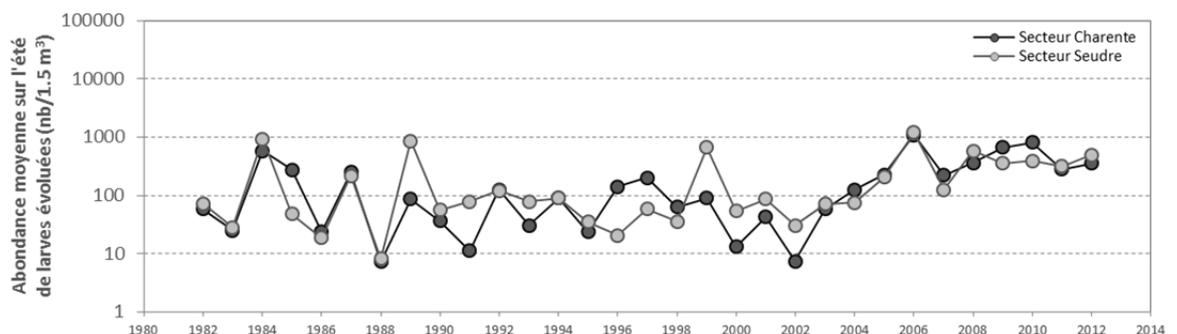
- Pour la troisième année consécutive, les concentrations larvaires enregistrées dans l'Etang de Thau sont elles aussi particulièrement élevées (2549 larves/1,5m³) bien que plus faibles qu'en 2011 et 2010. Ce site particulier confirme son potentiel en termes de développement de la pratique du captage.

Enfin, il convient de remarquer que, globalement, pour tous les sites étudiés ici, on constate que l'année 2012 présente des valeurs plutôt en hausse par rapport à 2011, conformément aux valeurs de fécondité plus élevées présentées précédemment.

Bassin d'Arcachon



Bassin de Marennes Oléron



Tous sites Velyger

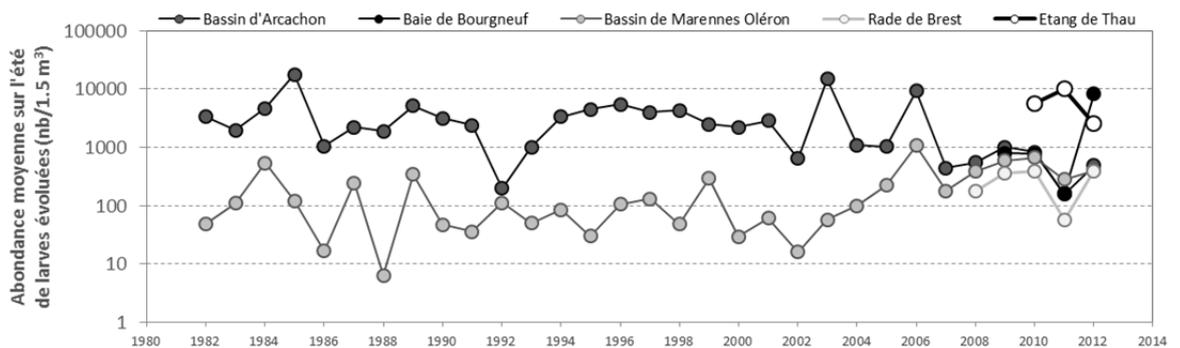


Figure 26 : Evolution des abondances moyennes sur l'été de larves (stade 'évoluées') sur les 5 bassins du réseau Velyger. De haut en bas : le Bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest), le bassin de Marennes Oléron (Secteurs Seudre et Charente) et les 5 bassins suivis dans Velyger (Valeurs moyennes tous secteurs confondus).

En complément de cette première description de la variabilité spatio-temporelle de l'abondance de larves (stade 'évoluées'), la Figure 27 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 2012 par rapport aux années antérieures. L'analyse détaillée de cette figure révèle les points suivants :

- Pendant de nombreuses années, le Bassin d'Arcachon se distinguait très nettement du Bassin de Marennes Oléron par des concentrations en larves (évoluées et grosses) nettement supérieures avec des années records comme 2003, 2006, mais aussi 1985, 1995. A l'opposé, le Bassin de Marennes Oléron pouvait présenter de très mauvaises années : 1986, 1988, 2002. Et, d'une façon générale, les nuages de points pour ces 2 sites étaient bien distincts : les valeurs pour le Bassin de Marennes Oléron occupant la partie inférieure, celles pour le Bassin d'Arcachon occupant la partie supérieure.
- Mais, depuis les 10 dernières années, ces deux nuages se rejoignent: certaines années d'Arcachon présentent des valeurs inférieures à celles de Marennes-Oléron. C'était notamment le cas de l'année 2011 à Arcachon, qui se positionnait au milieu du nuage des points de Marennes-Oléron. En 2012, la situation redevient plus normale pour Arcachon.
- Les sites Rade de Brest et Baie de Bourgneuf, pour lesquels, pour l'instant, nous ne disposons que de 4-5 années d'observation, présentent des valeurs intermédiaires. En 2012, la rade de Brest se positionne au milieu du nuage de points très proches des sites de Marennes Oléron et d'Arcachon. Par contre, la Baie de Bourgneuf se détache du nuage de points en 2012 avec des valeurs de larves grosses faibles compte tenu des concentrations élevées de larves évoluées. Cette anomalie sera expliquée dans les paragraphes suivants.
- Enfin, la régression établie sur ce nuage de points présente un coefficient de détermination R^2 de 0.63 et permet d'évaluer une survie moyenne de l'ordre de 10% entre ces 2 stades. Certaines années (ellipse en pointillé sur le graphe) présentent des survies moyennes nettement inférieures, il s'agit pour la plupart d'entre elles d'années caractérisées par des conditions fraîches lors de l'évolution larvaire (e.g. 2002, 2005, 2009 pour le Bassin d'Arcachon, 2008 pour la Rade de Brest et 2012 pour la Baie de Bourgneuf).

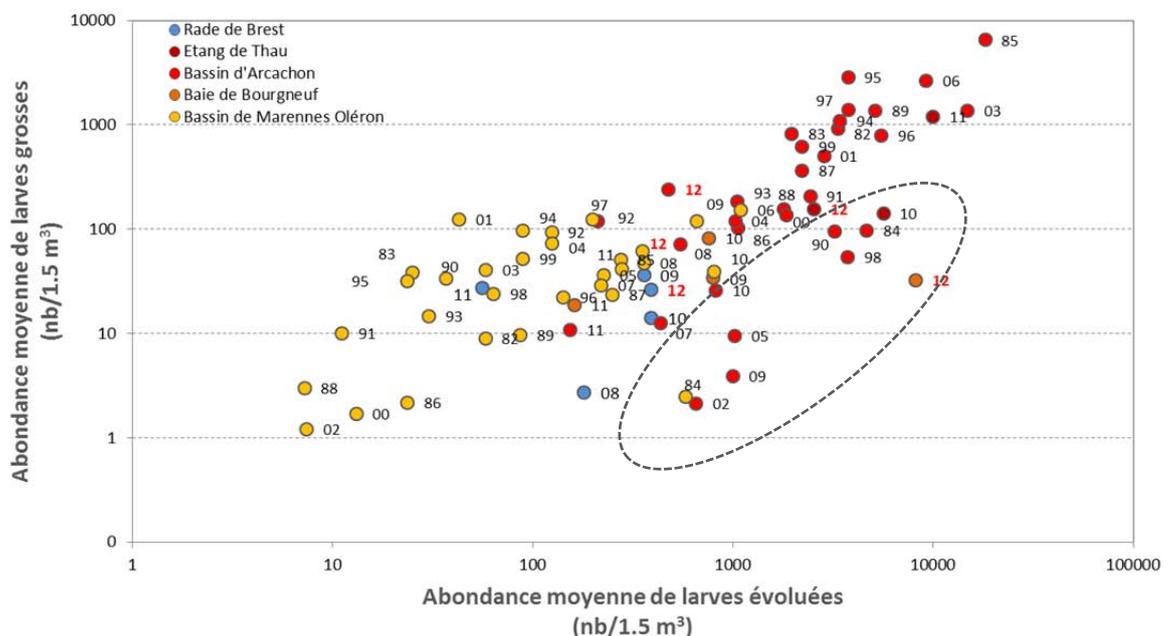


Figure 27 : Relation entre l'abondance de larves évoluées et l'abondance de larves grosses pour les 4 sites du réseau Velyger toutes années confondues. L'année 2012, tous sites confondus, se positionne plutôt dans la moitié supérieure de ce nuage. Notez que la régression établie sur ce nuage de points présente un coefficient de détermination R^2 de 0.63 et permet d'évaluer une survie moyenne de l'ordre de 10% entre ces 2 stades. Certaines années (ellipse pointillée) présentent des survies moyennes nettement inférieures, il s'agit pour la plupart d'entre elles d'années caractérisées par des conditions fraîches lors de l'évolution larvaire (2002, 2005, 2009 pour le bassin d'Arcachon, 2008 pour la rade de Brest et 2012 pour la Baie de Bourgneuf).

3.5.2 Durée du développement larvaire

La Figure 28, actualisée pour l'année 2012, illustre la relation entre l'effet de la température de l'eau sur la durée du développement d'une cohorte larvaire (notée PLD) évaluée entre le stade 'petites' et le stade 'grosses'.

La relation obtenue précédemment (Pouvreau et al., 2011) devient plus significative avec l'ajout des données 2012 ($R^2=0.70$) et confirme que la durée d'évolution d'une cohorte varie dans la gamme suivante :

- plus de 18 jours en-dessous de 20°C (conditions fréquentes en Rade de Brest, mais aussi en Baie de Bourgneuf en juillet 2012) ;
- moins de 10 jours au-delà de 23°C (conditions potentielles lors d'étés chauds à Arcachon comme en août 2012 et fréquentes dans l'Etang de Thau).

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

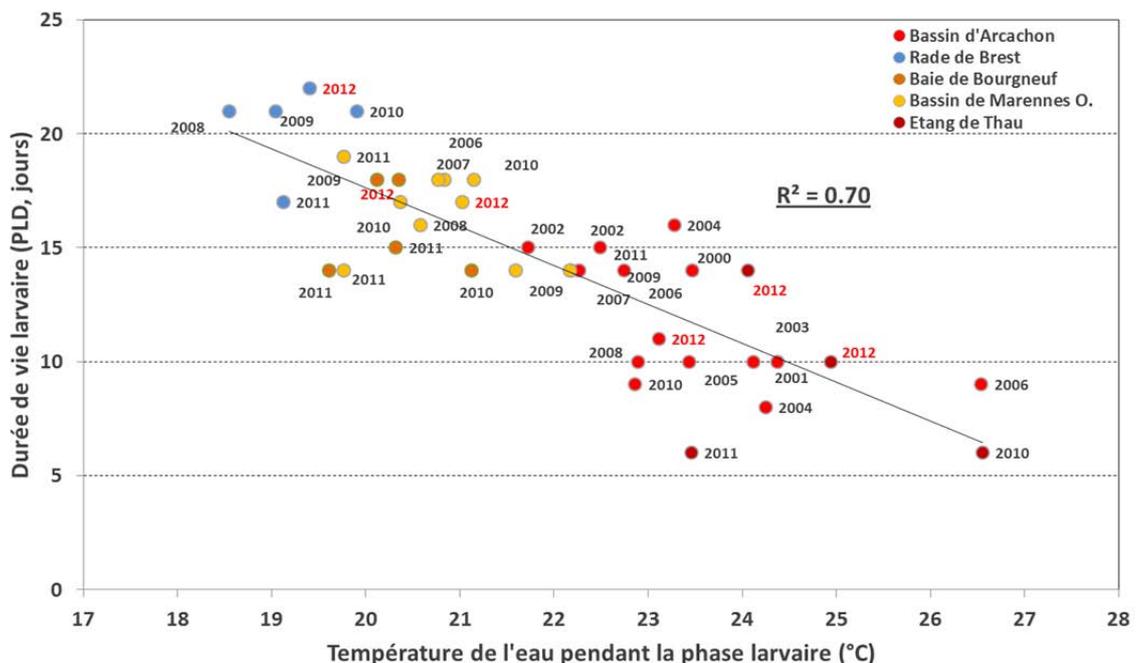


Figure 28 : Relation entre la durée du développement larvaire (PLD en jours) et la température de l'eau sur tous les sites et années Velyger pour lesquels des cohortes larvaires ont été repérées sans ambiguïté. La durée du développement larvaire est estimée ici, sur chaque cohorte, à partir du nombre de jours entre le pic de larves au stade 'petites' et le pic de larves au stade 'grosses'.

En outre, cette figure montre que les durées de vie larvaire pour les différentes cohortes observées en 2012 se positionnent, par rapport aux valeurs enregistrées antérieurement, de la manière suivante :

- Dans la gamme inférieure pour le Bassin d'Arcachon et l'Etang de Thau (PLD = 11 j.) ;
- Dans la norme pour le bassin de Marennes Oléron (PLD = 17 j.) ;
- Dans la gamme supérieure pour la Baie de Bourgneuf (PLD = 18 j.) ;
- Dans la gamme supérieure pour la Rade de Brest (PLD = 22 j.).

3.5.3 Survie larvaire

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

La Figure 29 présente la relation, actualisée pour 2012, entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes repérées sans ambiguïté sur chaque site Velyger depuis 2001. Cette figure démontre trois résultats majeurs :

- D'une façon générale, il existe une forte différence (pouvant atteindre un facteur 100) entre la survie larvaire mesurée à Arcachon et celle mesurée dans les autres écosystèmes de la façade atlantique. Cette différence est maximale quand la température de l'eau est faible à Arcachon (22°C).
- Pour le Bassin d'Arcachon, il existe une forte relation entre la température de l'eau et la survie larvaire ($R^2 = 0.69$): en dessous de 23°C, la survie est inférieure à 0.1% ; de 23 à 25°C, la survie est comprise entre 0.1% et 1%, au-dessus de 25°C, la survie devient supérieure à 1% ;
- L'Etang de Thau suit la même relation qu'à Arcachon, mais il convient de disposer d'un plus grand nombre d'années d'observation sur ce site ;
- Pour les autres écosystèmes, on constate une complémentarité entre les données des bassins de Marennes Oléron, Bourgneuf et de la Rade de Brest ainsi qu'une tendance à l'augmentation de la survie avec la température sur ces secteurs, mais avec un modèle probablement différent de celui mis en évidence à Arcachon.

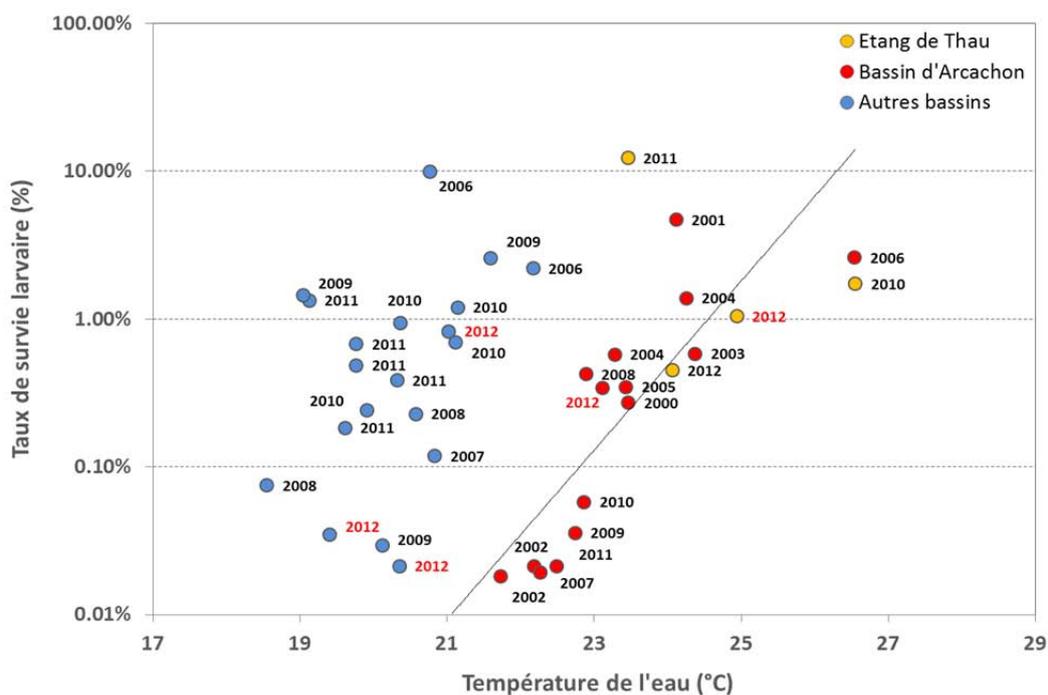


Figure 29 : Relation entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes larvaires repérées sans ambiguïté dans chaque site Velyger depuis 2001. Les valeurs pour l'année 2012 sont signalées par un texte rouge. Notez la forte différence, pour une température donnée, entre les valeurs mesurées à Arcachon et celles mesurées sur les autres sites Velyger. Pour le site d'Arcachon (secteur Est), on constate une forte corrélation ($R^2 = 0.69$) entre la température de l'eau et le taux de survie larvaire.

En outre, pour l'année 2012, cette figure montre :

- Une survie normale (proche de 0.3 %) de la cohorte observée sur Arcachon en relation avec les températures favorables (> 23°C); C'est aussi le cas pour les cohortes de l'Etang de Thau.
- Une survie très faible (0.02 à 0.03 %) pour les cohortes observées en rade de Brest et en Baie de Bourgneuf liée à des températures peu favorables (< 20°C).
- Une survie plutôt bonne (0.8%) pour la cohorte observée dans le Bassin de Marennes Oléron (Secteur Charente) liée à des températures favorables pour ce secteur (> 21°C).

3.5.4 Larves grosses et intensité du captage

Pour terminer cette série de corrélations, et afin de démontrer que la variabilité du recrutement repose effectivement sur la chaîne de facteurs que nous venons de mettre en évidence, il convient de s'intéresser, enfin, à la relation entre l'abondance de larves grosses mesurée tout au long de l'été et le captage (cumulé) obtenu à l'automne sur les collecteurs posés au cours de l'été.

Pour se faire, seuls les secteurs faisant l'objet d'une estimation du captage la plus optimisée possible (Maurer *et al.*, 2009b) ont été utilisés (*e.g.* le secteur de la Seudre a été écarté, car trop faiblement échantillonné).

A l'exception de l'Etang de Thau, la Figure 30, actualisée pour l'année 2012, montre toujours une forte corrélation ($R^2 = 0.60$) entre l'abondance moyenne de la concentration en larves grosses observée au cours de l'été dans un secteur et le captage (cumulé) estimé à l'automne sur ce même secteur (nombre total de naissain). Cette relation, indépendante des secteurs étudiés (au moins pour ceux de la façade atlantique), permet désormais d'établir dès la fin de l'été une prévision du captage à l'automne. Cette forte relation entre abondance de larves grosses et recrutement montre aussi qu'il n'y a vraisemblablement pas de verrous biologiques clés au moment de la métamorphose et de la fixation, car si ce verrou existait, on aurait des mauvais recrutements malgré une forte abondance de larves grosses.

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

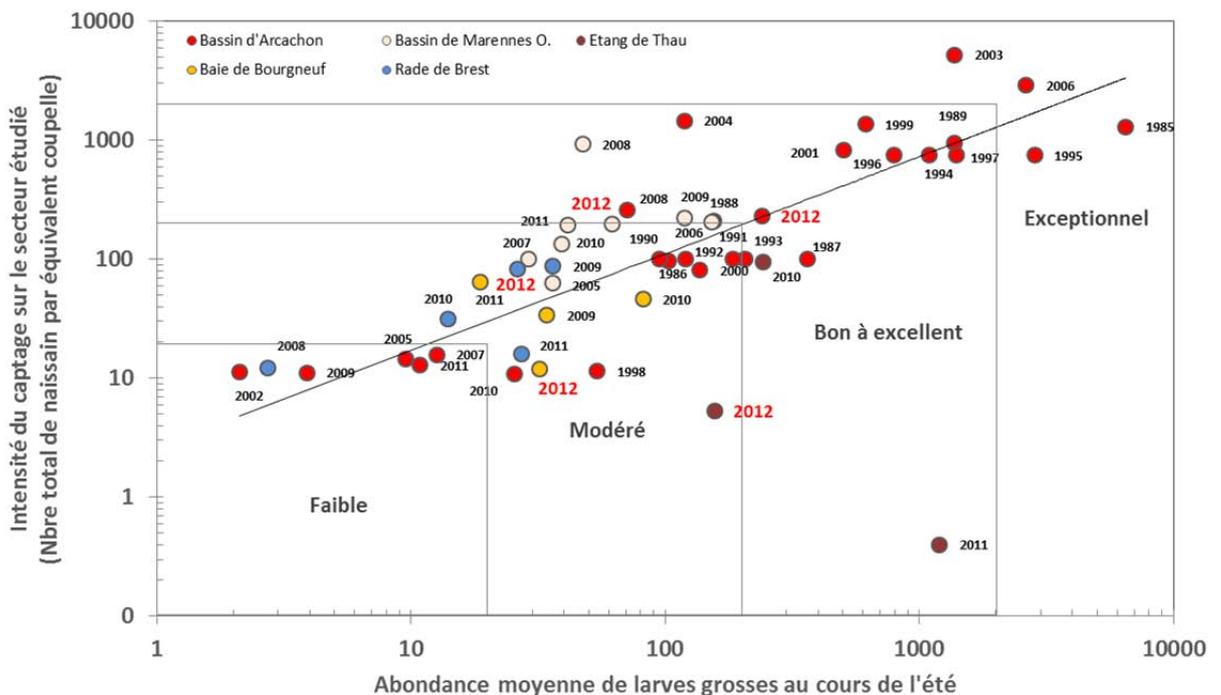


Figure 30 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été et l'intensité du captage estimé à l'automne (nombre total de naissain exprimé en équivalent coupelle ($R^2=0.60$)).

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

- 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 (à 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 moyen ;
- 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 d'exceptionnel.

Ainsi, pour l'année 2012 et à l'exception de l'Etang de Thau, on peut constater que l'ensemble des observations se situent plutôt vers le centre du nuage de points. Cette année est marquée par des valeurs moyennes d'abondances de larves grosses modérées à fortes selon les secteurs (de 26 à 241 larves/1,5m³) se traduisant par un captage allant de faible (15 naissains/coupelle en Baie de Bourgneuf), moyen (82 naissains/coupelle en Rade de Brest, 197 naissains/coupelle à Marennes-Oléron) à bon (217 naissains/coupelle dans le Bassin d'Arcachon), comme cela va être présenté dans le paragraphe suivant.

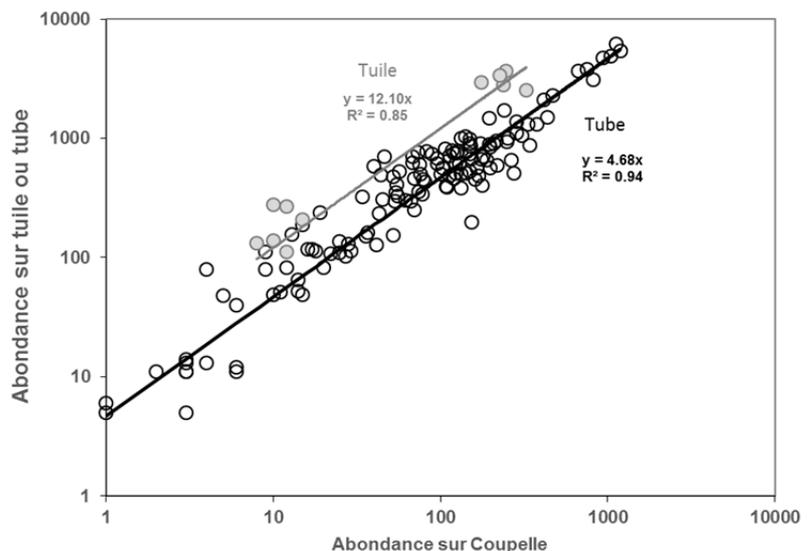
3.6 Estimation précoce du recrutement

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

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

Notons qu'il existe plusieurs types de collecteurs (tuile, coupelle, tube crénelé, plénos) et les bassins n'utilisent pas forcément le même type. Dans le cadre du réseau Velyger et dans un souci d'inter-comparaison, le collecteur choisi comme référence a été la coupelle (car elle est utilisée dans chaque bassin). Cependant, à titre d'indication, la Figure 31 fournit des éléments de corrélation permettant d'établir une équivalence entre type de collecteurs.

Figure 31 : Relation entre l'abondance sur une coupelle et celle sur un tube ou une tuile placée dans les mêmes conditions. La pente est de 4.7 pour la relation coupelle-tube (pour un coefficient de corrélation de 0.94) et de 12.1 pour la relation coupelle-tuile (pour un coefficient de corrélation de 0.85). ►



Les 5 figures suivantes synthétisent, pour chaque bassin, sur une cartographie, les résultats de la campagne 2012 d'estimation du captage et permettent de comparer ces résultats avec les années antérieures. Il ressort clairement que, pour l'année 2012 :

- La Rade de Brest (Figure 32) est caractérisée, en 2012, par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 82 à 117 naissains par coupelle. Ces résultats, supérieurs à ceux des années 2010 et 2011 sont comparables à ceux de 2009.
- La Baie de Bourgneuf (Figure 33) est caractérisée, en 2012, par **un captage modéré voire faible**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 11 à 22 naissains par coupelle. Tous secteurs confondus, ces résultats sont les plus bas depuis 2009.
- Le Bassin de Marennes Oléron (Figure 34) est caractérisé, en 2012, par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 169 à 197 naissains par coupelle. Pour les secteurs Charente et Centre, ces résultats sont comparables à ceux des années antérieures en restant toutefois inférieurs aux valeurs 2008. Pour le secteur Seudre, ces résultats sont les meilleurs depuis 2009.
- Le Bassin d'Arcachon (Figure 35), est caractérisé, en 2012, par **un captage bon**, avec des valeurs moyennes par secteur de 228 à 247 naissains par coupelle. Ces résultats sont comparables, tous secteurs confondus, à ceux de l'année 2008 et restent largement supérieurs aux faibles valeurs de 2009-2011.
- L'Etang de Thau (Figure 36) est caractérisé, en 2012, par un captage **faible** avec des valeurs moyennes de 3 à 7 naissains par coupelle, bien inférieures aux valeurs 2010.

Ainsi, en 2012, les plus fortes intensités de captage sont enregistrées en Baie de Bourgneuf (Secteurs Plantives et Northe) et dans le Bassin de Marennes-Oléron (Secteur Charente) alors que les plus faibles intensités sont enregistrées dans le Bassin d'Arcachon (Secteur Est), en Seudre ainsi qu'en Rade de Brest (Secteur Daoulas).

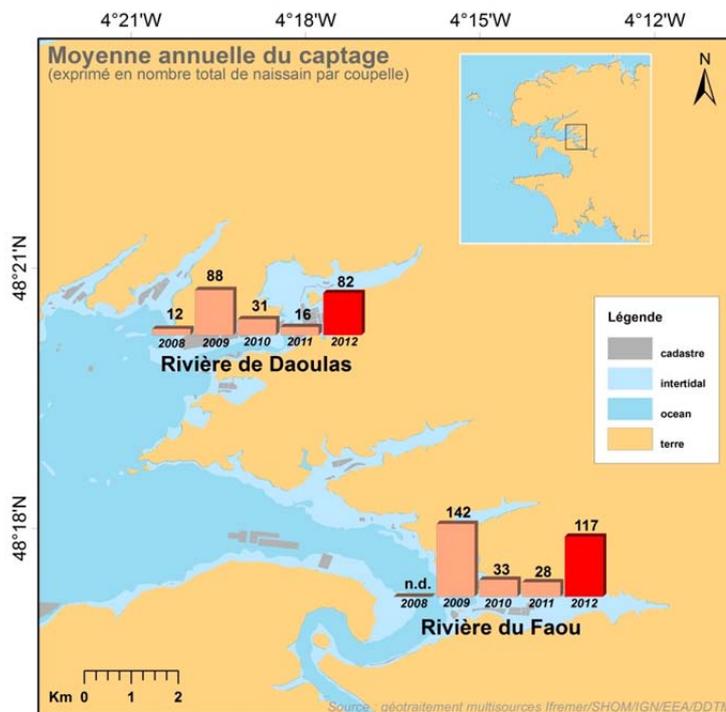


Figure 32 : Abondance moyenne par secteur du captage en Rade de Brest : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2012 et comparaison aux années antérieures.

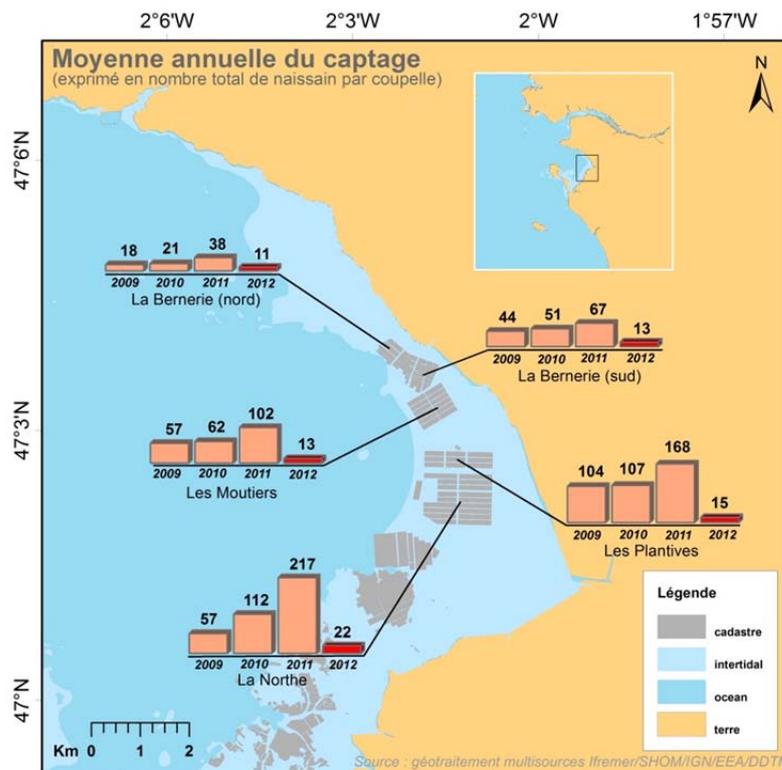


Figure 33 : Abondance moyenne par secteur du captage en Baie de Bourgneuf : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2012 et comparaison aux années antérieures.

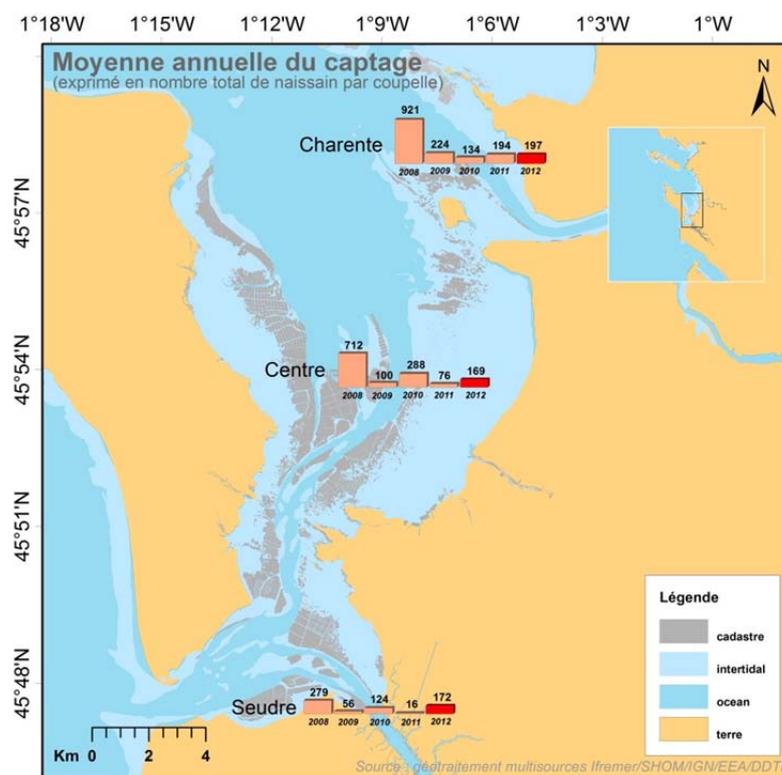


Figure 34 : Abondance moyenne par secteur du captage en Bassin de Marennes Oléron : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2012 et comparaison aux années antérieures.

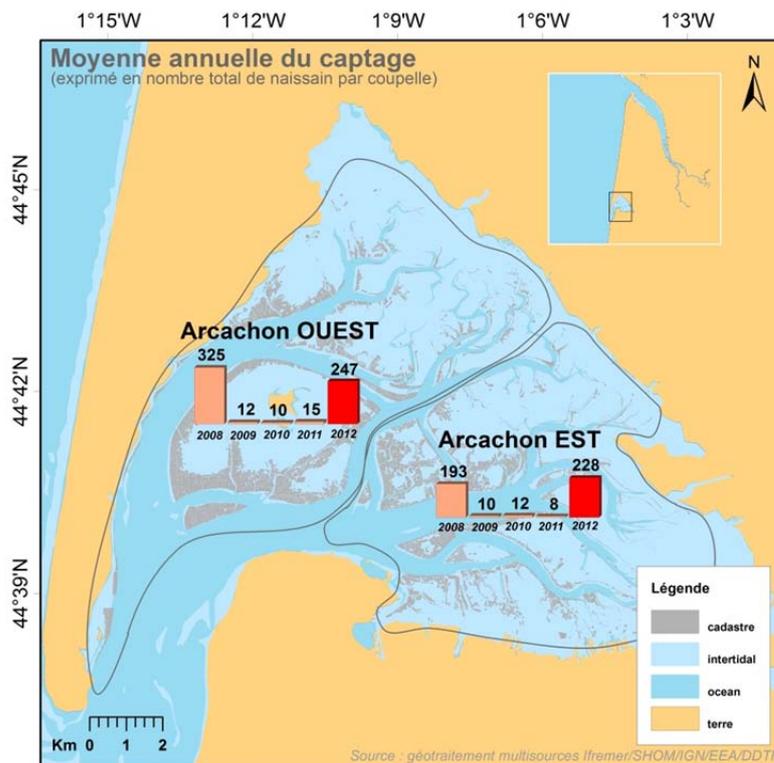


Figure 35 : Abondance moyenne par secteur du captage dans le Bassin d’Arcachon: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2011 et comparaison aux années antérieures.

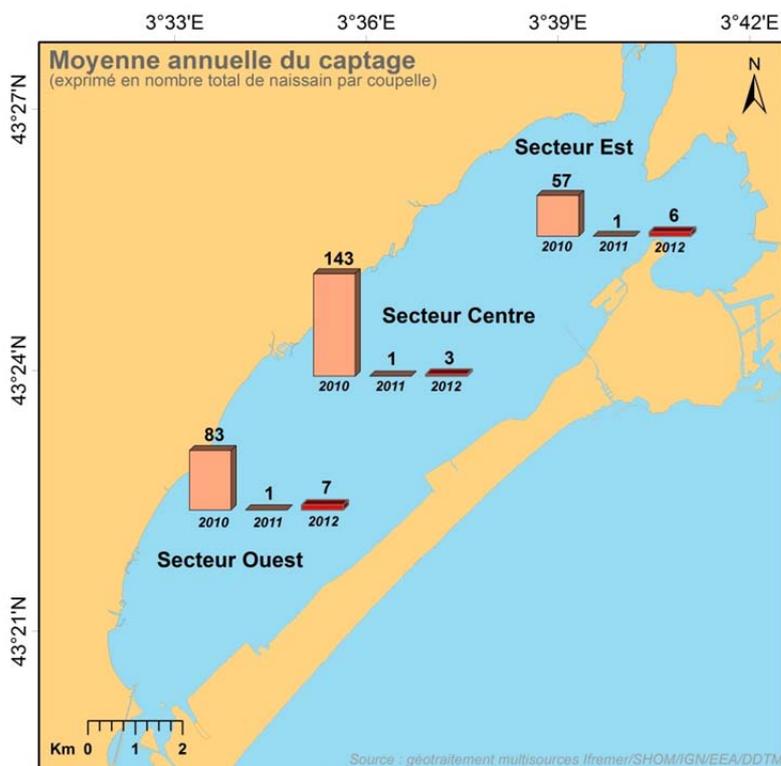


Figure 36 : Abondance moyenne par secteur du captage dans l’Etang de Thau: nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2012 et comparaison aux années antérieures.

4 Synthèse

4.1 Schéma général

Sur la base des résultats antérieurs obtenus par le Réseau Velyger (Pouvreau et al., 2011 ; Pouvreau et al., 2012) et des nouvelles données acquises au cours de l'année 2012 présentées dans ce rapport, il nous est possible de proposer un schéma général pour expliquer la variabilité spatio-temporelle 2012 de la reproduction de l'huître creuse en France. Ce schéma que l'on peut construire comme une chaîne de 7 facteurs s'organise de la manière suivante :

- (1) L'abondance printanière en phytoplancton agit quantitativement sur la maturation et détermine les niveaux maximums de l'indice de condition des huîtres adultes en juillet et de la fécondité lors de la ponte. Cette abondance en phytoplancton peut être modulée par les apports d'eau douce hivernaux et printaniers. **En 2012, l'hiver et le printemps humides sur les secteurs nord (Rade de Brest, Baie de Bourgneuf) ont globalement contribué à une abondance en phytoplancton supérieure aux années précédentes et donc des indices de maturation plutôt forts.** Ce constat s'estompe pour les secteurs sud (Bassin d'Arcachon, Etang de Thau), sites pour lesquels la faible concentration en phytoplancton se traduit par un faible indice de maturation, comme les années précédentes.
- (2) La température moyenne de l'eau en début d'été détermine la date de ponte. Sur la façade atlantique, **en raison d'un mois de juillet plutôt frais (2°C d'anomalie thermique négative pour la Rade de Brest et la Baie de Bourgneuf) ou tout juste dans les normales (Bassin de Marennes Oléron et d'Arcachon), la date de la ponte principale en 2012 a été plutôt tardive sur les écosystèmes de façades atlantiques.** Cela dit, elle a été très tardive pour Arcachon au-delà de ce que prévoyait le modèle thermique et étrangement précoce sur la Baie de Bourgneuf, en deçà de ce que prévoyait le modèle thermique. Ces 2 événements particuliers restent à expliquer. Enfin, **sur l'Etang de Thau, les températures élevées du début d'été ont permis une ponte dès le début juillet, en conformité avec le modèle thermique** proposé dans le rapport.
- (3) La quantité de jeunes larves présentes dans l'eau dépend de l'abondance des stocks d'huîtres adultes contribuant au captage, de leur fécondité individuelle et dans une moindre mesure du synchronisme de leur ponte, ce synchronisme étant favorisé par les forts contrastes thermiques (*e.g.* Bernard et al., 2011). En 2012, **la fécondité individuelle a été caractérisée par un net gradient Nord-Sud et l'abondance de jeunes larves semblent suivre ce gradient** : fortes abondances pour la Rade de Brest et la Baie de Bourgneuf, abondances normales pour les autres secteurs. Il convient de noter que la tendance décennale à la diminution de l'abondance de larves dans le Bassin d'Arcachon reste toujours d'actualité.
- (4) Une fois les larves émises, leur vitesse de développement et leur abondance à chaque stade (*i.e.* leur survie) dépendent directement de la température de l'eau lors du développement. Une température basse rallonge la durée de la vie larvaire, ce qui favorise une dispersion plus importante et une survie plus faible. Cette survie peut varier selon les secteurs et la température **d'un facteur 1000** (*i.e.* de 0.01 % à presque 10 %). **En 2012, la durée de vie a été très différente selon les secteurs : longue (> 18 jours) dans les secteurs nord (Rade de Brest et Baie de Bourgneuf), normale dans le Bassin de Marennes Oléron et courtes (<10 jours) dans le Bassin d'Arcachon et l'Etang de Thau ;**
- (5) La quantité de larves grosses dépend directement de l'abondance de jeunes larves (étape 3) et de leur survie (étape 4). **En 2012, ces deux étapes ont été plus ou moins affectées selon les secteurs par les conditions hydro-climatiques au cours l'évolution larvaire. Ainsi, cela aboutit à différents cas de figures** : des valeurs moyennes d'abondances de larves grosses modérées (26 à 32 larves/1,5m³) en Baie de

Bourgneuf et en Rade de Brest à fortes dans le Bassin d'Arcachon et l'Etang de Thau bon (156 à 241 larves/1,5m³).

- (6) Enfin, une relation de proportionnalité directe existe entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été et le captage observé à l'automne. Cette relation permet une prédiction du captage dès la fin de l'été. **En 2012, le captage a donc été, selon les secteurs, modéré à excellent.** Seule exception à cette règle de proportionnalité : l'Etang de Thau qui malgré les fortes abondances de larves grosses présente un captage faible. Cela montre que pour ce site, le verrou biologique du captage se situe vraisemblablement au moment de la fixation.

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

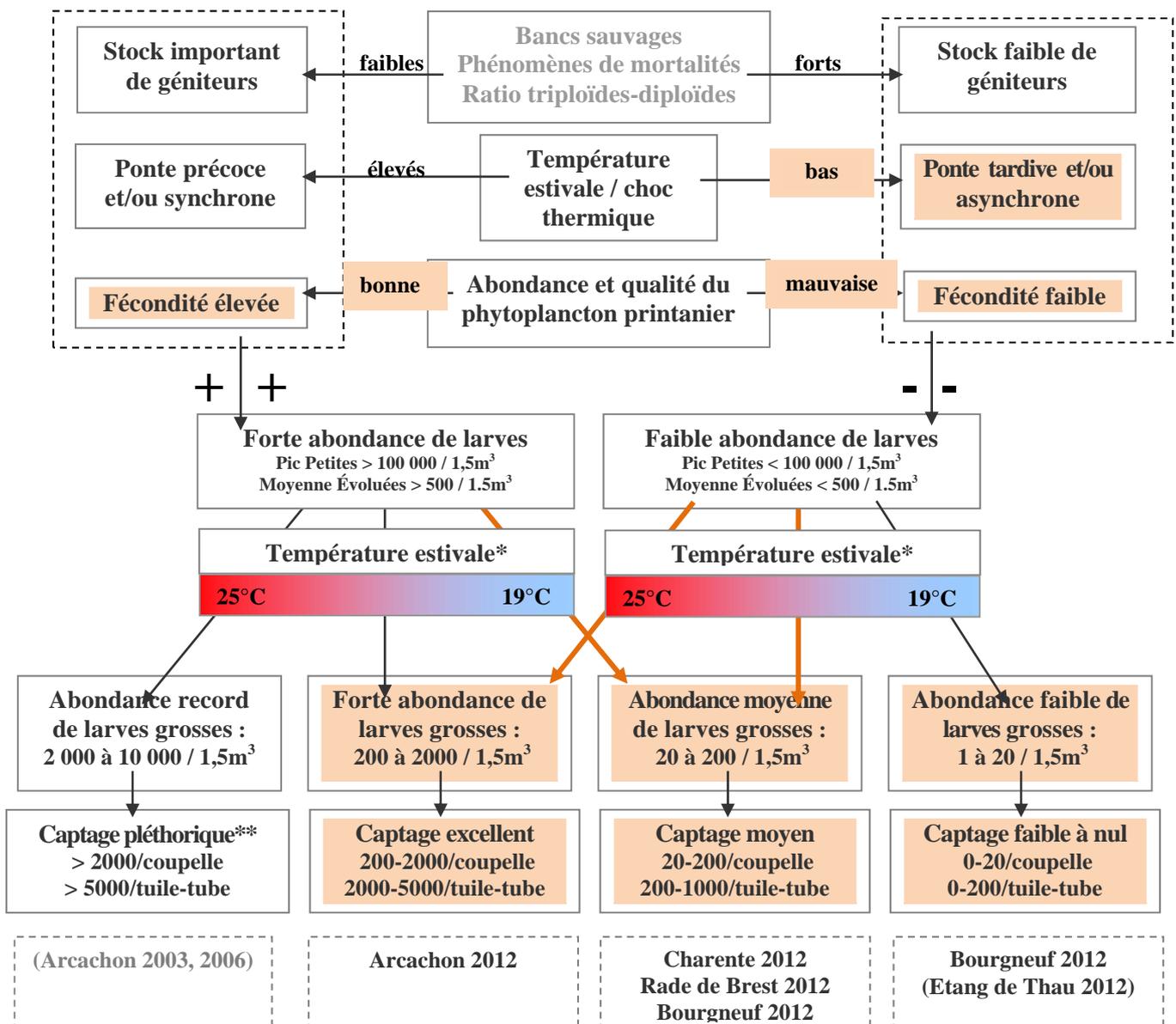
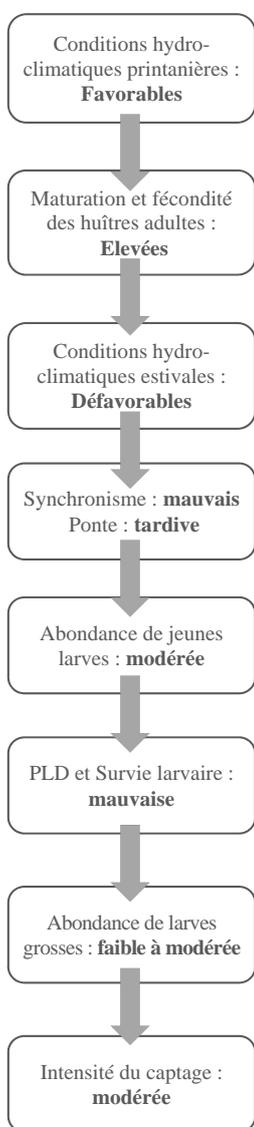


Figure 37 : Schéma récapitulatif et quantifié expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises et positionnant les caractéristiques 2012 (en orange). Le cadre grisé indique que, l'état des connaissances ne permet pas d'affirmer la relation, mais que l'hypothèse forte mérite d'être prise en compte. Légende : * la température estivale est le facteur majeur influençant la survie des larves, mais les facteurs contrôlant le temps de résidence des masses d'eau jouent aussi un rôle clés (hydrodynamique du secteur, coefficient de marée, régime de vent). **Rappelons ici qu'un captage pléthorique n'est pas forcément toujours favorable compte tenu de la très forte perte hivernale qu'il peut engendrer.

4.2 Bilan par secteur

4.2.1 Rade de Brest - secteurs Daoulas et Faou



Du printemps au début de l'été 2012, la pluviométrie excédentaire sur ce secteur a permis au phytoplancton d'atteindre des concentrations plutôt élevées (moyenne printanière $> 7.0 \mu\text{g.l}^{-1}$). Au niveau des populations d'huîtres, cette abondance trophique s'est traduite par une fécondité supérieure aux années précédentes ainsi qu'aux autres sites du réseau Velyger (IC = 148).

Compte tenu d'un début d'été plutôt frais (température de l'air en-dessous des normales, excédents pluviométriques, température de l'eau inférieure à 20°C), la ponte principale des huîtres adultes implantées sur le site a été retardée et n'est survenue que lors de la deuxième quinzaine d'août à la faveur de conditions estivales favorables.

La ponte plutôt totale et synchrone s'est traduite par un pic élevé de larves petites ($> 500\,000$ larves évoluées/ $1,5\text{m}^3$) et une abondance forte de larves 'évoluées' sur l'été, plus élevée que les années précédentes (> 500 larves évoluées/ $1,5\text{m}^3$ en moyenne sur l'été).

Cela dit, en raison d'une température de fin août en dessous de 20°C , la durée de vie larvaire a été longue et la survie plutôt basse ($\sim 0.03\%$), la cohorte observée fin août 2012 n'a finalement apporté qu'un seul pic de larves 'grosses' de 300 larves/ $1,5\text{m}^3$ début septembre. Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' est donc modérée (26 larves/ $1,5\text{m}^3$) ce qui se traduit par un captage modéré variant entre 82 à 117 naissains par coupelle à l'automne, valeurs comparables à l'année 2009 et toutefois supérieures aux années 2008, 2010 et 2011.

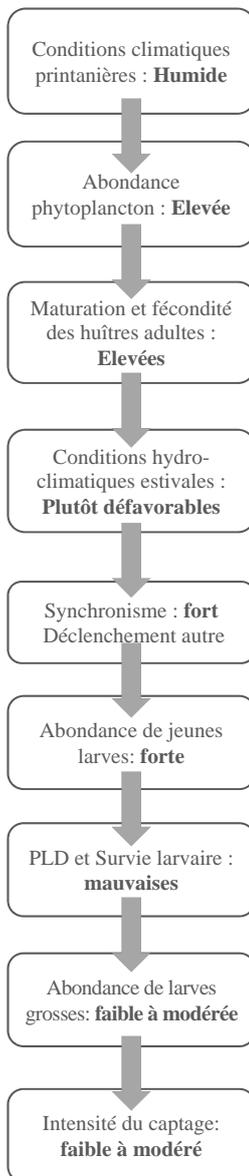
En outre, il convient de noter que, comme chaque année, les densités de naissains par coupelle sont toujours un plus élevées dans la rivière du Faou qu'en rivière de Daoulas.

Ainsi, ce secteur de captage, situé le plus au Nord en France, a souffert en 2012 comme lors des 4 années précédentes 2008-2011 de conditions hydro-climatiques plutôt défavorables sur l'été. Cependant, un mois d'août un peu plus estival a permis un captage modéré mais tardif.

Concernant ce secteur, nous ré-affirmons la conclusion émise dans le rapport précédent (Pouvreau et al., 2012) : les conditions climatiques de l'été constituent pour ce secteur le principal frein au recrutement de l'huître creuse et aux performances du captage qui en dépendent.

Plus précisément, le facteur limitant en Rade de Brest apparaît clairement être la température estivale : un été chaud permettrait des pontes plus synchrones, des abondances de larves 'petites' plus élevées et une meilleure survie se traduisant par une plus forte abondance de larves 'grosses' et un captage vraisemblablement 'bon à excellent'.

4.2.2 Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie et Coupelasse



Au printemps 2012 ainsi qu'en début été, les conditions hydro-climatiques sur la Baie ont été caractérisées par une pluviométrie excédentaire et des températures tout justes dans les normes. Ces conditions ont engendré des concentrations en phytoplancton plutôt élevées (moyenne printanière > 4.0 µg.l⁻¹).

Cette concentration favorable en phytoplancton a favorisé une maturation et une fécondité des huîtres plus élevée que les années précédentes. L'indicateur de maturation (indice de condition maximum) de la population sentinelle d'huîtres adultes, implantée sur le site de la Coupelasse, a atteint la valeur la plus forte (IC = 115) enregistrée par le réseau Velyger sur ce secteur depuis 2008. Malgré un début d'été 2012 plutôt maussade pour ce site (se traduisant par des températures de l'air et de l'eau inférieures aux normales), une ponte massive et synchrone a eu lieu vers la mi-juillet dans une eau fraîche (< 20°C).

Compte tenu des températures de l'eau déficitaires au cours de l'évolution de cette unique cohorte, la durée de vie larvaire a été longue (> 18 j) et par conséquent la survie très mauvaise (~ 0.02 %).

Cette unique cohorte n'a donc permis l'apparition que d'un seul pic de larves 'grosses' d'abondance modérée : 350 larves/1,5m³ le 30 juillet.

Sur l'été, la concentration moyenne de larves 'grosses' a donc été plutôt modérée (32 larves/1,5m³). Ce qui s'est traduit par un captage faible à modéré, selon les sites prospectés, variant entre 11 et 22 naissains par coupelle à l'automne, valeurs inférieures aux années précédentes sur le secteur. Le fait qu'il n'y ait eu qu'une seule cohorte et de surcroît à une période défavorable est la raison majeure des mauvais résultats 2012 pour ce secteur.

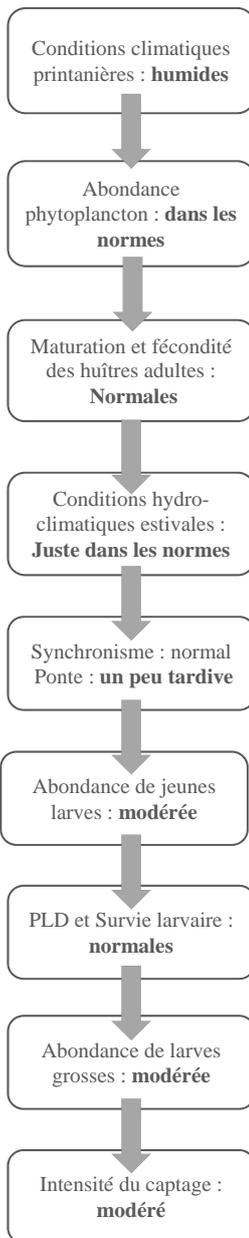
Ce site de captage, situé à une latitude intermédiaire en France, a bénéficié en 2012 tout comme en 2009 et 2010 de conditions hydro-climatiques tout justes favorables, qui ont permis un captage modéré.

Cela dit, à la différence de l'année précédente, l'indice de condition et la fécondité des stocks adultes ont été plutôt élevées, probablement en raison d'une abondance phytoplanctonique forte liée au printemps humide. Mais l'unique ponte qui a eu lieu, de façon précoce, à une période estivale plutôt défavorable n'a entraîné qu'un captage faible à modéré.

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

Cela étant, depuis le démarrage des suivis du réseau Velyger, il est surprenant de constater le caractère généralement précoce des pontes sur ce secteur : ces pontes sont bien souvent les premières de la côte atlantique, elles ont lieu généralement vers la mi-juillet et indépendamment des conditions hydrologiques habituellement nécessaires pour déclencher la ponte.

4.2.3 Bassin de Marennes Oléron - secteurs Charente et Centre



Au printemps 2012, les conditions climatiques sur ce bassin sont caractérisées, comme pour les autres sites de la façade atlantique, par des températures de l'air et de l'eau en-dessous des normales ou justes dans les normes et un excédent pluviométrique marqué à partir d'avril, après un hiver particulièrement sec.

Ces conditions climatiques ont généré des concentrations de phytoplancton très élevées en mars, avril mais plutôt faibles en mai et juin. Dans ce contexte, la population sentinelle d'huîtres adultes implantée sur le site d'Agnas présente, en 2012, un indice de condition un peu plus élevé que les années antérieures (IC = 88), mais plus faible qu'en Rade de Brest et Baie de Bourgneuf.

Compte tenu, là aussi, d'un début d'été tout juste dans les normes climatiques sur ce bassin, la ponte principale des huîtres a été retardée et n'est survenue que dans la première quinzaine d'août, de façon un peu décalée par rapport au modèle thermique, de la même manière que dans le Bassin d'Arcachon.

Cette ponte s'est traduite, malgré tout, par une abondance modérée à forte de larves 'petites' (~500 000 larves/1,5m³ pour le secteur Charente) et une abondance moyenne de larves évoluées sur l'été de l'ordre de 350 larves/1,5m³. Cette valeur place l'année 2012 dans les normes et confirme la tendance à l'augmentation constatée depuis les dernières années.

Compte tenu des températures de l'eau plutôt favorables en août (> 21°C) lors de l'évolution de ces cohortes, la survie a été relativement bonne, surtout sur le secteur Charente (~ 0.8 %). Cette survie élevée est à relier avec les temps de résidence assez longs sur ce secteur (Toulhoat, 2008 ; Bernard *et al.*, 2010). Ce qui a permis l'apparition de plusieurs pics de larves 'grosses' d'abondance modérée (> 500 larves/1,5m³ dans les secteurs Charente et Centre en août). L'abondance moyenne de larves grosses sur l'été 2012 atteint 62 larves/1,5m³, valeur dans les normes.

Cette chaîne de facteurs se traduit par un captage modéré dans le secteur Charente avec 197 naissains par coupelle à l'automne, valeurs de même ordre de grandeur que les années 2009, 2010 et 2011. Les valeurs obtenues dans le secteur Centre sont un peu moins élevées, avec 169 naissains par coupelle, mais restent conformes à la relation inter-secteur proposée par Pouvreau *et al.* (2010).

Ainsi, sur ces 2 secteurs des Pertuis Charentais, tout comme les dernières années, l'année 2012 se caractérise par un captage plutôt favorable surtout sur le secteur Charente. Ces bonnes performances s'expliquent, en 2012, comme pour les années précédentes, par les points suivants :

- (1) Une abondance suffisante en jeunes larves liée à des stocks et/ou une fécondité favorable ;
- (2) Une survie élevée, liée à des temps de résidence importants dans le secteur Charente;
- (3) La possibilité complémentaire d'apport allochtone de larves (depuis le Nord, e.g. Bernard *et al.*, 2010) à des stades avancés.

Il convient juste de noter que le secteur Centre se comporte de la même manière que le secteur Charente, mais avec des concentrations en larves grosses toujours inférieures (Figure 38), témoignant probablement d'une circulation hydrodynamique moins favorable (Bernard *et al.*, 2010). Tout comme les années précédentes, nous pensons que ces 2 secteurs bénéficient d'apports de larves allochtones depuis le nord du Bassin : la préservation de ces stocks sauvages de géniteurs 'source' constituent probablement une garantie d'avenir.

En outre, l'année 2012, se caractérise, sur ce site, par une abondance de phytoplancton en hausse par rapport aux années antérieures. Il convient toutefois de rester vigilant car lors d'années particulièrement sèches, une diminution trop importante des biomasses phytoplanctoniques (ou une surcharge des stocks) pourrait se traduire par une fécondité limitée, une moindre quantité de larves et une diminution du captage.

4.2.4 Bassin de Marennes Oléron - secteur Seudre

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

D'une façon générale, ce secteur est caractérisé, d'après les données acquises par le CREA depuis 2005, par un captage généralement moins abondant que dans les 2 autres secteurs mais sans toutefois présenter de corrélation, alors que les secteurs Centre et Charente sont plutôt bien corrélés entre eux, comme en témoigne la Figure 38.

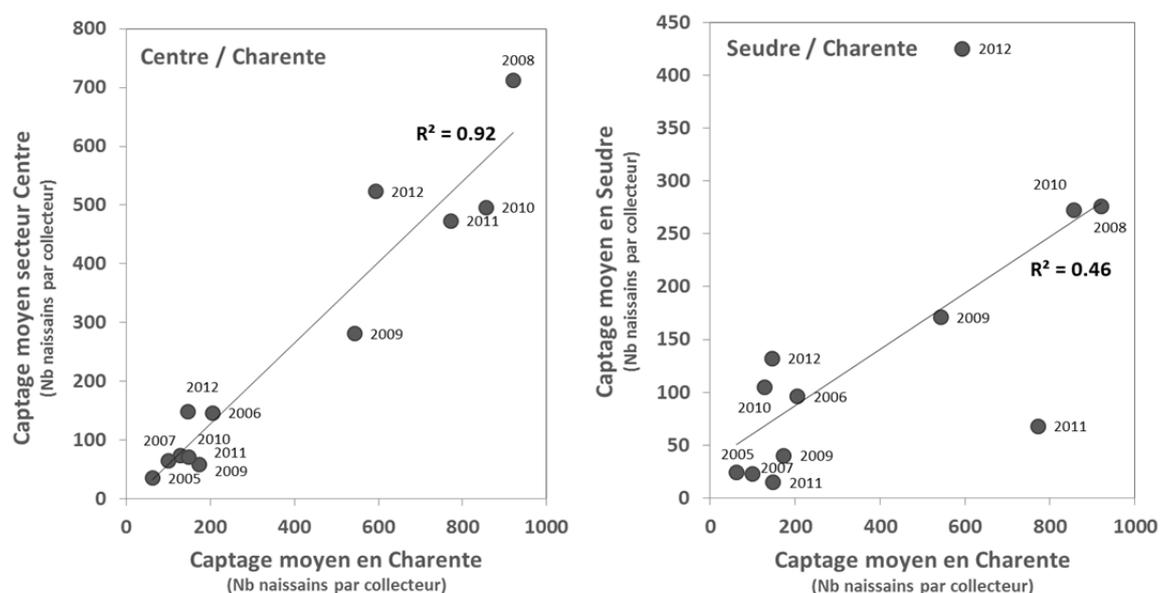
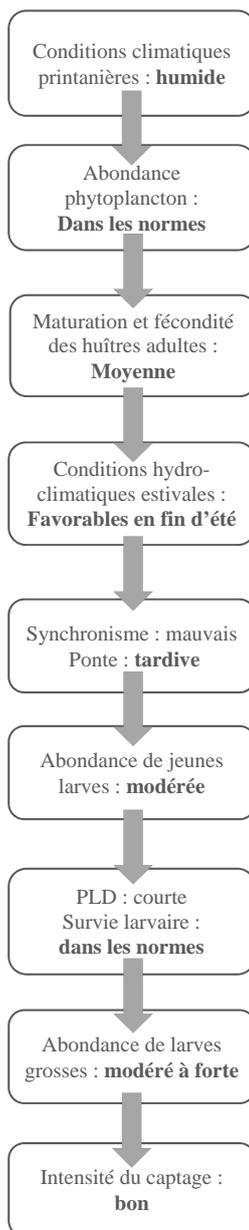


Figure 38 : Relation entre les intensités de captage de chacun des 3 secteurs du Bassin de Marennes Oléron (Tubes et Coupelles). D'une façon schématique, on peut considérer que les 2 secteurs Charente et Centre se comportent de façon similaires indépendamment du secteur Seudre. ©Données Creaa 2005-2012

Par ailleurs, pour le secteur Seudre, il est quasiment impossible d'identifier clairement l'existence de cohortes sur les 4 années : les larves petites disparaissent assez rapidement sans forcément présenter d'évolution et l'arrivée sporadique des larves grosses reste délicate à interpréter. Ce secteur donne l'impression d'exporter ses jeunes larves et de recevoir des larves plus âgées provenant d'autres secteurs conformément à la proposition de fonctionnement hydrodynamique proposée par Bernard *et al.* (2010). Ainsi, en termes de variabilité inter-annuelle d'abondance de larves grosses et d'intensité de captage, ce troisième secteur se comporte différemment, mais généralement avec des valeurs moindres : si le captage est bon en 2008 avec 276 naissains par coupelle, il y est faible en 2009 et 2011, mais modéré à bon en 2012 avec 172 naissains par coupelle.

4.2.5 Bassin d’Arcachon - secteurs Est et Ouest



Au printemps 2012, les conditions climatiques printanières sur ce bassin sont caractérisées par une pluviométrie excédentaire et des températures tout justes dans les normes. Les concentrations 2012 de phytoplancton se situent en conséquence dans les normes pour ce secteur (moyenne printanière $\sim 2.0 \mu\text{g.l}^{-1}$), mais toujours faibles par rapport aux autres sites de la façade atlantique suivis dans le cadre du Réseau.

Par conséquent, la population sentinelle d’huîtres adultes suivie pour ce site (implantée chaque année dans le secteur Est d’Arcachon) présente, en 2012, un indice de condition plutôt faible (IC = 88), mais toutefois supérieur aux années précédentes.

Compte tenu d’un début d’été 2012 plutôt frais ou tout juste dans les normes, la ponte principale des huîtres de ce secteur a été retardée. Elle n’est finalement survenue qu’à partir de la mi-août s’inscrivant comme la ponte la plus tardive jamais enregistrée sur ce secteur depuis le début des suivis dans les années 1980 et sortant complètement du modèle thermique proposé jusqu’à lors (Pouvreau et al., 2012 ; Auby et al., 2012).

Cette unique ponte s’est traduite par une abondance modérée de larves ‘petites’ ($\sim 150\,000$ larves/ $1,5\text{m}^3$) et une abondance moyenne sur l’été de larves évoluées autour de 476 larves/ $1,5\text{m}^3$. Ces valeurs, bien que plus élevées que l’an dernier, s’inscrivent toujours dans la diminution de la concentration larvaire enregistrée depuis une dizaine d’année sur le Bassin d’Arcachon.

Cependant, compte tenu des températures de l’eau très favorables ($\sim 23^\circ\text{C}$) lors de l’évolution de cette cohorte, la survie a été satisfaisante (0.3 %, conformément au modèle thermique proposé pour ce site) permettant l’apparition d’un pic de larves ‘grosses’ en forte abondance (> 5000 larves/ $1,5\text{m}^3$ fin août) et une concentration moyenne sur l’été proche de 500 larves/ $1,5\text{m}^3$.

Cette année contraste donc totalement avec l’année précédente en termes d’abondance larvaire. Ces performances satisfaisantes de seconde partie d’été se traduisent par un bon captage variant du secteur Est au secteur Ouest de 228 à 247 naissains par coupelle à l’automne, valeurs de même ordre de grandeur que l’année 2008, et rompant avec la série des mauvaises années 2009-2010-2011.

Il apparaît que le facteur limitant, pour ce bassin, réside actuellement dans la quantité de petites larves, particulièrement faible ces dernières années. Cette faible quantité trouve en partie une explication dans une fécondité très restreinte des géniteurs, à relier probablement en partie aux abondances phytoplanctoniques plutôt modérées (c’est particulièrement le cas en 2008 et 2009).

Cependant, la localisation, la nature et la dynamique de ces stocks de géniteurs font aussi parties des hypothèses sur ce bassin pour expliquer la réduction observée de l’apport de larves depuis quelques années. La question de la capacité trophique du bassin se pose aussi.

Si, à ce premier facteur de réduction des apports de larves, se rajoute un été défavorable en terme de température de l'eau (ou d'évolution des cohortes en période de fortes vives eaux), la survie larvaire devient très basse (proche de 0.01%) et le captage irrémédiablement faible. Par contre, en cas d'été favorable, comme cela a été le cas en août 2012, les températures élevées garantissent une bonne survie et assurent un captage satisfaisant.

4.2.6 Etang de Thau

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

- Le printemps et l'été ont été caractérisés par une pluviométrie déficitaire et des températures (air, eau) plutôt au-dessus des normales.
- Cela s'est traduit par des concentrations en phytoplancton plutôt basses, avec une valeur moyenne sur la période de mars à juillet de $0.84 \mu\text{g.L}^{-1}$, valeur en baisse régulière depuis 2009.
- Dans ce contexte, la population sentinelle d'huîtres adultes suivie pour ce site (implantée chaque année dans le secteur Marseillan) présente, en 2012, un indice de condition faible (IC = 56), inférieur aux années précédentes et le plus bas des sites Velyger.
- Par contre, comme chaque année, la ponte a lieu très précocement (début juillet) et de façon conforme au modèle thermique établi sur la côte atlantique.
- Les abondances de larves qui en résultent y sont fortes : des pics de larves petites supérieures à $500\,000 \text{ larves}/1,5\text{m}^3$ et des concentrations moyennes sur l'été de larves évoluées supérieures à $2000 \text{ larves}/1,5\text{m}^3$. En outre, l'évolution larvaire y est très rapide (PLD = 10 jours) et les taux de survie plutôt élevés (~ 1%) ce qui permet d'observer des concentrations en larves grosses, en moyenne sur l'été, supérieures à $150 \text{ larves}/1,5\text{m}^3$;
- De telles concentrations auraient dû se traduire, selon le modèle établi sur la côte atlantique, par un captage bon à excellent, permettant d'observer au moins 200 naissains par coupelle comme cela a été le cas, en 2012, dans le Bassin d'Arcachon. Mais, de façon surprenante, très peu de larves grosses ont réussi à se fixer et le captage est resté inférieur à 10 naissains / coupelle.
- Il s'avère clairement que sur ce secteur, outre le problème d'une fécondité un peu faible, le verrou biologique du recrutement de l'huître creuse semble se situer au niveau d'étape de la fixation et de la métamorphose. Ce problème très spécifique à l'Etang de Thau sera pris en charge en 2013 et 2014 dans le cadre du projet PRONAMED II.

5 Conclusion et recommandations

Le réseau national d'observation de la reproduction constitue un outil d'information et donc de gestion destiné à la profession, aux administrations et aux scientifiques. Il constitue, sans nul doute, un outil de développement durable pour l'ostréiculture, utile dans le contexte actuel de la crise ostréicole, des problèmes d'approvisionnement en juvéniles et des volontés de repeuplement. Ce réseau s'inscrit aussi comme un outil d'observation clé dans le contexte du réchauffement et de la variabilité climatique qui l'accompagne.

Il ressort, pour l'année 2012, les grandes tendances suivantes :

- Après une année 2011 particulièrement sèche, l'année 2012 s'avère plutôt humide à partir du printemps avec un gradient Nord-Sud marqué. Ce gradient se retrouve dans les concentrations phytoplanctoniques : elles sont élevées en Rade de Brest et Baie de Bourgneuf, normales à faibles du Bassin de Marennes Oléron à l'Étang de Thau. En outre, jusqu'au mois de juillet, les températures de l'air et de l'eau sont tout justes dans les normes voire déficitaires pour les sites les plus au nord.
- Ces conditions hydro-climatiques ont imprimé un gradient dans la maturation et la fécondité des huitres adultes avec un indice de condition très élevé en Rade de Brest, élevé en Baie de Bourgneuf, normal à faible du Bassin de Marennes Oléron à l'Étang de Thau. En outre, le manque de chaleur jusqu'en juillet s'est traduit par une ponte plutôt tardive sur l'ensemble des écosystèmes de la côte atlantique, à l'exception de la ponte en Baie de Bourgneuf qui a été très précoce compte tenu des conditions. A *contrario*, le Bassin d'Arcachon enregistre la ponte la plus tardive jamais observée sur ce secteur (au-delà du 15 août). Ces 2 'anomalies' mériteront une attention particulière au cours des suivis 2013.
- Cela dit, grâce à un mois d'août favorable sur le plan thermique, les cohortes larvaires présentes à cette période ont eu une survie normale à bonne (e.g. 0.3 à 0.8 %), ce qui s'est traduit par un captage modéré à bon sur l'ensemble des secteurs de la façade atlantique. Il convient cependant de noter que la ponte trop précoce en Baie de Bourgneuf, qui s'est déroulée dans des eaux fraîches, n'a pas permis une bonne évolution de la cohorte larvaire (survie de 0.03 %) et le captage reste, sur ce secteur, faible à modéré en 2012.
- En conséquence, l'année 2012, très différente de l'année 2011, se caractérise par un captage qualifié de « bon » dans le Bassin d'Arcachon (~230 naissains/coupelle), modéré dans le Bassin de Marennes-Oléron (~ 180 naissains/coupelle) et en Rade de Brest (~ 100 naissains/coupelle), modéré à faible en Baie de Bourgneuf (15 naissains/coupelle) et faible à nul dans l'étang de Thau (~ 5 naissains/coupelle).
- En effet, ce rapport montre que l'étang de Thau joue un rôle d'exception. Malgré une ponte dans les normes, des abondances de larves élevées et une bonne survie des cohortes, le captage 2012 y est très faible ce qui positionne l'étang de Thau en dehors du modèle de fonctionnement admis pour le cycle de reproduction de l'huître creuse sur la façade atlantique. Il semble que, sur ce site, la métamorphose constitue un verrou biologique qu'il convient d'étudier.

Enfin, il ressort de cette nouvelle analyse 2012, les recommandations potentielles suivantes (par secteurs ou bassins étudiés) :

- Pour le secteur de Daoulas (mais aussi pour les autres estuaires de rivières présents sur le côté Est de la Rade de Brest), il s'avère que le facteur limitant du recrutement réside dans la température de l'eau (et de l'air). Les étés maussades, comme 2008 ou 2011, conduisent à un captage faible à modéré. Le mois d'août 2012, un peu plus favorable a permis un captage modéré. Les étés plus chauds devraient permettre un recrutement beaucoup plus élevé et un captage excellent. Toutes choses égales par ailleurs, ces estuaires constituent probablement des sites d'avenir pour l'activité de captage.
- Pour le secteur nord de la Baie de Bourgneuf, la préservation des stocks sauvages devraient permettre d'assurer un captage généralement modéré, tant que les conditions phytoplanctoniques du printemps restent favorables. L'année 2011 a montré que la fécondité pouvait être impactée lors de printemps trop secs, caractérisés par de faible concentration phytoplanctonique. L'année 2012 en a fait la preuve par l'inverse. Cette variabilité est probablement l'un des risques du secteur. En outre, il

apparaît sur ce secteur que la ponte a généralement lieu toujours dans la première quinzaine de juillet. Cette constance peut parfois s'avérer 'perdante', comme ce fut le cas en 2012. Enfin, notons aussi, qu'il existe, quasiment chaque année, un net gradient géographique sur le Nord de la Baie avec un captage souvent plus élevées des Moutiers à La Northe.

- Pour le secteur « Charente » dans le Bassin de Marennes-Oléron, il apparaît que le recrutement y est peu variable ces dernières années : souvent modéré (voire excellent). C'est à nouveau le cas de l'année 2012. Ce secteur est supposé dépendre d'apport de larves du nord (Bernard, 2011). Par contre, comme les années passées, le secteur Seudre se comporte différemment. Bien qu'on manque de données sur ce secteur, l'explication est vraisemblablement à rechercher dans une réduction des stocks de géniteurs sauvages et/ou cultivés (diploïdes) alimentant ce secteur.
- Pour les secteurs Est et Ouest d'Arcachon, l'année 2012 permet de confirmer que quand les conditions estivales sont bonnes, le captage l'est aussi. Le bon captage de l'année 2012 permet donc de rompre la série des mauvaises performances enregistrées en 2009, 2010 et 2011 et ressemble à celui de l'année 2008 par son caractère abondant et tardif. Il n'en demeure pas moins que la fécondité est réduite et la quantité de jeunes larves est en diminution constante depuis quelques années. De nouvelles études régionales en 2013 permettront de mieux appréhender les causes de ce phénomène de fond.
- Pour l'étang de Thau, malgré une fécondité là aussi un peu faible (liée à une diminution de la concentration en phytoplancton depuis quelques années), les performances de la vie larvaire sont généralement très bonnes. Mais il semble qu'un réel verrou biologique se pose lors de la fixation et de la métamorphose. La levée de ce verrou permettrait d'assurer chaque année un bon captage sur l'étang.

6 Références bibliographiques

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

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

Auby I., Maurer D., Valvason M.L., Guegen C., Guillard F. (2002). Mise au point d'une nouvelle méthode de suivi de la reproduction de l'huître creuse. Comparaison avec la méthode traditionnelle. Rapport Interne RST.DEL/02.01/ARCACHON, 22 p. <http://www.ifremer.fr/delar/reprodhuitre.htm>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- His E. (1991). Biologie et écotoxicologie des véligères de *Crassostrea Gigas* (Thunberg) dans le Bassin d'Arcachon. PhD Thesis, Université Bordeaux 1. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3347/>
- Lepennec, M. (1978) Genèse de la coquille larvaire et postlarvaire chez divers Bivalves Marins. Th. Univ. Bretagne Occidentale, Tome II, 130 p.
- Maurer D., Auby I., Barbier C., Schirr Bonnans I., Tournaire MP., Rumèbe M., Cantin C., Debort H., Cariou T., Navarro R., Simonnet B., Mayer M. (2009a). Reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon : Année 2009. RST/LER/AR/09-009, 47 p. <http://www.ifremer.fr/delar/reprodhuitre.htm>
- Maurer D., Auby I., Moran A., Barbier C., Rumèbe M., Tournaire MP., Navarro R., Simonnet B., Navarro R. (2011). Reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon : Année 2011. RST/LER/AR/11-009, 61 p.
- Maurer D., Defenouillère P., Auby I. (2009b) Estimation du captage de naissains dans le Bassin d'Arcachon en 2008 : première approche d'une méthodologie nationale dans le cadre du projet Velyger. Rapport Interne Ifremer RST/LER/AR09-004, 25 p.
- Pouvreau S., Bernard I., Le Souchu P., Huvet A., Talarmain E., Auby I., Maurer D., Barbier C., Tournaire MP., D'Amico F., Rumebe M., Neaud-Masson N., Bedier E., Martin AG., Claude S., Langlade A., Bouget JF., Hitier B., Stanisiere JY., Breerette S., Robert S., Guilpain P., Seugnet JL., Guesdon S., Soletchnik P., Le Moine O., Dumas F., Quemener L., Barbot S., Repecaud M., Mille D., Geay A., Bouquet AL (2011). Projet Velyger (2008-2010) : Observer, Analyser et Gérer la variabilité du recrutement de l'huître creuse en France. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00054/16489/>
- 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>
- Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., Kaplan A. (2003) Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century *J. Geophys. Res.* Vol. 108, No. D14, 4407, 29 pp. <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002670>
- Rayssac, N., Pérignon, A., Gervasoni, E., Pernet, F., Le Gall, P., & Lagarde, F. (2011). Projet PRONAMED 2010-2011: Évaluation du potentiel d'approvisionnement naturel en naissains d'huîtres creuses en Méditerranée. Rapport final de contrat. 88 p.
- Rico-Villa B., Bernard I., Robert R., Pouvreau S. (2010). A Dynamic Energy Budget (DEB) growth model for Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 305(1-4), 84-94.
Publisher's official version : <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.018>
Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00009/11996/>
- Rico-Villa B., Pouvreau S., Robert R. (2009). Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 287(3-4), 395-401.
Publisher's official version : <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.054>
Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/4747/>