

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

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, N. Neaud-Masson
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Morbihan Pays de Loire' - LER MPL
 E. Bédier, E. Fleury, AG. Martin, S. Claude, A. Langlade, JF. Bouget, K. Collin, M. Fortune, B. Hitier
 Laboratoire 'Environnement-Ressources Poitou-Charentes' - LER PC
 S. Robert, P. Guilpain, J. Grizon, JL. Seugnet, S. Guesdon

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
 S. Barbot, A. Guillemot

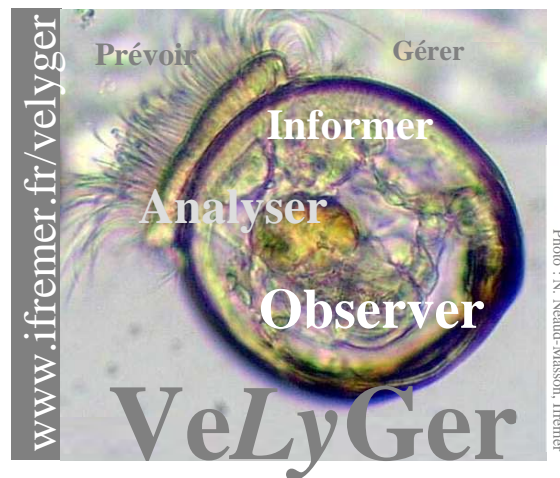
Département 'Infrastructures Marines et Numériques' - IMN
 Unité 'Informatique et Données Marines' - IDM
 Service 'Systèmes d'Information Scientifiques pour la Mer' - SISMER
 L. Nonnotte, W. Duros, A. Bonnat, S. Tarot

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

Réf : R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2012-1

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

Le Réseau Velyger



- Rapport annuel 2011 -

Coordination - Rédaction : Stéphane Pouvreau

Mars 2012



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

Préambule

Le Réseau Velyger, créé en 2008 sur sollicitation du Comité National de la Conchyliculture (CNC) et piloté par l'Ifremer, 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, Asterie 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 4 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). A Marennes-Oléron, cette variabilité existe, même si elle est 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.

Afin de mieux comprendre les causes de cette variabilité, 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 2011 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 2011 par secteurs et à la lueur des résultats des années antérieures.

Ainsi, pour l'année 2011, on retiendra les faits majeurs suivants :

- Le printemps sec a limité l'intensité des blooms printaniers et réduit la fécondité des huîtres et donc les abondances de larves sur de nombreux secteurs. Cette réduction de l'abondance de larves devient réellement problématique dans le Bassin d'Arcachon (3^{ème} année consécutive) et est à surveiller sur les autres secteurs.
- Les mois de juillet et d'août relativement frais ou juste dans les normes ont eu les conséquences suivantes : pontes plutôt tardives et asynchrones, vie larvaire pélagique allongée, survie larvaire réduite. Cela a particulièrement été le cas dans le Bassin d'Arcachon, avec une survie de la cohorte principale de l'ordre de 0.01 %.
- En conséquence, l'abondance de larves grosses et le captage qui en dépend directement ont été faibles à modérés selon les secteurs. Les captages les plus abondants (~200 naissain/coupelle) ont été obtenus dans le Bassin de Marennes-Oléron (Secteur Charente) et la Baie de Bourgneuf (Secteurs Northe-Plantives), les captages les plus faibles (~ 10 naissains/coupelle) dans le Bassin d'Arcachon (Secteur Est), le Bassin de Marennes-Oléron (Secteur Seudre) et la Rade de Brest (Secteur Daoulas).

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	14
3	Principaux résultats de l'année 2011	15
3.1	Conditions climatiques générales	15
3.1.1	Température de l'air	15
3.1.2	Pluviométrie	17
3.2	Données hydrologiques	19
3.2.1	Température de l'eau de mer	19
3.2.2	Salinité	21
3.2.3	Phytoplancton	23
3.2.4	Composition spécifique du phytoplancton	25
3.2.5	pH et acidification de l'océan	29
3.3	Maturation, indice de condition et fécondité	31
3.3.1	Comparaison spatio-temporelle	31
3.3.2	Le cas particulier du Bassin d'Arcachon	35
3.3.3	Facteurs d'explications : le phytoplancton	35
3.4	Date de Ponte	37
3.4.1	Valeurs 2011	37
3.4.2	Séries historiques	38
3.5	Abondance, développement et survie des larves	39
3.5.1	Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire	39
3.5.2	Durée du développement larvaire	42
3.5.3	Survie larvaire	43
3.5.4	Larves grosses et intensité du captage	44
3.6	Estimation précoce du recrutement	45
3.6.1	Abondance de naissain	46
3.6.2	Survie du naissain	49
4	Synthèse	50
4.1	Schéma général	50
4.2	Bilan par secteur	52
4.2.1	Rade de Brest - secteurs Daoulas et Faou	52
4.2.2	Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie et Coupelasse	53
4.2.3	Bassin de Marennes Oléron – secteurs Charente et Centre	54
4.2.4	Bassin de Marennes Oléron – secteur Seudre	55
4.2.5	Bassin d'Arcachon - secteurs Est et Ouest	56
5	Conclusion et recommandations	57
6	Références bibliographiques	59

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 (Maurer *et al.*, 2009a) 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).

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 à exceptionnel (2003, 2006, 2008).

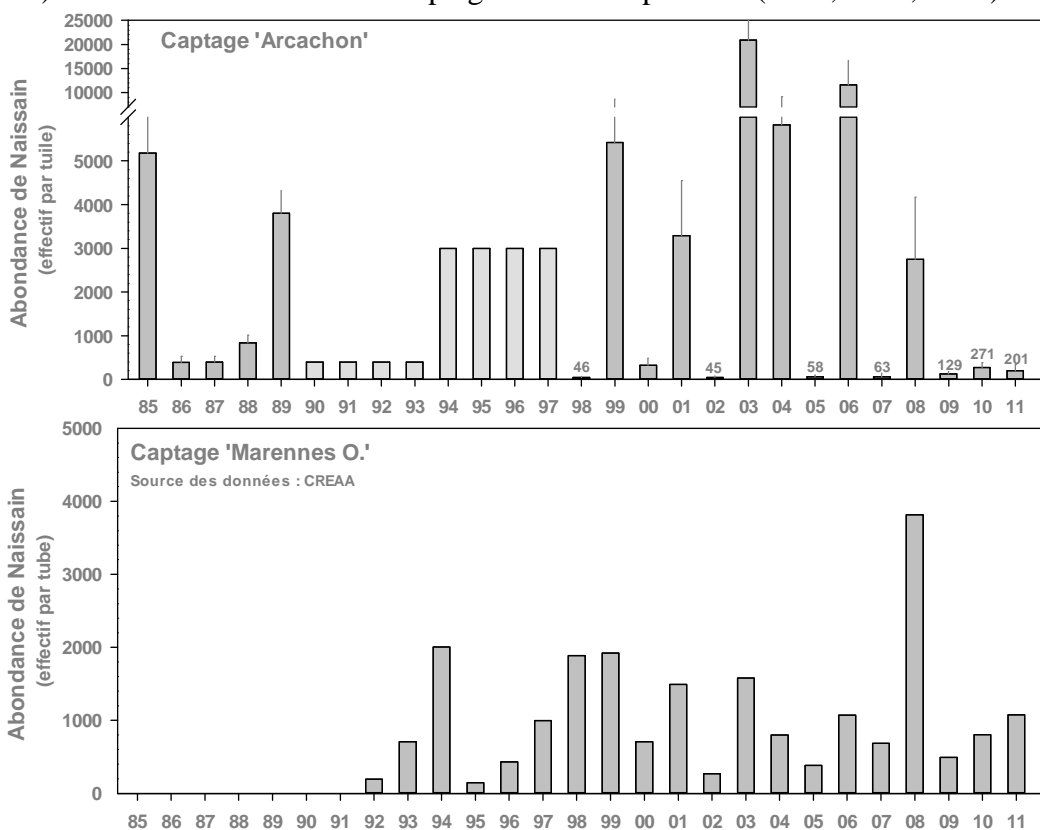


Figure 1 : Série historique, depuis les années 1985, de performance du recrutement sur collecteur (captage) dans les Bassins d'Arcachon et de Marennes Oléron. Pour Arcachon, les données sont obtenues annuellement sur la base d'un échantillonnage à l'échelle du bassin par la station Ifremer d'Arcachon (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, l'Ifremer, à la demande du Comité National de la Conchyliculture (CNC), a mis en place, en 2008, un projet d'envergure nationale sur cette problématique : le projet Velyger (Observer, Analyser et **G**érer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse sur les côtes françaises). Ce projet s'est terminé en 2010 par l'édition d'un rapport final (Pouvreau *et al.*, 2011), la soutenance d'une thèse (Bernard, 2011) et la mise à disposition d'un site Internet dédié :

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

Ce projet a permis, en outre, 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 4 bureaux d'études sur la façade atlantique (Cochet Environnement, Armeria, AEL plancton, Astérie) 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).

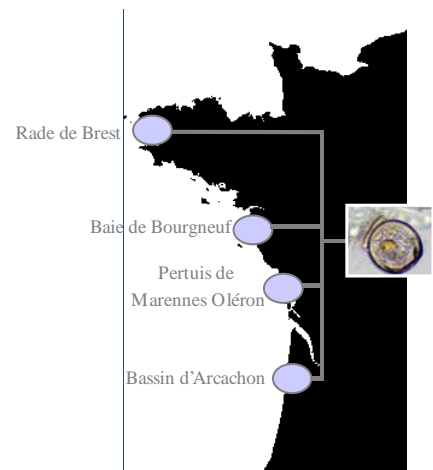
A partir du printemps 2011, la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) a souhaité la poursuite de ce réseau et son inscription dans une convention socle entre la DPMA et l'Ifremer. Désormais, sous réserve de reconduction de la convention, ce réseau national devrait se maintenir chaque 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 4 écosystèmes en 2011 (Arcachon, Marennes Oléron, Baie de Bourgneuf et Rade de Brest, Figure 2) :

- Descripteurs climatiques : Température, Pluviométrie et Régime de vents ;
- Descripteurs hydrologiques : Température de l'eau et Phytoplancton;
- Descripteurs biologiques : 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 avant tout: (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 2011, fournit une synthèse à la lueur des résultats antérieurs et apporte une série de recommandation par 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 et Baie de Bourgneuf).

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	Pas 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
<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

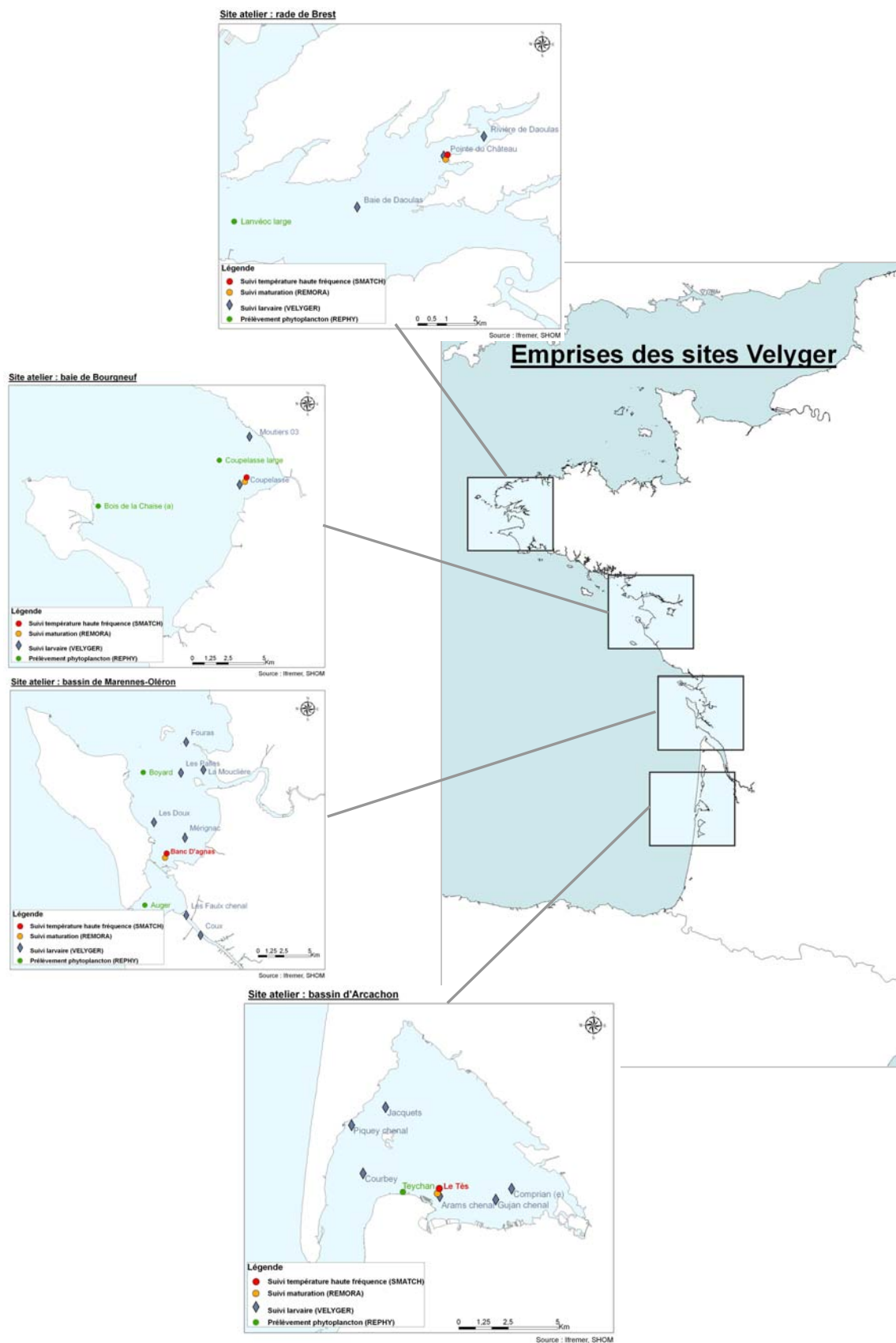


Figure 3 : Présentation des 4 sites du réseau d’observation de la reproduction de l’huître creuse (réseau Velyger). Ces 4 sites font partie des 13 sites de l’observatoire national conchylicole piloté par l’Ifremer.

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 Remora 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' et enfin pour le Bassin d'Arcachon, il s'agit du site de Tés. Ces points sont signalés en orange sur la Figure 3. Ces 4 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, d'un site à l'autre, d'une année à l'autre. 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, 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 chaque site, la contribution des professionnels est sollicitée pour les sorties à la 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 prélèvement (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'huître creuse 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 :

1. Au laboratoire, pré-tamissage sur 500 µm puis double tamissage sur mailles de 132 puis sur 40 µm (excepté pour le site d'Arcachon pour lequel le double tamissage 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.

2. 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, qu'environ, 4 fois le volume du culot. 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.
3. 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 micro-pipette 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).
4. 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.
5. Ainsi, pour une fraction donnée, le nombre N de larves d'un stade donné pour un volume 1,5 m^3 , est calculé de la façon suivante :

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

$n1$ et $n2$, le nombre de larves d'un stade donné respectivement compté dans les aliquotes 1 et 2 de 0.5 mL

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

V , le volume pompé (généralement proche de 1,5 m^3).

Pour chaque stade larvaire, le résultat retenu est la somme des valeurs dénombrées dans les deux fractions. Les concentrations sont exprimées pour 1,5 m^3 et le seuil de détection est de 20 à 100 larves/1,5 m^3 selon la dilution utilisée pour la lecture.

6. 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.

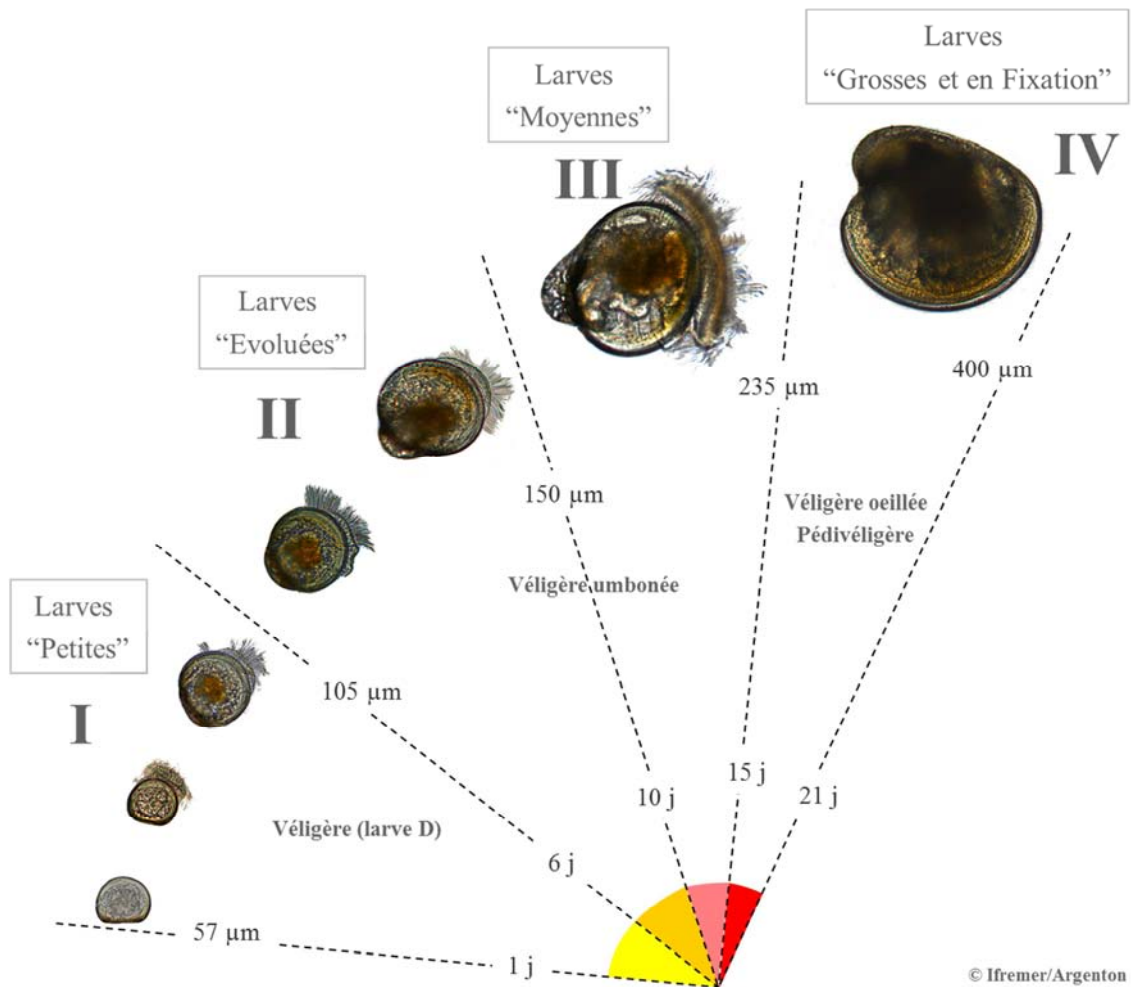


Figure 5 : Planche de détermination des stades larvaires chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Penec (1978) et His (1991). Certains laboratoires (e.g. Ifremer Arcachon) distinguent un stade V pour les larves grosses 'en fixation'. Pour les autres sites, ce stade n'est pas identifié et 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 Penec, 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 d'une centaine 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, bien que délicat à évaluer rigoureusement, est aussi estimé pour cette période.

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.

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 sonde (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 à la 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.
- 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 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 climatologiques 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 Quadrige⁵ au sein des programmes Velyger et Observatoire National. 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 Quadrige, 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 variable, 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/quadrige>

3 Principaux résultats de l'année 2011

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 2011 (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). Cette figure montre :

- sur la période printanière (de mars à mai), pour tous les sites, une anomalie franchement positive avec parfois des journées présentant plus de 10°C d'écart à la normale à Cap Ferret ou au Château d'Oléron ;
- par contre, à partir du mois de juin et jusqu'à fin août, des valeurs déficitaires sur des périodes plus ou moins longues : le mois de juillet est totalement déficitaire avec plus de 2°C d'anomalie négative sur quasiment tout le mois, et ce pour les 4 sites ateliers ;
- à partir de septembre, des températures supérieures aux normales et ce sur tout l'automne avec parfois des anomalies positives de plus de 7°C.

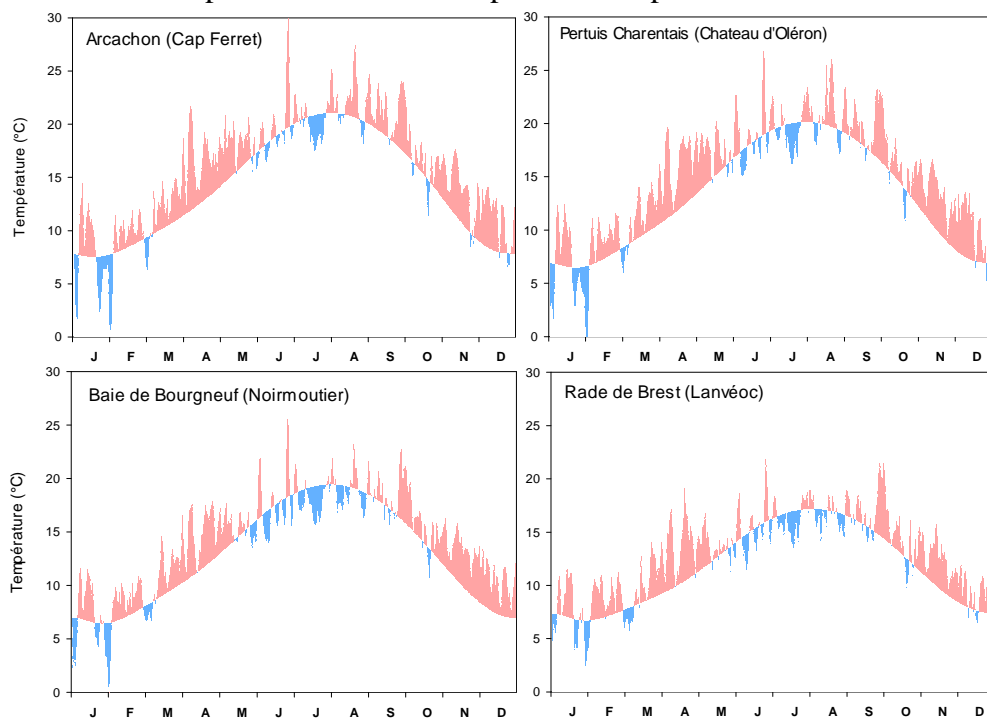


Figure 6 : Température moyenne journalière de l'air et anomalies par rapport à la normale des 50 dernières années pour les 4 sites Velyger (© Météo-France). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.

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 clairement que l'année 2011 présente une anomalie thermique positive particulièrement élevée, qui s'inscrit parfaitement dans la tendance au réchauffement enregistrée depuis le début des années 1990. Elle fait partie des 5 années les plus chaudes pour la Rade de Brest et la Baie de Bourgneuf, mais constitue l'année la plus chaude jamais enregistrée pour les Pertuis Charentais et le Bassin d'Arcachon.

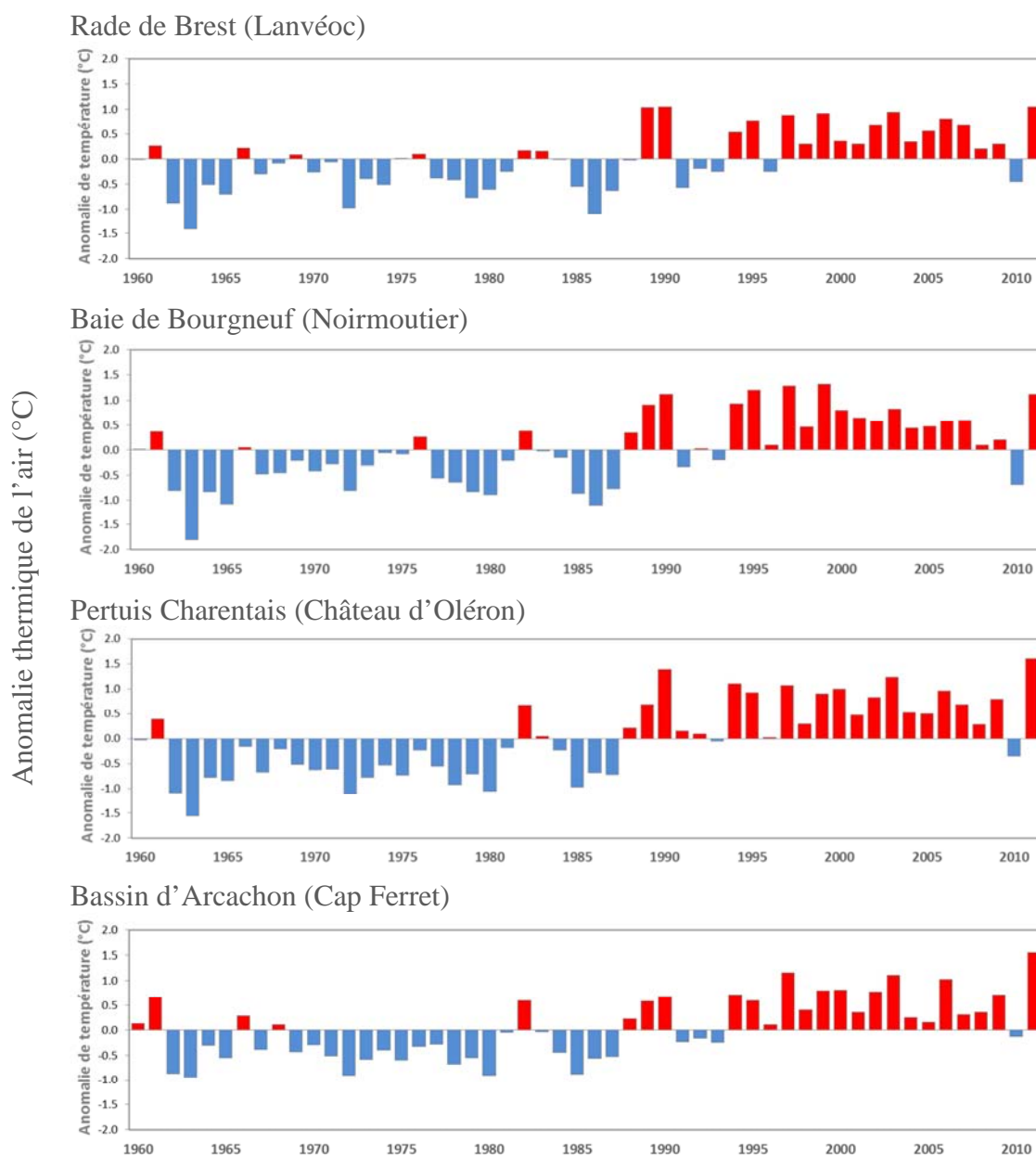


Figure 7 : Anomalies de température de l'air (moyenne annuelle, °C) pour chaque site d'étude (Sources des données : Météo-France).

Ainsi, l'année 2011 apparaît comme une année particulièrement chaude sur tous les mois de l'année, à l'exception des mois de juin, juillet et d'août, plutôt frais.

3.1.2 Pluviométrie

La Figure 8 présente, de façon synthétique, les cumuls mensuels de pluie relevés en 2011 (données issues des stations Météo-France les plus proches des points de suivis du Réseau Velyger) et fournit une comparaison avec les normales (calculée sur les 50 dernières années). Cette figure montre :

- Sur la période printanière (de mars à juin), pour tous les sites, un déficit hydrique très marqué avec, par exemple, pour le mois de mai des cumuls mensuels inférieurs à 20 % des normales.
- Par contre, à partir du mois de juin et jusqu'à fin août, les cumuls mensuels reviennent dans les normes ou les dépassent : c'est notamment le cas du mois de juillet 2011 caractérisé par une pluviométrie particulièrement excédentaire.
- A partir de septembre, la situation redevient déficitaire et ce tout au long de l'automne et sur tous les sites, à l'exception de la Rade de Brest qui présente en Octobre un cumul pluviométrique excédentaire lié à deux journées de pluie exceptionnelles, apportant plus de 100 mm sur 48h.

Ainsi, l'année 2011 apparaît comme une année particulièrement sèche, à l'exception des mois de juillet et août caractérisés par un excédent pluviométrique marqué.

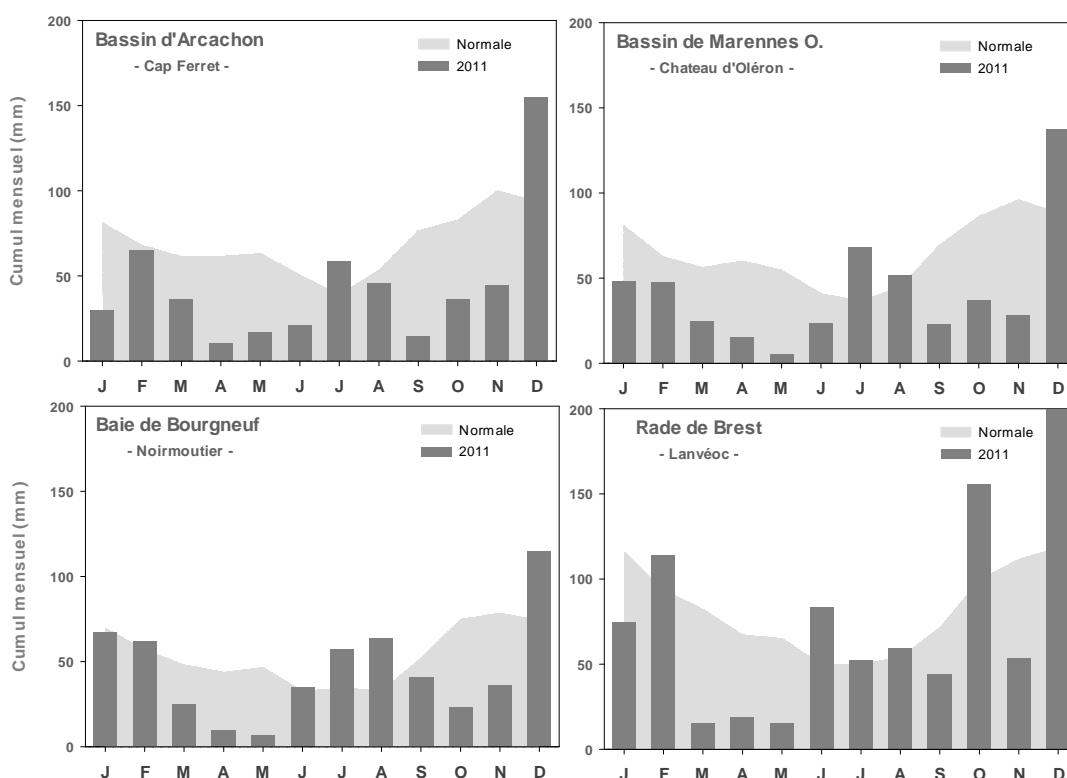


Figure 8 : Cumul pluviométrique mensuel pour l'année 2011 et normale des 50 dernières années pour les 4 sites Velyger (© Météo-France).

En complément, la Figure 9 présente l'anomalie annuelle 2011 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 2011 apparaît comme une année exceptionnellement sèche pour les Bassins d'Arcachon et de Marennes Oléron : il s'agit de la plus forte anomalie négative enregistrée sur ces sites depuis 1960. En outre, on assiste depuis les années 1990 à une augmentation progressive de l'intensité de ces anomalies négatives lors des années sèches, l'année 2011 s'inscrivant dans cette tendance.

Cette anomalie est beaucoup moins marquée pour la Baie de Bourgneuf et la Rade de Brest : sur ces sites, l'année 2011 se positionne comme la deuxième année la plus sèche depuis 2000 et fait suite à 5 années d'anomalies positives.

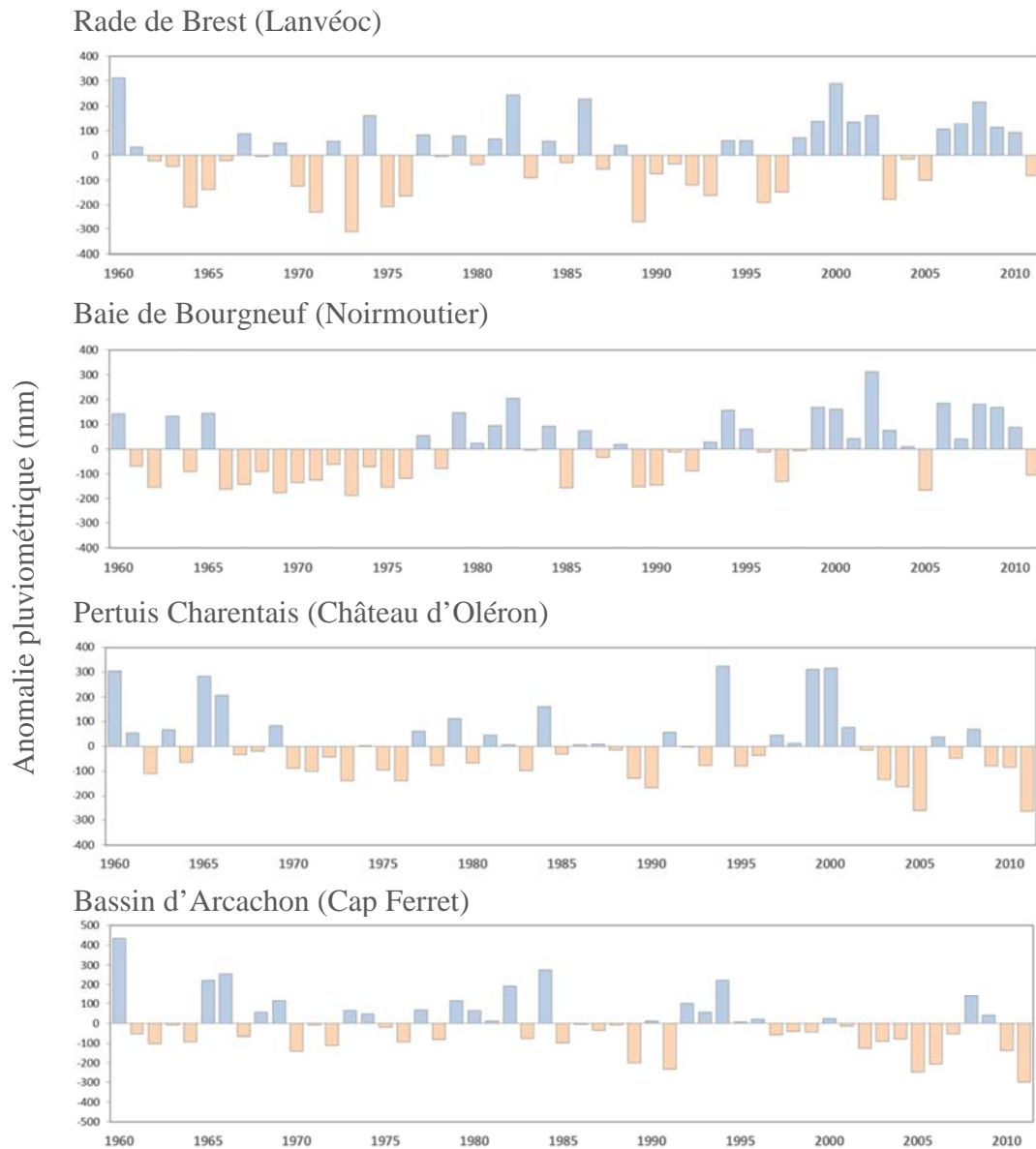


Figure 9 : Anomalies annuelles de pluviométrie (mm) pour chaque site d'étude (Source des données : © Météo-France).

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 (et 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. De façon similaire à la température de l'air, la température de l'eau de mer au cours de l'année 2011 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par :

- une forte anomalie positive sur la période printanière (de mars à mai), avec des valeurs de 2 à 3°C supérieures à la normale ;
- des anomalies négatives dès le mois de juin, avec des températures de l'eau, en juillet, inférieures de 2 à 3°C aux normales saisonnières ;
- et à nouveau de fortes anomalies positives à partir de septembre avec plus de 2°C d'écart à la normale sur tout l'automne.

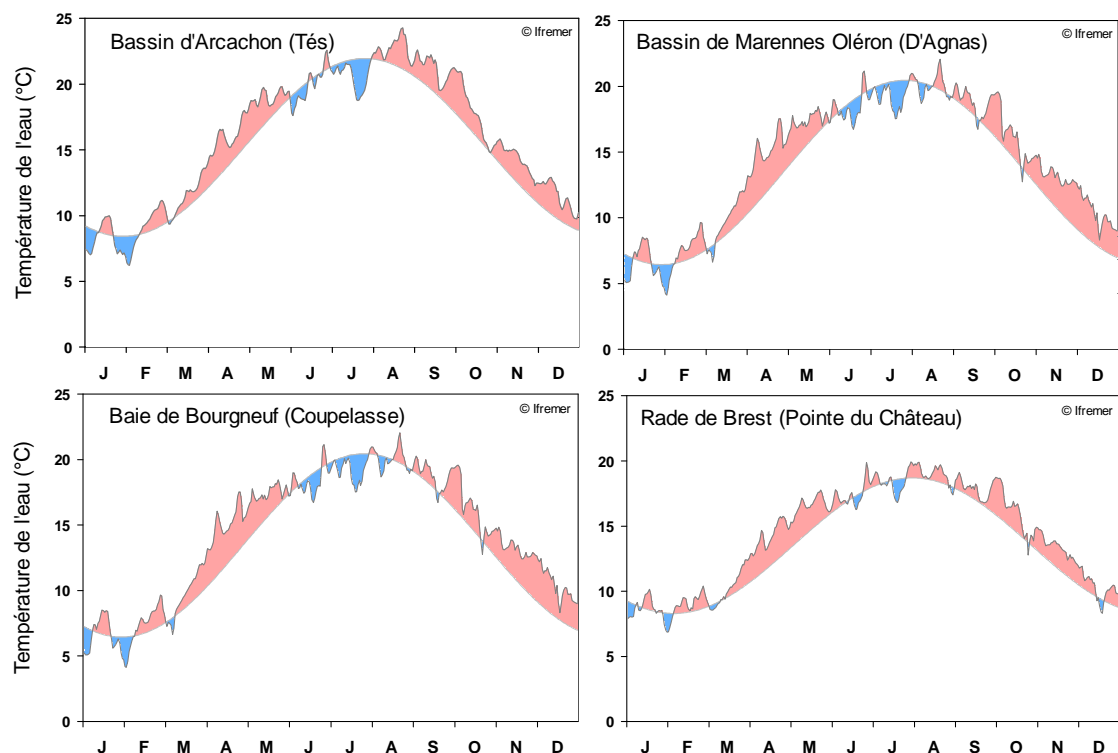


Figure 10 : Température moyenne journalière de l'eau de mer et anomalies par rapport à la normale des 30 dernières années pour les 4 sites Velyger (© Ifremer). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.

En ce qui concerne la variabilité spatiale (inter-bassin), on constate, de façon logique, un gradient Nord–Sud avec des maximas thermiques proches des 20°C en Rade de Brest (en août) contre des valeurs, pour la même période, approchant 25°C dans le Bassin d’Arcachon. La baie de Bourgneuf présente des températures très proches de celles du Bassin de Marennes Oléron, avec des maximas tout justes supérieurs à 20°C en août.

En termes de variabilité inter-annuelle, l’année 2011 s’inscrit à nouveau dans la tendance au réchauffement constaté sur la température de l’eau de surface depuis le début des années 1990 (*e.g.* Figure 11).

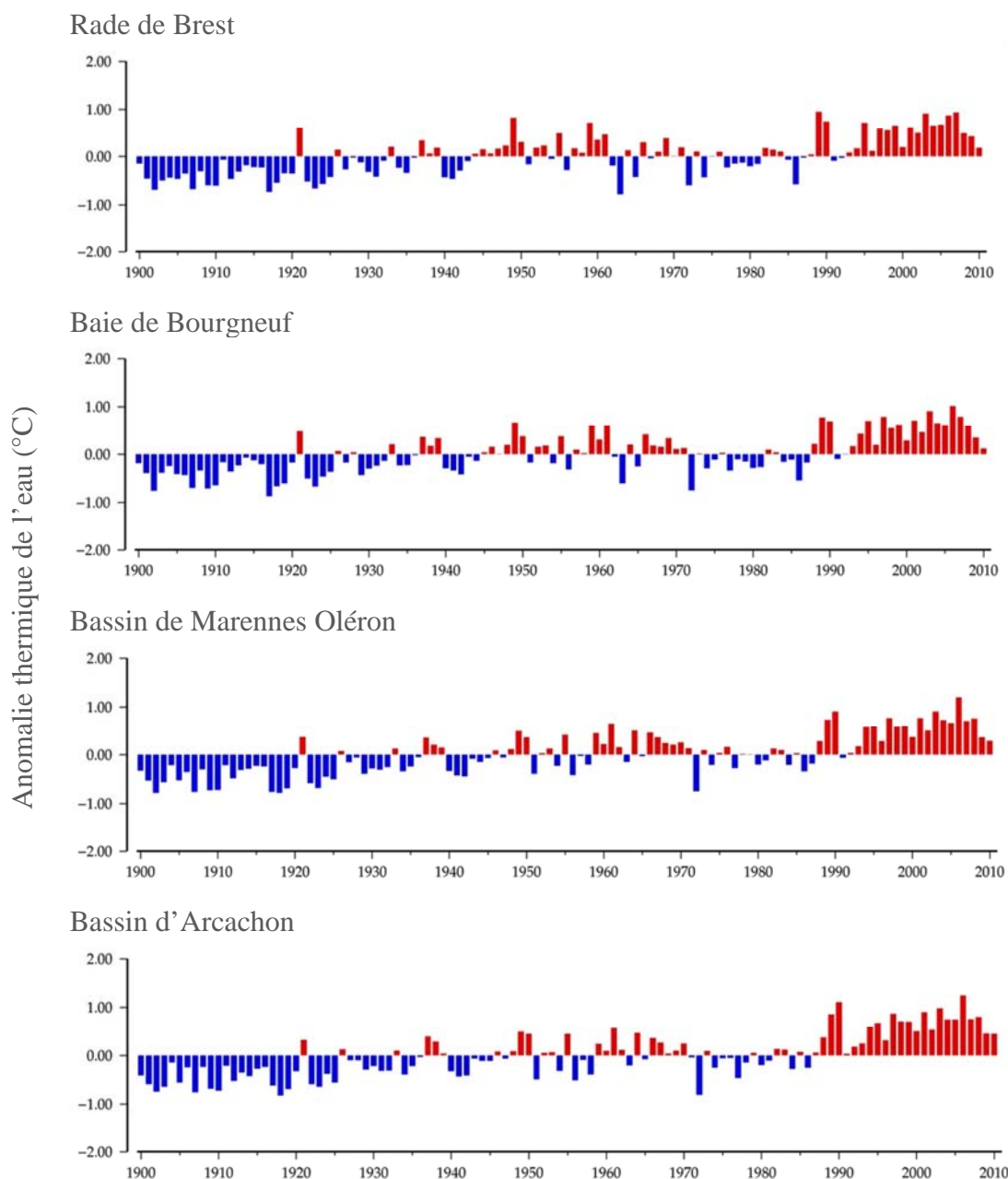


Figure 11 : Anomalie de la température annuelle moyenne de l’eau de surface (°C) à proximité des 4 sites d’étude estimée selon la méthode de Rainer et al. (2003). (<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/>)

3.2.2 Salinité

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

La Figure 12 présente, de façon synthétique, la salinité de l'eau de mer (moyenne mensuelle issue du Réseau Rephy) et son degré d'anomalie par comparaison à la distribution des moyennes des 15 dernières années.

Il apparaît clairement que la salinité, au cours de l'année 2011, se caractérise, de façon plus ou moins marquée selon les sites, par des valeurs dans les normes au cours de l'hiver mais totalement au-dessus des normales tout le reste de l'année, excepté au cours de l'été en Rade de Brest, période à laquelle on observe des valeurs à nouveau normales. L'année 2011, particulièrement sèche, se caractérise donc, dans les écosystèmes côtiers étudiés, par des salinités exceptionnellement élevées.

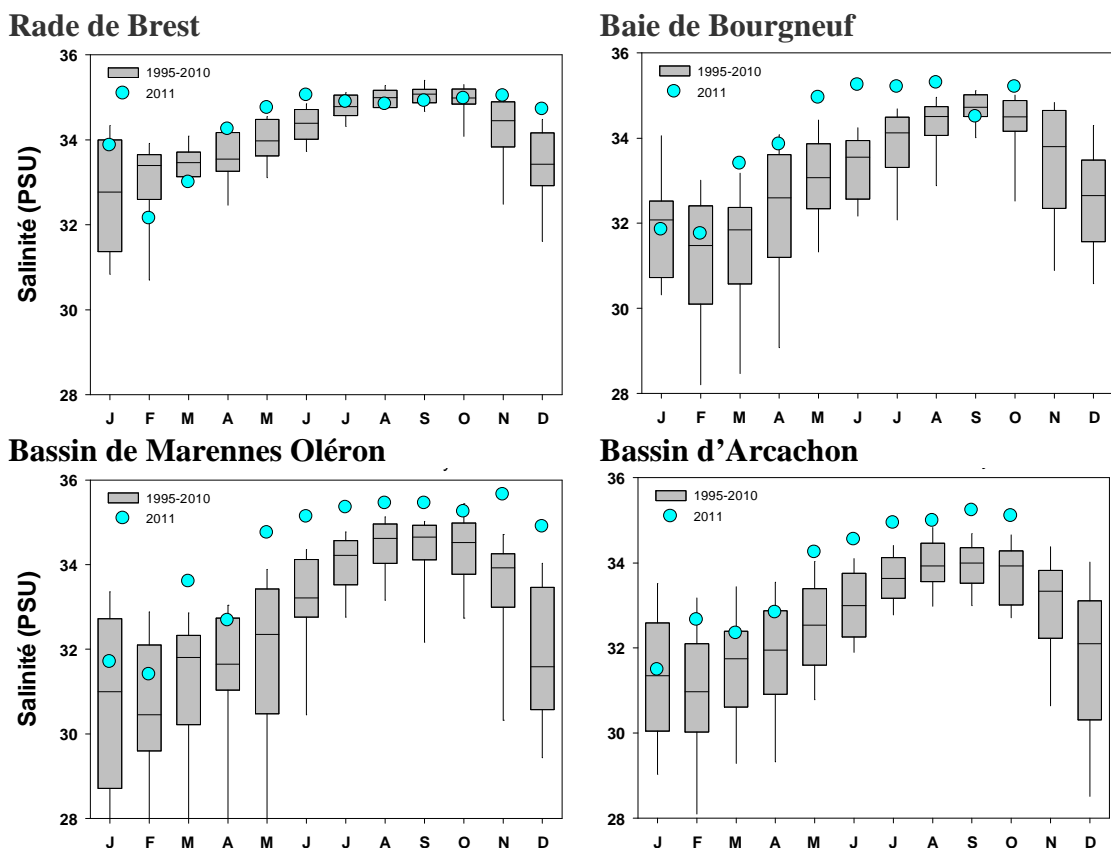


Figure 12 : Valeurs moyennes mensuelles 2011 de salinité (mesurée à pleine mer) pour chacun des 4 écosystèmes étudiés comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du réseau REPHY : respectivement la station Lanvéoc pour la Rade de Brest, la station Bois de la chaise pour la Baie de Bourgneuf, la station Boyard pour le Bassin de Marennes Oléron et la station Teychan pour le Bassin d'Arcachon. © Ifremer/Rephy.

En complément, la Figure 13 montre l'évolution de la salinité (moyenne annuelle) sur chacun des 4 bassins étudiés dans le réseau Velyger. L'analyse de cette figure révèle les points suivants :

- En Rade de Brest, la salinité moyenne de l'année 2011 est très proche des valeurs enregistrées depuis 1995 sans qu'aucune tendance décennale ne soit décelable ;
- En Baie de Bourgneuf, la salinité moyenne de l'année 2011 est plutôt élevée par comparaison aux 5 années antérieures. Elle est similaire aux valeurs les plus élevées enregistrées sur ce site en 2005 et 1997, de façon totalement conforme aux anomalies annuelles de pluviométrie présentées sur la Figure 9.
- Dans les Bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon, la salinité moyenne de l'année 2011 a été particulièrement élevée : la plus élevée depuis le début des enregistrements à Arcachon. Il se dégage clairement pour ces 2 bassins une tendance à l'augmentation de la salinité depuis le démarrage des suivis. Cette tendance est à rapprocher de l'augmentation des anomalies pluviométriques enregistrées sur ces sites (Figure 9).

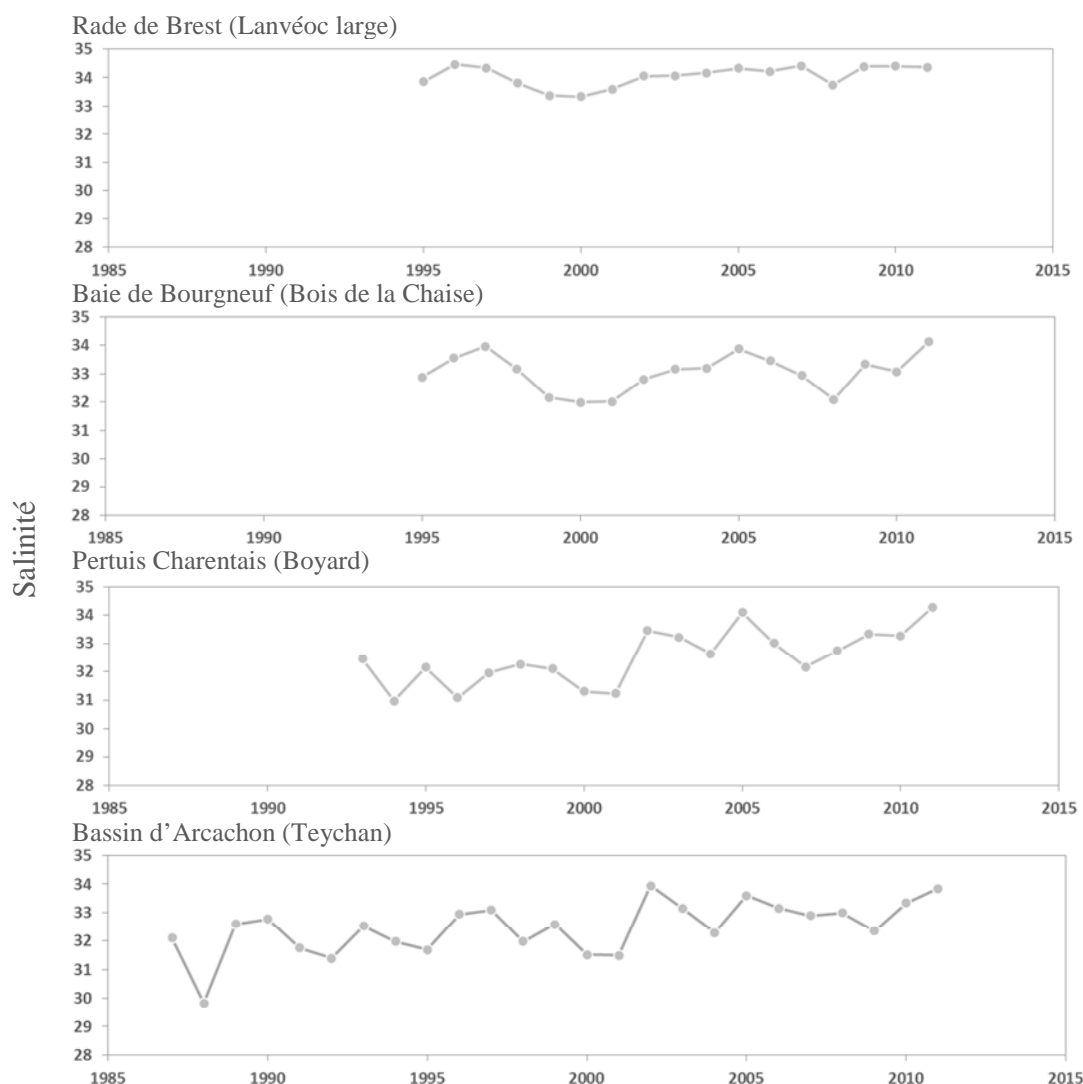


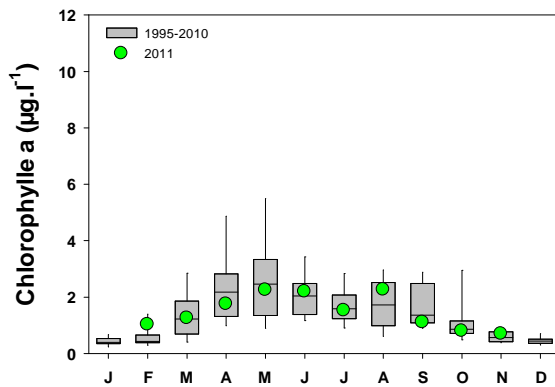
Figure 13 : Evolution de la salinité (moyenne annuelle) depuis les années 1990 sur les 4 sites d'étude (© Ifremer/Rephy). Notez la tendance à l'augmentation décennale de la salinité dans les Pertuis Charentais et le Bassin d'Arcachon.

3.2.3 Phytoplancton

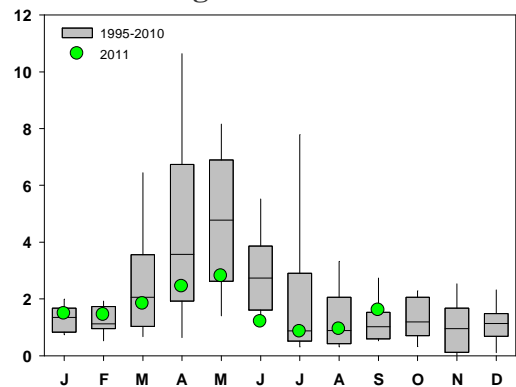
Le phytoplancton constitue, après la température, le deuxième paramètre clé pour la reproduction de l'huître creuse qui, en tant que source principale de nourriture, régule au printemps l'effort de reproduction des bancs de géniteurs (*e.g.* Bernard *et al.*, 2011), et en été la rapidité de croissance et la survie des larves (*e.g.* Rico-villa *et al.*, 2010). Le phytoplancton est étudié ici *via* l'utilisation de deux proxys⁶ complémentaires : la chlorophylle *a* et le dénombrement associé à la composition phytoplanctonique.

La Figure 14 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 2011, se caractérise, de façon plus ou moins marquée selon les sites, par des valeurs : (1) se situant juste dans les normes en hiver (à l'exception du bassin d'Arcachon présentant des valeurs particulièrement élevées en janvier et février), (2) plutôt faibles au printemps (généralement inférieures à la médiane) et (3) à nouveau dans les normes (voire un peu au-dessus) en été et en automne.

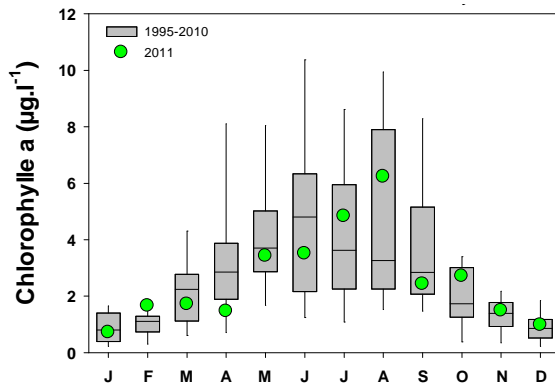
Rade de Brest



Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon

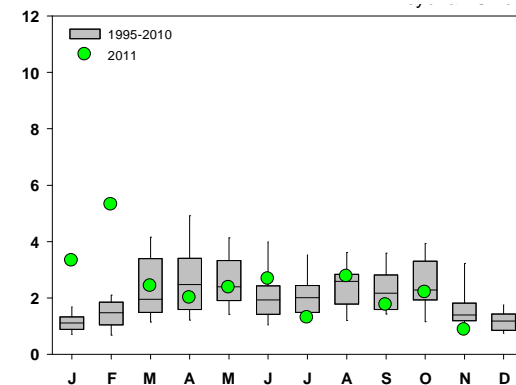


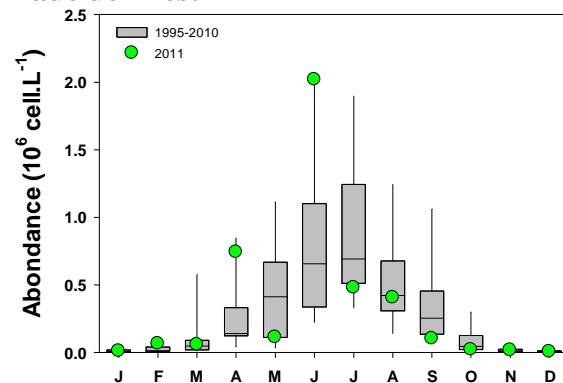
Figure 14 : Valeurs moyennes mensuelles 2011 de concentration en chlorophylle *a* de l'eau de mer (mesurée à pleine mer) pour chacun des 4 écosystèmes étudiés comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY : respectivement la station Lanvéoc pour la Rade de Brest, la station Bois de la chaise pour la Baie de Bourgneuf, la station Boyard pour le Bassin de Marennes Oléron et la station Teychan pour le Bassin d'Arcachon. © Ifremer/Rephy.

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

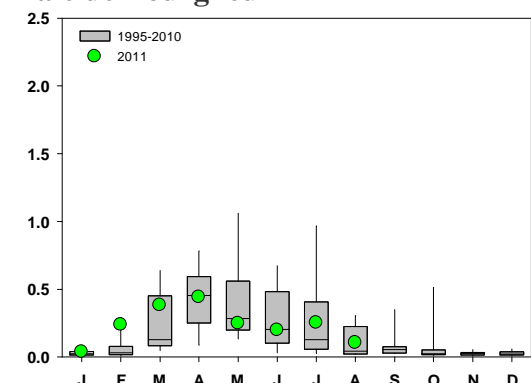
La Figure 15 présente, de façon synthétique, les valeurs d'abondance phytoplanctonique (moyenne mensuelle issue du Réseau Rephy) et leurs degrés d'anomalie par comparaison à la distribution des moyennes des 15 dernières années.

Elle modère, en partie, les observations obtenues avec la concentration en chlorophylle *a* en montrant que les valeurs d'abondance phytoplanctonique sont plutôt dans les normes et présentent peu d'anomalies par rapport aux observations des 15 dernières années à l'exception de quelques très fortes valeurs dans le Bassin d'Arcachon en février et août 2011.

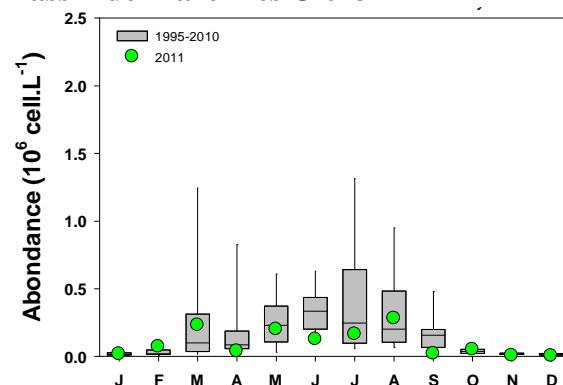
Rade de Brest



Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon

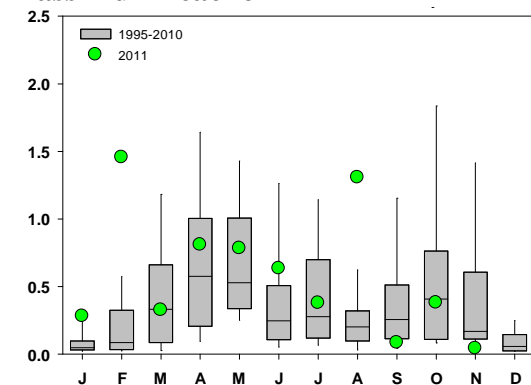


Figure 15 : Valeurs moyennes mensuelles 2011 d'abondance phytoplanctonique (mesurée à pleine mer) pour chacun des 4 écosystèmes étudiés comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY : respectivement la station Lanvéoc pour la Rade de Brest, la station Bois de la chaise pour la Baie de Bourgneuf, la station Boyard pour le Bassin de Marennes Oléron et la station Teychan pour le Bassin d'Arcachon. © Ifremer/Rephy.

On retiendra donc, à partir de l'analyse de ces 2 proxys du phytoplancton, que l'année 2011 se caractérise par une concentration phytoplancton tout juste dans les normes, parfois un peu déficitaire au printemps selon les secteurs (Bassin de Marennes Oléron, Baie de Bourgneuf).

3.2.4 Composition spécifique du phytoplancton

3.2.4.1 Espèces majoritaires

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 4 écosystèmes suivis dans le réseau Velyger : parmi ces espèces dites majoritaires, on distingue prioritairement les genres *Chaetoceros* (nombreuses espèces) et *Skeletonema* (principalement *costatum*). Ces genres sont connus pour être plutôt favorables à la croissance et la maturation des huîtres adultes.

Ce paragraphe s'intéresse donc ici à l'abondance 2011 de ces 2 genres par comparaison à la distribution de leurs abondances sur les 15 dernières années.

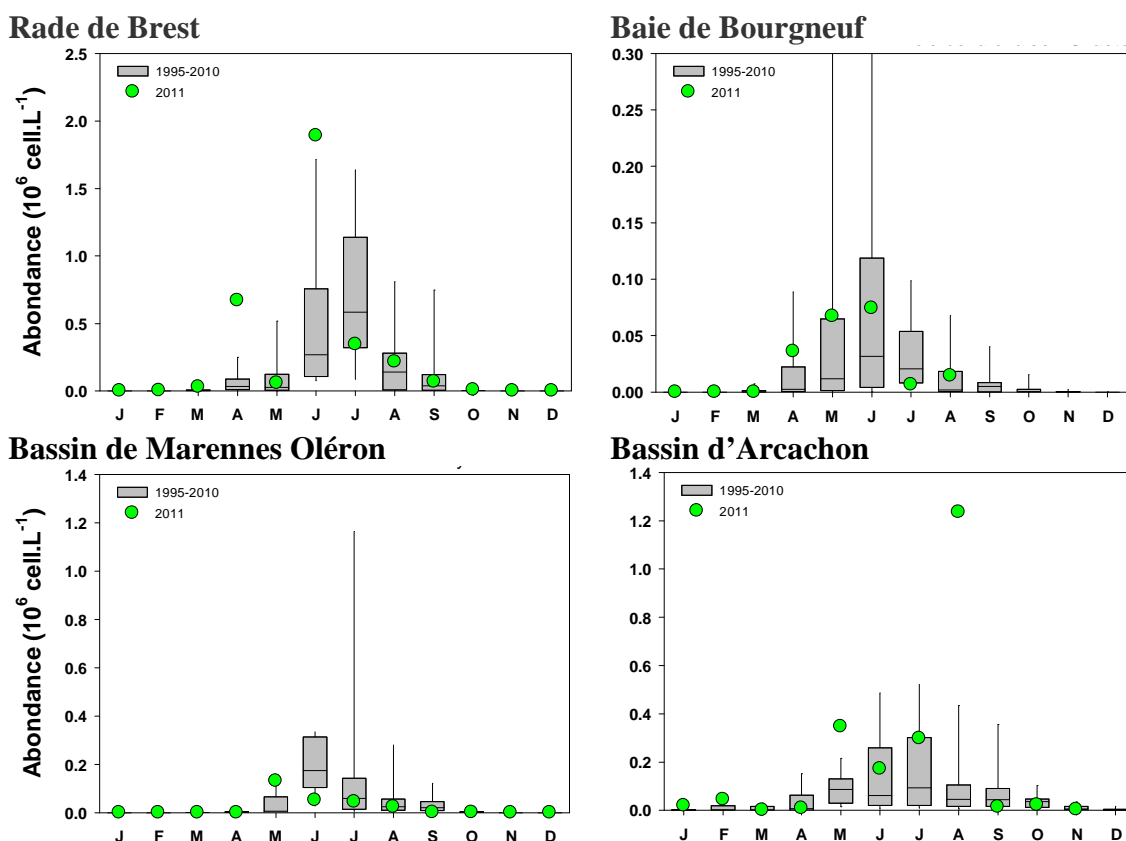


Figure 16 : Valeurs moyennes mensuelles 2011 d'abondance phytoplanctonique (mesurée à pleine mer) du genre *Chaetoceros*, pour chacun des 4 écosystèmes étudiés, comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY : respectivement la station Lanvéoc pour la Rade de Brest, la station Bois de la chaise pour la Baie de Bourgneuf, la station Boyard pour le Bassin de Marennes Oléron et la station Teychan pour le Bassin d'Arcachon. © Ifremer/Rephy.

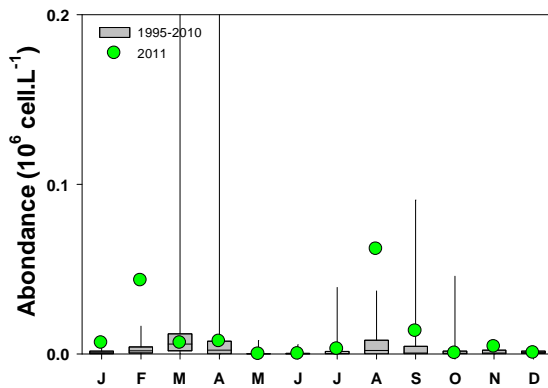
Ainsi, en 2011, le genre *Chaetoceros* (Figure 16) a été retrouvé de façon normale voire plutôt abondante dans les 4 écosystèmes au cours du printemps et de l'été, saison à laquelle ce genre est régulièrement observé. Certains blooms sont d'ailleurs

particulièrement important : en juin en Rade de Brest ou en août dans le Bassin d'Arcachon. L'année 2011 s'avère donc, dans les normes, en ce qui concerne l'abondance de ce genre au printemps.

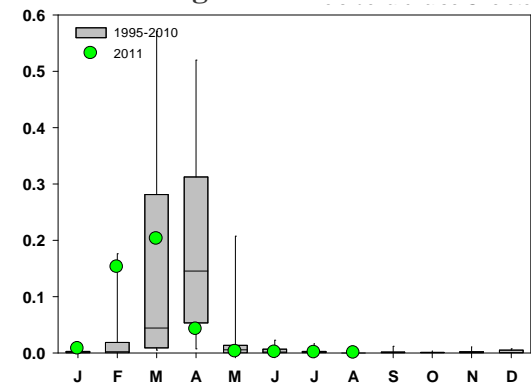
Par contre, le genre *Skeletonema* (Figure 17) a, quant à lui, été moins présent au cours de l'année 2011 : il apparaît précocement en février en Rade de Brest, Baie de Bourgneuf et Bassin de Marennes Oléron dans des quantités importantes pour cette période d'hiver, mais disparaît dès le mois d'avril de façon précoce. Le fait le plus remarquable reste cependant qu'il est totalement absent des eaux du Bassin d'Arcachon sur toute l'année 2011.

L'année 2011 apparaît plutôt dans les normes, voire au-dessus des normes sur certains sites, en ce qui concerne l'abondance du genre *Chaetoceros*, mais plutôt en dessous des normales en ce qui concerne le genre *Skeletonema*.

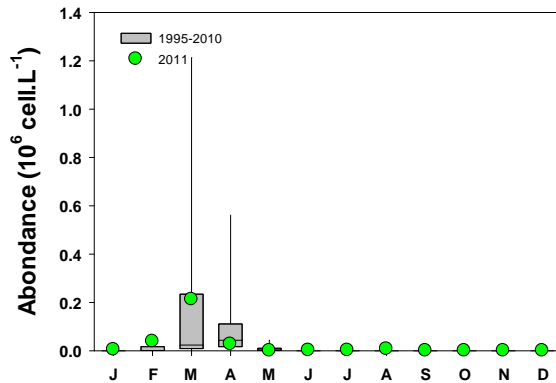
Rade de Brest



Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon

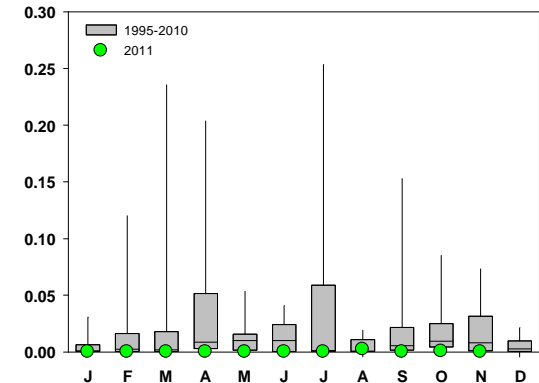


Figure 17 : Valeurs moyennes mensuelles 2011 d'abondance phytoplanctonique (mesurée à pleine mer) du genre *Skeletonema*, pour chacun des 4 écosystèmes étudiés, comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY : respectivement la station Lanvéoc pour la Rade de Brest, la station Bois de la chaise pour la Baie de Bourgneuf, la station Boyard pour le Bassin de Marennes Oléron et la station Teychan pour le Bassin d'Arcachon. © Ifremer/Rephy.

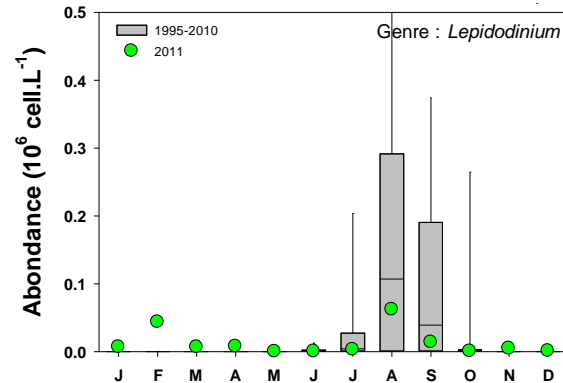
3.2.4.2 Espèces particulières

De façon plus spécifique, certains écosystèmes se caractérisent par des blooms récurrents chaque année d'espèces dites particulières, différentes d'un écosystème à l'autre.

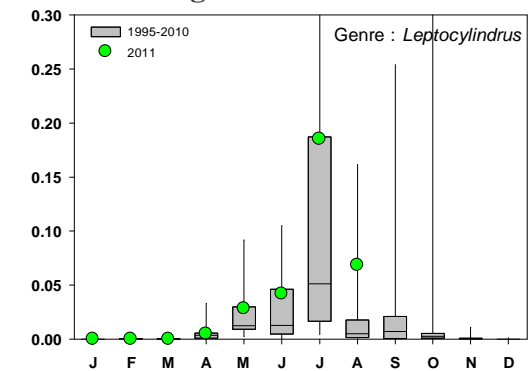
Pour les 4 écosystèmes suivis dans le réseau Velyger, il s'agit notamment des genres suivants : *Asterionellopsis* (espèce : *glacialis*) pour le Bassin d'Arcachon, *Leptocylindrus* (espèce : *minimus/danicus*) pour la Baie de Bourgneuf et le Bassin de Marennes-Oléron et *Lepidodinium* (espèce : *chlorophorum*) pour la Rade de Brest.

A l'inverse des genres étudiés dans le paragraphe précédent, le rôle de ces espèces pour la croissance et la maturation des huîtres adultes n'est pas connu. Ce paragraphe s'intéresse donc ici à l'abondance 2011 de ces genres par comparaison à la distribution de leurs abondances sur les 15 dernières années.

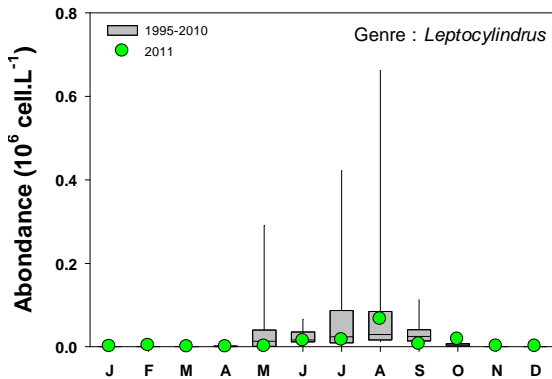
Rade de Brest



Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon

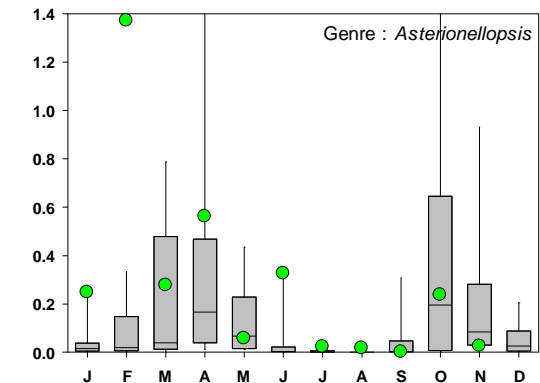


Figure 18 : Valeurs moyennes mensuelles 2011 d'abondance phytoplanctonique (mesurée à pleine mer) des genres *Asterionellopsis* (espèce : *glacialis*) pour le bassin d'Arcachon et *Leptocylindrus* (espèce : *minimus/danicus*) pour le bassin de Marennes-Oléron et la Baie de Bourgneuf et *Lepidodinium* (espèce : *chlorophorum*) pour la Rade de Brest. Ces valeurs 2011 sont comparées à la distribution des valeurs des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les points de référence du réseau REPHY : respectivement la station Lanvéoc pour la Rade de Brest, la station Bois de la chaise pour la Baie de Bourgneuf, la station Boyard pour le Bassin de Marennes Oléron et la station Teychan pour le Bassin d'Arcachon. © Ifremer/Rephy.

Ainsi, en 2011, le genre *Lepidodinium* (Figure 18) est resté peu abondant en Rade de Brest, le genre *Leptocylindrus* a été présent, de façon plutôt normale en Baie de Bourgneuf et dans le Bassin de Marennes-Oléron.

Par contre, le genre *Asterionellopsis* a été particulièrement important dans le Bassin d'Arcachon en hiver (mois de janvier-février) et au printemps (mois d'avril à juin) puis à nouveau à l'automne, avec des valeurs record en février. L'année 2011 s'avère donc plutôt élevée en ce qui concerne l'abondance de ce genre « particulier » dans le Bassin d'Arcachon.

3.2.4.3 Evolution décennale

En complément avec les paragraphes précédents, les figures présentées ici visent à fournir des tendances décennales sur l'évolution de l'apparition et de l'intensité des blooms pour les 2 genres majoritaires communs à l'ensemble des sites : les genres '*Chaetoceros*' et '*Skeletonema*'.

La Figure 19 montre que, à l'exception de la Baie de Bourgneuf, tous les écosystèmes sont caractérisés par une diminution de l'abondance du genre '*Chaetoceros*' entre la décennie 1990 et la décennie 2000.

Seule la Baie de Bourgneuf se caractérise par une augmentation de ce genre entre les deux décennies. Malgré cela, la Rade de Brest reste, pour ce genre, le site le plus riche des 4 bassins suivis dans le réseau Velyger

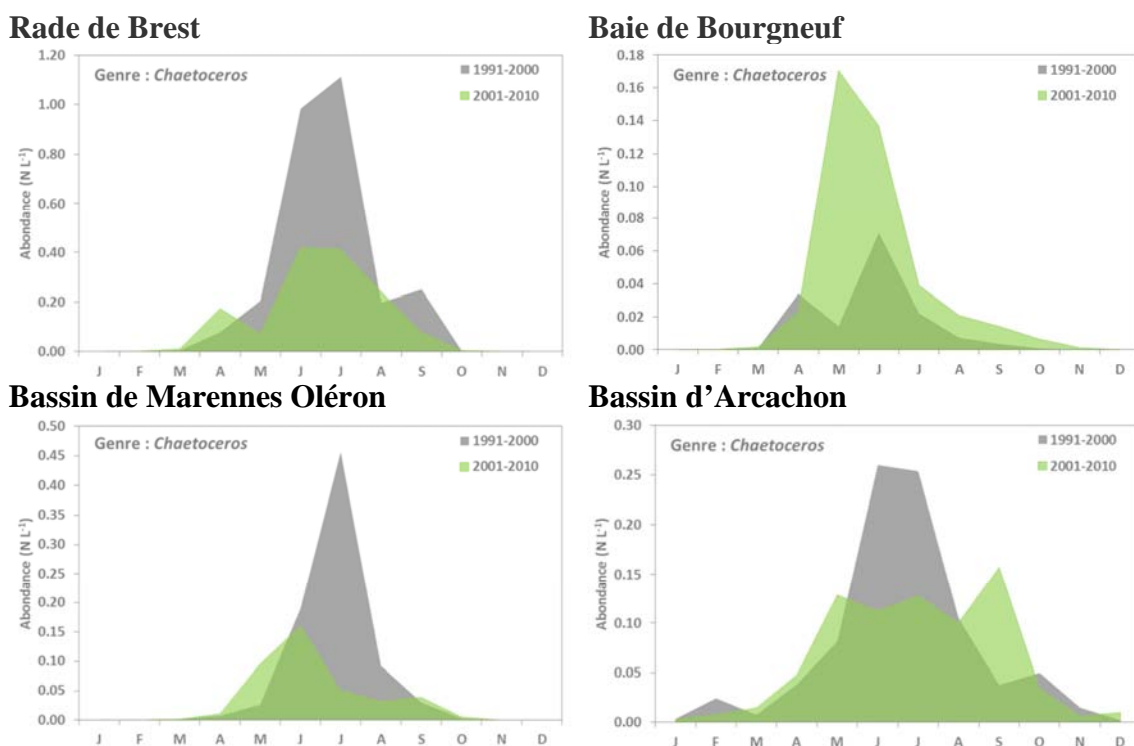
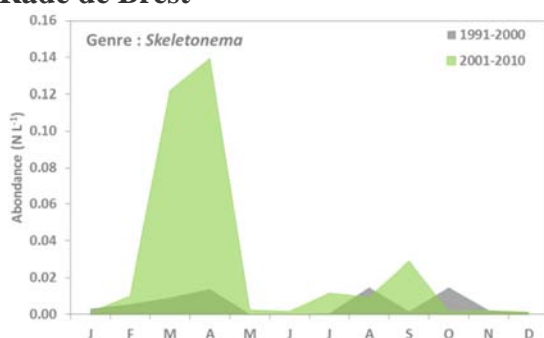


Figure 19 : Comparaison des caractéristiques d'efflorescence du genre '*Chaetoceros*' entre la décennie 1990 et la décennie 2000 pour chacun des 4 écosystèmes du réseau Velyger (Source des données : © Ifremer/Rephy).

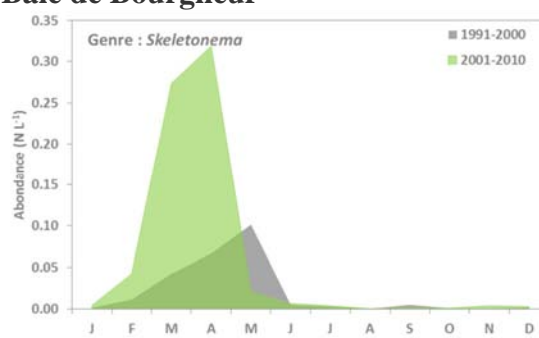
En ce qui concerne le genre '*Skeletonema*', la situation est différente (Figure 20): la décennie 2000 se caractérise par une abondance plus forte de ce genre sur l'ensemble des écosystèmes, à l'exception du Bassin d'Arcachon qui ne présente pas de différences marquées entre les 2 décennies.

Pour ce genre, les sites les plus riches sont le Bassin de Marennes Oléron et la Baie de Bourgneuf.

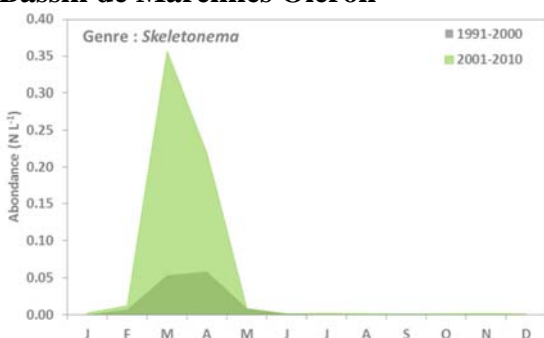
Rade de Brest



Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon

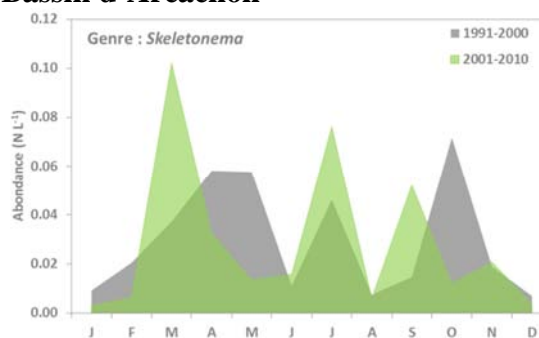


Figure 20 : Comparaison des caractéristiques d'efflorescence du genre '*Skeletonema*' entre la décennie 1990 et la décennie 2000 pour chacun des 4 écosystèmes du réseau Velyger (Source des données : © Ifremer/Rephy).

3.2.5 pH et acidification de l'océan

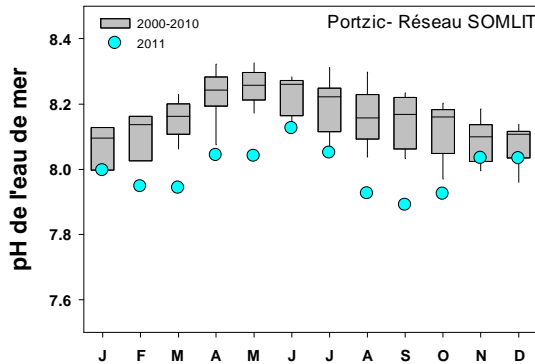
Outre l'augmentation de température, l'un des changements majeurs d'ici la fin de ce siècle réside dans l'acidification des océans liée à l'augmentation progressive des rejets de CO₂ (Anonyme, 2011). Sur nos côtes, le pH de l'eau de mer est, en moyenne, compris entre 8.1 et 8.2. Mais il y a énormément de variabilité spatiale dans la chimie carbonatée de l'océan et la prédiction, à l'échelle régionale, de l'évolution du pH au cours de ce siècle est particulièrement incertaine.

Chez l'huître creuse, le stade larvaire est le plus sensible à une diminution du pH : plusieurs études montrent qu'à partir d'un pH de 7.6, la croissance larvaire est affectée et la survie diminue (*e.g.* Kurihara et al., 2007). Des expérimentations récentes, réalisées en 2011 dans le cadre du projet Velyger, ont montré que pour un pH de 7.2 et une température de 20°C, la croissance larvaire était ralentie de moitié et la métamorphose compromise (Bagusche et al., 2012). Actuellement, le suivi du pH sur nos côtes est assuré par le réseau SOMLIT⁷ du CNRS.

⁷ <http://somlit.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 SOMLIT du CNRS.

Rade de Brest



Bassin d'Arcachon

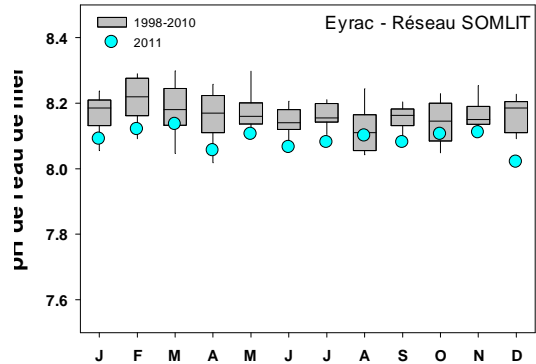
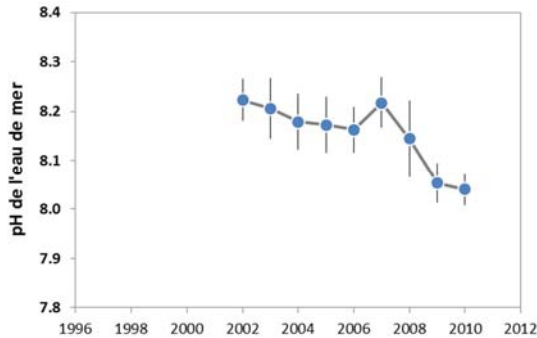


Figure 21 : Valeurs moyennes mensuelles 2011 du pH de l'eau de mer (© CNRS-INSU/SOMLIT) pour le bassin d'Arcachon (site « Eyrac ») et pour la Rade de Brest (site « Portzic »). Ces valeurs 2011 sont comparées à la distribution des valeurs des 10 dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des 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

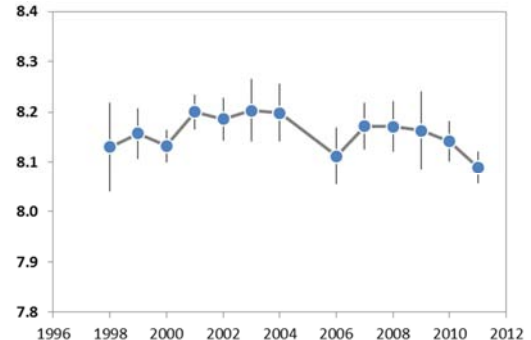


Figure 22 : Evolution du pH (moyenne annuelle +/- ECT) depuis les années 2000 en Rade de Brest et dans le Bassin d'Arcachon (© CNRS-INSU/SOMLIT). Notez la tendance à la diminution plus marquée en Rade de Brest ces dernières années. Ces graphes ont été obtenus à partir des données du Réseau SOMLIT mis en œuvre par le CNRS-INSU. En savoir plus : <http://somalit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>

On constate que les valeurs 2011 s'inscrivent, pour ces 2 secteurs, dans la tendance annoncée de l'acidification de l'océan : les valeurs 2011 sont effectivement dans la gamme inférieure des observations réalisées depuis le début des années 2000 par le réseau SOMLIT (Figure 21).

Pour l'instant, les valeurs moyennes du pH sur l'année 2011 (Figure 22) sont de 8.00 en Rade de Brest et 8.09 dans le Bassin d'Arcachon (la moyenne sur les 10 dernières années étant de 8.16).

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 premier critère, simple, pour caractériser l'intensité de la maturation d'une population d'huîtres pour une année et un site donnés.

Ensuite, en été, généralement à la faveur d'un choc thermique, l'huître émet ces gamètes lors du frai (appelé communément « ponte »). La quantité de gamètes émis par un 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). Cette 'quantité de gamètes émis' est appelé communément '**effort de reproduction**' ou '**fécondité individuelle**', notée **F**. Elle peut être approchée par la perte de masse de chair au moment de la ponte principale.

La mise en place et le suivi régulier de la croissance d'une population 'sentinelle' placée dans chaque écosystème en fin d'hiver permet d'étudier la variabilité inter-annuelle et inter-bassin de ces deux indices clés : (1) l'indice de condition maximum IC, mesuré juste avant la ponte et (2) l'effort de reproduction ou fécondité F. Ces deux critères aident à caractériser la maturation de l'année en cours par rapport à celles des années antérieures.

3.3.1 Comparaison spatio-temporelle

La Figure 23 montre, tout d'abord, l'évolution annuelle depuis 2009 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 2011 se caractérise par des valeurs maximales d'indice de condition moins élevées que les années antérieures. Pour chacun des sites d'études, on relève les valeurs suivantes :

- Rade de Brest : IC = 118 en 2011 contre 140 en 2009
- Baie de Bourgneuf : IC = 82 en 2011 contre 115 en 2010
- Bassin de Marennes Oléron : IC = 88 en 2011 contre 108 en 2009
- Bassin d'Arcachon : IC = 68 en 2011 contre 82 en 2010

En termes de variabilité inter-sites, on constate toujours (*e.g.* Pouvreau et al., 2011) en 2011 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 ;
- entre 80 et 90 pour le Bassin de Marennes Oléron et la Baie de Bourgneuf ;
- inférieures à 80 dans le Bassin d'Arcachon.

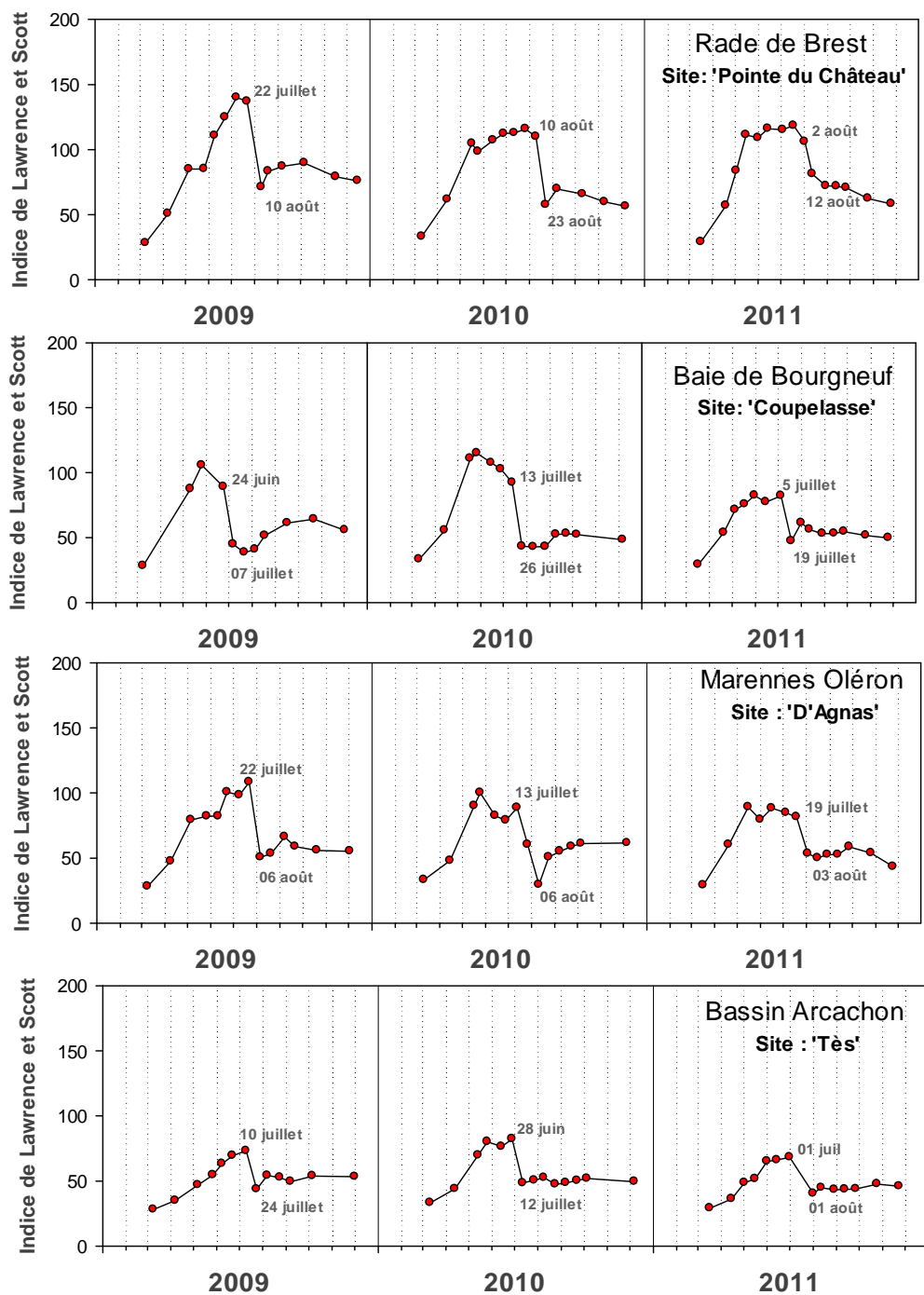


Figure 23 : Evolution de l'indice de condition (indice de Lawrence et Scott) de chaque lot sentinelle placé chaque année sur les 4 sites Velyger (Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) depuis 2009. Les lots suivis sont transplantés chaque année en fin d'hiver, les huîtres utilisées sont alors 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.

Un fait particulier est à noter en Rade de Brest en 2011 : on constate une diminution progressive de l'indice de condition entre le 17 juillet et le 30 août (sur 4 prélèvements), alors que pour les autres années et sites, cette diminution est brutale et a lieu en moins de quinze jours (entre 2 prélèvements). Cette lente diminution est caractéristique d'une ponte partielle et asynchrone qui s'étale sur plusieurs semaines en affectant progressivement de plus en plus d'individus.

En complément à cette description de l'indice de condition, la Figure 24 montre l'évolution annuelle de la masse moyenne de chair sèche du même lot d'huîtres creuses 'sentinelles' et permet de calculer des valeurs de fécondité F par la perte de masse sèche au moment de la ponte principale.

Ainsi, en termes de variabilité inter-annuelle, l'année 2011 se caractérise par des valeurs de fécondité inférieures aux 2 années précédentes, conformément aux résultats sur l'indice de condition présentés précédemment.

Cette tendance à la diminution est très nette sur les sites de :

- Rade de Brest : $F= 0.42g$ en 2011 contre $1.11g$ en 2009;
- Baie de Bourgneuf : $F= 0.31g$ en 2011 contre $0.51g$ en 2009;
- Bassin de Marennes Oléron : $F= 0.52g$ en 2011 contre $0.80g$ en 2009.

Elle est moins marquée dans le Bassin d'Arcachon ($F= 0.23g$ en 2011 contre $F=0.36g$ en 2009), compte tenu des valeurs planchers, déjà très faibles sur ce site.

En termes de variabilité inter-sites, on constatait l'année dernière (*e.g.* Pouvreau et al., 2011) l'existence d'un net gradient Nord-Sud sur cet effort de reproduction: par exemple en 2009 ou 2010, le Bassin d'Arcachon présentait systématiquement les valeurs les plus faibles et la Rade de Brest les valeurs les plus fortes, les sites de Marennes Oléron ou Baie de Bourgneuf des valeurs intermédiaires.

Cependant en 2011, et de façon différente aux résultats sur l'indice maximal de condition, le gradient Nord-Sud fréquemment observé s'estompe: les valeurs les plus fortes sont enregistrées à Marennes-Oléron ($F=0.52g$), ensuite vient la rade de Brest ($F=0.42 g$) puis la Baie de Bourgneuf ($F=0.31 g$) et enfin le Bassin d'Arcachon ($F=0.23g$). Cette modification du gradient Nord-Sud tient surtout au fait qu'en 2011 la ponte principale en Rade de Brest a été partielle, alors qu'elle est totale dans les autres sites.

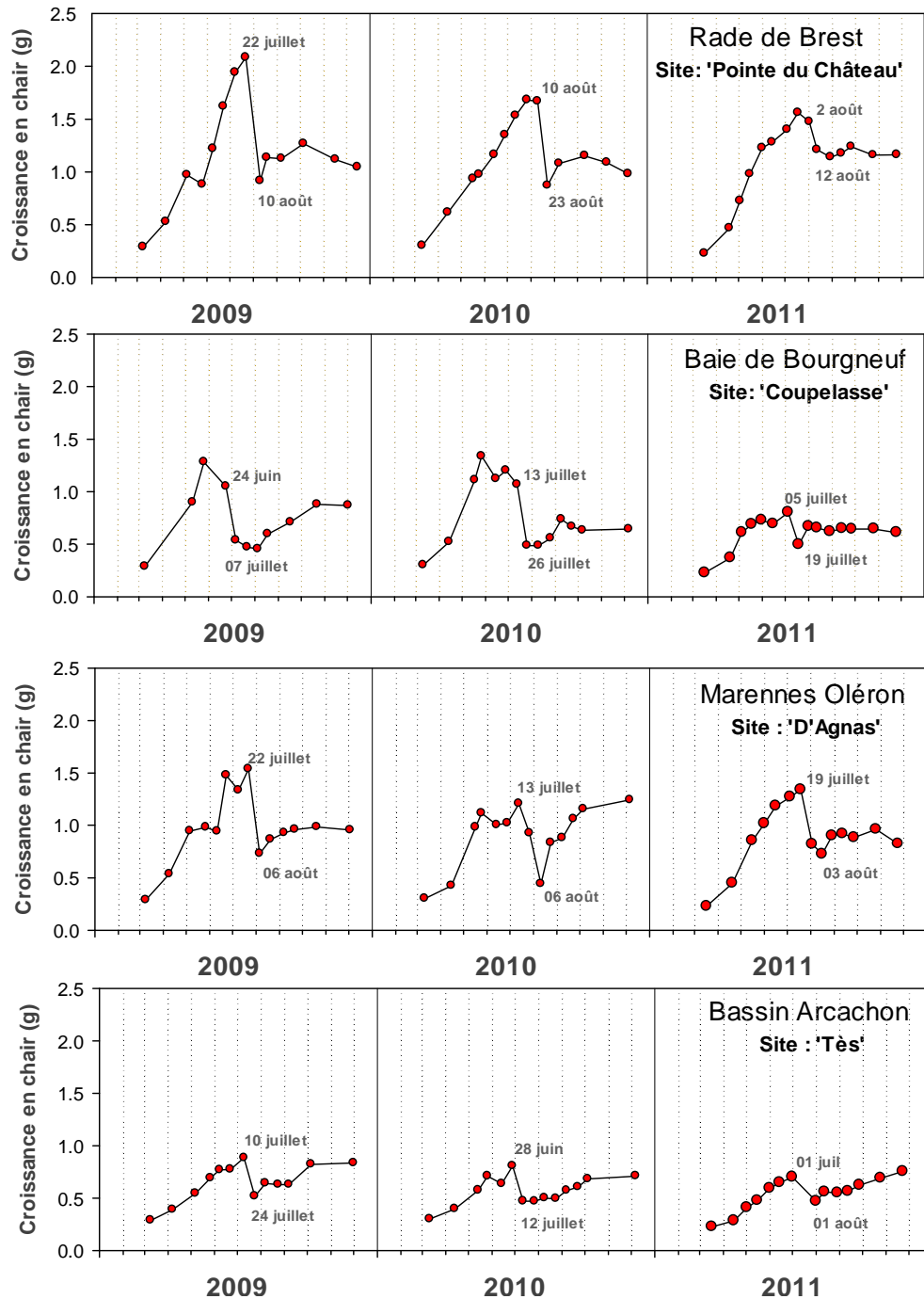


Figure 24 : Croissance en chair (g de matière sèche) et ponte chez les huîtres de chaque lot sentinelle placé, chaque année, sur les 4 sites Velyger (Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) depuis 2009. Les lots suivis sont transplantés chaque année en fin d'hiver, les huîtres utilisées sont alors 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.

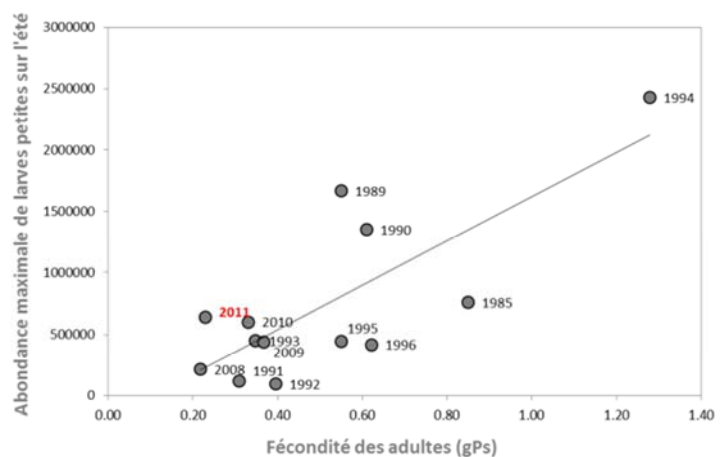
3.3.2 Le cas particulier du Bassin d'Arcachon

Le Bassin d'Arcachon présente, en termes d'indice de condition et de fécondité, en 2011, comme sur les 3 années antérieures, de très faibles valeurs par rapport aux autres sites du réseau Velyger.

Afin de compléter l'analyse sur ce site, la Figure 25 montre la relation existant entre la fécondité F telle que mesurée dans le paragraphe précédent et la quantité maximum de larves (stade petite) observée sur l'été dans le secteur Est du Bassin d'Arcachon.

On constate que l'année 2011, tout comme les années précédentes (2008-2010), présente une faible fécondité qui se traduit par de faibles abondances larvaires. Il convient cependant de noter que ces années sont analogues aux années 1991, 1992 et 1993.

Figure 25 : Relation entre l'abondance de larves (pic maximum sur l'été) et la fécondité des adultes (perte de matière sèche en g) sur le Bassin d'Arcachon - secteur Est (droite de régression, $R^2 = 0.59$).



3.3.3 Facteurs d'explications : le phytoplancton

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 Figure 26 montre les relations actualisées pour 2011 entre l'abondance phytoplanctonique printanière (de mars à juin) et l'indice de condition maximal des huîtres (IC), mesuré en juillet juste avant la ponte.

Ces relations, actualisées pour l'année 2011, sont toujours aussi élevées que celles obtenues antérieurement (Pouvreau et al., 2011) avec des coefficients de détermination respectivement de 0.54 et 0.68 selon le proxy de nourriture utilisé : chlorophylle a ou abondance spécifique (en ne retenant que les genres majoritaires : *Chaetoceros* et *Skeletonema*).

Les sites et années, caractérisés par de faibles valeurs de chlorophylle a (ou d'abondance spécifique) associés à de faibles valeurs d'indice de condition, concernent systématiquement le Bassin d'Arcachon. A l'opposé, la Rade de Brest présente

systématiquement les valeurs les plus élevées de chlorophylle *a* (ou d'abondance spécifique) associées à de très fortes valeurs d'indice de condition.

Néanmoins, l'analyse de ce nuage de points montre que globalement l'année 2011 présente plutôt des valeurs faibles d'abondance printanière en phytoplancton ce qui se traduit par des valeurs d'indice de condition plutôt basses. Ainsi d'une façon générale, la plupart des observations 2011 se positionne dans le quart inférieur du nuage de points (à l'exception des valeurs de Rade de Brest).

De façon plus détaillée, le positionnement des points 2011 dans le nuage d'observation des années antérieures est à nuancer selon les sites :

- Pour la Rade de Brest, l'année 2011 se positionne de façon assez analogue aux années antérieures (valeurs légèrement inférieures) ;
- Pour la Baie de Bourgneuf, l'année 2011 se positionne de façon très différente avec des valeurs plus faibles, proches des valeurs observées pour le bassin d'Arcachon ;
- Pour le Bassin de Marennes-Oléron, l'année 2011 se positionne, là aussi en retrait, dans le quadrant inférieur avec des valeurs proches de celles d'Arcachon.
- Enfin, pour le Bassin d'Arcachon, l'année 2011 présente, de façon analogue aux autres années, les valeurs les plus faibles, valeurs qui s'écartent même de la relation calculée à partir des observations sur les autres sites.

En outre, comme cela a déjà été mentionné par Pouvreau et al. (2011), la relation plus forte entre l'abondance des genres '*Chaetoceros*' et '*Skeletonema*' et l'indice de condition, tous sites et toutes années confondus, suggère une meilleure valeur nutritive de ces micro-algues dans le régime alimentaire de l'huître creuse et leurs rôles potentiels dans le succès de la gamétogénèse.

Mais il convient de rappeler qu'il ne s'agit pas là d'une liste exclusive, d'autres espèces non mentionnées ici pouvant bien évidemment avoir un rôle très favorable dans la gamétogénèse.

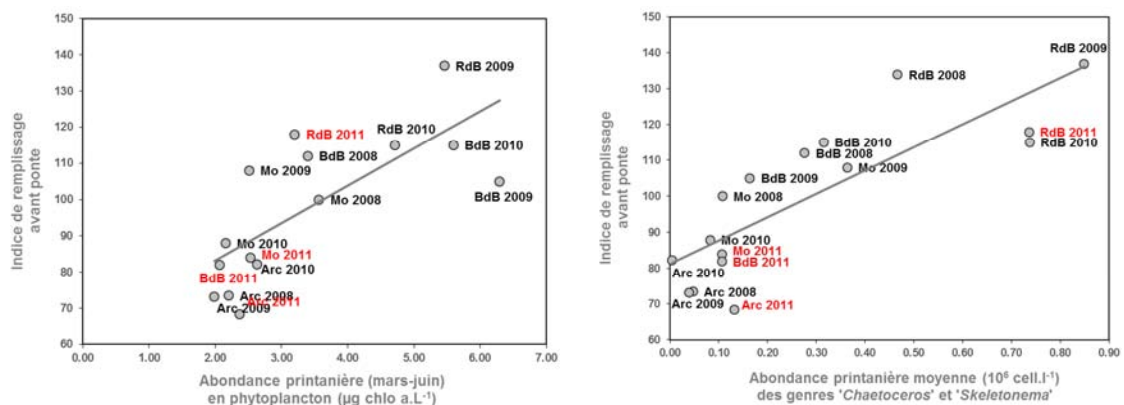


Figure 26 : Relation entre phytoplancton (abondance et composition) et indice de condition (indice de Lawrence et Scott maximal mesuré avant la ponte) des huîtres sentinelles placées dans chaque bassin depuis 2008. L'année 2011 apparaît en rouge sur les graphes. Légende : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon.

3.4 Date de Ponte

En début d'été, une fois la gamétogenèse achevée, l'émission des gamètes (ou frai), communément appelé 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 et les marées de vives-eaux apparaissent comme deux éléments 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).

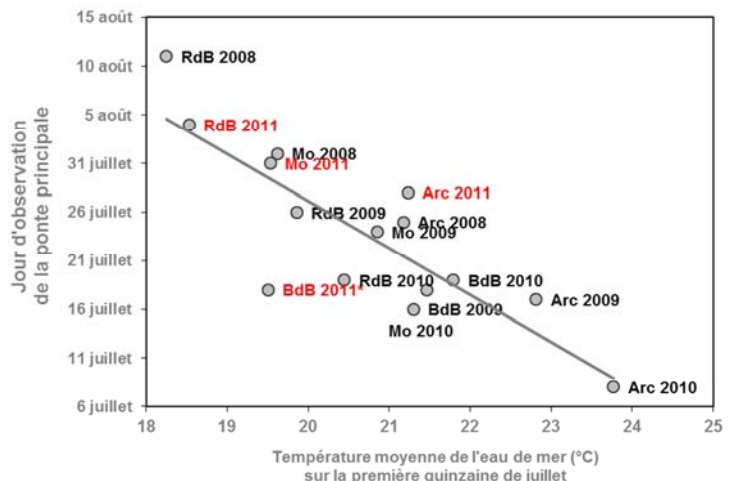
Enfin, en termes prévisionnels, les températures moyennes de l'eau de mer en début d'été constituent un bon proxy de la date de ponte (*e.g.* Auby et Maurer, 2004 ; Pouvreau et al., 2011).

3.4.1 Valeurs 2011

La Figure 27 montre la relation, actualisée pour 2011, que l'on obtient entre la température moyenne de l'eau de mer sur la première quinzaine de juillet et le jour d'observation de la ponte principale. Cette relation assez nette ($R^2 = 0.69$) met en évidence que l'année 2011 se caractérise surtout par des pontes plutôt tardives sur l'ensemble des 4 écosystèmes, avec :

- Pour les bassins d'Arcachon et Marennes-Oléron, une ponte principale retardée (comme en 2008) par des températures de l'eau de mer plutôt déficitaires (Figure 10).
- Pour la baie de Bourgneuf, une ponte à la même période que les années antérieures, mais avec une caractéristique particulière. L'année 2011 présente ainsi sur ce site 2 pics d'abondance de larves d'égale importance, témoignant deux périodes de ponte très distinctes : la première est représentée sur la figure, la deuxième beaucoup plus tardive se situe au début du mois d'août.
- Pour la rade de Brest, une période de ponte là aussi tardive comparable à l'année 2008, en relation avec des températures de l'eau de mer trop faibles (moins de 19°C).

Figure 27 : Relation entre la température de l'eau sur la première quinzaine de juillet (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.



3.4.2 Séries historiques

L'année 2011 s'avère être une année relativement tardive en ce qui concerne la date de la ponte principale sur chacun des bassins. La Figure 28 vient compléter le paragraphe précédent 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 le 30 juillet, est plutôt dans les normes (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 2011, qui a eu lieu vers le 29 juillet, est plutôt 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 et caractérisée par un progressif retard de la période de ponte.

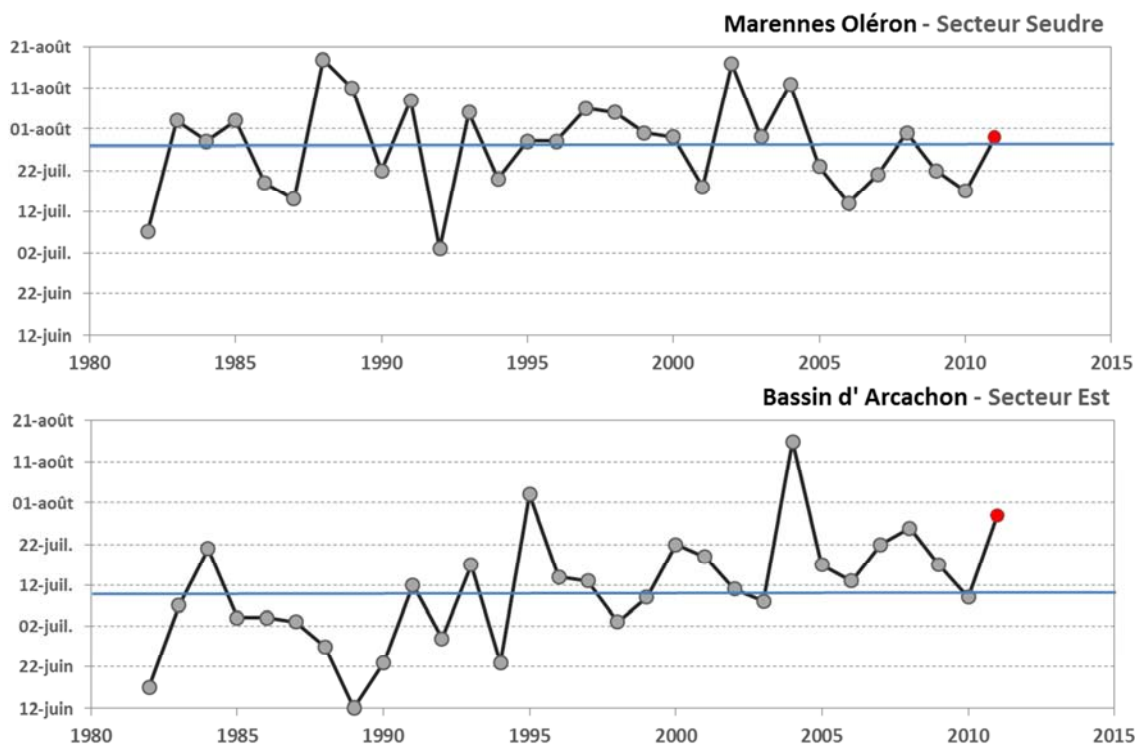


Figure 28 : Evolution depuis 30 ans de la date de ponte principale dans les bassins de Marennes Oléron (secteur Seudre) et d'Arcachon (Secteur Est). La date de ponte est estimée ici à partir des pics d'abondances de larves au stade « petites » relevés sur chacun des secteurs. La médiane est symbolisée par la droite bleue, l'année 2011 est indiquée en rouge. Notez l'augmentation progressive de la date de 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 l'huître creuse, 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.

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 2011 par rapport aux années antérieures et (2) d'analyser les mécanismes pouvant expliquer la variabilité observée.

La Figure 29 montre l'évolution de l'abondance larvaire (ici le stade 'larves évoluées') depuis 1982 et permet de caractériser 2011 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 ainsi que des biais d'échantillonnage liés à la dynamique parfois fugace 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 2011 confirme cette tendance à la diminution avec des valeurs très basses comparables à celles de l'année 1992 (en moyenne 196 larves/1,5m³ en 1992 contre 156 larves/1,5m³ en 2011).

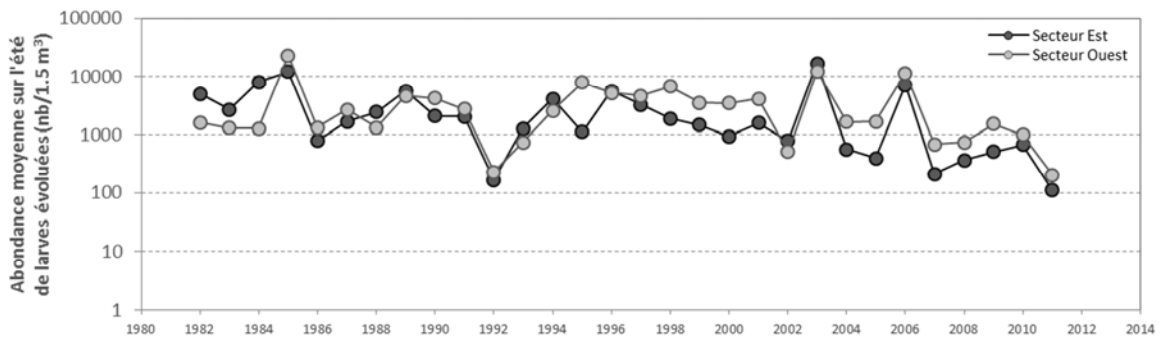
A l'opposé, le Bassin de Marennes Oléron enregistre depuis une dizaine d'années une augmentation de la concentration en larves, légèrement plus marquée en Charente qu'en Seudre. L'année 2011 confirme cette tendance et pour la première fois sur la série historique, les concentrations moyennes en larves sur le Bassin de Marennes Oléron (282 larves/1,5m³) deviennent supérieures à celles mesurées dans le Bassin d'Arcachon (156 larves/1,5m³).

A partir de 2008, il devient possible de comparer ces sites traditionnels aux sites dits 'émergents' (Rade de Brest et Baie de Bourgneuf). La rade de Brest est le site pour lequel l'abondance est la plus faible (Pouvreau et al., 2011) ; cela reste le cas en 2011 avec seulement 56 larves/1,5m³ observée en moyenne sur l'été. La baie de Bourgneuf

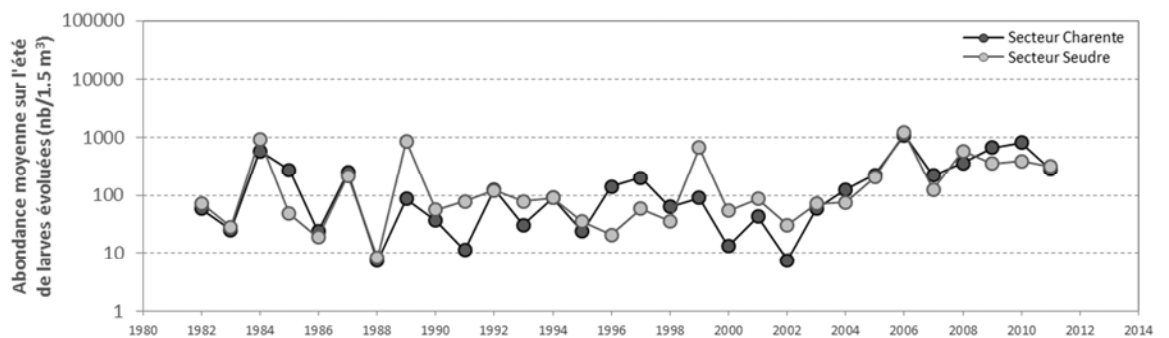
présente une position intermédiaire avec, en 2011, une moyenne (161 larves/1,5m³) supérieure à celle observée dans le Bassin d'Arcachon mais inférieure à celle observée dans le Bassin de Marennes Oléron.

Enfin, il convient de remarquer que, globalement, pour tous les sites étudiés ici, on constate que l'année 2011 présente des valeurs plus faibles que les années antérieures.

Bassin d'Arcachon



Bassin de Marennes Oléron



Tous sites Velyger

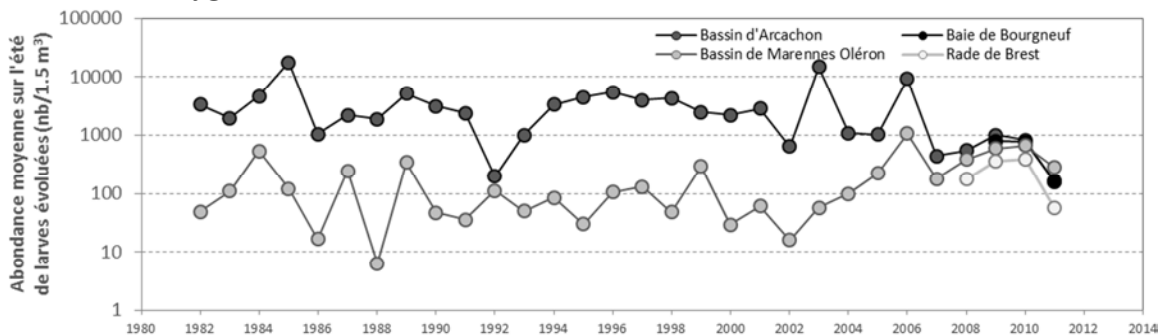


Figure 29 : Evolution des abondances moyennes sur l'été de larves (stade 'évoluées') sur les 4 bassins du réseau Velyger. De haut en bas : le bassin d'Arcachon (Secteurs Est et Ouest), le bassin de Marennes Oléron (Secteurs Seudre et Charente) et les 4 bassins suivis dans Velyger (Valeurs moyennes tous secteurs confondus).

En complément de cette première description de la variabilité spatio-temporelle de l'abondance de larves (stade 'évoluées'), la Figure 30 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 comparer 2011 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 de plus en plus : certaines années d'Arcachon présentent des valeurs inférieures à celles de Marennes-Oléron. C'est notamment le cas de l'année 2011, qui se positionne pour Arcachon au milieu du nuage des points de Marennes-Oléron.
- Les sites Rade de Brest et Baie de Bourgneuf, pour lesquels, pour l'instant, nous ne disposons que de 4 années d'observation, présentent des valeurs intermédiaires.
- Il convient de noter que l'année 2011 se positionne, au sein du nuage de points, de façon très similaire sur les 4 sites Velyger avec des valeurs d'abondance très proches entre les sites, plutôt positionnées dans la moitié inférieure du nuage de points.
- 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 présentent des survies moyennes nettement inférieures, il s'agit pour la plupart d'entre elles d'années caractérisées par des étés frais (1984, 1986, 2002, 2008).

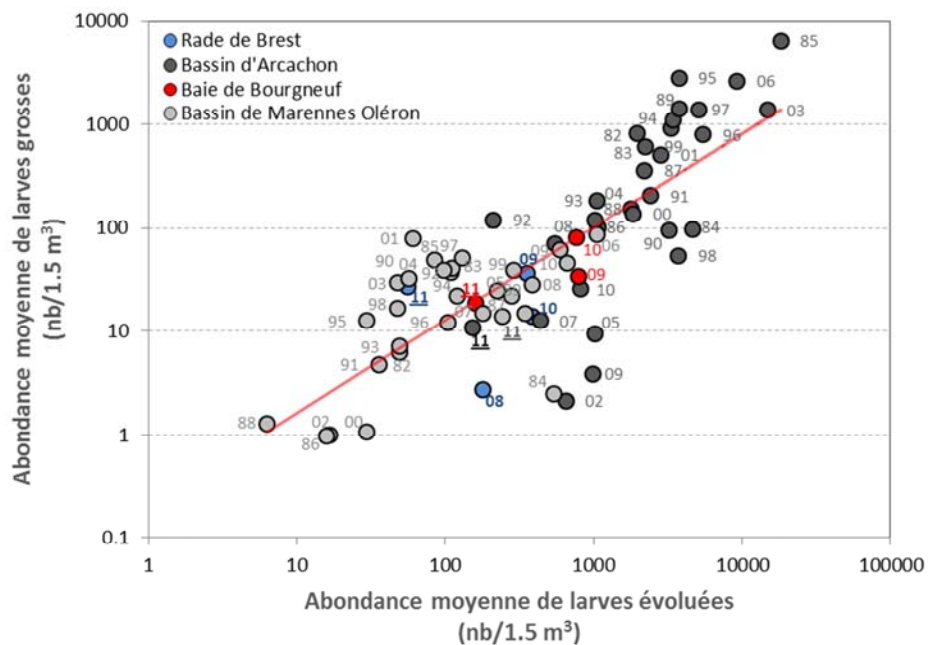


Figure 30 : Relation entre l'abondance de larves évoluées et l'abondance de larves grosses pour les 4 sites du réseau Velyger toutes années confondues. L'année 2011, tous sites confondus, se positionne plutôt dans la moitié inférieure de ce nuage. Notez que la régression établie sur ce nuage de points 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 présentent des survies moyennes nettement inférieures, il s'agit pour la plupart d'entre elles d'années caractérisées par des étés frais (1984, 1986, 2002, 2008).

3.5.2 Durée du développement larvaire

La Figure 31, actualisée pour l'année 2011, 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 2011 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) ;
- moins de 10 jours au-delà de 23°C (conditions lors d'étés chauds à Arcachon).

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*.

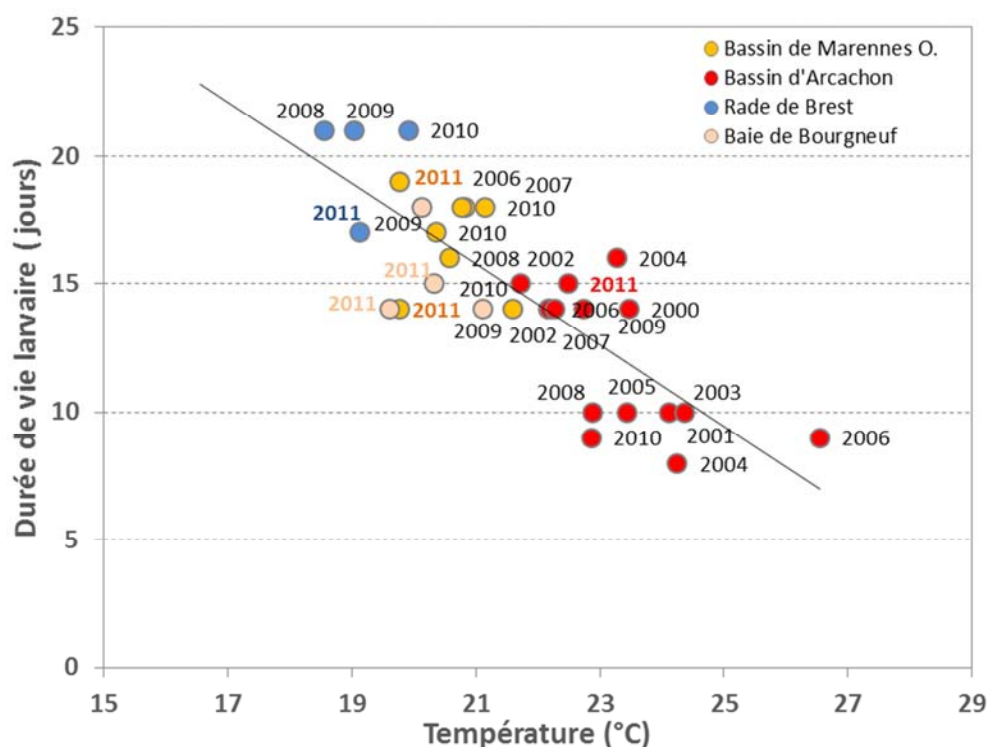


Figure 31 : Relation entre la durée du développement larvaire (PLD en jours) et la température de l'eau sur tous les sites et années Velyger pour lesquels des cohortes larvaires ont été repérées sans ambiguïté. La durée du développement larvaire est estimée ici, sur chaque cohorte, à partir du nombre 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 2011 se positionnent par rapport aux valeurs enregistrées antérieurement de la manière suivante :

- Dans la gamme supérieure pour le Bassin d'Arcachon (PLD = 15 j.) ;
- Dans la norme pour Marennes O. et Bourgneuf (PLD = 15 j.) ;
- Dans la gamme inférieure pour la Rade de Brest (PLD = 17 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 32 présente la relation, actualisée pour 2011, 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 comporte trois résultats majeurs :

- (1) 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 du réseau Velyger. Cette différence est maximale quand la température de l'eau est faible à Arcachon (22°C).
- (2) 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% ;
- (3) Pour les autres écosystèmes, cette relation avec la température est, pour l'instant, plus délicate à estimer, compte tenu du manque de données de survie sur une gamme assez large de température. Cela dit, on constate nettement sur Marennes Oléron et Bourgneuf une tendance à l'augmentation des valeurs avec la température.

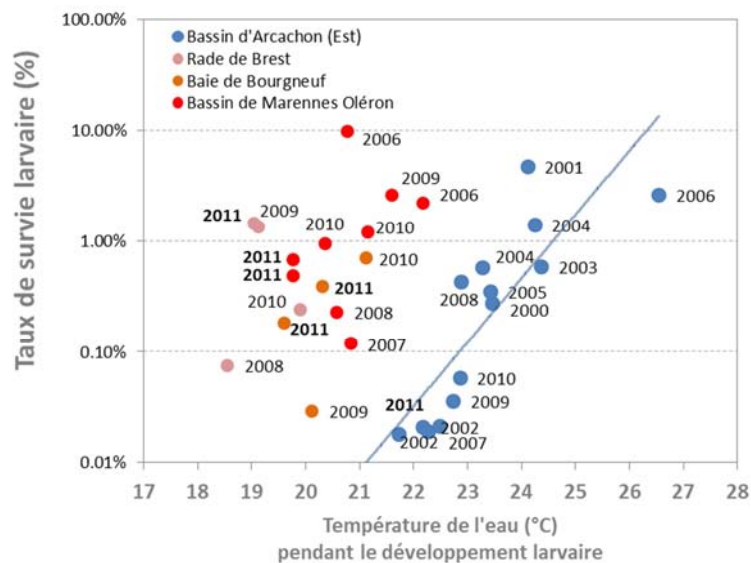


Figure 32 : Relation entre la température de l'eau (°C) et le taux de survie larvaire (S, %) pour chacune des cohortes larvaires repérées sans ambiguïté dans chaque site Velyger depuis 2001. Les valeurs pour l'année 2011 sont signalées en gras. Notez la forte différence, pour une température donnée, 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 2011, cette figure montre :

- Une survie très faible (proche de 0.01 %) de la cohorte observée sur Arcachon en relation avec les faibles températures ;
- Une survie juste dans les normes (0.1 à 1 %) pour les autres écosystèmes.

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).

La Figure 33, actualisée pour l'année 2011, montre toujours la très bonne corrélation, tous sites confondus, 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).

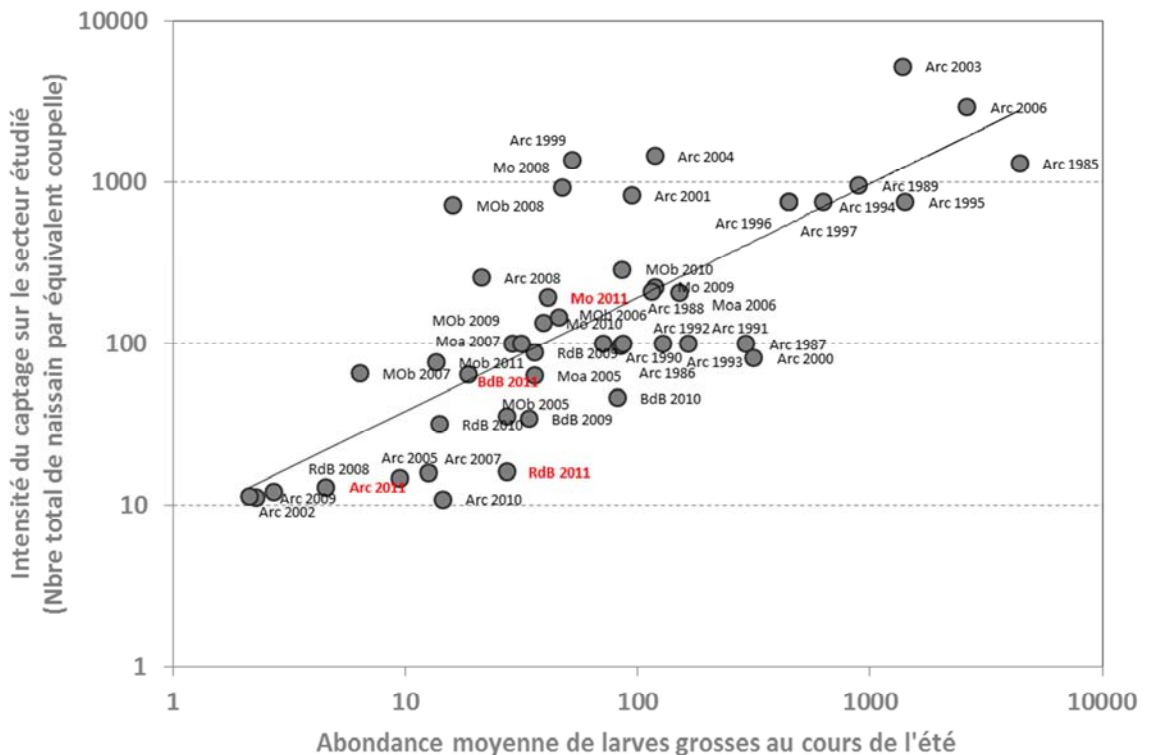


Figure 33 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été et l'intensité du captage estimé à l'automne (nombre total de naissain exprimé en équivalent coupelle ($R^2=0.60$)).
Légende : ARC = Arcachon, MO = Marennes-Oléron secteur Charente, MOB = Marennes-Oléron secteur Centre, BDB = Baie de Bourgneuf, RDB = Rade de Brest.

De façon schématique, nous pouvons établir, sur la base de cette figure, les correspondances suivantes :

- une abondance moyenne de larves grosses, sur l'ensemble de l'été, inférieure à 10 larves/1,5m³ aboutit à un captage autour de 10 naissains par coupelle (nombre total incluant les naissains morts et vivants), qualifié de faible (à nul) ;
- une abondance moyenne entre 10 et 100 larves/1,5m³ fournit un captage compris entre 20 à 200 naissains par coupelle, qualifié de moyen ;
- une abondance de larves grosses entre 100 et 1000 larves/1,5m³ permet un captage compris entre 200 et 1000 naissains par coupelle, qualifié de bon à excellent ;
- une abondance moyenne de larves grosses au-dessus de 1000 larves/1,5m³ apporte un captage très abondant, supérieur à 1000 naissains par coupelle, qualifié d'exceptionnel.

Pour l'année 2011, on peut constater que l'ensemble des points se situent plutôt dans la moitié inférieure du nuage de points. Cette année est marquée par des valeurs moyennes d'abondances de larves grosses faibles à modérées (inférieures à 100 larves/1,5m³) se traduisant par un captage faible à modéré : le captage le plus fort est enregistré dans le secteur Charente du Bassin de Marennes-Oléron avec un taux de recrutement moyen de 196 naissains/coupelle.

Enfin, il convient enfin de rappeler (*e.g.* Pouvreau et al., 2011) que la très forte relation entre abondance de larves grosses et recrutement, chaque année et pour la plupart des secteurs étudiés, montre qu'il n'y a vraisemblablement pas de verrous biologiques clés au moment de la métamorphose et de la fixation. En effet, si ce verrou existait, on aurait des mauvais recrutements malgré une forte abondance de larves grosses.

3.6 Estimation précoce du recrutement

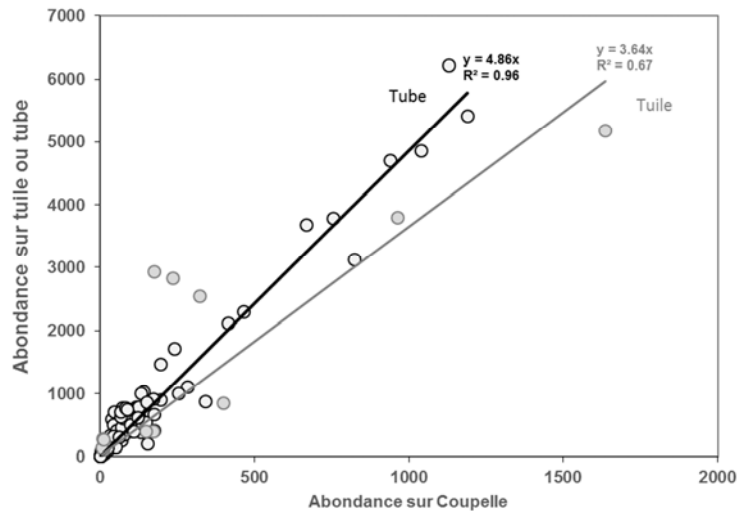
Chaque année, des campagnes d'échantillonnage sont effectuées, en période automnale (Octobre-Novembre) dans chaque bassin afin d'estimer, sur les parcs de captage, l'abondance moyenne du recrutement et le cas échéant le taux de mortalités à l'automne. La méthodologie utilisée sur chaque site est adaptée 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 34 fournit des éléments de corrélation permettant d'établir une équivalence entre type de collecteurs.

Figure 34 : Relation entre l'abondance sur une coupelle et celle sur un tube ou une tuile placée dans les mêmes conditions. La pente est de 4.9 pour la relation coupelle-tube (pour un coefficient de corrélation de 0.96) et de 3.6 pour la relation coupelle-tuile (pour un coefficient de corrélation de 0.67). ►



3.6.1 Abondance de naissain

Les 4 figures suivantes synthétisent, pour chaque bassin, sur une cartographie, les résultats de la campagne 2011 d'estimation du captage et permettent de comparer ces résultats avec les années antérieures. Il ressort clairement que, pour l'année 2011 :

- La rade de Brest (Figure 35) est caractérisée, en 2011, par **un captage faible à modéré**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 16 à 28 naissains par coupelle. Ces résultats sont inférieurs à ceux des années 2009 et 2010, mais restent supérieurs à ceux de 2008.
- La Baie de Bourgneuf (Figure 36) est caractérisée, en 2011, par **un captage modéré**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 28 à 212 naissains par coupelle. Ces résultats sont supérieurs, tous secteurs confondus, à ceux des années 2009 et 2010.
- Le Bassin de Marennes Oléron (Figure 37) est caractérisé, en 2011, par **un captage faible à modéré**, avec des valeurs moyennes par secteur variant de 16 à 196 naissains par coupelle. Pour le secteur Charente, ces résultats sont comparables à ceux des années 2009 et 2010, mais restent inférieurs aux valeurs 2008. Pour les secteurs Centre et Seudre, ces résultats sont inférieurs aux années antérieures. Le captage est peut être qualifié de 'faible' en Seudre.
- Le Bassin d'Arcachon (Figure 38), est caractérisé, en 2011, par **un captage faible**, avec des valeurs moyennes par secteur autour de 10 naissains par coupelle. Ces résultats sont comparables, tous secteurs confondus, à ceux des années 2009 et 2010 et restent largement inférieurs aux valeurs 2008.

Ainsi, en 2011, 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).

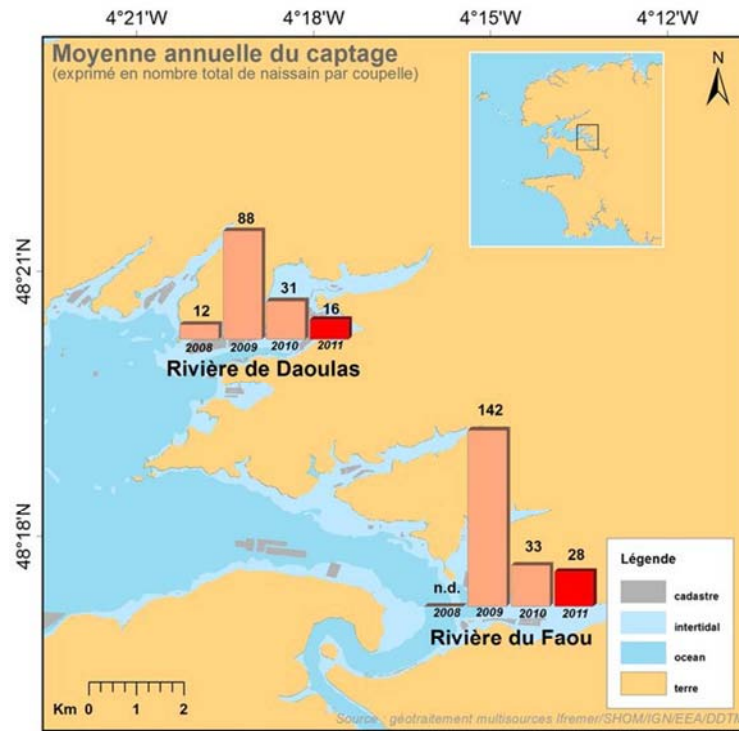


Figure 35 : Abondance moyenne par secteur du captage en Rade de Brest : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2011 et comparaison aux années antérieures.

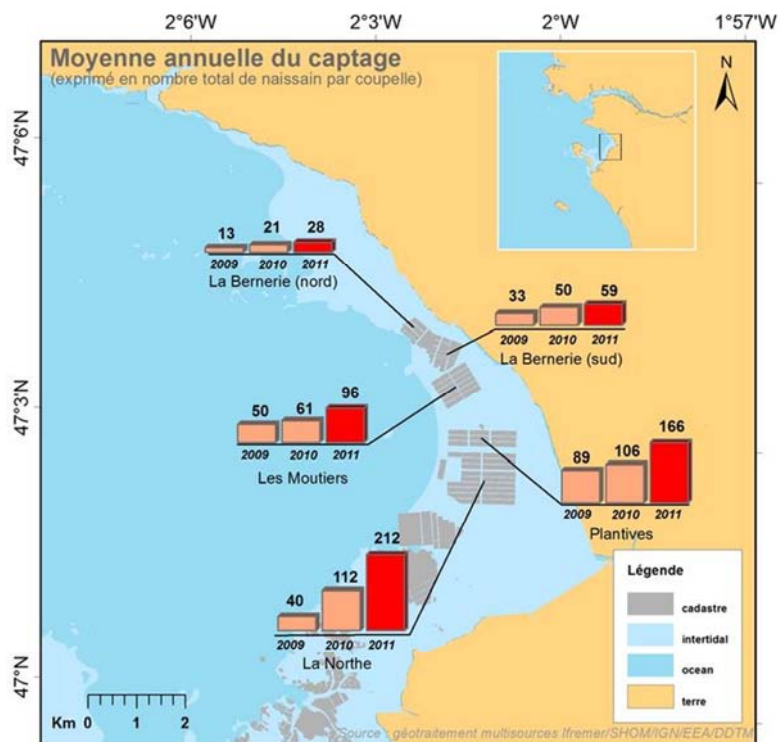


Figure 36 : Abondance moyenne par secteur du captage en Baie de Bourgneuf : nombre moyen de naissains par coupelle (vivants et morts) en 2011 et comparaison aux années antérieures.

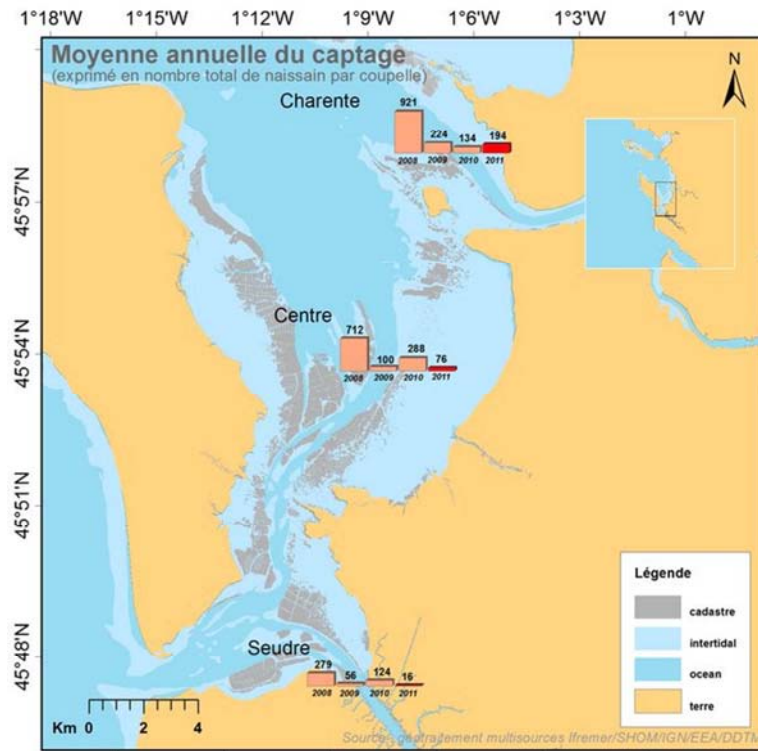


Figure 37 : Abondance moyenne par secteur du captage en Bassin de Marennes Oléron : nombre moyen de naissains par couplet (vivants et morts) en 2011 et comparaison aux années antérieures.

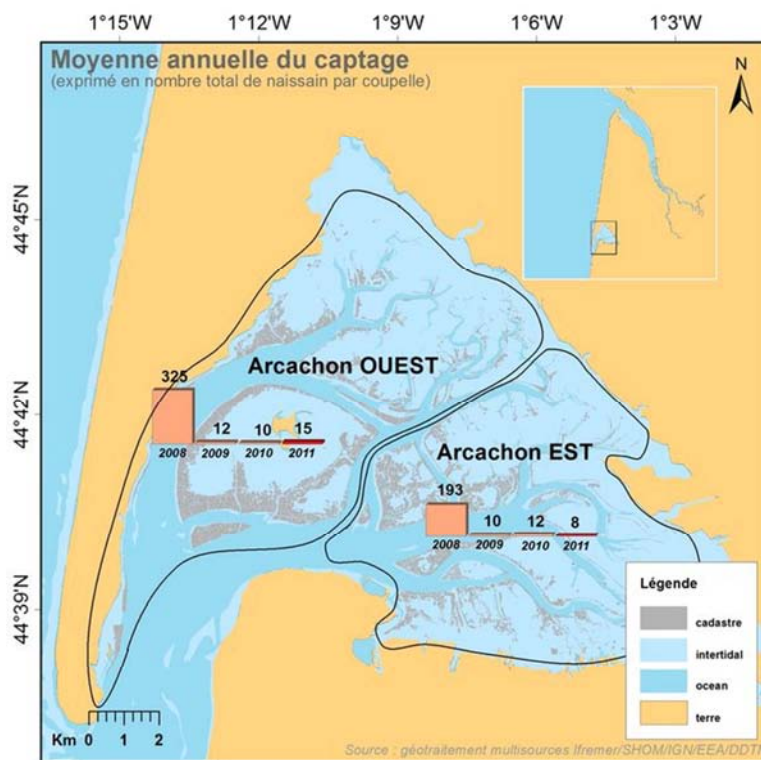


Figure 38 : Abondance moyenne par secteur du captage dans le Bassin d'Arcachon: nombre moyen de naissains par couplet (vivants et morts) en 2011 et comparaison aux années antérieures.

3.6.2 Survie du naissain

Lors du travail d'estimation du nombre total de naissains sur chaque coupelle prélevée, il est possible de distinguer le naissain vivant du naissain mort, et donc de calculer un taux de survie moyen du naissain à l'automne. Ce taux de survie ne constitue cependant qu'une indication qui présente plusieurs sources de variabilité :

- le naissain mort comptabilisé est lié aux phénomènes de mortalités récents, en l'occurrence ceux survenus en septembre-octobre;
- il est donc probable que les naissains morts en août aient totalement disparu et donc ne soient pas du tout comptabilisés;
- selon les secteurs (et notamment selon la température du mois de septembre), ces phénomènes de mortalités précoces peuvent ne pas avoir la même ampleur ; la comparaison du taux de survie entre bassin est donc délicate à entreprendre.

La Figure 39 présente les taux de mortalités moyens, obtenus chaque année depuis 2008, pour chacun des 4 bassins suivis dans le réseau Velyger. Elle apporte les éléments suivants :

- Pour la Rade de Brest, le taux moyen de mortalités en 2011 est de 43 % ; cette valeur est stable depuis 2009 ;
- Pour la Baie de Bourgneuf et le Bassin de Marennes-Oléron, le taux moyen de mortalités en 2011 est compris entre 14 et 17 %, valeurs supérieures à 2010 mais inférieure à 2009 ;
- Pour le Bassin d'Arcachon, le taux moyen de mortalités en 2011 est de 31 %, valeur comparable à celle de l'année 2010 et supérieure à celles de 2008 et 2010 ;

Bien que les écart-types élevés associés à ces estimations limitent le niveau d'interprétation, il convient de noter les points suivants :

- A l'exception de la Rade de Brest, les valeurs 2009 et 2011 sont plus élevées que celles de 2008 et 2010 ;
- Chaque année, les résultats obtenus à Marennes Oléron sont très proches de ceux obtenus en baie de Bourgneuf ;
- Les valeurs en rade de Brest sont très stables depuis 2009.

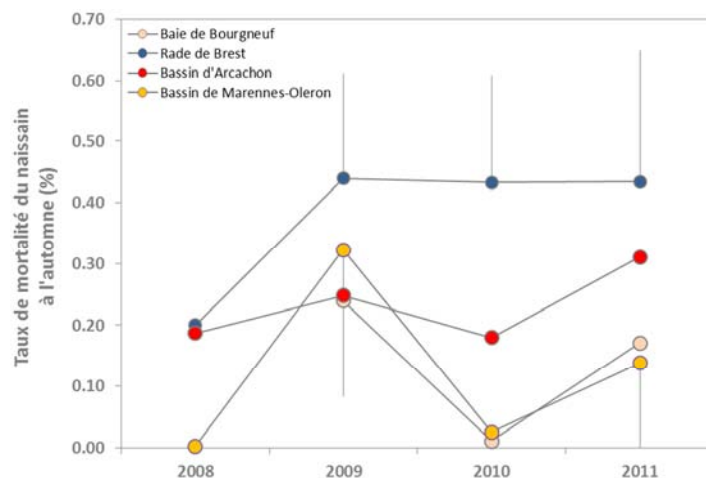


Figure 39 : Taux de mortalité moyen du naissain pour chaque bassin : valeur 2011 et évolution depuis 2008 (estimation réalisée en octobre-novembre de chaque année). Les écart-types pour les sites les plus différents sont aussi présentés.

4 Synthèse

4.1 Schéma général

Sur la base des résultats antérieurs (Pouvreau et al., 2011), notamment des années suivies dans le Réseau Velyger (2008, 2009 et 2010) et des nouvelles données acquises au cours de l'année 2011 présentées dans ce rapport, il nous est possible de proposer un schéma général pour expliquer la variabilité spatio-temporelle 2011 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 2011, l'hiver et le printemps secs ont globalement contribué à une abondance en phytoplancton inférieure aux années précédentes (surtout pour la Baie de Bourgneuf et le Bassin de Marennes-Oléron) et donc des indices de maturation plutôt faibles.**
- (2) La température moyenne de l'eau en juillet détermine la date de ponte. **En raison d'un mois de juillet particulièrement frais (2 à 3°C d'anomalie thermique négative), la date de la ponte principale en 2011 a été plus ou moins retardée sur les 4 écosystèmes.**
- (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 2011, la fécondité individuelle a été plutôt faible et le mois de juillet maussade n'a pas favorisé le synchronisme des pontes. En conséquence, **les abondances 2011 de jeunes larves ont été en moyenne plus faibles que les années passées ($\leq 100\ 000$ larves/1,5 m³) ;**
- (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 2011, compte tenu de l'été plutôt maussade, la durée de la vie larvaire a été plutôt longue et la survie plutôt faible, par rapport aux années précédentes.**
- (5) La quantité de larves grosses dépend directement de l'abondance de jeunes larves (étape 3) et de leur survie (étape 4). **En 2011, ces deux étapes ont été plus ou moins affectées selon les secteurs par les conditions hydro-climatiques défavorables de l'été. Sur certains secteurs la concentration maximale en larves grosses n'a pas dépassé 100 larves/1,5 m³.**
- (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 2011, le captage a donc été, selon les secteurs, faible à modéré.**

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

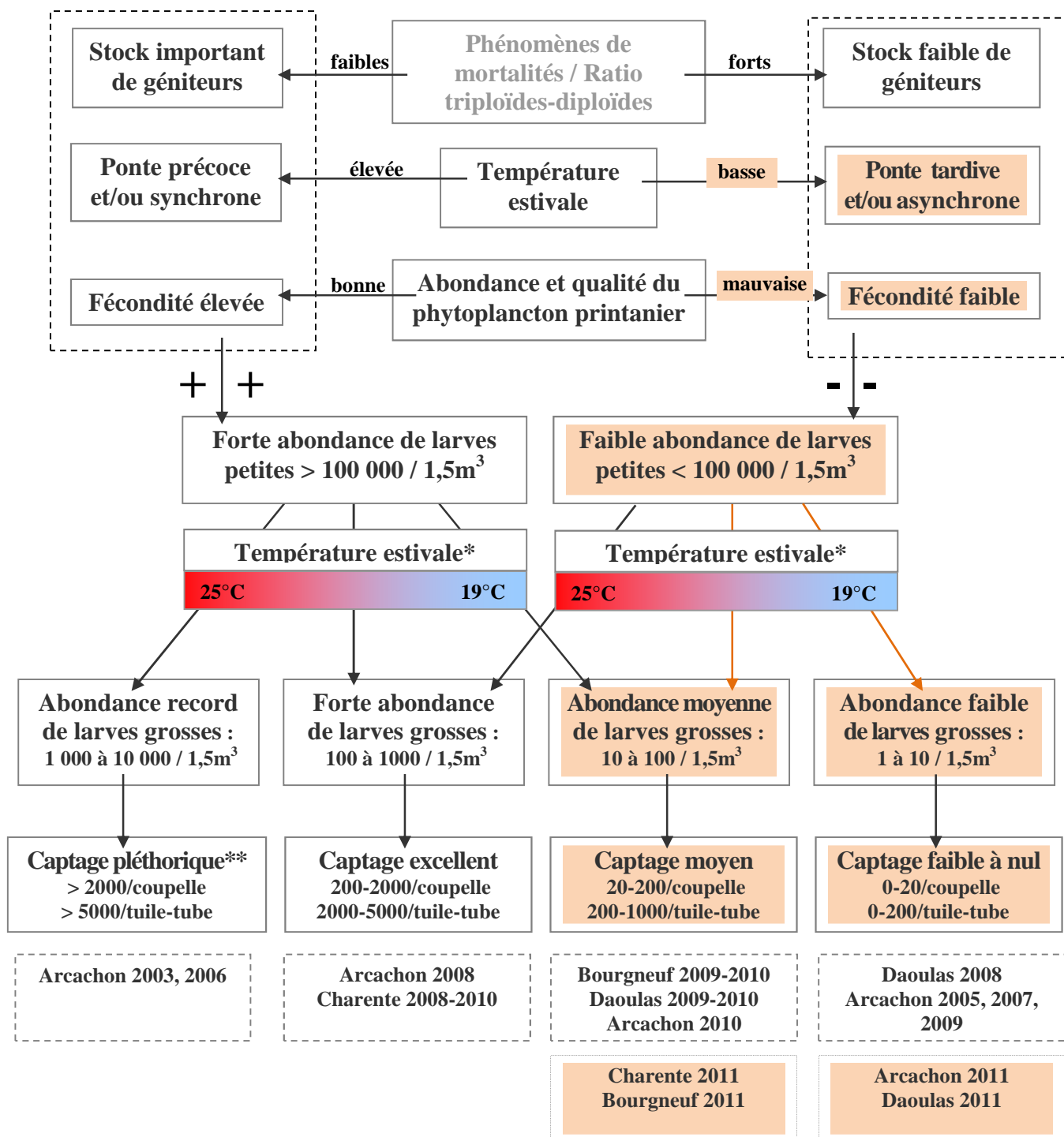
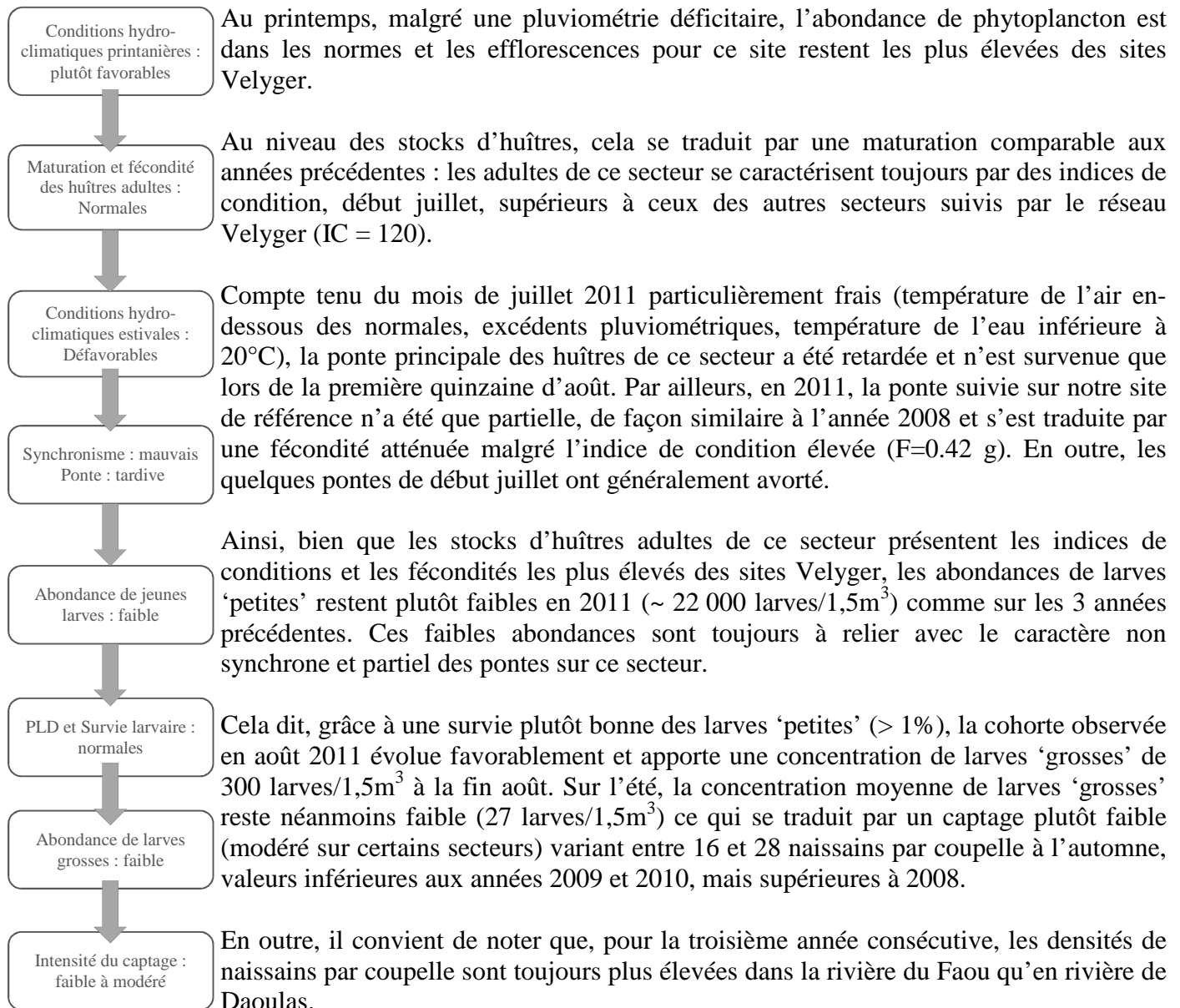


Figure 40 : Schéma récapitulatif et quantifié expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises et positionnant les caractéristiques 2011 (en orange). Le cadre grisé indique que, l'état des connaissances ne permet pas d'affirmer la relation, mais que l'hypothèse forte mérite d'être prise en compte.

* 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.

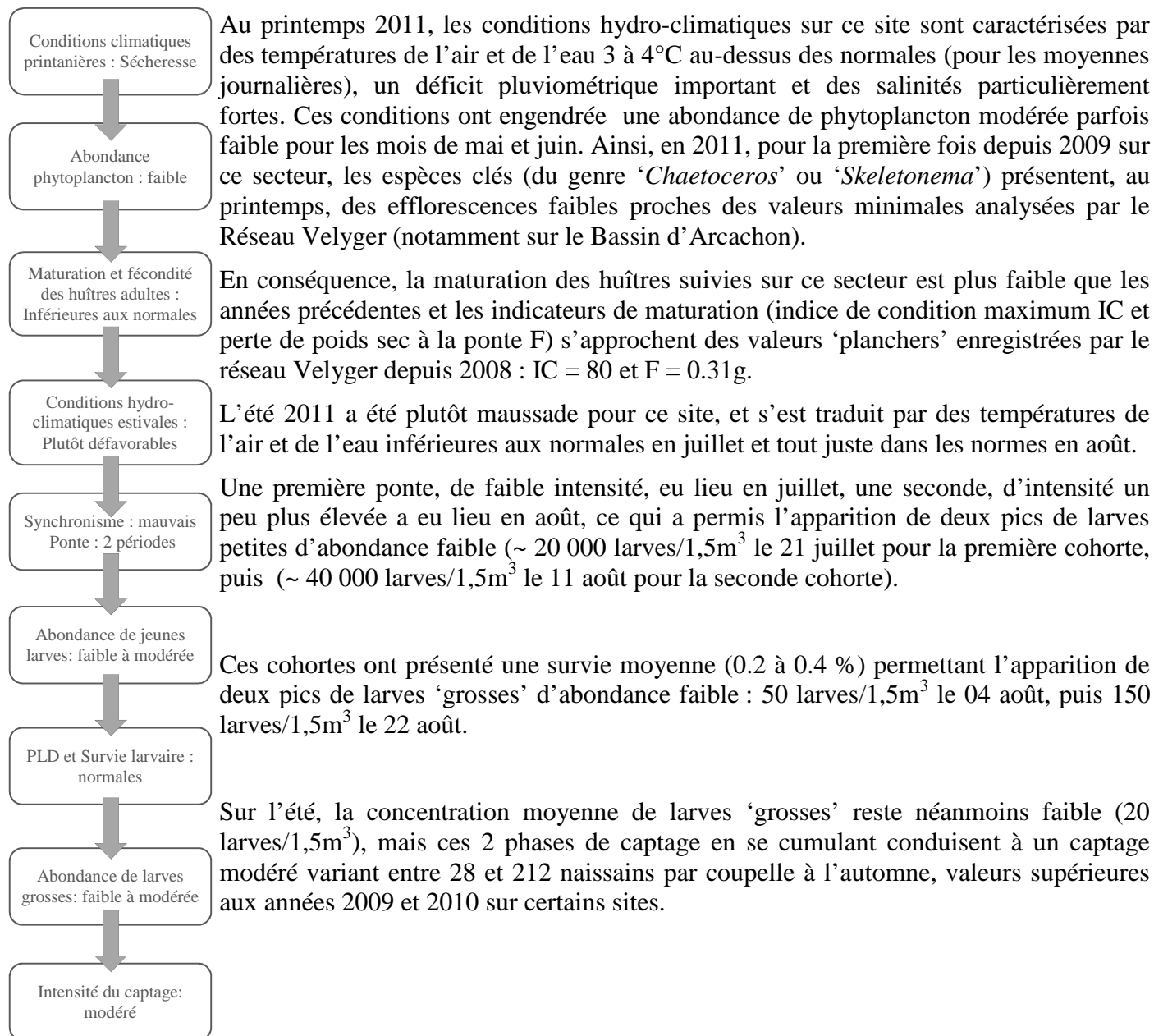
4.2 Bilan par secteur

4.2.1 Rade de Brest - secteurs Daoulas et Faou



Ainsi, ce secteur de captage, situé le plus au Nord en France, a souffert en 2011 comme lors des 3 années précédentes 2008-2010 de conditions hydro-climatiques plutôt défavorables sur l'été. 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 principal pour ce secteur apparaît clairement être la température estivale : un été chaud se traduirait par 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 permettant d'obtenir, ces étés-là, probablement un captage 'excellent'.

4.2.2 Baie de Bourgneuf - secteurs Bernerie et Coupelasse

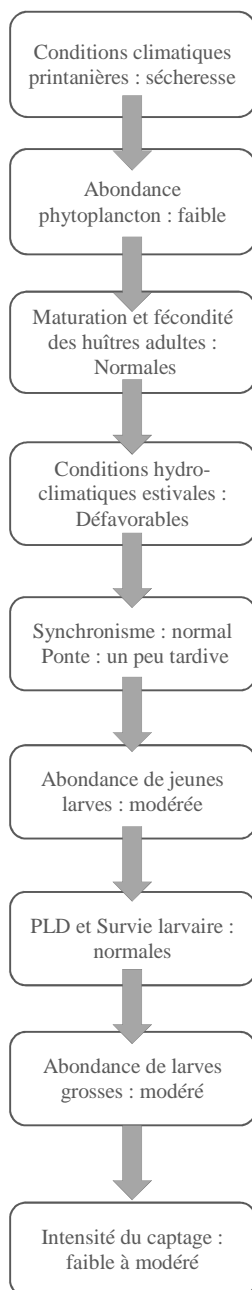


Ce site de captage, situé à une latitude intermédiaire en France, a bénéficié en 2011 tout comme en 2009 et 2010 de conditions hydro-climatiques tout justes favorables, qui ont permis un captage modéré.

Cela dit, à la différence des années précédentes, l'indice de condition et la fécondité des stocks adultes ont été plutôt faibles, probablement en raison d'une abondance phytoplanctonique réduite liée au printemps sec. Ce point mérite donc une attention particulière dans les années à venir.

Mais 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 les conditions phytoplanctoniques printanières soient favorables.

4.2.3 Bassin de Marennes Oléron – secteurs Charente et Centre



Au printemps 2011, les conditions climatiques sur ce site sont caractérisées, comme pour les autres sites de la façade atlantique, par des températures de l'air et de l'eau très au-dessus des normales (pour les moyennes journalières), un déficit pluviométrique très élevé (sur ce bassin, l'année 2011 est la plus sèche depuis 1960, avec l'année 2005) et des salinités extrêmes (équivalentes à celles de l'année 2005). Ce qui se traduit par des concentrations printanières de phytoplancton dans la gamme inférieure des observations depuis 15 ans. Seul le genre '*Skeletonema*' est plutôt bien représenté en 2011.

Dans ce contexte, la population sentinelle d'huîtres adultes implantée sur ce site présente, en 2011, un indice de condition (IC) et une fécondité (F) un peu plus faibles que les années antérieures (IC = 88 et F = 0.52g), mais supérieures aux valeurs obtenues en Baie de Bourgneuf et dans le bassin d'Arcachon.

Compte tenu, là aussi, d'un mois de juillet 2011 particulièrement frais sur ce site (température de l'air 3°C en-dessous des normales, excédents pluviométriques, température de l'eau à 17°C à la mi-juillet), la ponte principale des huîtres de ce secteur n'est survenue qu'à partir de la fin juillet sur notre site de référence dans le secteur Centre.

Cette ponte s'est traduite, malgré tout, par une abondance modérée de larves 'petites' (~100 000 larves/1,5m³ pour le secteur Charente) avec la présence de pics supplémentaires de moindre importance, ce qui s'est traduit par une abondance moyenne sur l'été de jeunes larves de l'ordre de 15 000 larves/1,5m³. Cette valeur place l'année 2011 dans les normes et confirme la tendance à l'augmentation constatée depuis les dernières années.

Compte tenu des faibles températures de l'eau (< 20°C) lors de l'évolution de ces cohortes, la survie a été un peu plus faible que les années passées, mais reste toujours relativement bonne, surtout sur le secteur Charente (proches de 1 %). 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 (~ 650 larves/1,5m³ le 15 août dans le secteur Charente). L'abondance moyenne de larves grosses sur l'été 2011 atteint 150 larves/1,5m³, valeur 2011 la plus forte des secteurs étudiés dans le réseau Velyger.

Ce score se traduit par un captage modéré dans le secteur Charente avec 194 naissains par coupelle à l'automne, valeurs de même ordre de grandeur que les années 2009 et 2010. Les valeurs obtenues dans le secteur Centre sont un peu moins élevées, avec 76 naissains par coupelle, mais reste conforme 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 2011 se caractérise par un captage plutôt favorable surtout sur le secteur Charente. Ces bonnes performances s'expliquent, en 2011, 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 ;
- (3) La possibilité complémentaire d'apport allochtone de larves 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 31), 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' ainsi que leur entretien général constituent probablement une garantie d'avenir.

En outre, l'année 2011, se caractérise, sur ce site, par une abondance de phytoplancton plus faible que les années antérieures. Lors d'années particulièrement sèches, une diminution trop importante de certaines espèces de phytoplancton pourrait se traduire par une fécondité limitée, une moindre quantité de larves et un captage plus faible que ces dernières années. Cette éventualité ne doit donc pas être écartée.

4.2.4 Bassin de Marennes Oléron – secteur Seudre

Le sud du Bassin de Marennes-Oléron (secteur Seudre) présente, en 2011 comme précédemment, un comportement différent par rapport aux 2 autres secteurs et mérite une analyse particulière, malgré le manque de données sur ce secteur.

D'une façon générale, ce secteur a toujours présenté, d'après les données acquises par le CREAA depuis 2005, un captage moins abondant que dans les 2 autres secteurs (*e.g.* Pouvreau *et al.*, 2011). C'est le cas à nouveau en 2011 comme en témoigne la Figure 41.

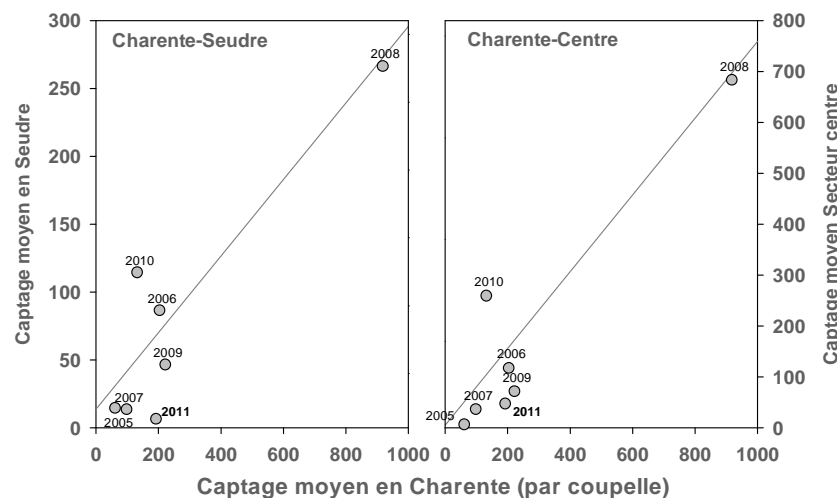
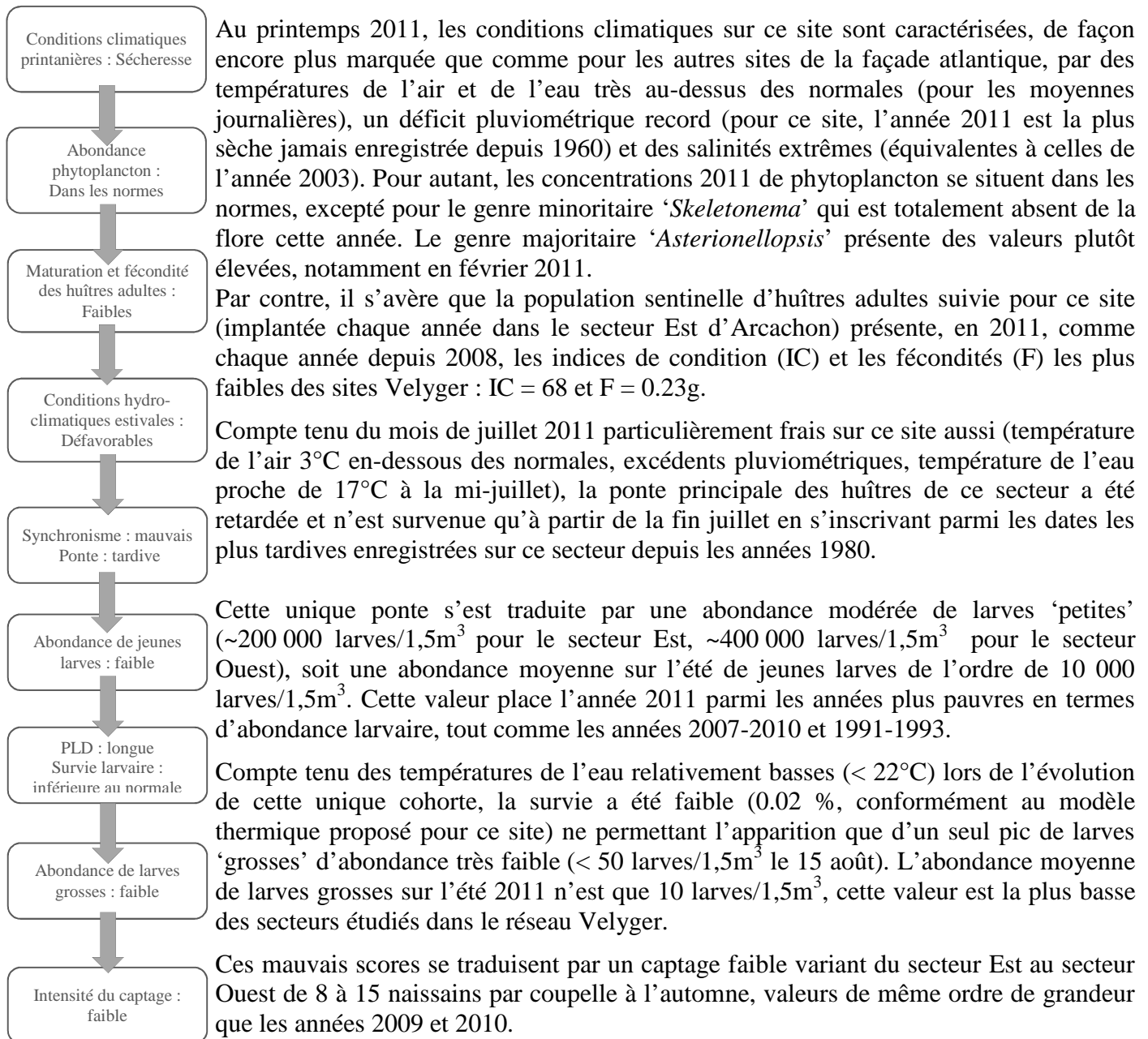


Figure 41 : Relation entre les intensités de captage de chacun des 3 secteurs du Bassin de Marennes Oléron. D'une façon schématique, on peut considérer que les 3 secteurs se comportent de façon similaire, seule la valeur absolue varie entre secteurs. ©Données Creaa 2005-2011

Enfin, pour le secteur Seudre, il est quasiment impossible d'identifier clairement l'existence de cohortes sur les 3 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 comme les 2 autres secteurs, mais avec des valeurs moindres : si le captage est excellent en 2008 avec 276 naissains par coupelle, il y est modéré de 2009 et 2010 et faible en 2011.

4.2.5 Bassin d’Arcachon - secteurs Est et Ouest



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.

Si, à ce premier facteur, 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 médiocre.

5 Conclusion et recommandations

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

Il ressort, pour l'année 2011, les grandes tendances suivantes :

- (1) Le printemps sec a limité, sur la plupart des secteurs étudiés, l'intensité des blooms printaniers et réduit la fécondité des huîtres et donc les abondances de jeunes larves. L'apport en larves devient le problème majeur dans le Bassin d'Arcachon. Il est moins problématique ailleurs, pour l'instant.
- (2) Les mois de juillet et d'août relativement frais ou juste dans les normes n'ont pas favorisé des pontes massives et synchrones, la vie pélagique des cohortes larvaires a été rallongée et la survie larvaire réduite. Cet impact hydro-climatique s'est particulièrement fait sentir sur Arcachon, site sur lequel l'unique cohorte larvaire a présenté une survie proche de 0.01%.
- (3) En conséquence, l'abondance de larves grosses et donc le captage qui en dépend directement ont été faibles à modérés : faibles sur de nombreux secteurs du Bassin d'Arcachon et de la Rade de Brest ainsi qu'en Seudre, modérés sur les autres secteurs.

Ces 3 points expliquent à eux seuls les grandes tendances de la variabilité du recrutement observée en 2011 sur les différents secteurs du réseau Velyger. Il convient juste de rappeler (*e.g.* Pouvreau et al., 2011 ; Bernard et al., 2010 ; Bernard, 2011) que sur les secteurs, à hydrodynamique plus favorable (temps de résidence plus élevés, apport allochtone de larves), les performances peuvent être moins affectées. Cette caractéristique leur assure une variabilité inter-annuelle de recrutement moins élevée.

Enfin, il ressort de cette nouvelle analyse 2011, les recommandations potentielles suivantes (par secteurs ou bassins étudiés) :

- (1) 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 2011, conduisent à un captage faible à 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.
- (2) 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. C'est probablement l'un des risques du secteur. Par contre, il faut noter qu'il existe une forte variabilité sur ce secteur avec un captage souvent plus élevées des Moutiers à La Northe.

- (3) 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 le cas de l'année 2011. Ce secteur est supposé dépendre d'apport de larves du Nord (Bernard, 2011). Par contre, on enregistre, à nouveau en 2011, de faibles performances en Seudre. 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.
- (4) Enfin, pour les secteurs Est et Ouest d'Arcachon, les mauvaises performances enregistrées ces dernières années sont probablement à relier à une fécondité très réduite et à la faible quantité de jeunes larves en diminution constante depuis quelques années. L'une des explications réside dans une modification de la composition phytoplanctonique associée à une lente modification de la quantité et/ou de la localisation de stocks de géniteurs (sauvages et/ou diploïdes cultivés). Notons cependant qu'une situation similaire, en termes d'abondances larvaires, semble avoir été observée sur les années 1990-1993.

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>

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., Gouilletquer 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/>

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

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

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

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>

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/>