Département de Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins - PFOM
Laboratoire de Physiologie des Invertébrés - LPI
S. Pouvreau, I. Bernard, P. Le Souchu, A. Huvet, E. Talarmain

Département Environnement-Ressources - LER
Laboratoire Environnement-Ressources Arcachon
I. Auby, D. Maurer, C. Barbier, M.P. Tournaire, F. D'Amico, M. Rumèbe, N. Neaud-Masson
Laboratoire Environnement-Ressources Morbihan Pays de Loire
E. Bédier, AG. Martin, S. Claude, A. Langlade, JF. Bouget, B. Hitier, J.Y. Stanisière, S. Breerette
Laboratoire Environnement-Ressources Poitou-Charentes
S. Robert, P. Guilpain, JL. Seugnet, S. Guesdon, P. Soletchnik, O. Le Moine

Département Dynamique de l'Environnement Côtier - DYNECO
Laboratoire de Physique Hydrodynamique et Sédimentaire - PHYSED
F. Dumas

Département Technologie des Systèmes Instrumentaux - RDT
Service Développements de Systèmes Mécaniques Instrumentaux - DSMI
L. Quemener, S. Barbot, M. Repecaud

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

Réf : 11-2010 - R.INT.BREST/PFOM/PI 2010-2

Projet Velyger (2008-2010) :

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

- Rapport de synthèse -

Coordination - Rédaction : Stéphane Pouvreau

Janvier 2011

Ce projet national, crée sur sollicitation du Comité National de la Conchyliculture (CNC) et piloté par l'Ifremer, a bénéficié 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).

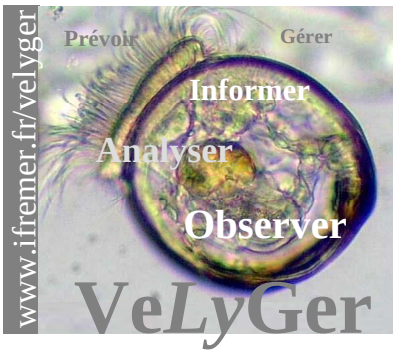
Le travail a été réalisé grâce à :

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

En complément des aides financières européennes du FEP et des fonds d'état DPMA, ce projet a aussi fait appel à des aides et des données issues de projets régionaux :

- **pour la Baie de Bourgneuf :** l'étude a bénéficié, grâce à un soutien de la Section Régionale, 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.
- **pour le Bassin de Marennes Oléron :** l'étude a utilisé les 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 :** l'étude a utilisé les données acquises depuis plusieurs années dans le cadre d'une convention entre le Comité Régional Conchylicole Arcachon-Aquitaine et la Station Ifremer d'Arcachon.

Photo : N. Neaud-Masson, Ifremer



http://www.ifremer.fr/velyger

Préambule

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 sur un plan national, l'évolution et la dynamique spatio-temporelle des performances de survie, de croissance et de reproduction de l'huître creuse *Crassostrea gigas*, par le suivi de lots sentinelles.

Ainsi, les 4 sites Velyger font partie des 13 sites-ateliers de l'observatoire national conchylicole. Ces sites-ateliers ont été choisis en fonction de leur représentativité vis-à-vis de leur secteur de production, et de l'existence de données historiques antérieures tant sur la ressource (réseau IFREMER Remora) que sur l'environnement (réseau IFREMER Rephy). 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

L'ostréiculture constitue la principale activité aquacole française. Cette activité de quasi-monoculture, basé sur l'élevage de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, repose en grande partie sur le recrutement naturel de l'espèce qui assure 70% des besoins en jeunes huîtres (naissain). Or, depuis une dizaine d'années, dans les bassins d'Arcachon et de Marennes-Oléron, principaux centres de captage français pour l'huître creuse, la collecte du naissain ou captage devient encore plus variable qu'auparavant: à des années de captage presque nul (par exemple les années 2002, 2005, 2007) succèdent des années où il est surabondant (par exemple les années 2003 ou 2006). En parallèle, et probablement en raison du progressif réchauffement des eaux, la reproduction de l'huître creuse s'étend de plus en plus vers le nord de la France. Cette mutation écologique a permis aux ostréiculteurs des régions allant de la Baie de Bourgneuf jusqu'à la Rade de Brest de se lancer à leur tour dans l'activité du captage, mais avec là aussi, des irrégularités dans le recrutement qu'il convient de comprendre.

Dans ce contexte et à la demande du CNC, l'Ifremer a donc initié, depuis mars 2008, un projet d'envergure nationale sur cette problématique: le projet Velyger (Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction de l'huître creuse sur les côtes françaises). Or, il est connu que comme pour la plupart des poissons et invertébrés marins, le recrutement naturel de l'huître creuse (et donc l'activité de captage qui en dépend) est sous la dépendance des conditions hydro-climatiques. Pour une meilleure visibilité, ce projet a été construit selon les 3 actions complémentaires suivantes : Observer - Analyser - Informer.

(1) L'action A 'Observer' a consisté à mettre en place, dès 2008, un dispositif complet d'observation de la reproduction de *C. gigas* sur les différents sites de captage de la côte française, qui sont soit des sites traditionnels (Arcachon et Marennes Oléron) soit des sites émergents pour le recrutement de l'espèce et l'activité de captage (Rade de Brest et Baie de Bourgneuf). Ainsi, sur 4 sites et chaque année, les 4 indicateurs clés suivants ont été suivis: Evolution de la maturation des populations adultes d'huîtres creuses - Abondance et développement des larves - Intensité du recrutement à l'automne - Caractéristiques hydroclimatiques associées à chaque site.

(2) L'action B 'Analyser', basée sur les résultats du réseau d'observation et sur les données antérieures, a visé à identifier la chaîne de facteurs à l'origine du succès ou de l'échec du recrutement et à proposer un schéma quantitatif expliquant les performances du recrutement pour chaque site et années étudiés. Cette action repose principalement sur une thèse (Bernard, 2011) qui a démarré dès le début du projet en décembre 2007.

(3) Enfin, l'action C 'Informer' a constitué la pierre angulaire du projet en fournissant, chaque été depuis le démarrage du projet en 2008 et *via* un site Internet spécialement dédié, un premier niveau d'information aux professionnels, sous formes de bulletins téléchargeables et de pages dynamiques, sur le cycle de reproduction de l'huître dans leurs bassins, pour chaque site atelier du projet : http://www.ifremer.fr/velyger.

Ce rapport de synthèse présente donc (1) les résultats du réseau d'observation, (2) une série d'analyses permettant de mettre en évidence, pour chaque année et chaque secteur, la chaîne des facteurs en cause dans la performance du recrutement observé et (3) une vue générale du site Internet du projet. Enfin, une conclusion fournit un schéma de synthèse explicatif des performances du captage associé à des recommandations de gestion pour chaque secteur.

En outre, il apparaît à l'issue de cette synthèse, que la partie « réseau d'observation » de ce projet constitue un outil d'avenir totalement opérationnel et particulièrement utile aux professionnels désireux de s'approvisionner en naissain naturel, dans le contexte de la crise ostréicole actuelle.

Sommaire

1 Introduction générale 6

2 Première partie : « Observer » 9

2.1 Introduction : pourquoi un réseau d'observation ? 9
2.2 Matériel, Méthode, Mise en Œuvre 10
2.2.1 Sites étudiés 10
2.2.2 Paramètres suivis 10
2.2.3 Gestion et Analyse des données 17
2.3 Principaux résultats sur les 3 années 17
2.3.1 Conditions climatiques 17
2.3.2 Données hydrologiques 19
2.3.3 Croissance, maturation et ponte 27
2.3.4 Abondance et développement des larves 30
2.3.5 Estimation précoce du recrutement 36
2.4 Discussion concernant le réseau 40
2.4.1 Genèse d'un nouveau réseau national 40
2.4.2 Un outil d'aide dans le contexte national de crise 41
2.4.3 Un outil essentiel à la compréhension 42
2.4.4 Perspectives d'évolution du réseau 44

3 Deuxième partie : « Analyser » 46

3.1 Introduction 46
3.2 Matériel et méthode 47
3.3 Résultats et Discussion 48
3.3.1 Phytoplancton et effort de reproduction 48
3.3.2 Température et émission des gamètes 49
3.3.3 Synchronisme des pontes et captage 51
3.3.4 Amplitude thermique et déclenchement des pontes 53
3.3.5 Température et développement des larves 55
3.3.6 Coefficient de marée et dispersion des larves 58
3.3.7 Phytoplancton et croissance larvaire 59
3.3.8 Abondance de larves grosses et intensité du captage 60
3.4 Synthèse générale 62
3.4.1 Vue d'ensemble 62
3.4.2 Schéma quantitatif 64
3.4.3 Bilan par secteur 65

4 Troisième partie : « Informer » 71

5 Conclusion, perspectives et recommandations 76

6 Références bibliographiques 78

7 Annexes 81

7.1 Développement de nouveaux outils pour le réseau 81
7.2 Exemple de bulletins Velyger 120
7.3 Pulications issues de ce projet 122

1 Introduction générale

Depuis 2008, la filière ostréicole française est fortement affaiblie par des épisodes de mortalités d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas*, particulièrement intenses[1]. Si les phénomènes de mortalités d'huîtres ne sont malheureusement pas une nouveauté pour la filière (*e.g.* Samain et Mc Combie, 2008), les épisodes 2008, 2009 et 2010 sont particulièrement inquiétants. Ces mortalités touchent préférentiellement les jeunes huîtres, de manière variable selon les lots de naissain. Les raisons de ces différences n'apparaissent, pour l'instant, pas évidentes, mais sont probablement liées au parcours zootechnique, à l'origine géographique, au statut zoosanitaire, à l'état physiologique et/ou au patrimoine génétique des lots. Le naissain utilisé en France provient soit d'écloseries soit du captage naturel. Beaucoup de travaux sont actuellement en cours pour optimiser les qualités du naissain produit en écloserie (sélection génétique, prophylaxie, zootechnie). En parallèle, il nous semble essentiel de mener et poursuivre les travaux sur le naissain issu du recrutement naturel, afin de fournir à la profession toutes les clés leur permettant d'optimiser au mieux leur stratégie d'ensemencement.

Désormais quatre sites ostréicoles en France pratiquent le captage naturel de l'huître creuse. Il s'agit, en premier lieu, 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 rajouter 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*., 2008). Cependant d'une année à l'autre et d'un site à l'autre, la reproduction et donc le recrutement, présentent des performances variables (Figure 1): par exemple, à Arcachon, des années de captage faible ou nul (2002, 2005, 2007, 2009) succèdent à des années pléthoriques (2003, 2006). Cette irrégularité dans l'approvisionnement en naissain naturel inquiète, à juste titre, le Comité National de la Conchyliculture (CNC).

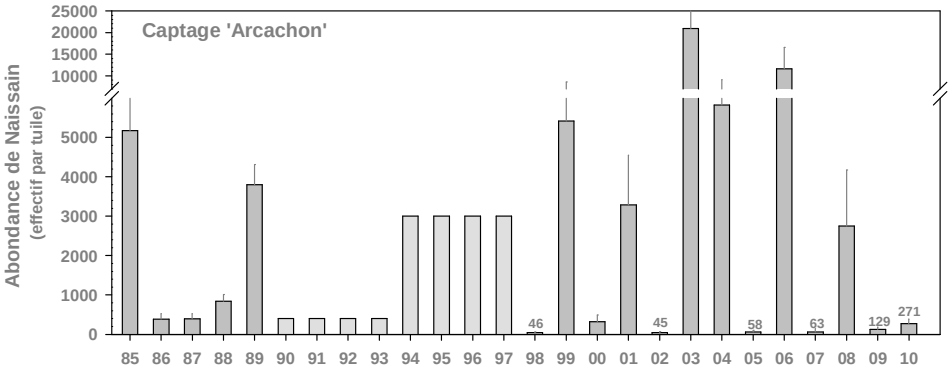


Figure 1 : Série historique, depuis les années 1985, de performance du captage (sur tuile) dans le Bassin d'Arcachon (données obtenues par la station Ifremer d'Arcachon).

A sa demande, l'Ifremer a donc initié, depuis mars 2008, un projet d'envergure nationale sur cette problématique : le projet Velyger (Obser***ve***r, Ana***ly***ser et ***Gér***er la variabilité de la reproduction de l'huître creuse sur les côtes françaises).

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

Les études antérieures et les suivis régionaux réalisées par l'Ifremer (Laboratoires Environnement Ressources d'Arcachon et de Poitou-Charente) et/ou le Creaa ont démontré qu'une part importante de la variabilité du recrutement de l'huître creuse est d'origine hydro-climatique (Figure 2): température, pluviométrie, abondance phytoplanctonique, régime des vents régulent le déroulement de la reproduction, la rapidité du développement larvaire et la dispersion hydrodynamique. Les données météorologiques actuelles et les projections liées au changement global semblent démontrer une tendance à l'augmentation de la variabilité climatologique. L'hypothèse initiale inhérente au projet était donc que **la recrudescence récente des aléas climatiques pourrait être à l'origine d'irrégularités croissantes dans le recrutement de cette espèce.**

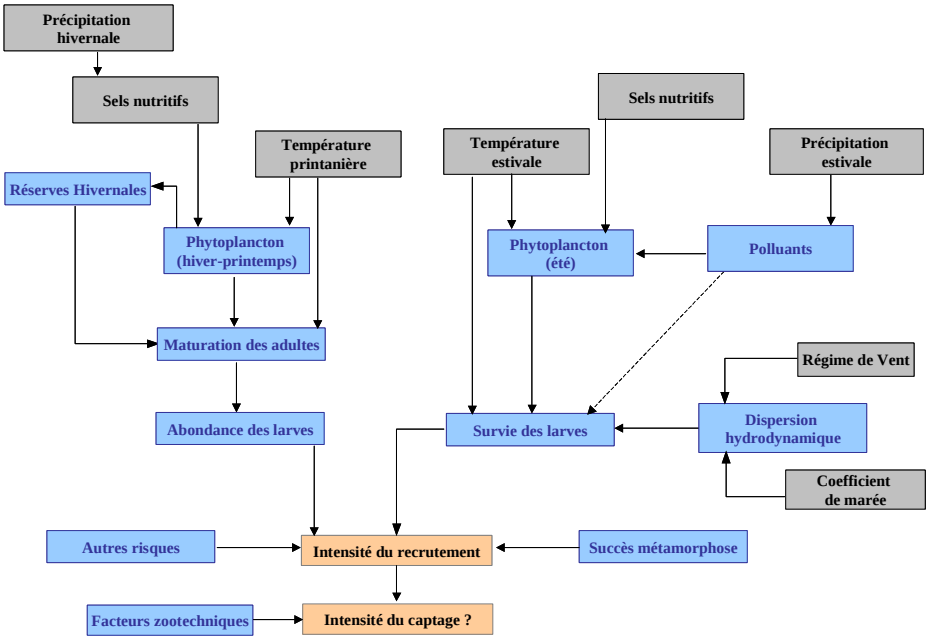


Figure 2 : Facteurs clés impliqués dans le déterminisme du recrutement de l'huître creuse (schéma adapté de Auby et Maurer, 2004). On note la très grande dépendance de la reproduction de cette espèce aux facteurs climatiques. Selon les années, c'est soit la partie gauche du schéma (absence de larves), soit la partie droite du schéma (faible survie) qui explique l'absence de recrutement.

Dans ce contexte, une meilleure compréhension des facteurs déterminant le succès ou l'échec du recrutement biologique de l'huître creuse, d'une année à l'autre et d'un site à l'autre devenait nécessaire **sur un plan national.** En outre, ce besoin de connaissance sur les modalités et les forçages du recrutement naturel a été renforcé, tout au long du projet, par la problématique des mortalités exceptionnelles affectant l'huître creuse depuis 2008 et la difficulté croissante d'approvisionnement en naissain.
Pour mener à bien ce projet et apporter aux tiers de la lisibilité, il nous a semblé essentiel de le construire selon les 3 actions complémentaires suivantes : Observer - Analyser - Informer.

(1) L'action A **'Observer'** a consisté à mettre en place, dès 2008, un dispositif complet d'observation sur les différents sites clés de captage de la côte française, qui sont soit des sites traditionnels (Arcachon et Marennes Oléron) soit des sites émergents en termes de recrutement de l'espèce et d'activité de captage (Rade de Brest et Baie de Bourgneuf). Ainsi, dès 2008, trois bassins ostréicoles étaient suivis dans le cadre du

projet Velyger : Arcachon, Marennes Oléron et Rade de Brest. A l'hiver 2009, il a été demandé un soutien financier complémentaire à la Région Pays de Loire dans le cadre de l'appel d'offre annuel du Smidap afin de mettre en place un quatrième site 'Velyger' en Baie de Bourgneuf. (Figure 3).

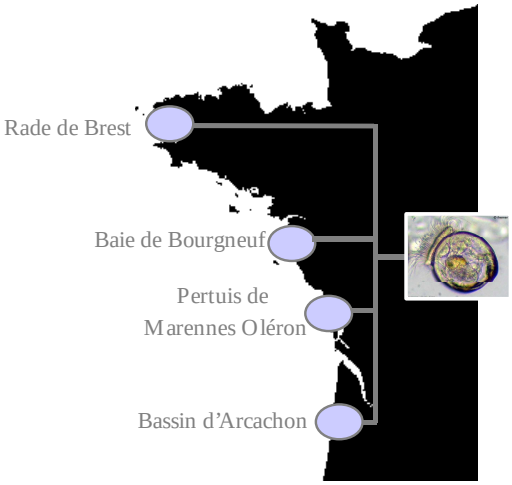


Figure 3 : Sites ateliers du projet Velyger.

(2) L'action B **'Analyser'** a visé à identifier la chaîne de facteurs en cause dans le succès ou l'échec du recrutement (cf Figure 2). Cette action repose principalement sur une thèse (Bernard, 2011) qui a démarré en décembre 2007. Cette thèse sera terminée et soutenue au printemps 2011. Nous présenterons, dans ce rapport synthétique, les grands résultats apportés par ce travail, tout en renvoyant le lecteur, pour des aspects plus détaillés, à la thèse et aux publications associées. Il convient de noter que ce travail d'analyse, qui repose à la fois sur les séries historiques d'abondance larvaire (30 ans de données acquises par l'Ifremer et le Creaa) et les données issues progressivement du réseau d'observation mis en place dans l'action A, vise à identifier les facteurs clés du déterminisme du recrutement et à fournir un modèle d'interaction le plus complet possible.

(3) Enfin, l'action C **'Informer'** a constitué la pierre angulaire du projet en fournissant, chaque été, depuis le démarrage du projet en 2008, et *via* un site Internet spécialement dédié, un premier niveau d'information aux professionnels sur le cycle de reproduction de l'huître dans leurs bassins, pour chaque site atelier du projet : http://www.ifremer.fr/velyger. Plus précisément, tout d'abord sous la forme de bulletins pdf, puis sous la forme de pages dynamiques, ce site a fourni, en temps quasi-réel, les 4 indicateurs clés suivants :

- Evolution de la maturation des populations adultes d'huîtres creuses
- Abondance et développement des larves
- Intensité du recrutement à l'automne
- Caractéristiques hydroclimatiques associées à chaque site.

Il faut noter que pour les Comités Régionaux de la Conchyliculture (CRC) de Poitou-Charentes et d'Arcachon Cap-Ferret, ce site Internet est venu compléter, de façon plus analytique, le travail de publications de bulletins larvaires émis régulièrement depuis maintenant plusieurs années respectivement par le Creaa et les Laboratoires Environnement Ressources Ifremer d'Arcachon et de Poitou-Charentes. Pour les autres CRC, ces informations ont donc été totalement nouvelles.

Le présent rapport de fin de contrat vise donc à détailler les travaux, résultats et les avancées de chacune des 3 actions en 3 chapitres séparés : Observer – Analyser – Informer.

2 Première partie : « Observer »

2.1 Introduction : pourquoi un réseau d'observation ?

Comme pour la plupart des poissons et invertébrés marins, surtout ceux à vie larvaire pélagique longue (*i.e.* de quelques semaines), le recrutement naturel de l'huître creuse (et donc l'activité de captage qui en dépend) est soumis à nombreux facteurs environnementaux (*e.g.* température de l'eau, pluviométrie, phytoplancton, régime de vent…), susceptibles de modifier successivement : (1) la maturation des adultes, (2) l'émission des gamètes, (3) l'abondance et le développement larvaire, (4) la métamorphose et la fixation, et enfin, (5) la croissance et la survie des jeunes recrues (naissain). Or, ces facteurs environnementaux sont sous la dépendance directe des conditions climatiques du moment, mais aussi de la saison écoulée (effet intégratif et/ou retard).

Ainsi, chez de nombreux organismes marins, le recrutement (abondance initiale, survie des juvéniles) est généralement sous la dépendance directe du climat (*e.g.* Philippart *et al.*, 2003 et synthèse *In* Parmesan *et al.*, 2006) avec, parfois, des effets non triviaux : par exemple, les cas de correspondance entre la période de la ponte principale avec celle des blooms de picoplancton favorables aux larves ou avec des périodes de temps chaud et calme permettant un développement rapide avec le minimum de dispersion (en anglais : théorie du « match-mismatch »). Plus généralement, l'effet sur l'Europe d'hivers doux et humides, liés à l'occurrence des régimes NA0+[2] (Cassou, 2004) est suspecté d'entraîner une modification de la période de ponte (« phenological shifts ») chez de nombreux bivalves à ponte printanière, avec des conséquences qu'il convient d'analyser (*e.g.* Blenckner et Hillebrand, 2002 ; Peyronnet *et al*., 2008). Le changement climatique qui s'opère, avec les modifications progressives des régimes de temps (Cassou, 2004), réserve probablement d'autres effets, pour l'instant, encore méconnus, sur les écosystèmes côtiers, les espèces qu'ils abritent, et donc l'activité économique qui en dépend (*e.g.* Jansen *et al.*, 2007). Et parce que l'élevage de l'huître creuse est pour la quasi-totalité du cycle réalisé en milieu naturel incontrôlable, cette filière est, plus qu'aucune autre, soumise aux fluctuations de l'environnement. Il en résulte que, ce qui fait la force de cette production 'naturelle' fait aussi sa faiblesse.

Pour appréhender ces effets en écologie (plus précisément, on parle de 'phénologie'), il convient de disposer de suivis spatio-temporels de grande échelle permettant d'analyser les réponses physiologiques d'une espèce sur une gamme étendue de facteurs environnementaux (*e.g.* Eloire *et al.*, 2010 ; Gislason *et al.*, 2009). Ce manque de données écologiques limite cruellement notre capacité actuelle d'investigation. C'est pour ces raisons qu'un réseau national d'observation a été mis en place dans le cadre de ce projet.

[2] http://www.ifremer.fr/lpo/thuck/nao/nao.html

2.2 Matériel, Méthode, Mise en Œuvre

2.2.1 Sites étudiés

Le réseau 'Velyger' est un dispositif d'observation, adossé à l'Observatoire National de la Conchyliculture[3], mis en place sur différents sites ateliers de la côte française, assez espacés sur un plan latitudinal (Figure 3), 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 4 permet de localiser les différentes zones d'étude et pour chacune d'elles, les différents points de suivis proposés dans le cadre de ce projet.

2.2.2 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
Descripteur A	*Suivi annuel de la croissance et de la maturation d'un lot d'huîtres sentinelles*	Mensuel à bi-mensuel en été	Prélèvement aléatoire puis dissection & biométrie en laboratoire (protocole Remora)
Descripteur B	*Suivi estival de l'abondance et du développement larvaires*	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)
Descripteur C	*Estimation automnale du captage sur collecteur professionnel*	En Octobre-Novembre	Prélèvement aléatoire sur parcs puis estimation de la densité de naissain
Descripteur D	*Suivi annuel des paramètres environnementaux (Température-Phytoplancton-Salinité)*	Suivi en continu et prélèvement discret (REPHY)	Utilisation de flotteurs smatch temps réel ou de sondes temps différé - visite mensuelle et prélèvement REPHY

[3] http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole

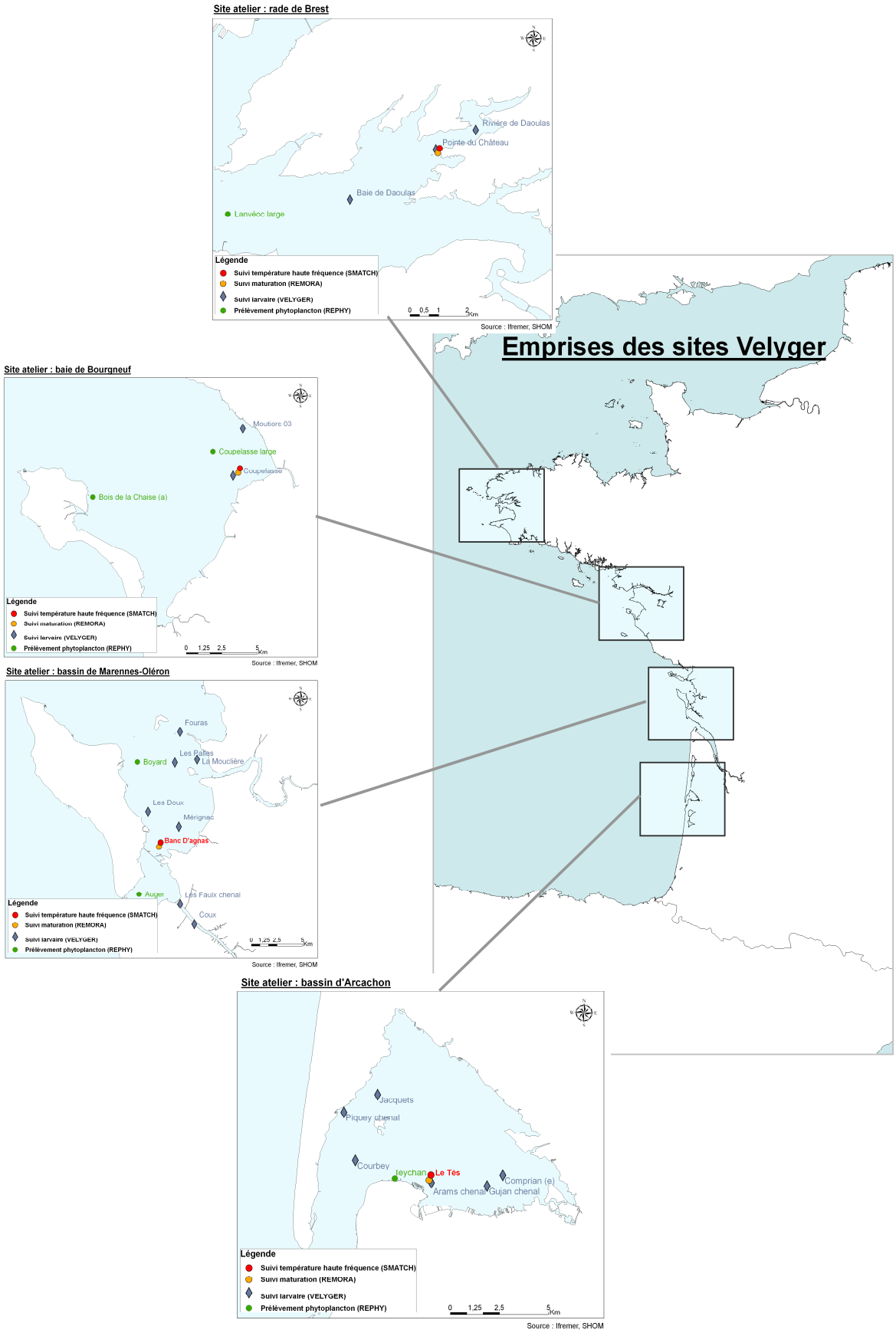


Figure 4 : Présentation des 4 sites du réseau d'observation de la reproduction de l'huître creuse (réseau Velyger). Ces 4 sites font partie des 13 sites de l'observatoire national conchylicole.

2.2.2.1 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 4) 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 4. 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 l'observatoire national : (1) la mise en place a lieu 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 du Bassin d'Arcachon).

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.

2.2.2.2 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 en faisant appel aux 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 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 4).

Figure 5 : Système de pompage et de filtration permettant la récolte des échantillons de plancton contenant les larves d'huîtres. La moto-pompe permet de filtrer 1,5 m^3 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.

© Cochet-environnement 2009

Le comptage disponible sous 48 h indique le nombre de larves de *Crassostrea gigas* pour chaque stade de développement (Figure 6). Les valeurs sont exprimées, pour des raisons historiques, en nombre de larves par 1,5 m^3. 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-tamisage sur 500 µm puis double tamisage sur mailles de 132 puis sur 40 µm (excepté pour le site d'Arcachon pour lequel le double tamisage 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 6).
4. 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 :

   $N=1,5*(n1+n2)* v/V$ 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.
5. L'ensemble des données est ensuite saisi et archivé dans la base nationale Quadrige. 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.

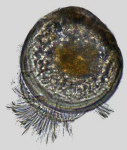
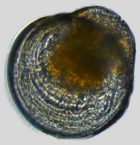
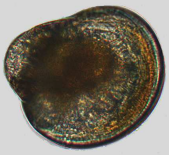
Crassostrea gigas	FIXE	EN MOUVEMENT
STADE I **Larves petites** Véligères larves D H= 57-105 µm Age : 1-6 jours	 **65 x 78 µm**	 **105 x 110 µm**
STADE II **Larves évoluées** Véligères umbonées H= 105-150 µm Age : 6-10 jours	 **156 x 143 µm**	 **130 x 124 µm**
STADE III **Larves moyennes** Véligères umbonées H= 150-235 µm Age : 10-15 jours	 **182 x 179 µm**	 **181 x 168 µm**
STADE IV **Larves grosses et en fixation** Véligères oeillées et Pédivéligères H= 235-400 µm Age : 15-21 jours	 **339 x 313 µm**	 **269 x 217 µm**

Figure 6 : Planche de détermination des stades larvaires chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Pennec (1978) et His (1991). Certains laboratoires (*e.g.* Ifremer Arcachon) distinguent un stade V pour les larves grosses 'en fixation'. Pour les autres sites, ce stade n'est pas identifié et ces larves sont répertoriées dans le stade IV. L'âge est donné à titre indicatif, il est fonction de la température et de la concentration en nourriture. Légende : H est la hauteur (mesurée de l'extrémité de la charnière au bord opposé de la coquille, cette mesure correspond aussi à la largeur, *e.g.* Le Pennec, 1978). La hauteur (=largeur) et la longueur sont précisées en µm sur les photos. Photos : © Ifremer/Argenton.

2.2.2.3 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 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.

2.2.2.4 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 ont été 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[4]. La mesure se fait directement à proximité des poches contenant les huîtres 'sentinelles'. Ces points sont en rouge sur la Figure 4.
- Température et salinité, en été, par prélèvement discret lors des sorties 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.* le point suivi à la pointe du Château et sur le banc d'Agnas est assuré par le bureau d'étude AEL plancton). Les méthodes de prélèvement et d'analyse sont détaillées dans Grossel (2006) et Daniel (2009).
- Conditions climatologiques fournies par Météo-France[5], dans le cadre d'un contrat d'accès à leur climathèque, notamment les paramètres température de l'air, pluviométrie

[4] Progressivement tous les sites ont été 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 professionnels (http://www.ifremer.fr/smatchDiff/).
[5] http://france.meteofrance.com/

et ensoleillement qui sont connus pour jouer un rôle, de façon directe et/ou indirecte sur le phytoplancton, la croissance, la reproduction des adultes, le développement et la survie des larves.

2.2.3 Gestion et Analyse des données

L'ensemble des données issues de ces suivis est archivé dans la base nationale Quadrige[6] 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 2008-2010 s'est aussi accompagné d'une récupération, ainsi que d'une vérification, des anciennes données acquises avant 2008 (et souvent depuis les années 70 !) sur les bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon. Désormais, l'ensemble de ces données historiques est disponible publiquement dans la base nationale Quadrige.

Une fois extraites, les données sont exportées et analysées dans Excel (© Microsoft) et Sigmaplot (© Systat software, Inc.).

2.3 Principaux résultats sur les 3 années

2.3.1 Conditions climatiques

La physiologie de l'huître creuse, notamment sa reproduction, est sous la dépendance des facteurs environnementaux, dont en premier lieu, les conditions climatiques, qui agissent comme forçages physiques primaires.

Le Tableau 2 fournit un résumé des conditions climatiques sur les 3 années d'étude du projet et pour 4 écosystèmes étudiés (données Météo-France).

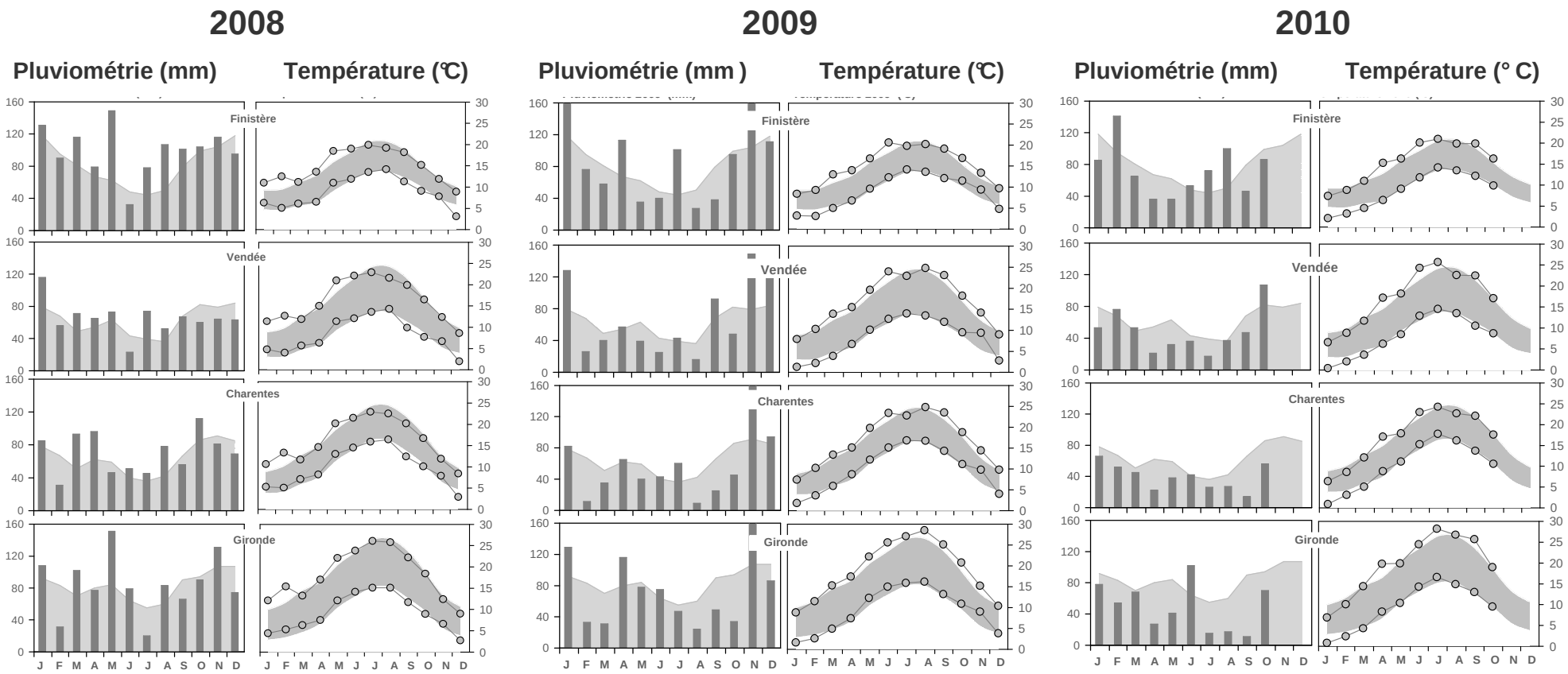
L'année 2008 se caractérise, pour les 4 sites, par un hiver et un printemps doux et humides, *i.e.* présentant une anomalie thermique positive et un excédent hydrique. A partir de juin, par contre, c'est un été maussade qui se met en place avec des maximums thermiques inférieurs aux normales et toujours un excèdent pluviométrique, en Juillet et en Août.

L'année 2009 s'avère différente : les températures maximales sont au-dessus des normales une bonne partie de l'année (sauf en juillet) et la pluviométrie est, quant à elle, inférieure aux normales de février à octobre, sur la plupart des sites. Seul le secteur de la Rade de Brest présente un été à nouveau défavorable avec des températures maximales, en juillet et en août, inférieures aux normales et un excédent pluviométrique en juillet.

L'année 2010 présente un profil similaire à l'année 2009 : après un hiver froid, les températures printanières et estivales sont au-dessus des normales à l'exception du mois d'août 2010, les précipitations sont à nouveau généralement déficitaires, excepté en juillet et en août en rade de Brest. Pour ce site, c'est le 3ème été consécutif frais et humide.

[6] http://www.ifremer.fr/envlit/resultats/quadrige

Tableau 2 : Bilan climatique (Pluviométrie et Température) des années 2008 à 2010 pour les 4 sites Velyger et comparaison avec les normales. © Météo-France.



2.3.2 Données hydrologiques

2.3.2.1 Température de l'eau

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 indirectement leur survie) ainsi qu'en agissant comme un déclencheur de l'émission des gamètes. Les valeurs moyennes mensuelles de température de l'eau sont donc présentées, pour chaque site et chaque année, sur les 2 figures ci-après. La Figure 7 représente, à partir des données discrètes du réseau Rephy, les moyennes mensuelles de la température de la masse d'eau avec, en arrière plan, la distribution des valeurs mensuelles des 15 dernières années, ce qui permet de mettre en évidence d'éventuelles anomalies thermiques. La Figure 8, quant à elle, présente les moyennes journalières de température de l'eau obtenues *via* le réseau haute fréquence des sondes 'Smatch' (© Ifremer-NKE). Le Tableau 3 résume les résultats pour chaque site et chaque année.

En ce qui concerne la variabilité inter-annuelle, il ressort tout d'abord que, à l'exception de l'hiver 2008, la température de l'eau lors des hivers 2009 et 2010 a été plus basse que la normale, et ce pour les 4 écosystèmes étudiés ici. Au printemps, la température de l'eau s'est située dans la norme, sauf celle du mois de mai 2008, particulièrement élevée. En été, il convient de distinguer les écosystèmes 'Sud' de ceux plus au Nord, car en 2009 et 2010, les bassins de Marennes Oléron et d'Arcachon présentent des valeurs dans les normes, voire même assez élevées selon les mois considérés, alors que la Baie de Bourgneuf et plus particulièrement la Rade de Brest, montrent des températures estivales plutôt basses. En 2008, la situation d'un été plutôt frais est générale sur les 4 écosystèmes. Enfin, les automnes restent marqués par des températures tout juste dans les normes, sans anomalie particulière.

En ce qui concerne la variabilité spatiale (inter-bassin), la Figure 8 montre parfaitement sur les 3 années étudiées que : (1) la rade de Brest constitue l'écosystème le plus froid, le Bassin d'Arcachon l'écosystème le plus chaud; (2) la baie de Bourgneuf présente des températures très proches de celles du Bassin de Marennes Oléron.

Tableau 3 : Valeurs moyennes saisonnières de la température de l'eau relevée sur chaque site par les sondes haute fréquence (une valeur toutes les 30 minutes). Les valeurs basses par rapport aux normes sont signalées en bleu, les valeurs hautes en orange, les valeurs dans les normes restent colorées en blanc.

	Arcachon			Marennes Oléron			Bourgneuf			Rade de Brest		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Hiver	10.3	9.2	8.2	9.5	8.1	7.6	8.1	6.6	6.3	9.1	8.3	8.1
Printemps	17.5	17.3	16.9	15.7	15.9	15.2	16.3	15.7	15.4	15.2	14.9	14.5
Eté	21.4	22.0	22.5	19.8	20.3	20.7	18.8	19.9	20.4	18.2	18.6	19.6
Automne	13.7	13.2		11.9	14.7		11.6	11.7		12.4	12.4	

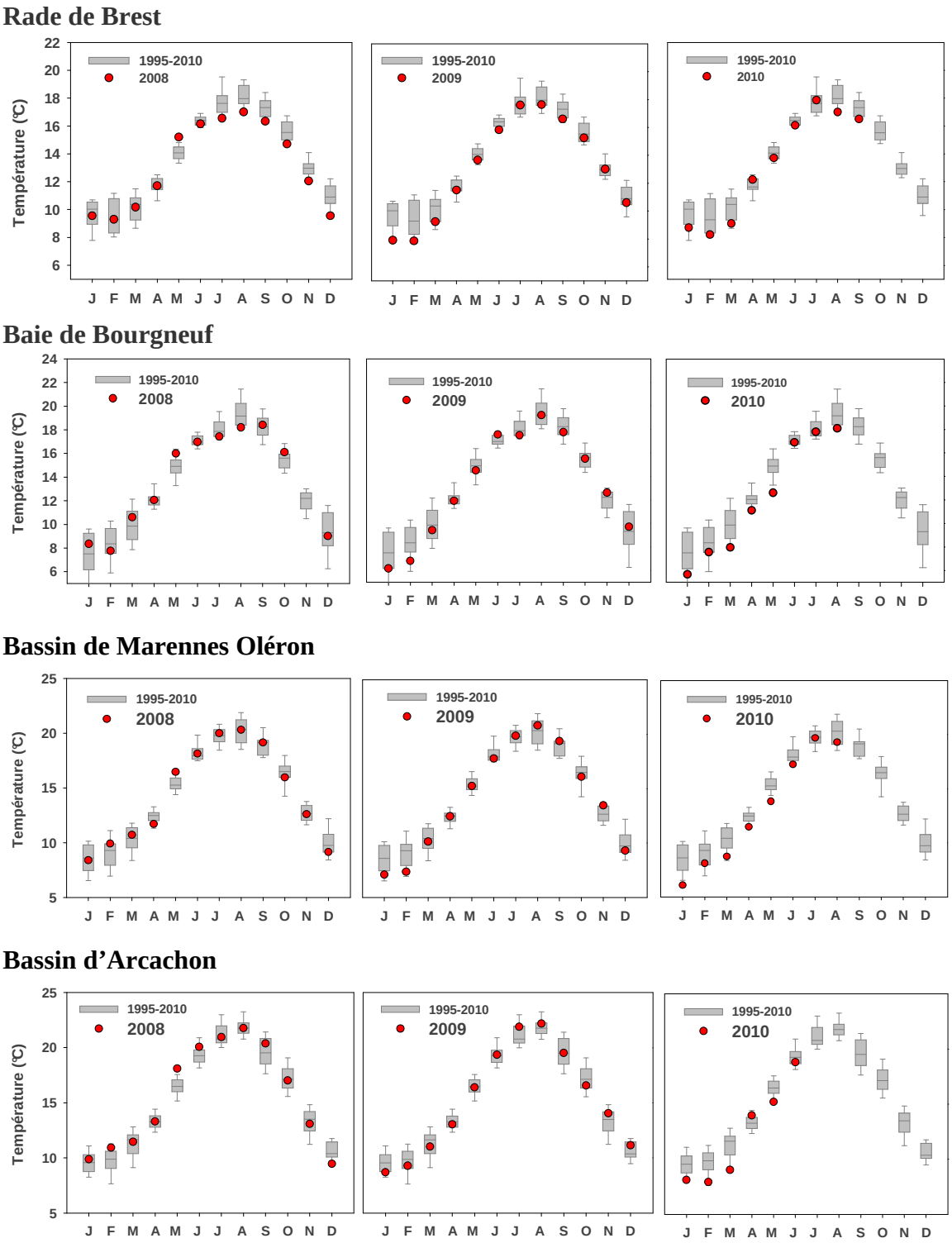


Figure 7 : Valeurs moyennes mensuelles de température de l'eau de mer (à pleine mer), en 2008, 2009 et 2010 pour chacun des 4 écosystèmes étudiés et comparaison avec les données des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les données issues du suivi des points de référence du REPHY : respectivement 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.

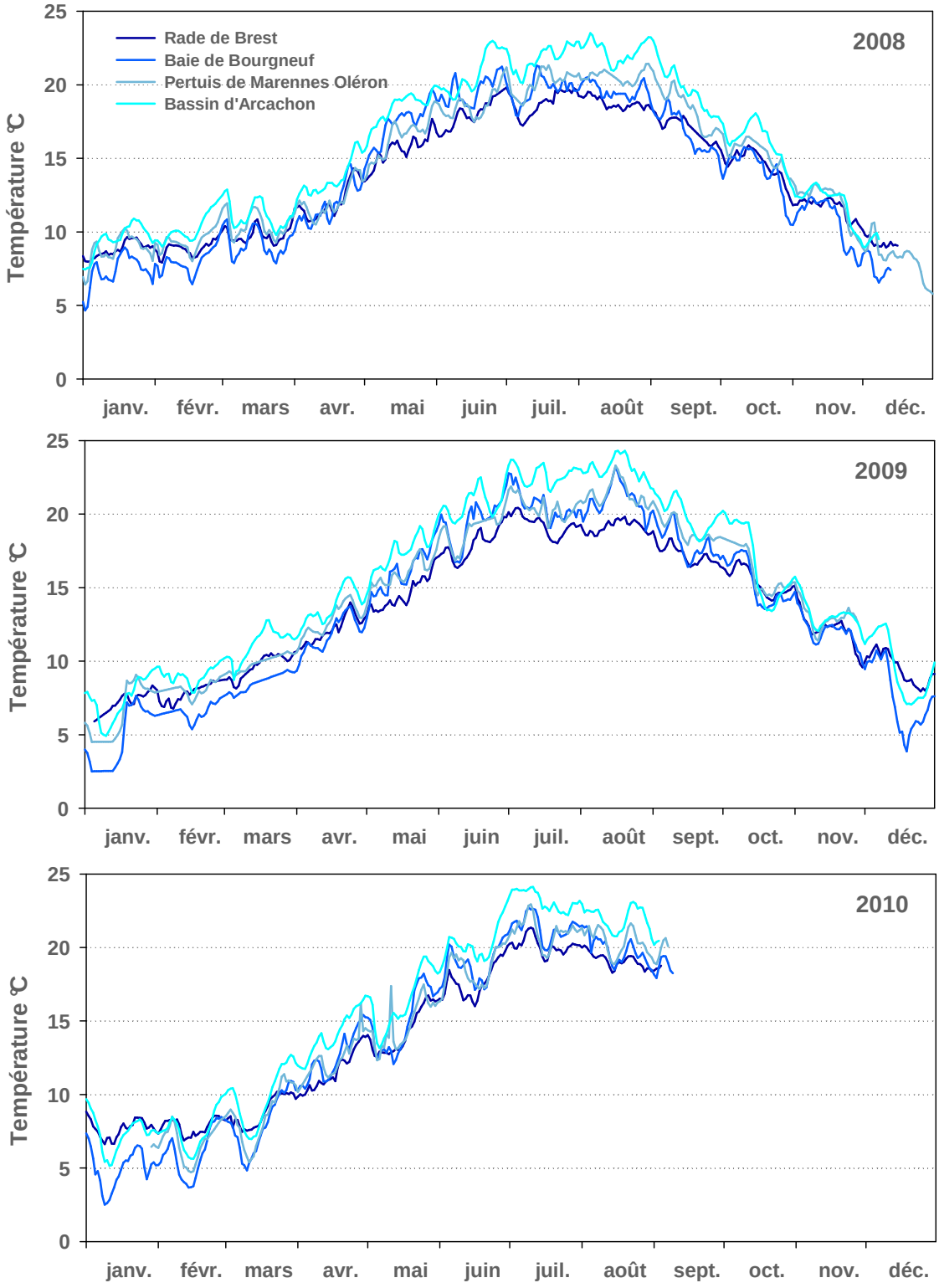


Figure 8 : Température de l'eau de mer sur chacune des 4 stations 'haute fréquence' (moyenne journalière filtrée des valeurs à l'air) pour les 3 années de suivi. Les données manquantes ont été extrapolées de façon linéaire dans la mesure du possible.

2.3.2.2 Abondance du phytoplancton

Le phytoplancton constitue le deuxième paramètre clé pour la reproduction de l'huître creuse qui, en tant que source principale de nourriture, régule l'effort de reproduction des géniteurs (*e.g.* Bernard *et al*., 2011, cf Annexes) et, de façon probable, aussi sur la croissance donc la survie des larves (*e.g.* Rico-villa *et al*., 2010, cf Annexes).

Les figures 9 à 12 ainsi que le Tableau 4 permettent de comparer les abondances phytoplanctoniques observées au cours des années 2008, 2009 et 2010 à celles des 15 dernières années, *via* l'utilisation de deux proxies[7] du phytoplancton : la chlorophylle *a* et le dénombrement associé à la composition phytoplanctonique. Selon le proxy utilisé, les interprétations peuvent être légèrement différentes.

En ce qui concerne la variabilité inter-annuelle, il ressort tout d'abord que les 3 dernières années s'avèrent plutôt riches en phytoplancton pour les écosystèmes au Nord (Rade de Brest, Baie de Bourgneuf) et dans les normes voire plutôt faibles dans les écosystèmes au Sud (Bassin de Marennes Oléron, Bassin d'Arcachon). C'est particulièrement le cas en 2009 à Arcachon ou en 2010 à Marennes.

En complément, la Figure 11 montre les concentrations des taxons les plus représentés dans chaque écosystème. Cette figure montre, tout d'abord, la très grande différence de composition, chaque année, entre sites. A titre d'exemple, cette différence est forte entre la Rade de Brest et le Bassin d'Arcachon. Le premier écosystème est caractérisé par le genre *Chaetoceros*, présent régulièrement en fortes abondances au printemps et en été, alors que le Bassin d'Arcachon est plutôt caractérisé par de forte abondance du genre *Asterionnellopsis*, en fin d'hiver et à l'automne.

Ensuite, il apparaît un fait surprenant : si le genre *Chaetoceros* était normalement présent dans le Bassin d'Arcachon au printemps, il n'y est plus observé, de façon abondante, depuis 2007. Enfin, bien que généralement moins riches, le Bassin de Marennes Oléron et la Baie de Bourgneuf présentent des profils similaires, avec la présence printanière quasi systématique du genre *Skeletonema*. Ainsi, à l'exception de la raréfaction du genre *Chaetoceros* ces dernières années à Arcachon, les années 2008 à 2010 ne présentent pas de particularités dans les autres bassins.

Tableau 4 : Valeurs moyennes (hiver-printemps) de l'abondance phytoplanctonique (Chlo *a* en µg.L^{-1} et dénombrement en million cell.L^{-1}) relevée sur chaque site pour les 3 années comparées à la valeur moyenne des 15 dernières années ('norme'). Les valeurs basses par rapport à la norme sont signalées en vert clair, les valeurs hautes en vert foncé, les valeurs dans les normes restent en blanc © Ifremer/Rephy.

	Arcachon		Marennes Oléron		Bourgneuf		Rade de Brest	
	Chlo a	Flore	Chlo a	Flore	Chlo a	Flore	Chlo a	Flore
Norme	2.14	0.47	2.73	0.22	2.86	0.28	1.59	0.27
2008	1.97	0.28	2.68	0.22	2.69	0.36	2.06	0.40
2009	1.74	0.10	1.95	0.33	4.75	0.30	1.62	0.34
2010	2.47	0.48	1.69	0.15	4.15	0.50	2.41	0.28

[7] 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.

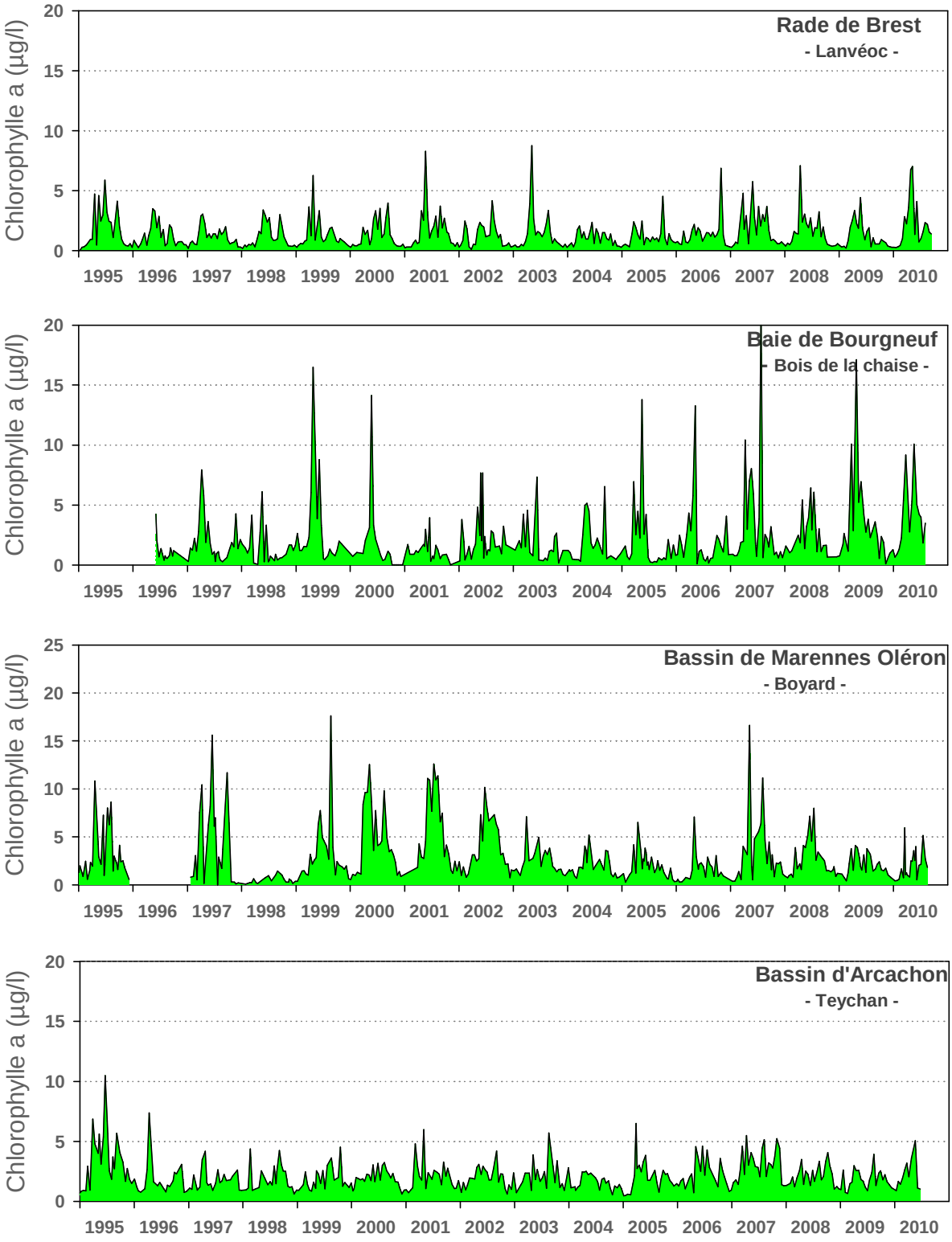


Figure 9 : Concentration en chlorophylle *a* pour chacune des 4 stations de référence depuis 1995. Les années 2008 à 2010 peuvent ainsi être comparées aux valeurs des 15 dernières années (données mesurées tous les quinze jours à pleine mer à 1 m de la surface). © Ifremer/Rephy.

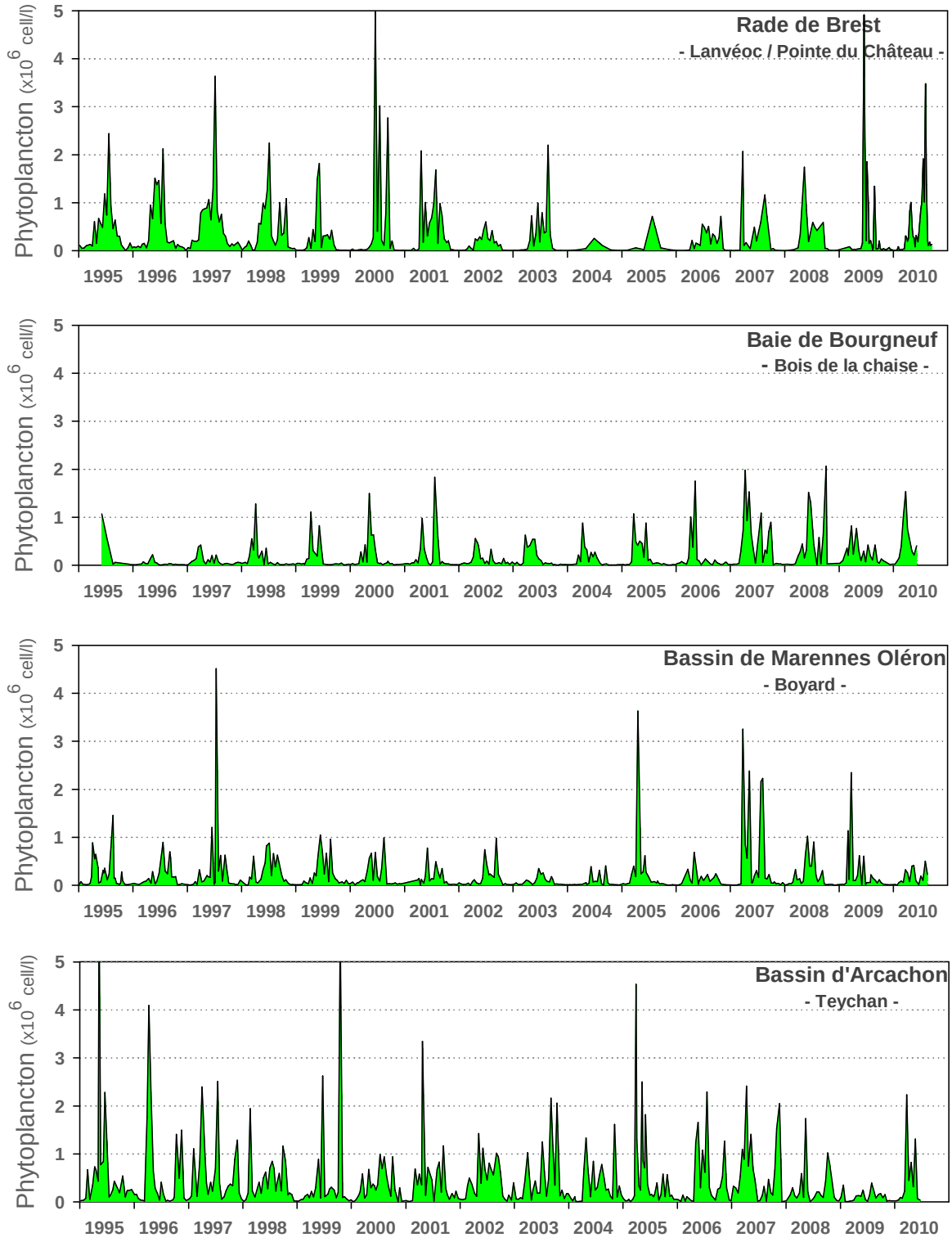


Figure 10 : Concentration en phytoplancton pour chacune des 4 stations de référence depuis 1995. Les années 2008 à 2010 peuvent ainsi être comparées aux valeurs des 15 dernières années (données mesurées tous les quinze jours à pleine mer à 1 m de la surface). © Ifremer/Rephy.

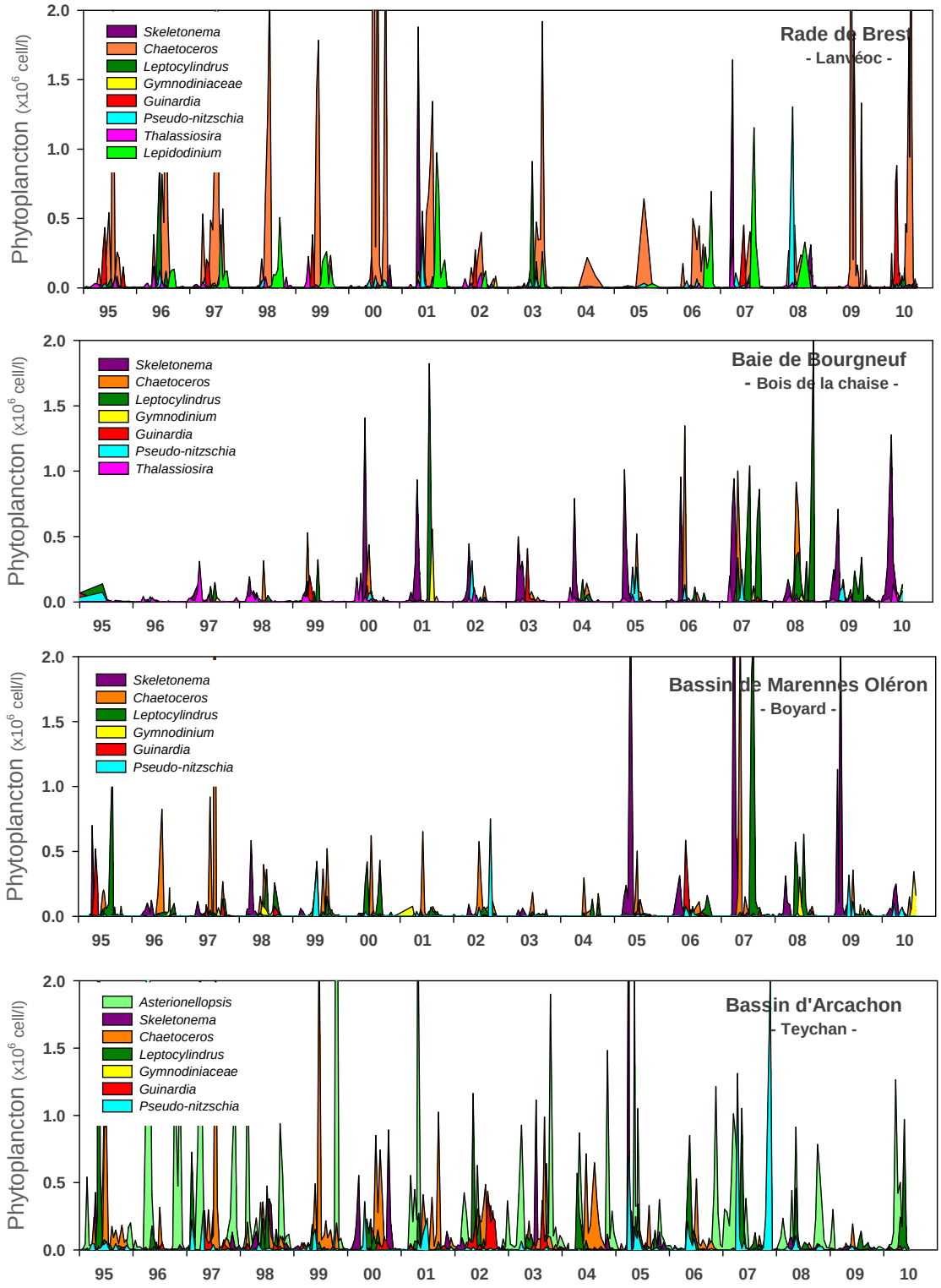
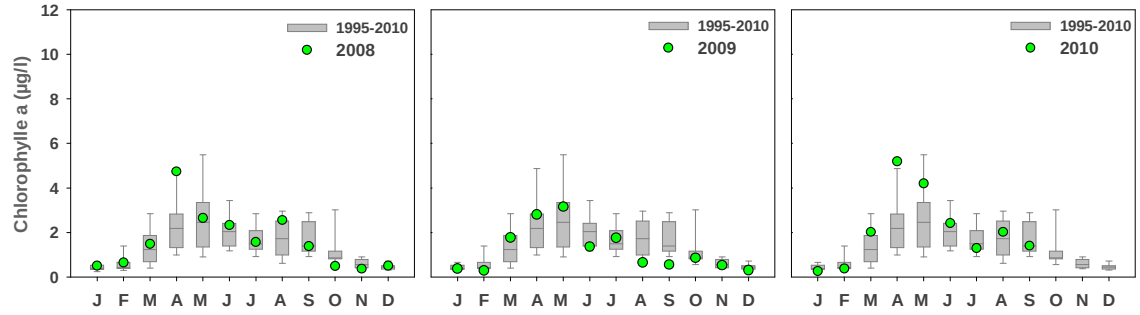
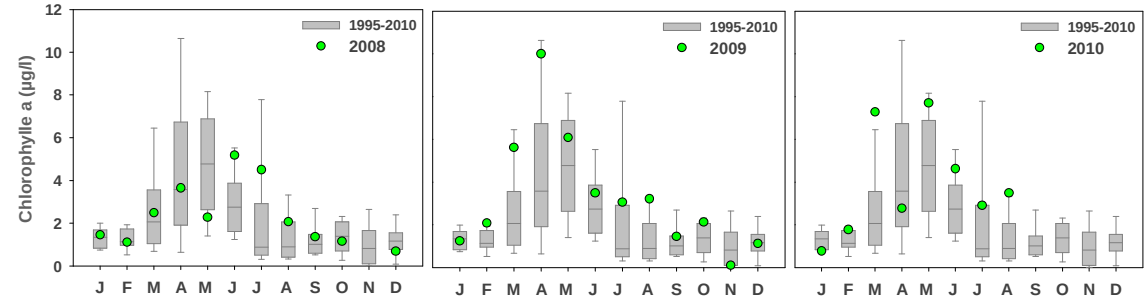


Figure 11 : Concentration pour les principaux taxons de phytoplancton pour chacune des 4 stations de référence depuis 1995. Les années 2008 à 2010 peuvent ainsi être comparées aux valeurs des 15 dernières années (données mesurées tous les quinze jours à pleine mer à 1 m de la surface). © Ifremer/Rephy.

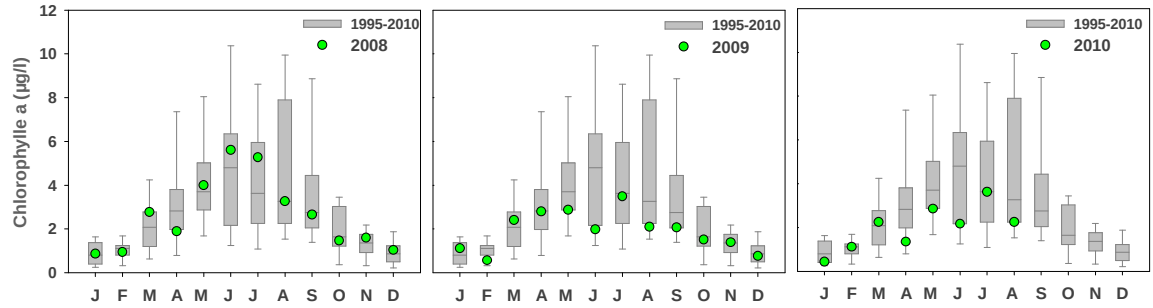
Rade de Brest



Baie de Bourgneuf



Bassin de Marennes Oléron



Bassin d'Arcachon

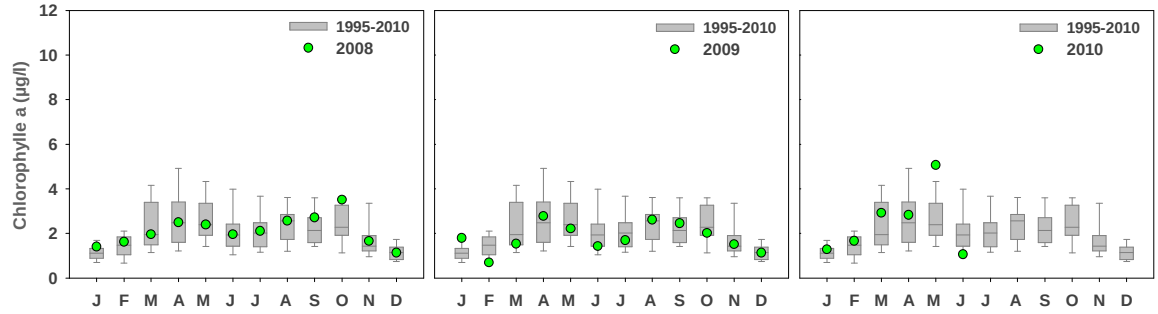


Figure 12 : Valeurs moyennes mensuelles de chlorophylle *a* de l'eau de mer (à pleine mer), en 2008, 2009 et 2010 pour chacun des 4 écosystèmes étudiés et comparaison avec les données des 15 dernières années. Ces graphes utilisent les points de référence du REPHY : respectivement la station Lanvéoc pour 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.

2.3.3 Croissance, maturation et ponte

La Figure 13 montre l'évolution annuelle de la masse moyenne de chair sèche d'un même lot d'huîtres creuses 'sentinelles', transplanté chaque année au printemps sur chacun des sites Velyger. Elle permet de comparer, sur un plan spatio-temporel, la variabilité de l'effort de reproduction (quantité de gamètes émise lors de la ponte principale). Compte tenu du risque de différence dans la masse initiale du lot de référence entre les années, la Figure 14 présente, en complément, l'évolution d'un indice de condition (Lawrence et Scott) qui présente l'avantage d'être indépendant de la masse individuelle initiale et permet donc de standardiser les comparaisons inter-annuelles.

En termes de variabilité inter-sites, on constate tout d'abord un très net gradient Nord-Sud sur la croissance, l'effort de reproduction et l'indice de condition : le Bassin d'Arcachon présente les valeurs les plus faibles, la Rade de Brest les valeurs les plus fortes. Par exemple, en 2009, l'effort de reproduction moyen de la population sentinelle d'huîtres creuses placée en Rade de Brest est de 1.17 g de matière sèche, alors qu'il est inférieur à 0.40 g dans le Bassin d'Arcachon. L'indice de condition avant ponte est de 137 en Rade de Brest contre 73 dans le Bassin d'Arcachon.

En termes de variabilité inter-annuelle, il ressort des conclusions différentes selon les sites. L'année 2008 présente les valeurs d'indice de condition et/ou d'effort de reproduction les plus élevées, à l'exception du Bassin d'Arcachon, pour lequel les valeurs 2008 sont très faibles. A l'inverse, en 2010 et par comparaison avec les 2 années précédentes, les valeurs sont plus faibles en Rade de Brest alors qu'elles sont plus élevées dans le Bassin d'Arcachon.

Enfin, en ce qui concerne la date de ponte (indiquée par la chute brutale des valeurs), on constate tout d'abord un effet site important avec les dates les plus tardives observées en Rade de Brest, mais avec une variabilité importante entre les années : la ponte ayant eu lieu fin juillet en 2009 contre fin août en 2008. Généralement, les pontes les plus précoces ont lieu soit à Arcachon, soit en Baie de Bourgneuf pendant la première quinzaine de juillet. La ponte à Marennes Oléron présente, quant à elle, le moins de variabilité et a lieu généralement dans la deuxième quinzaine de juillet.

Tableau 5 : Valeurs de l'indice de condition (Lawrence et Scott) maximum avant ponte (ICmax) et de l'effort de reproduction (perte de matière sèche au cours de la ponte, ER, en g) relevées pour chaque site pour les 3 années comparées à la valeur moyenne par site. Pour information, les moyennes générales, tous sites et années confondus, de l'Indice de Condition et de l'Effort de Reproduction sont respectivement de 104 et 0.75 g. Les valeurs inférieures à cette norme nationale sont signalées en orange. © Ifremer/Velyger.

	Arcachon		Marennes Oléron		Bourgneuf		Rade de Brest	
	IC max	ER (g)	IC max	ER (g)	IC max	ER (g)	IC max	ER (g)
Moyenne	76	0.31	99	0.82	111	0.86	129	1.02
2008	74	0.22	100	0.88	112	1.06	134	1.11
2009	73	0.37	108	0.81	105	0.74	137	1.17
2010	82	0.33	88	0.76	115	0.77	115	0.79

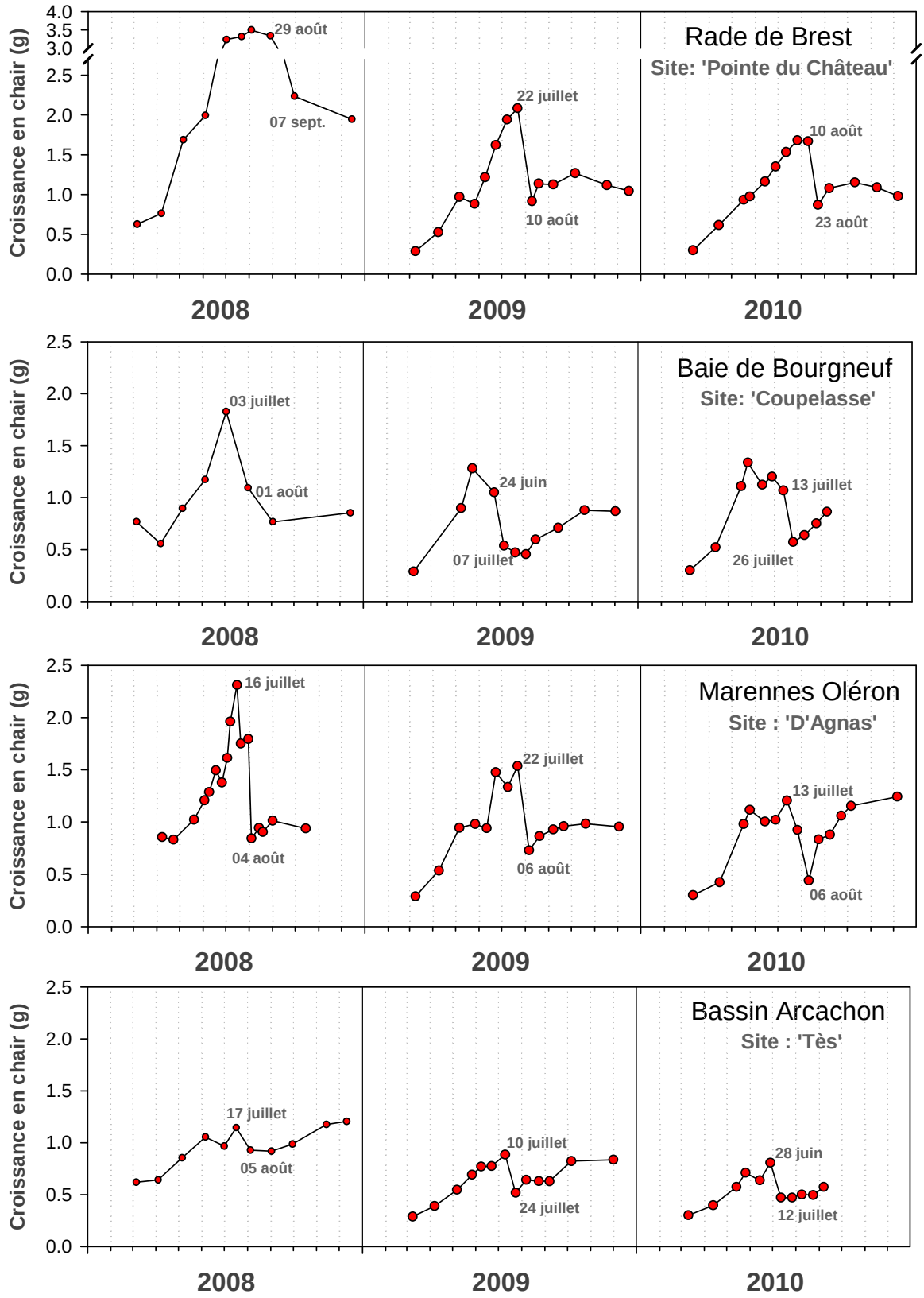


Figure 13 : Croissance en chair (g de matière sèche) et ponte chez les huîtres de chaque lot sentinelle placé sur les 4 sites Velyger (Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) pendant les années 2008, 2009 et 2010. Les lots suivis sont transplantés chaque année au printemps, les huîtres utilisées sont alors âgées de 18 mois et généralement calibrées entre 20 et 30 g. La chute brutale de la masse de chair indique l'intensité et la période d'émission des gamètes. © Ifremer/Remora-Velyger.

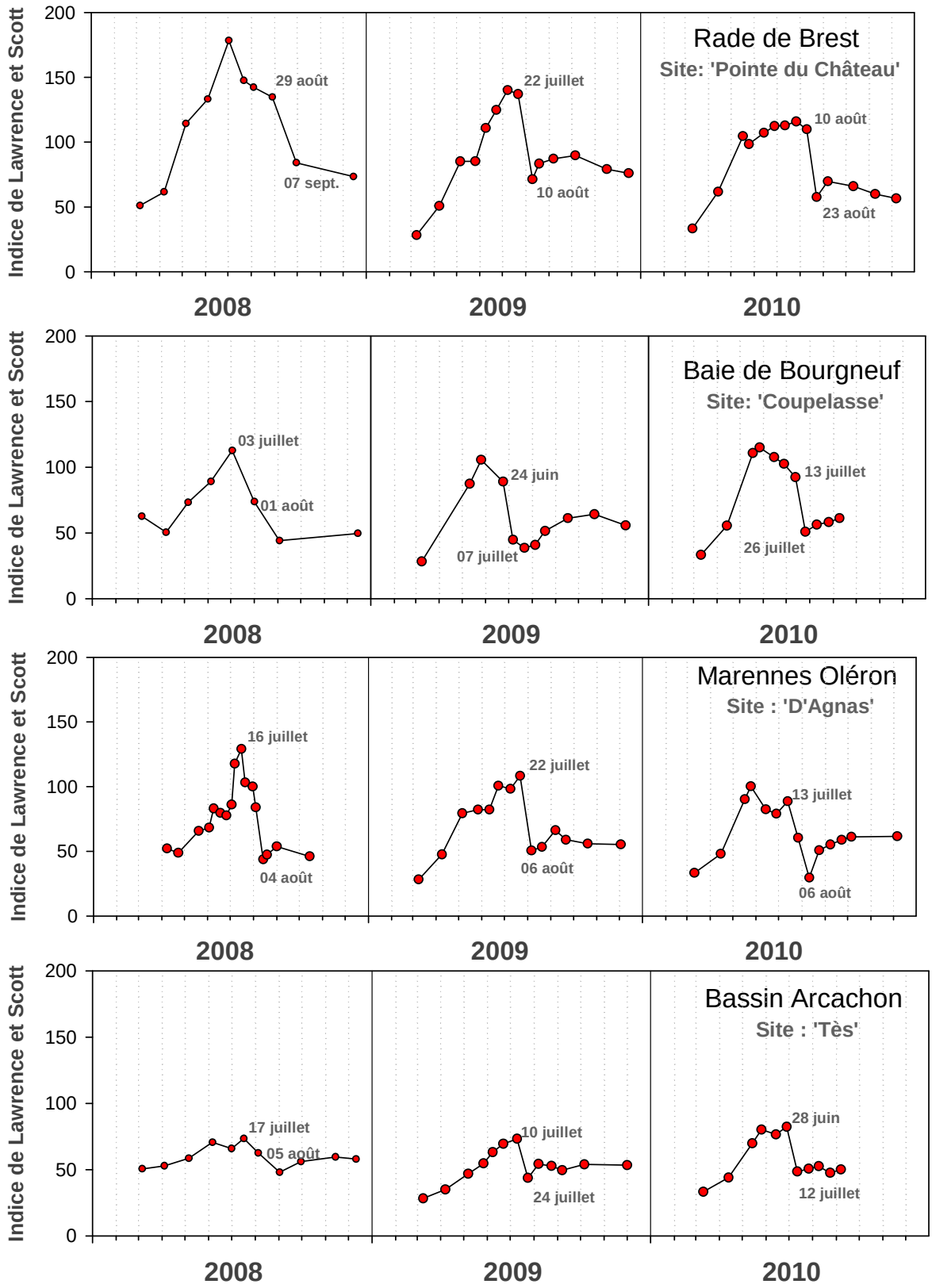


Figure 14 : Indice de condition de Lawrence et Scott et ponte chez les huîtres de chaque lot sentinelle placé sur les 4 sites Velyger (Arcachon, Marennes, Bourgneuf, Rade de Brest) pendant les années 2008, 2009 et 2010. Les lots suivis sont transplantés chaque année au printemps, les huîtres utilisées sont alors âgées de 18 mois et généralement calibrées entre 20 et 30 g. La chute brutale de la masse de chair, généralement en juillet, indique l'intensité et la période d'émission des gamètes. © Ifremer/Remora-Velyger.

2.3.4 Abondance et développement des larves

2.3.4.1 Variabilité spatio-temporelle de l'abondance

La Figure 15, ainsi que le Tableau 6, synthétisent l'ensemble des valeurs d'abondance de larves mesurées tout au long de l'été, pour les 3 années, sur tous les sites, et présentées selon un classement en 4 catégories en fonction de leur stade de développement (Petites, Evoluées, Moyennes et Grosses, *cf* Figure 6). Pour chaque site atelier, les données sont moyennées par secteur. On s'intéressera particulièrement à l'analyse de l'abondance des larves grosses (en rouge sur la Figure 15) compte tenu de la corrélation entre l'abondance de ce stade et l'intensité du recrutement et du captage à l'automne (*cf* partie « analyser »).

D'une façon générale, il apparaît clairement une différence Nord-Sud dans le nombre de pics et l'abondance en larves grosses : les secteurs les plus au sud présentant généralement plusieurs pics avec des abondances supérieures à 100 larves/1,5m^3. Mais il ressort aussi clairement une variabilité inter-annuelle significative.

En 2008, le fait majeur est la faiblesse des concentrations de larves grosses en Rade de Brest (pas de données en Baie de Bourgneuf) et le caractère tardif d'apparition des larves grosses dans les écosystèmes sud avec un premier pic à la mi-août et un second à la fin août, mais avec des concentrations larvaires plutôt élevées (> 100 et parfois proches de 1000 larves/1,5m^3 , Tableau 6).

En 2009, le fait majeur réside dans la variabilité entre les secteurs : les secteurs Sud se caractérisent par des valeurs d'abondances de larves grosses faibles (*e.g.* un maximum de 100 larves/1,5m^3 à Arcachon) contrastant avec des valeurs plus élevées pour les secteurs situés plus au Nord, de la Charente à la Baie de Daoulas, avec des valeurs maximales supérieures à 300 larves/1,5m^3, jusqu'à 2260 larves/1,5m^3 (Tableau 6).

Enfin en 2010, la différence entre les sites est moins marquée (Tableau 6). Des pics de larves grosses, en quantité significative, sont observées partout et plus précisément à partir de la mi-juillet pour les secteurs les plus sud et à partir de la fin juillet pour les secteurs les plus nord. Puis, selon les sites, d'autres pics sont observés tout au long du mois d'août. Cette année apparaît donc plus précoce que les années précédentes en termes d'abondance larvaire et avec des valeurs moyennes plus élevées que l'année précédente.

Tableau 6 : Valeurs maximales d'abondance de larves au stade 'Petites' et 'Grosses' pour chaque site atelier (Pour Arcachon, les données sont celles du secteur Est et pour Marennes Oléron, celles du secteur Charente) comparées à la moyenne des valeurs maximales des 20 dernières années pour Arcachon et Marennes, des 4 dernières années pour Bourgneuf (utilisation des données 2004 et 2005), des 3 dernières pour Rade de Brest. En bleu clair : valeurs largement en-dessous des normes, en bleu foncé : valeurs au-dessus des normes.

	Arcachon - Est		Marennes Oléron*		Bourgneuf		Rade de Brest	
	Petites	Grosses	Petites	Grosses	Petites	Grosses	Petites	Grosses
Moyenne	763514	10428	30735	758	783405	325	71383	197
2008	73231	1090	128400	700	n.d.	n.d.	87750	90
2009	106238	100	75100	2260	2865600	400	52200	300
2010	348306	213	65700	390	160700	900	74200	200

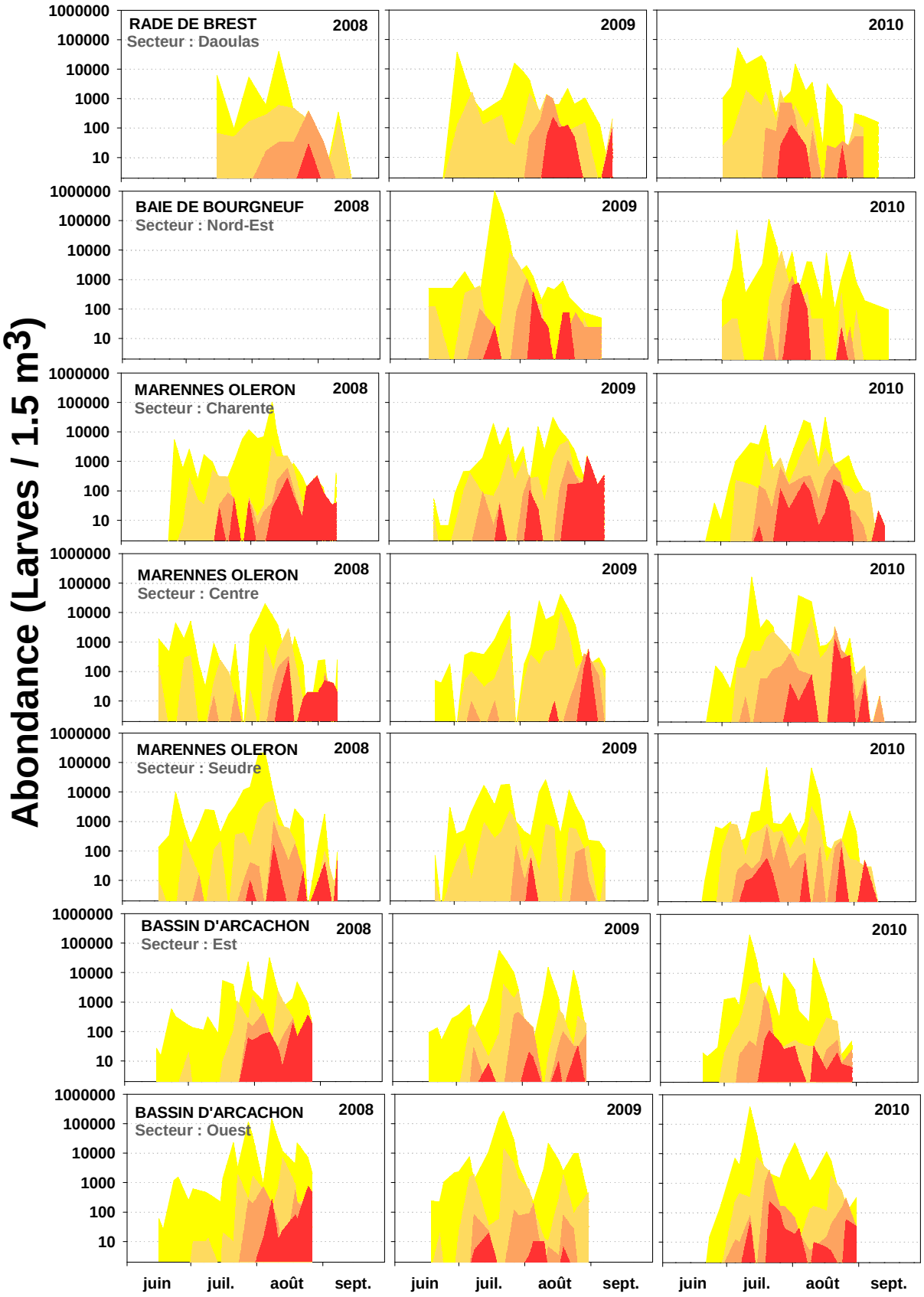


Figure 15: Abondance larvaire sur tous les sites Velyger de 2008 à 2010. Légende des couleurs : jaune = larves petites ; orange clair = larves évoluées ; orange foncé = larves moyennes et rouge = larves grosses.

2.3.4.2 Données par secteur

Les données par secteur sont présentées ci dessous en parallèle du coefficient de marée et de la température de l'eau comme une première aide à l'interprétation. Nous rappelons cependant que l'analyse des différents facteurs environnementaux jouant un rôle sur l'abondance et la survie larvaire est effectuée dans la deuxième partie de ce rapport (partie « analyser »).

- Rade de Brest : Secteur Daoulas

Dans ce secteur (Figure 16), on dénombre, sur la saison, généralement 2 à 3 pics de larves petites dont les concentrations oscillent entre 10 000 et 100 000 larves/1,5 m^3. Ces pics de larves petites n'évoluent pas systématiquement, ce qui se traduit généralement par l'existence d'une seule cohorte larvaire menée vraiment à son terme chaque année. Le rendement de cette cohorte (pourcentage du nombre de larves grosses par rapport au nombre de larves petites) est aussi variable selon les années : faible en 2008 avec 0,07 %, élevé en 2009 avec 1,40 % et intermédiaire en 2010 avec 0,24 %.

Il apparaît que ce rendement est plus élevé quand la cohorte démarre son développement en période de coefficient de marée faible (mortes-eaux ou petites vives-eaux, Figure 16) et que les températures de l'eau sont plus élevées (*e.g.* 18,5°C en 2008 contre 20°C en 2010, Figure 8). Il en résulte les valeurs des pics de larves grosses suivantes : 30 larves grosses/1,5 m^3 en 2008, contre 225 en 2009 et 125 en 2010.

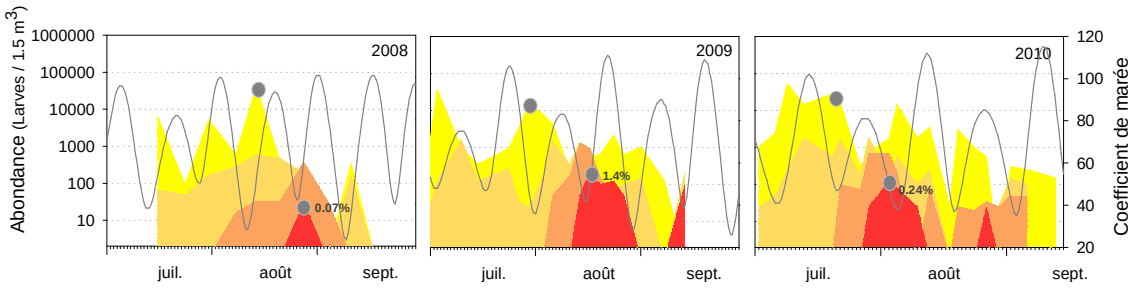


Figure 16 : Abondance larvaire, rendement des cohortes et coefficient de marée dans le secteur de la Baie de Daoulas en Rade de Brest. La courbe grise reproduit les variations du coefficient de marée, les ronds de couleur indiquent les différentes cohortes repérables chaque année, le chiffre à côté fournit le rendement moyen de la cohorte considérée. Légende des couleurs : jaune = larves petites ; orange clair = larves évoluées ; orange foncé = larves moyennes et rouge = larves grosses.

- Baie de Bourgneuf : Secteur Nord (Bernerie-Coupelasse)

Dans ce secteur (Figure 17), on dénombre, sur la saison, généralement 2 à 3 pics de larves petites dont les concentrations peuvent osciller entre 10 000 et 1 000 000 larves/1,5 m^3. Ces pics de larves petites n'évoluent pas toujours, ce qui se traduit généralement par l'existence d'une à deux cohortes larvaires menées à leur terme chaque été. Les rendements de ces cohortes sont variables : le rendement de la première cohorte de 2009 est élevé (1,35 %), celui de la seconde est faible (0,02 %) ; celui de la cohorte en 2010 est intermédiaire, avec 0,70 %.

Les valeurs de ce rendement sont plus fortes : (1) quand les températures de l'eau sont plus élevées (21°C pour la première cohorte de 2009, contre 20,1°C pour la deuxième cohorte de 2009 et 21,1°C pour celle de 2010, Figure 8) et (2) quand la cohorte démarre son développement en période de coefficient de marée faible (mortes-eaux ou petites vives-eaux, Figure 17).

Ce rendement, croisé à l'abondance initiale de petites larves, détermine les valeurs des pics de larves grosses : 25 puis 400 larves grosses/1,5 m^3 en 2009, contre 800 en 2010.

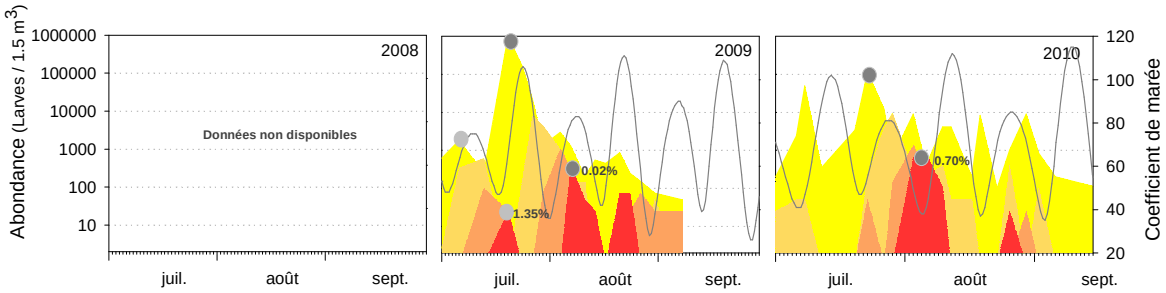


Figure 17 : Abondance larvaire, rendement des cohortes et coefficient de marée dans le secteur Nord de la Baie de Bourgneuf. Légende similaire à la figure 16.

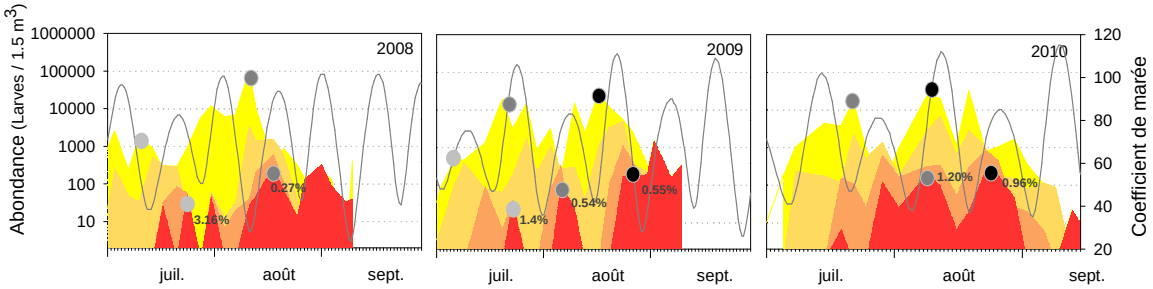
- Bassin de Marennes Oléron : Secteurs Charente et Centre

Dans ce bassin (Figure 18), la configuration des pics de larves rend plus délicate l'identification des cohortes, compte tenu d'un probable apport allochtone de larves à certaines périodes de l'été (voir Bernard, 2011, pour plus de détails sur ce point). Néanmoins, on dénombre, sur la saison, généralement 2 à 3 pics de larves petites dont les concentrations peuvent osciller entre 10 000 et 100 000 larves/1,5 m^3. Ces pics de larves petites évoluent favorablement en général, ce qui se traduit par l'existence d'au moins deux cohortes larvaires identifiables chaque année pour le secteur Charente, mais parfois aucune pour le secteur Centre.

Pour le secteur Charente, et contrairement aux autres secteurs, les rendements des cohortes oscillent, selon les périodes, entre 0,27 et 3,16 %. Pour le secteur Centre, les rendements sont beaucoup plus variables : 1,16 % en 2008, 0,02 % en 2010 pour la première cohorte et 1,31 % pour la deuxième. Les rendements les plus élevés sont toujours observés quand la cohorte démarre son développement en période de coefficient faible de marée (vers les mortes-eaux ou pendant les petites vives-eaux).

Le fait le plus marquant sur ces secteurs est la présence systématique d'un ou de plusieurs pics de larves grosses 'allochtones', *i.e.* qui ne semblent pas reliés aux pics observés de larves petites (*e.g.* Bernard, 2011). Cette particularité fait que le secteur Charente présente de plus fortes abondances de larves grosses sur la saison. Ainsi, les concentrations maximales de larves grosses mesurées étaient de 277 larves grosses/1,5 m^3 en 2008, 173 en 2009 et 250 en 2010, ce qui montre le caractère 'peu variable' de ce secteur contrairement au secteur Centre.

Secteur « Charente »



Secteur « Centre »

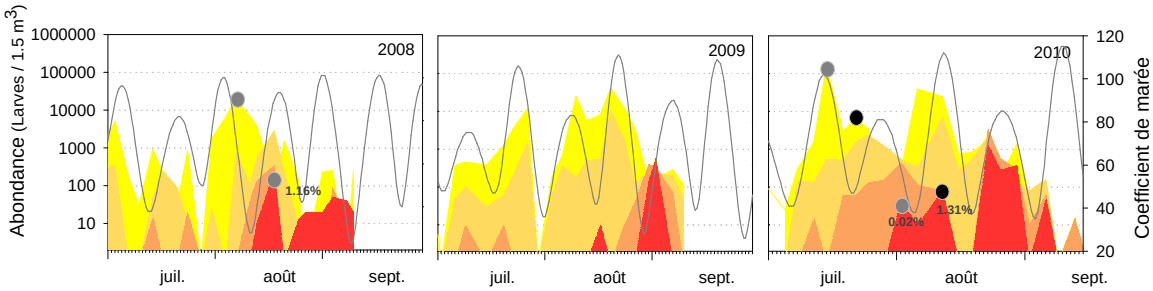


Figure 18 : Abondance larvaire, rendement des cohortes et coefficient de marée dans les secteurs Charente et Centre du Bassin de Marennes Oléron. Légende similaire à la figure 16.

- Bassin de Marennes Oléron : Secteur Seudre

Dans ce secteur (Figure 19), et de façon encore plus significative que pour les 2 autres secteurs de Marennes Oléron, la configuration des pics de larves rend impossible l'identification des cohortes. La seule cohorte potentiellement analysable est celle de début août 2008 qui correspond à un pic de larves petites évoluant en période de morte eaux, mais dont le calcul du rendement reste délicat. En 2009 et 2010, aucune cohorte n'est observable. L'année 2009 reste marquée par de très faibles valeurs de larves grosses, alors que l'année 2010 se démarque par la présence, en début et en fin de saison, de concentrations de larves grosses proche de 100 larves/1,5 m^3.

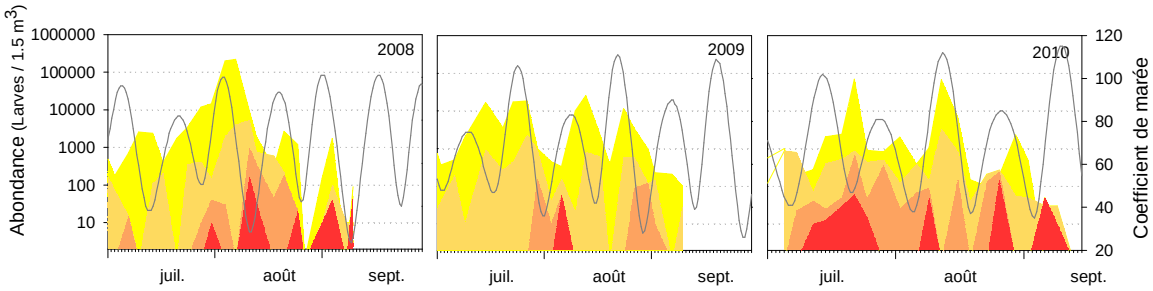


Figure 19 : Abondance larvaire, rendement des cohortes et coefficient de marée dans le secteur Seudre du Bassin de Marennes Oléron. Légende similaire à la figure 16.

- Bassin d'Arcachon : Secteur Est

Les secteurs Est et Ouest du Bassin d'Arcachon présentant généralement des caractéristiques similaires en termes d'abondance et de successions de cohorte larvaire, nous n'analyserons ici que le secteur Est. D'une façon générale, les cohortes sont clairement analysables dans ce bassin.

Pour le secteur Est, on dénombre, sur la saison, généralement 2 à 3 pics de larves petites dont les concentrations peuvent osciller entre 10 000 et 1 000 000 larves/1,5 m^3. Ces pics de larves petites évoluent le plus souvent favorablement, ce qui se traduit par l'existence, en général, de deux à trois cohortes larvaires menées à leur terme chaque été.

Cependant, là aussi, les rendements de ces cohortes sont variables. Ainsi, les rendements des 3 cohortes de 2008 sont respectivement de 1,50%, 0,40% et 1,16% ; ceux de 2009 sont de 2,29%, 0,04% et 0,22% et ceux de 2010 sont de 0,06%, 0,33% et 0,06%.

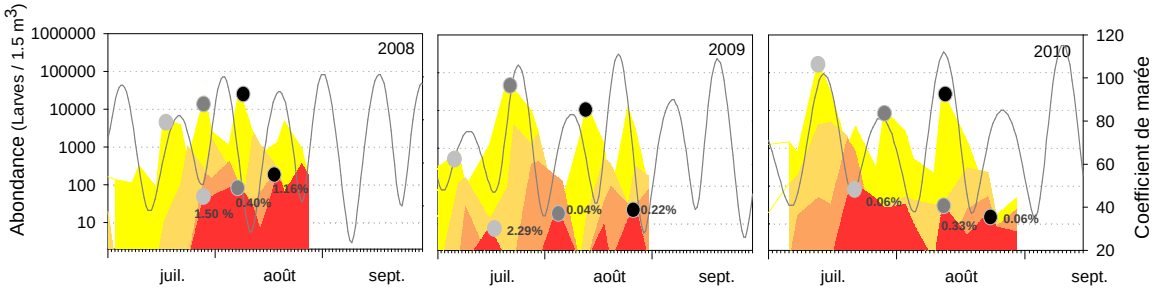


Figure 20 : Abondance larvaire, rendement des cohortes et coefficient de marée dans le secteur Est du Bassin d'Arcachon. Légende similaire à la figure 16.

Ces rendements sont plus élevés quand la cohorte démarre son développement en période de coefficient de marée faible (mortes eaux ou petites vives-eaux). Ainsi en 2010, les deux principaux pics d'abondance de larves petites se situent précisément à des périodes de fortes vives-eaux et pour des températures de 22,9°C et 21,4°C respectivement. C'est aussi le cas en 2009 pour la cohorte la plus abondante qui évolue dans une température de 22,7°C. Par contre en 2008, tous les pics de larves petites évoluent soit en mortes eaux, soit en petites vives-eaux, à des températures moyennes comprises entre 22,9°C pour la première cohorte et 21,7°C pour la dernière.

Ce rendement, croisé à l'abondance initiale de petites larves, rend compte des valeurs des pics de larves grosses : en 2008, le mois d'août se caractérise par des concentrations de larves proches ou supérieures à 100 larves/1,5m^3 tout le long du mois. En 2009, les abondances de larves grosses sont beaucoup plus faibles (< 30 larves/1,5m^3) et en 2010 la situation est intermédiaire avec des concentrations proches de 100 larves grosses/1,5 m^3, plutôt en juillet, ce qui contraste avec le caractère tardif de la reproduction en 2008.

2.3.4.3 Comparaison avec les 20 dernières années

Pour les écosystèmes d'Arcachon et de Marennes Oléron, nous disposons de données sur plus de 20 ans qui permettent de comparer les valeurs actuelles 2008-2010 avec les valeurs antérieures. Il convient néanmoins d'être vigilant, ces données antérieures ont été, pour partie, acquises par des méthodes et/ou des équipes différentes.

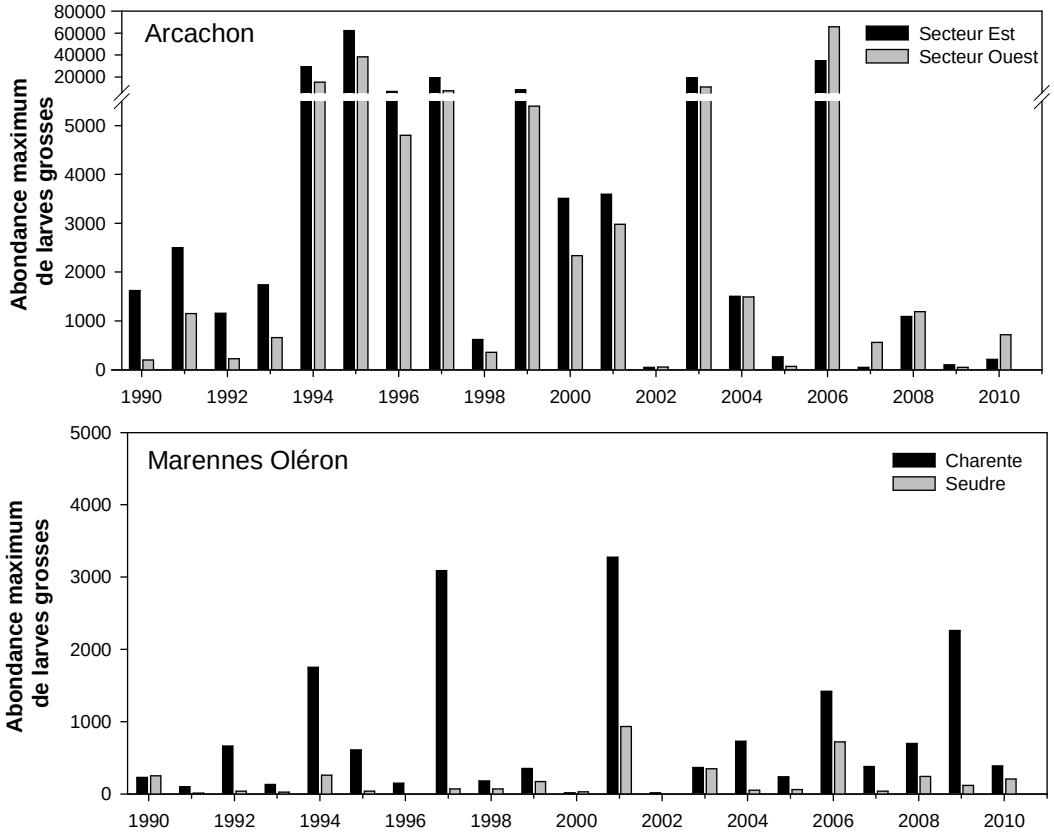


Figure 21 : Séries historiques d'abondance de larves au stade grosse, par secteur clé, pour Arcachon et Marennes-Oléron. L'échelle a été tronquée pour le graphe d'Arcachon de manière à faciliter la comparaison avec Marennes Oléron. Les graphes ne représentent que les valeurs maximales observées chaque année.

La Figure 21 montre les 2 séries historiques et permet de mettre en évidence la succession d'années à faible concentration de larves grosses depuis 2007 sur Arcachon et principalement pour le secteur Est. Le secteur Ouest, quant à lui, présente des valeurs faibles mais comparables aux années 1990-1993. Par contre, sur Marennes Oléron, les années 2008-2010 ne présentent pas de valeurs plus faibles que les années antérieures comparables aux valeurs enregistrées précédemment et ce, pour chacun des 2 secteurs présentés.

2.3.5 Estimation précoce du recrutement

Chaque année, des campagnes d'échantillonnage sont effectuées, en période automnale (Octobre-Novembre) dans chaque bassin afin d'estimer l'abondance moyenne du recrutement et le cas échéant le taux de mortalités. Ces chiffres sont 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.

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, le collecteur choisi comme référence a été la coupelle, car elle est utilisée dans chaque bassin. Cependant à titre d'indication la Figure 22 fournit des éléments de corrélation permettant d'établir une équivalence entre type de collecteurs.

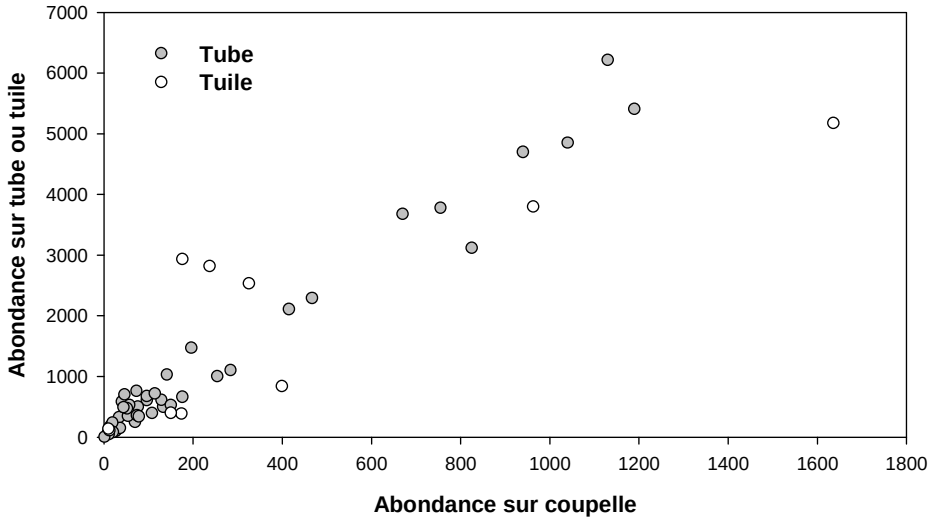


Figure 22 : Relation entre l'abondance sur une coupelle et celle sur un tube ou une tuile placée dans les mêmes conditions. La pente est de 4.9 pour la relation coupelle-tube (pour un coefficient de corrélation de 0.97) et de 3.6 pour la relation coupelle-tuile (pour un coefficient de corrélation de 0.58). On constate une plus grande variance sur la relation coupelle-tuile.

Le Tableau 7, la Figure 23 et la Figure 24 synthétisent l'ensemble des résultats des campagnes d'estimations du captage réalisées pour chaque site au cours des 3 années du projet (2008-2010). Il apparaît clairement une forte hétérogénéité spatio-temporelle des résultats, tant sur le plan des abondances de naissain que sur le taux de mortalités.

En 2008, le captage est abondant (> 200 par coupelle) dans les écosystèmes Sud (Marennes Oléron et Arcachon) alors qu'il est faible en Rade de Brest (< 10 par coupelle), avec un taux de mortalité globalement faible (<20%).

En 2009, le captage est moyen dans les écosystèmes Nord (> 20 par coupelle) alors qu'il est faible à Arcachon (11 par coupelle), avec un taux de mortalité élevé sur tous les sites (> 20 %).

En 2010, le captage est moyen à faible (de 9 à 71 naissains par coupelle en moyenne), mais avec un taux de mortalité faible (voisin de 0%) à l'exception de la rade de Brest, où l'observe des taux de mortalités supérieurs à 40%. Il convient de noter qu'à Arcachon, la valeur moyenne du captage est de 9 sur coupelle, mais reste supérieure à 100 sur tuile ; le captage, pour ce site, est donc plus élevé qu'en 2009.

Tableau 7 : Estimation (+/-min-max) de l'abondance moyenne de naissain vivant par coupelle pour chaque site et secteur du Réseau Velyger et du taux de mortalité évalué à l'instant du prélèvement (Octobre-Novembre). * Il s 'agit de l'abondance de naissain vivant lors de l'estimation.

Sites et secteurs etudiés (Collecteur : Coupelle)	Année 2008				Année 2009				Année 2010			
	Abondance*		Mortalités (%)		Abondance*		Mortalités (%)		Abondance*		Mortalités (%)	
	moy.	(min-max)	moy.	(min-max)	moy.	(min-max)	moy.	(min-max)	moy.	(min-max)	moy.	(min-max)
Rade de Brest	8	(0-35)	*Faible*		50	(2-121)	41	(0-77 %)	17	(1-41 %)	43	(0-84 %)
Rivière du Faou	n.d.	n.d.			60	(31-103)	55	(34-72 %)	16	(1-41 %)	44	(0-84 %)
Rivière de Daoulas					46	(2-121)	41	(0-77 %)	18	(6-34 %)	40	(0 - 70 %)
Baie de Bourgneuf					26	(0-101)	24	(0-58 %)	71	(2-151)	1	(0-1 %)
La Bernerie (Nord)	*Pas de suivi*		*Pas de suivi*		13	(0-37)	27	(0-58 %)	21	(2-95)	0	(0-7 %)
La Bernerie (Sud)					33	(8-81)	22	(0-47 %)	51	(15-146)	1	(0-28 %)
Les Moutiers					50	n.d.	10	(5-15 %)	62	(15-88)	2	(0-4 %)
Les Plantives					89	(72-101)	15	(12-17 %)	107	(78-138)	1	(0-4 %)
La Northe					40	(11-72)	28	(17-41 %)	112	(74-151)	1	(0-2 %)
Pertuis de Marennes Oléron	439	(0-500)	1		60	(0-500)	41	(0-99 %)	63	(1-241)	1	(0-18%)
Seudre	280	(70-610)	1		40	(22-74)	35	(7-61 %)	105	(15-182)	2	(0 - 5 %)
Centre	710	(415-965)	0		58	(44-78)	25	(0-60 %)	73	(62-83)	0.1	(0 - 0.3%)
Charente	920	(825-1190)	0		174	(19-500)	31	(0-75 %)	128	(44-241)	4	(0-18%)
Nord Fouras	60	(54-60)	0		16	(11-20)	47	(2-81 %)	5		0	
Ré	225	(66-467)	2		10	(0-18)	67	(14-88 %)	4	(1-6)	0.3	(0-1.8%)
Bassin d'Arcachon	205	(34-1183)	20	(1-39 %)	8	(2-27)	30	(0-74 %)	9	(5-24)	18	(6-50 %)
Ouest	260	n.d.			8							
Est	141	n.d.			7							
Sud	190	n.d.			n.d.							

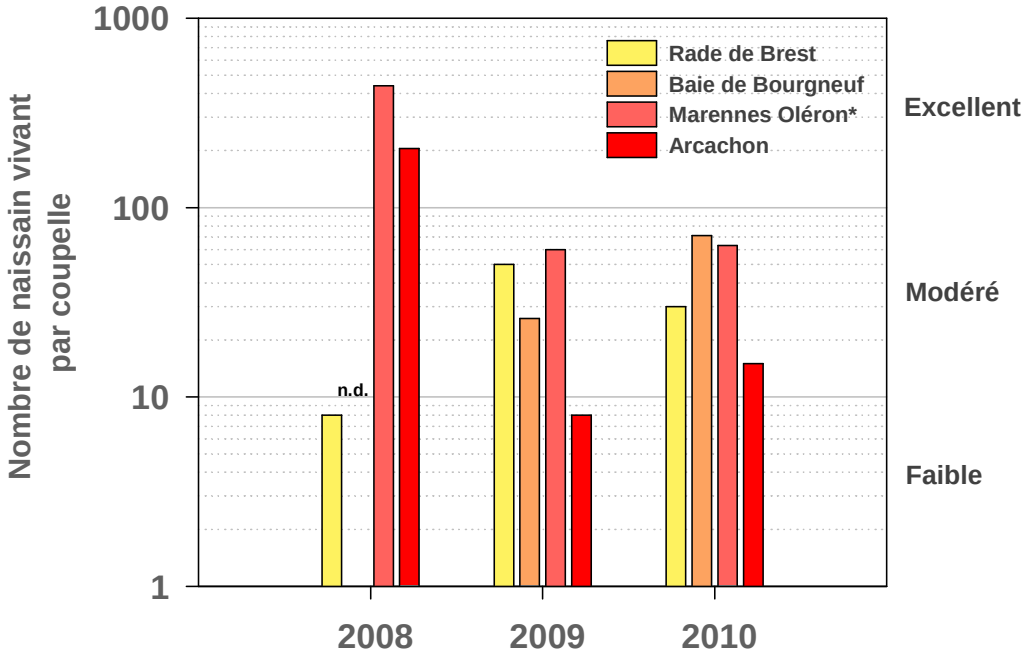


Figure 23 : Abondance moyenne de naissain vivant par coupelle pour chaque bassin étudié depuis 2008 (Estimation réalisé en octobre-novembre de chaque année).

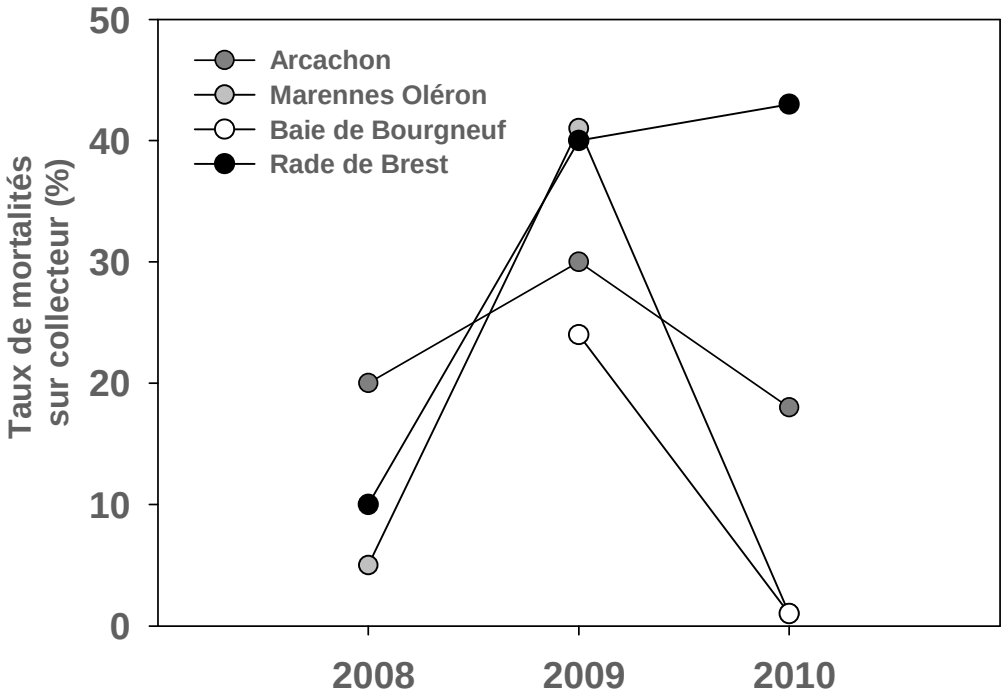


Figure 24 : Taux de mortalité moyen du naissain pour chaque bassin étudié depuis 2008 (Estimation réalisé en octobre-novembre de chaque année).

2.4 Discussion concernant le réseau

2.4.1 Genèse d'un nouveau réseau national

Historiquement, la reproduction de l'huître creuse (*C. angulata* puis *C. gigas*) a donné lieu à de nombreux suivis et travaux, que ce soit dans le Bassin d'Arcachon (*e.g.* His, 1976 ; Maurer et Borel, 1986 ; Maurer et Borel, 1990 et synthèse *In* Auby et Maurer, 2004) ou dans le Bassin de Marennes Oléron (Berthomé *et al*., 1982 ; Deslous-Paoli *et al*., 1982, et synthèse *In* Soletchnik, 2008). Des suivis temporels pluriannuels (*e.g.* Arnaud *et al*., 2000 ; Auby et Maurer, 2004) ont rapidement fait place aux études ponctuelles et ces suivis (concernant généralement la maturation des géniteurs, les abondances larvaires, l'intensité du captage et les facteurs environnementaux) se sont progressivement standardisés entre les années et les laboratoires en charge de les réaliser, puis entre les deux bassins traditionnels.

Ainsi, à partir des années 2003, on peut considérer que la méthode de suivi des abondances de larves est standardisée (Auby *et al*., 2002 ; Geay et Mille, 2004). Chaque saison, à la demande des Sections Régionales Conchylicoles (SRC), elle est mise en œuvre en routine par la station Ifremer d'Arcachon (*e.g.* Auby et Maurer, 2004) et par le Centre Régional d'Application Aquacole de Poitou-Charentes (Geay et Bouquet, 2009). En 2004, cette méthode a aussi été transférée à la Station Ifremer de Bouin, en Vendée, et des premiers suivis de la reproduction ont également été mis en œuvre dans la Baie de Bourgneuf, ils seront cependant arrêtés en 2006 (Martin *et al*., 2004 et 2005 ; Haure *et al*., 2008). Ces suivis font l'objet de bulletins réguliers (généralement deux fois par semaine) tout au long de l'été. Ces bulletins permettent aux professionnels d'optimiser leurs stratégies de pose de collecteurs. A l'issue de la saison de reproduction, une campagne d'échantillonnage, menée en automne, permet de donner une estimation de l'intensité du captage de l'année écoulée (Maurer *et al*., 2009b). Enfin, ces observations servent aussi à la rédaction d'un rapport annuel synthétisant l'ensemble des résultats et visant à expliquer les performances observées (*e.g.* Maurer *et al*., 2009a, Geay et Bouquet, 2009) .

A partir de 2008, la dynamique offerte par le projet Velyger permet de consolider cette démarche dans les 2 bassins traditionnels (Arcachon, Marennes Oléron) mais aussi de déployer de nouveaux suivis dans les 2 autres bassins pour lesquels une activité de captage se développe : la rade de Brest dès 2008, puis la baie de Bourgneuf à partir de 2009. En suivant une méthodologie commune dans chaque site atelier, **un réseau national d'observation de la reproduction de l'huître creuse voit donc le jour** (Pouvreau *et al*., 2008). En 2010, l'étang de Thau rejoint aussi cette dynamique de réseau, sous l'impulsion de la Section Régionale Conchylicole.

Actuellement, le réseau Velyger regroupe donc, sur le plan national, 5 sites ateliers (Thau, Arcachon, Marennes Oléron, Baie de Bourgneuf, Rade de Brest). **Ce réseau fonctionne comme une fédération de suivis régionaux** de même type, *i.e.* paramètres communs avec une méthodologie similaire. Les fonds financiers sont multiples : Fonds européens de type FEP - Fonds d'état DPMA - Aides Régionales - CRC - France Agrimer. Les demandeurs sont, dans chaque région, les CRC et sur le plan national le CNC. Les acteurs de ce réseau sont de nature différente selon les sites : Ifremer et

Bureaux d'étude en Bretagne et Pays de Loire, Creaa et Ifremer en Poitou-Charentes, Ifremer en Aquitaine et CRC, Cepralmar et Ifremer en Languedoc Roussillon. Sur chaque site, il est aussi fait appel à l'aide des ostréiculteurs pour les sorties à la mer. L'ensemble des résultats est désormais centralisé dans une base de données nationale (sous le référentiel Quadrige). En outre, la centralisation, la vérification, la correction puis la bancarisation des anciennes données (antérieures à Velyger) ont aussi été mise en œuvre pour les sites d'Arcachon et Marennes Oléron : cela correspond à plus de **20 années de données sauvegardées** pour chaque site. L'ensemble de ces données peut ainsi faire l'objet d'analyses plus approfondies, comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

Enfin, en guise de primo-analyse, ces données sont présentées, de façon synthétique et sous un même format entre les bassins, sur le site Internet de Velyger, en temps quasi-réel tout au long de l'été. Au cours de l'été 2010, ce site a été interrogé par plus de 1000 internautes différents, avec une consultation de plus de 13 000 pages.

Ce réseau permet donc rapidement d'avoir une vision nationale et objective des performances biologiques du recrutement chaque année. Il peut être un repère pour aider la profession à optimiser ses pratiques de captage. Il permet aussi rapidement de mettre en exergue de façon quantifiée certaines anomalies et d'en identifier les causes probables. Il peut donc être mis à contribution, en apportant des éléments objectifs et chiffrés, dans le cadre des procédures de calamités agricoles. Enfin, comme nous allons en discuter dans le paragraphe suivant, cet outil peut aussi être particulièrement utile dans le cadre de la crise ostréicole actuelle. Ce réseau est donc en train de devenir **un outil d'aide à la profession et aux administrations.**

Il reste donc, pour les années à venir, à **assurer son financement**, tout en le faisant évoluer, tant sur le plan technique (nouveaux paramètres, nouvelles méthodes, nouvelles stations) que sur le plan de l'organisation et de la coordination.

2.4.2 Un outil d'aide dans le contexte national de crise

Depuis 2008, la filière ostréicole française est fortement affaiblie par des épisodes de mortalités d'huîtres particulièrement intenses[8], plus intenses que dans les années passées (*e.g.* Samain et Mc Combie, 2008). Ces mortalités touchent principalement le naissain soit lors du premier été, *i.e.* peu de temps après la fixation sur collecteur, soit lors du printemps suivant, et entraînent un réel problème d'approvisionnement en naissain. Le naissain utilisé en France provient soit d'écloseries (30-40%) soit du captage naturel (60-70%).

Or, lors de la genèse du projet Velyger en 2007, le phénomène des mortalités massives de naissain n'était pas rentré dans la phase aiguë qu'on lui connaît à ce jour. Mais dans ce nouveau contexte, il apparaît que le réseau d'observation créé dans le cadre du projet Velyger constitue un outil supplémentaire de gestion de crise, en permettant à la profession de mieux 'comprendre' d'une année à l'autre, d'un site à l'autre, les modalités de la reproduction de l'huître creuse et **d'optimiser au mieux les pratiques et calendrier de captage**. En outre, les connaissances apportées par le projet Velyger

[8] http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole

permettent aussi de mieux assister et évaluer les opérations éventuelles de ré-ensemencement, qui deviennent à nouveau d'actualité (*e.g.* Bernard *et al*., 2010).

A terme, l'évolution inter-annuelle du taux de mortalité moyen du naissain suivi dans le réseau Velyger doit aussi permettre de mettre en évidence des tendances et de dégager, le cas échéant, des indications sur la mise en place d'une 'éventuelle résistance naturelle', dont la rapidité de mise en oeuvre sera probablement très dépendante du site étudié. En effet, il semble qu'une petite fraction du naissain naturel échappe aux phénomènes des mortalités (de l'ordre de 5 à 25% selon les lots), cette fraction porte, peut être, un caractère de résistance dont l'hérédité, même si celle-ci reste à prouver, pourrait permettre dans les années à venir et selon les sites **une ré-augmentation progressive de la survie du recrutement sauvage.**

2.4.3 Un outil essentiel à la compréhension

Le réseau national Velyger dresse, chaque année, un bilan de la saison de reproduction écoulée en présentant les données de chaque bassin de façon synthétique, en fournissant une primo-analyse de ces données, en surveillant les performances biologiques et en détectant d'éventuelles anomalies qui posent des questions dont les réponses sont progressivement apportées dans une étape ultérieure, de plus long terme (cf partie 'Analyser'). Cette stratégie de recherche à deux niveaux est la seule permettant d'approcher des problématiques d'écologie à large échelle spatio-temporelle (variations inter-annuelles et différences latitudinales inter-bassin).

Ainsi, le bilan synthétique des performances de la reproduction de l'huître pour les 3 années écoulées et sur les 4 bassins suivis depuis 2008 (ou 2009) est le suivant :

(1) En amont, il ressort que la gamétogenèse des huîtres, en termes d'effort de reproduction (quantité de gamètes émis) et de date de ponte est très différente entre les 4 bassins : elle est de faible intensité à Arcachon, modérée à Marennes Oléron et Bourgneuf et élevée en Rade de Brest. En outre, la date de ponte est généralement précoce à Arcachon et Bourgneuf (première quinzaine de juillet) ainsi qu'à Marennes Oléron (deuxième quinzaine de juillet), alors qu'elle peut être parfois très tardive (fin août) en Rade de Brest (*e.g.* été 2008). Sur ce dernier site, la variabilité inter-annuelle de la date de ponte est, en effet, très marquée et reste sous la dépendance directe des conditions climatiques de l'été. En outre, pour chaque bassin, cette ponte peut être synchrone entre les bancs de géniteurs et totale sur le plan individuel : dans ce cas, elle est massive et on observe une forte abondance de larves (*e.g.* Marennes Oléron 2008, Bourgneuf 2009). Au contraire, elle peut être asynchrone entre les bancs et/ou partielle sur un plan individuel : dans ce cas, on observe plusieurs pics de larves, au cours de l'été, d'abondance modérée à faible (*e.g.* Rade de Brest 2009, 2010, Marennes Oléron, 2009, Arcachon 2008, 2009).

(2) Le suivi de l'abondance et du développement des larves est essentiel pour comprendre l'ensemble des verrous biologiques qui peuvent s'enclencher au cours du cycle de reproduction de l'huître creuse. Les larves sont classées en 4 ou 5 stades selon leur degré d'évolution et leur abondance respective est souvent un facteur d'explication de l'intensité du captage. Le réseau Velyger nous

montre là aussi des résultats différents entre les années et/ou les sites, que l'on peut classer en deux cas de figures. Dans un premier cas de figure, l'abondance maximum de larves au stade 'petites' (on parle communément de pic de larves) est très élevée, proche du million de larves pour 1,5m^3 (cas typique : Baie de Bourgneuf 2009). Cette forte abondance donne naissance à une cohorte (succession des différents stades au cours des 15 jours suivant) clairement identifiable dont le rendement (dépendant de la survie et de la dispersion) qu'il soit fort (≈ 1%) ou faible (≈ 0,01 %) permettra toujours l'existence d'un pic de larves grosses supérieures à 100 larves pour 1,5m^3, suffisant pour permettre un recrutement significatif (et donc un captage rentable). Dans un deuxième cas de figure, l'abondance maximum de larves au stade 'petites' est modérée (≈ 100 000 larves/1,5 m^3) ou faible (≈ 10 000 larves/1,5 m^3). Dans ce cas, le rendement de la cohorte est décisif : si il est faible (≈ 0,01 %), il n'y aura pas de larves grosses (avortement de la cohorte, *e.g.* Arcachon 2009 ; Rade de Brest 2008), mais si il est fort (≈ 1%), l'abondance des larves grosses sera supérieure à 100 larves pour 1,5m^3 et suffisante pour permettre un captage rentable (Rade de Brest 2009, Bourgneuf 2010, Arcachon 2008, Marennes Oléron 2010).

(3) En aval, dès lors que la concentration de larves 'grosses' (incluant aussi le stade 'en fixation') avoisine 100 larves/1,5 m^3, le recrutement devient supérieur à 0.1 naissain par cm² et le captage rentable (supérieur à 25 naissains par coupelle). Au cours de ces 3 dernières années, c'est le cas partout sauf en Rade de Brest en 2008 et à Arcachon en 2009. A l'opposé, des concentrations supérieures à 1000 larves/1,5 m^3 se traduisent par un recrutement supérieur à 1 naissain par cm², et donc un captage supérieur à 250 naissains par coupelle (supérieur à 2000 par tuile ou tube), qualifié de fort à pléthorique (Marennes et Arcachon 2008). Rien ne semble échapper à cette règle et cela confirme que la métamorphose ou la fixation ne constitue pas un facteur limitant dans la performance du recrutement.

(4) Un dernier élément est à prendre en compte concernant l'intensité du captage : celui-ci peut être impacté par de premiers phénomènes de mortalités précoces, ayant lieu généralement en septembre, peu après la fixation. L'intensité de ces phénomènes est encore mal connue et semble variable selon les sites et les années : elle est généralement plus faible dans les sites ou les années pour lesquelles le captage est tardif (*e.g.* année 2008). Mais cela mérite d'être mieux appréhendé dans les années à venir par un suivi plus adapté.

(5) Enfin, l'ensemble des 4 points précédemment illustrés reste sous la dépendance des conditions hydro-climatiques, dont les modalités d'action vont être présentées dans la partie 'Analyser'.

En outre, la comparaison des données 2008-2010 avec les données antérieures montrent une particularité sur Arcachon et notamment dans le secteur Est : ces années se caractérisent par : (1) des abondances phytoplanctoniques limitées ; (2) des efforts de reproduction particulièrement bas ; (3) des pics de larves 'petites' plutôt faibles et (4) par conséquent un captage faible ou parfois modéré.

2.4.4 Perspectives d'évolution du réseau

Le suivi des abondances larvaires reste, néanmoins, un paramètre coûteux car il implique des sorties à la mer deux fois par semaine tout au long de l'été et des opérations de filtration, d'identification et de comptage qui ne peuvent être faites que par un expert habitué à la reconnaissance des larves de bivalves dans le plancton. Actuellement, ces 'pêches de larves' sont assurées à Arcachon par l'Ifremer depuis plus de 25 ans (et même depuis 1928, si l'on tient compte des espèces antérieures à *C. gigas*), à Marennes-Oléron par le Creaa qui a repris l'activité depuis 7 ans après plus de 40 ans assurés par l'Ifremer (et organismes antérieurs). L'ensemble de ces suivis est permis financièrement grâce à un soutien des Sections Régionales Conchylicoles. Il a été possible de généraliser ces méthodes à la Rade de Brest grâce à des financements DPMA et FEP dans le cadre du projet Velyger, mais aussi à la Baie de Bourgneuf grâce au soutien de la région Pays de la Loire. Pour ces 2 nouveaux sites, le suivi est pris en charge par 2 bureaux d'étude qui se sont formés spécifiquement aux prélèvements et à la reconnaissance des larves de *C. gigas*. Désormais, il nous semble essentiel de pouvoir maintenir ce réseau national et d'en assurer le financement de façon pérenne.

L'abondance de naissain a été estimée en automne sur chaque site, en adaptant au mieux, quand c'était possible, la méthode d'échantillonnage stratifié proposée par Maurer *et al*. (2009b). Cette estimation fournit une image 'instantanée', *i.e.* en automne, de l'abondance de naissain sur un collecteur pris comme référence dans le projet Velyger : la coupelle. Cette méthode permet d'une année à l'autre, d'un site à l'autre, de comparer la performance du recrutement (obtenu sur structure professionnelle).

Cependant, la méthode utilisée au cours de notre étude présente plusieurs limites qu'il convient de rappeler :

- elle nécessite un effort d'échantillonnage important sur l'ensemble des parcs de captage ;
- elle est très dépendante des stratégies de poses de collecteurs choisies par les professionnels ;
- elle peut être impactée de façon significative par les mortalités précoces de naissain, difficile à évaluer, qui peuvent survenir jusqu'à l'automne ;
- elle fournit donc un bilan de la saison de captage mais n'apporte pas d'informations concernant la dynamique estivale du recrutement et les périodes de mortalités.

Il pourrait donc être envisagé de modifier ou compléter cette méthode par d'autres stratégies. Deux autres stratégies peuvent être proposées : (1) pose/collecte de collecteurs tous les 15 jours au cours de l'été ; (2) suivi, par photographie périodique, de cadrat sur les rochers (ou sur substrat dur de type plaque de béton). La première méthode a déjà été mise en œuvre en Baie de Bourgneuf lors des suivis 2004-2006 (Haure *et al*., 2008), mais aussi par le Smidap (P. Glize, 2010, comm. pers). La deuxième a été mise en oeuvre en 2009 dans le cadre de suivis en Rade de Brest. Ces méthodes permettent d'avoir une meilleure estimation du recrutement naturel du naissain et de sa survie tout au long de l'été.

Dans le contexte actuel des crises de mortalités, le suivi du recrutement naturel de l'huître creuse d'un site à l'autre et d'une année à l'autre nous apparaît essentiel car il

permet, chaque année, de mieux évaluer les capacités de survie des nouvelles recrues. En effet, de premiers éléments tendent à montrer que si le naissain des bancs sauvages d'huîtres creuses est aussi fortement touché, *e.g.* à plus de 70% en Rade de Brest lors de l'épisode 2010 de mortalités (Pouvreau S., comm. pers. 2010), une partie de la population (10-20 %) résiste au phénomène. Sous réserve d'héritabilité de ce caractère en milieu naturel, il est envisageable qu'une résistance naturelle puisse se mettre en place dans les populations d'huîtres creuses. Sur certains sites, bien choisis (faible taux de transfert par exemple), le suivi chaque année des performances de survie du recrutement pourrait permettre de vérifier cette hypothèse. Le cas échéant, favoriser cette résistance naturelle pourrait constituer une piste potentielle de sortie de crise.

A terme, un financement mérite d'être recherché afin de permettre la pérennisation de ces suivis, qui sont essentiels dans le cadre des phénomènes désormais récurrents de mortalités de naissain. **En 2011, la prise en compte d'un descripteur complémentaire, mieux adapté au suivi de l'abondance et de la survie du naissain sauvage, sera envisagé afin de vérifier, et le cas échéant d'évaluer progressivement, l'établissement d'une résistance naturelle.**

3 Deuxième partie : « Analyser »

3.1 Introduction

Basée sur les données issues du réseau d'observation présenté précédemment, mais aussi sur les données historiques disponibles pour les bassins de Marennes-Oléron et Arcachon depuis les années 1980, cette partie vise à analyser les causes à l'origine de la variabilité de la reproduction observée d'un site à l'autre et d'une année à l'autre. Ce chapitre est traité de façon très synthétique. Les publications techniques sur lesquelles ce chapitre s'appuie sont renvoyées en annexe. En outre, une partie des résultats présentés ici provient d'une thèse (Bernard, 2011) qui sera soutenue au printemps 2011.

Le recrutement naturel de l'huître creuse (et donc l'activité de captage qui en dépend) est soumis à de nombreux facteurs environnementaux, susceptibles de modifier successivement :

(1) la maturation des adultes,
(2) les modalités d'émission des gamètes,
(3) l'abondance et le développement larvaire,
(4) la métamorphose et la fixation,
(5) la croissance et la survie des jeunes recrues (naissain).

Or, ces facteurs environnementaux (*e.g.* température de l'eau, phytoplancton, régime de vent et de courants…) sont sous la dépendance directe des conditions climatiques du moment, mais aussi de la saison écoulée (effet intégratif et/ou retard). Deux études synthétiques en France ont déjà fait l'analyse, régionalement, des corrélations entre les facteurs environnementaux et les étapes de la reproduction de l'huître creuse : il s'agit des travaux d'Auby et Maurer (2004) pour le Bassin d'Arcachon et de Soletchnik (2008) pour le Bassin de Marennes Oléron.

Dans les deux cas, les auteurs démontrent le fort déterminisme environnemental de la reproduction chez cette espèce en proposant, par exemple, un schéma d'explication de la variabilité du recrutement (Figure 25 reprise ici). Ainsi, selon les années ou les secteurs étudiés, c'est soit la partie gauche du schéma (faible maturation et absence de larves), soit la partie droite du schéma (faible survie) qui peut expliquer la faiblesse du recrutement.

Cette base de connaissance a donc été utilisée ici pour guider le questionnement initial ainsi que le travail d'analyse et permettre *in fine* d'expliquer, pour chaque site et chaque année étudiés dans le cadre du projet Velyger, les mécanismes en cause dans la performance observée du captage.

D'une façon plus théorique, par rapport au schéma de la Figure 25, le recrutement d'une espèce à l'instant t (ici t=fixation), noté N_t, dépend chaque année : (1) du stock de géniteurs G_0 (supposé peu variable d'une année à l'autre), (2) de la quantité d'œufs émise w_0 (potentiellement très variable chaque année), (3) de la dispersion et la mortalité larvaires jusqu'à la métamorphose (incluant la prédation), notés z, et (4) de la durée de la vie larvaire t, selon l'équation : $N_t = G_0 \times w_0 \times e^{-zt}$.

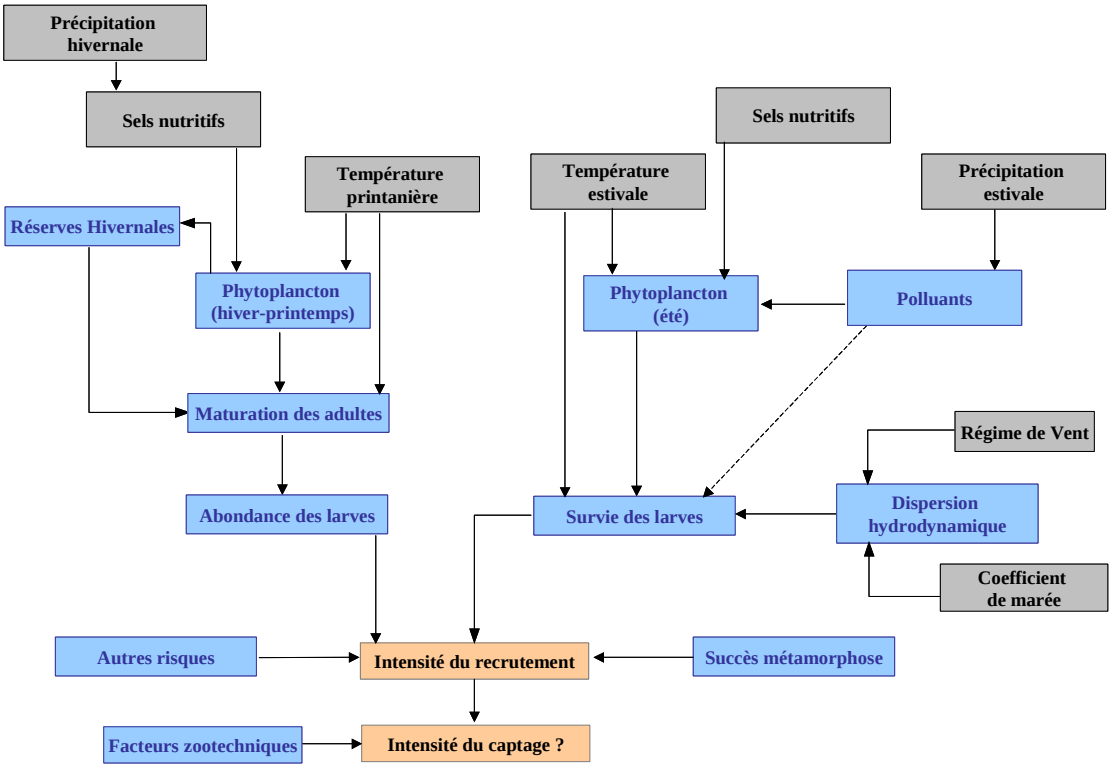


Figure 25 : Facteurs clés impliqués dans le déterminisme du recrutement de l'huître creuse d'après Auby et Maurer (2004). On note la très grande dépendance de la reproduction de cette espèce aux facteurs climatiques.

L'objectif de cette partie a donc été d'identifier les causes de variabilité (climatique et hydrologique) de chacun des composants de cette équation, à l'exception du premier terme de l'équation, G_0 , le stock de géniteurs. En effet, dans le cadre du projet Velyger, nous avons fait l'hypothèse que sur les 3 années suivies, et pour chaque site, ce stock était peu susceptible de varier fortement entre les années (e.g. Auby et Maurer, 2004).

Cette hypothèse, bien que raisonnable au démarrage du projet, reste cependant discutable car deux éléments majeurs sont survenus depuis les 3 dernières années : (1) les fortes mortalités dans les cheptels cultivés et les bancs sauvages depuis 2008 et (2) un recours croissant à l'utilisation d'huîtres triploïdes stériles, remplaçant de façon significative une partie du stock de géniteurs (on estime, en 2009, à 30 % la part de triploïdes dans l'approvisionnement en naissain).

Ainsi, cette partie va donc montrer progressivement comment les facteurs hydro-climatiques ont joué sur chaque écosystème et chaque année étudiés tout en mettant en évidence, de façon quantifiée, leur niveau d'implication respectif dans le succès du recrutement et donc du captage.

3.2 Matériel et méthode

L'ensemble des résultats présentés dans cette partie provient majoritairement de l'exploitation des données du réseau d'observation (données actuelles et historiques) dont le « matériel et méthode » a été exposé précédemment dans la première partie de ce rapport. Dans certains cas, pour des résultats plus spécifiques, le « matériel et méthode » particulier qui a été utilisé, est présenté succinctement de façon complémentaire.

3.3 Résultats et Discussion

3.3.1 Phytoplancton et effort de reproduction

La quantité de gamètes émis, et notamment la quantité d'ovocytes, peut être un facteur limitant dans l'abondance de jeunes larves et par conséquent être à l'origine d'un faible recrutement, comme le montre la Figure 26.

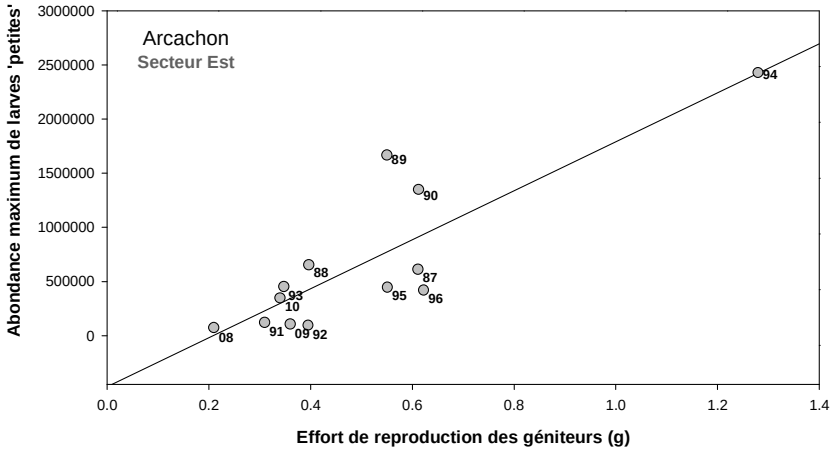


Figure 26 : Relation entre l'effort de reproduction (en g) des géniteurs et l'abondance de jeunes larves (stade petites) pour un même secteur, ici la partie Est du Bassin d'Arcachon. Ce graphe reprend des données antérieures à Velyger obtenues dans le cadre de suivis menés de 1988 à 1996. Notez que les 3 dernières années (2008-2010) présentent des valeurs faibles similaires à la période 1991-1993.

Auby et Maurer (2004) ont démontré, pour le Bassin d'Arcachon, que la variabilité inter-annuelle de l'effort de reproduction (quantité de gamètes émis, estimée *via* la perte de masse au moment de la ponte principale) expliquait en partie les différences dans la quantité de larves 'petites' observée entre les différentes années et que cette variabilité inter-annuelle était en partie liée à la richesse nutritive du milieu à la fin de l'hiver et au printemps.

Nous montrons ici que leurs résultats peuvent être généralisés à l'ensemble des bassins étudiés dans le cadre de Velyger tout en complétant leur conclusion par l'analyse de l'effet qualitatif de la composition du phytoplancton.

La Figure 27 montre les relations entre l'abondance phytoplanctonique (de janvier à juillet) et l'indice de condition maximal des huîtres mesuré en juillet avant la ponte (Indice de Lawrence et Scott). Les coefficients de détermination sont respectivement de 0.32, 0.48 et 0.68 selon le proxy de nourriture utilisé : Chlorophylle a (graphique non montré ici), Flore Totale, Abondance spécifique de *Chaetoceros* et *Skeletonema*.

La relation très forte entre l'abondance des espèces *Chaetoceros* et *Skeletonema* et l'indice de condition, tous sites et toutes années confondus, suggère la forte valeur nutritive de ces micro-algues dans le régime alimentaire de *C. gigas* et leurs rôles clés dans le succès de la gamétogenèse.

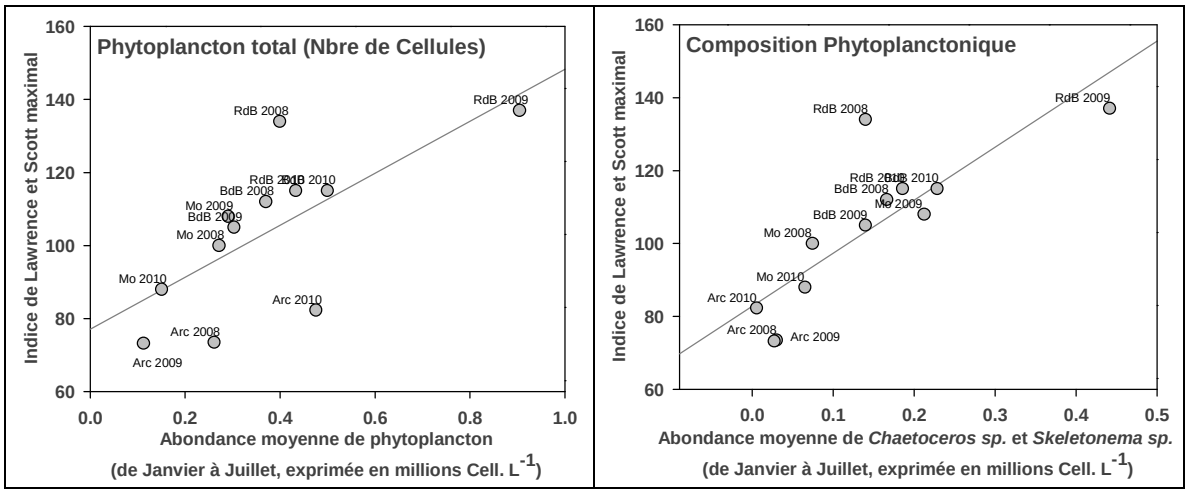


Figure 27 : Relation entre l'abondance et la composition du phytoplancton et l'indice de condition (Lawrence et Scott) maximal (mesuré avant la ponte en Juillet) des huîtres sentinelles placées dans chaque bassin de 2008 à 2010. Légende : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon.

Il convient de noter que les 3 valeurs les plus faibles du nuage de points concernent le Bassin d'Arcachon. Mais, pour ce site il convient d'éviter une généralisation. En effet, en reprenant les données des suivis phytoplanctoniques du REPHY sur les 20 dernières années, il apparaît que certaines années de très fort captage comme 1989, 1996, 2003 et même 2006, présentent des effectifs plutôt faibles de ces espèces tandis qu'à l'inverse, certaines mauvaises années comme 1998, 2000 et 2002 montrent au contraire des abondances relativement élevées de ces espèces sur le Bassin. Il semble donc que pour le Bassin d'Arcachon, ces genres ne soient pas nécessairement indispensables à une intense gamétogenèse et que d'autres espèces sont sans doute impliquées.

3.3.2 Température et émission des gamètes

En début d'été, une fois la gamétogenèse achevée, l'émission des gamètes a lieu, après généralement un laps de temps « d'attente » 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) que nous allons revisiter plus spécifiquement, dans les chapitres ci-dessous.

Tout d'abord, et d'une façon générale, il a été démontré sur le Bassin d'Arcachon (Auby et Maurer, 2004) une relation assez forte entre la température moyenne du printemps et la date de la ponte principale. Cette relation, mise en évidence à Arcachon, peut être généralisée à l'ensemble des sites du réseau Velyger, comme le montre la Figure 28. Tous sites confondus, la meilleure corrélation est obtenue pour le mois de juin.

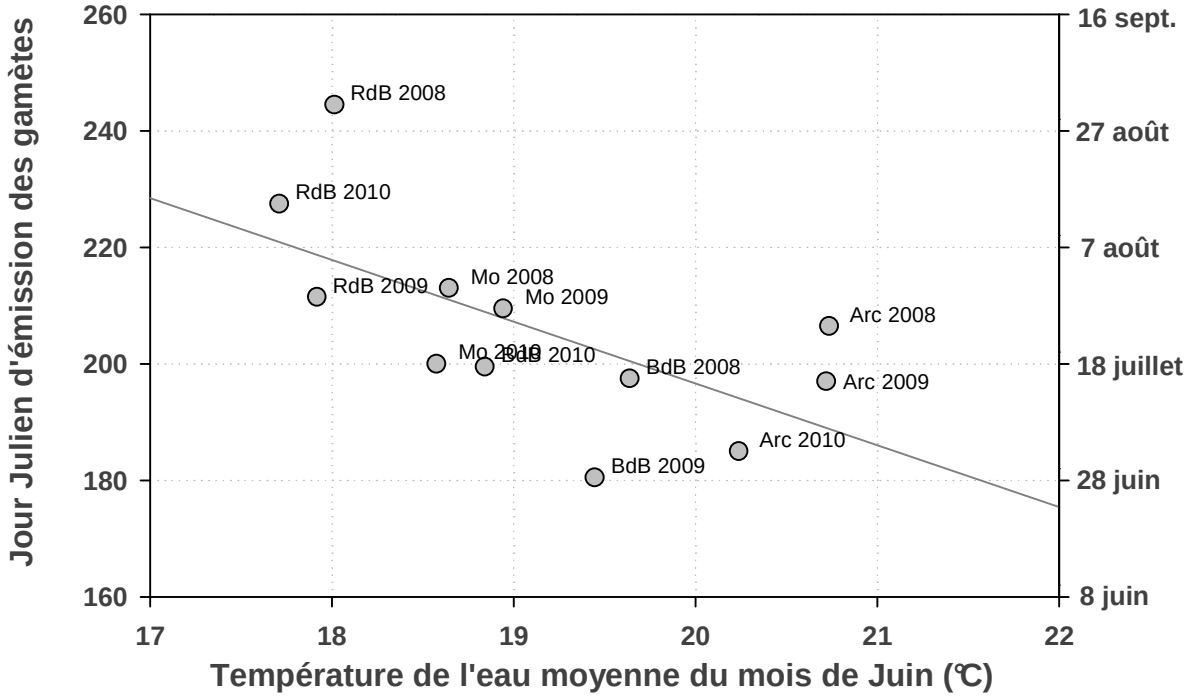


Figure 28 : Relation entre la température de l'eau en juin (moyenne issue des données journalières des sondes haute fréquence des flotteurs Smatch (© Ifremer-NKE) et la date d'émission des gamètes, tous sites et années confondus. La date d'émission des gamètes est obtenue à partir du suivi des populations sentinelles de chaque site et présente donc une précision d'une semaine (ce qui explique une part de la variabilité dans le nuage de points). Légende : RdB : Rade de Brest - BdB : Baie de Bourgneuf - Mo : Bassin de Marennes Oléron - Arc : Bassin d'Arcachon.

Il convient de noter que cette figure ne permet pas d'analyser la variabilité inter-annuelle pour un même site, compte tenu : (1) du trop faible nombre d'observation par site et (2) de l'imprécision d'une semaine sur la date de ponte liée à l'estimateur utilisé.

Mais d'ores et déjà, on constate un très net gradient Sud-Nord de la date de ponte en relation avec la température de l'eau en fin de printemps, le site de la Rade Brest présentant souvent les dates les plus tardives, le site d'Arcachon les dates les plus précoces. Les données concernant la Baie de Bourgneuf et le Bassin de Marennes Oléron se retrouvent en position intermédiaire et très proches dans le nuage de point, témoignant un caractère commun dans l'émission des gamètes sur ces 2 sites.

Il apparaît, en outre, que **le facteur limitant pour le site de la Rade de Brest risque d'être la température**, comme en témoigne l'année 2008, année pour laquelle la date de ponte s'est située à la fin août sur ce site.

La température printanière constitue donc un facteur clé de la date de ponte, déterminant une ponte précoce ou tardive. Nous allons étudier maintenant un deuxième facteur susceptible d'influer sur l'intensité du captage : le synchronisme des pontes dans un même bassin.

3.3.3 Synchronisme des pontes et captage

Dès lors qu'on s'intéresse à la ponte, il convient d'aborder la notion de synchronisme entre les différents bancs de géniteurs d'un même bassin et savoir si il y a une relation entre le synchronisme des pontes sur un bassin et le captage qui en découle, en d'autres termes savoir si les années de bon captage sont aussi des années à synchronisme élevé.

C'est une question qui, à notre connaissance, a été peu abordée et nous livrons ici une méthode originale pour y répondre, en utilisant les données d'abondances larvaires issues des suivis 2008-2010 sur Marennes Oléron et Arcachon associées aux données issues des séries historiques disponibles sur ces sites.

La méthode originale repose sur le calcul d'un indice de synchronisme entre lieux de prélèvement, sur chacun des 2 bassins et chaque année, estimé à partir des données d'abondance maximum de larves 'petites' (pics de larves).

Le principe est de calculer, par bassin, l'écart-type des jours juliens d'occurrence du plus fort pic de larves petites, entre sites de pêche de larves (7 sites à Marennes-Oléron, 6 sites à Arcachon). Plus cet écart-type est élevé, plus il y a de différence, entre les sites d'un même bassin, dans l'apparition des pics de larves, et plus l'asynchronisme de la ponte entre bancs est fort. Inversement quand cet indice est proche de zéro, cela signifie que tous les secteurs ont pondu en même temps.

L'équation de calcul est la suivante (l'indice est inversé de manière à faciliter l'interprétation visuelle des corrélations avec l'indice de captage) :

$$IS_k = - \text{Ecart-type } (J_{j,k})$$

Avec:

- IS_k, l'Indice de Synchronisme pour une année k
- $J_{j,k}$, le jour julien d'apparition d'un pic de larves dans le secteur j lors de l'année k

Cet indice de synchronisme centré et réduit est ensuite comparé aux séries historiques de captage depuis 1995 (centrées et réduites) disponibles pour chacun des 2 bassins (*e.g.* Geay et Bouquet, 2009 ; Maurer *et al*., 2009a).

La Figure 29 et la Figure 30 montrent les variations inter-annuelles de l'indice de synchronisme par rapport à celles de l'indice de captage : on constate clairement que les années de captage faible correspondent à des valeurs d'indice négatives (fort asynchronisme) et inversement les années de fort captage correspondent à des indices très élevés (fort synchronisme). La relation est très forte sur Marennes-Oléron depuis les années 2000, elle le reste en 2009 et probablement en 2010. Elle était aussi élevée à Arcachon depuis 1997 (démarrage et standardisation des campagnes d'échantillonnage du captage), mais elle est moins significative en 2009 et 2010, témoignant d'un effet supplémentaire à prendre en compte.

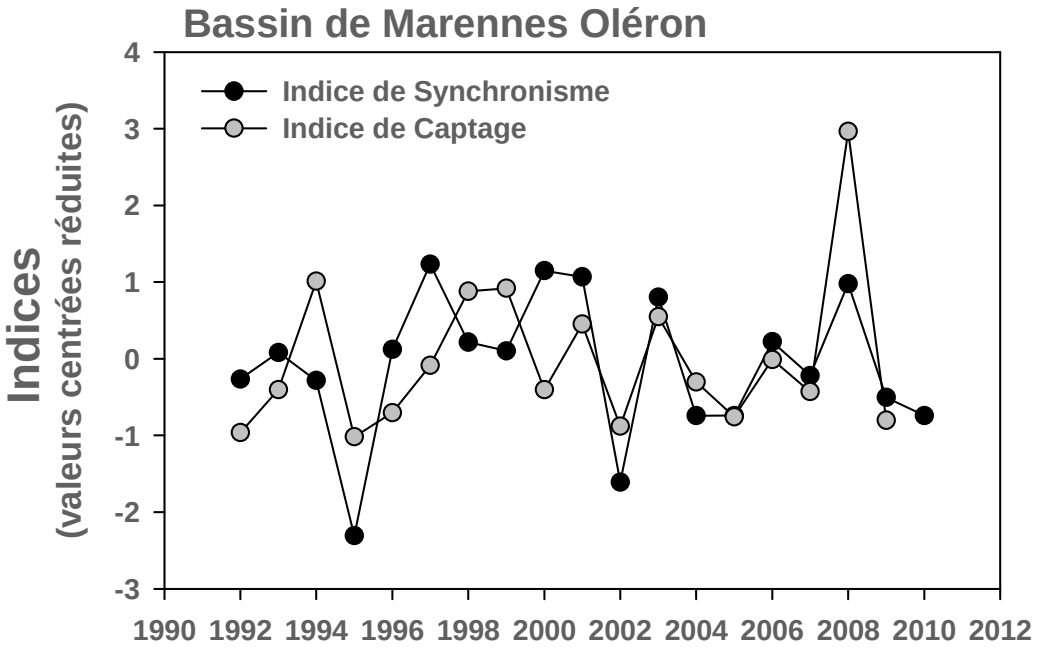


Figure 29 : Variabilité inter-annuelle de l'indice de captage et de l'indice de synchronisme (valeurs centrées et réduites) sur Marennes Oléron.

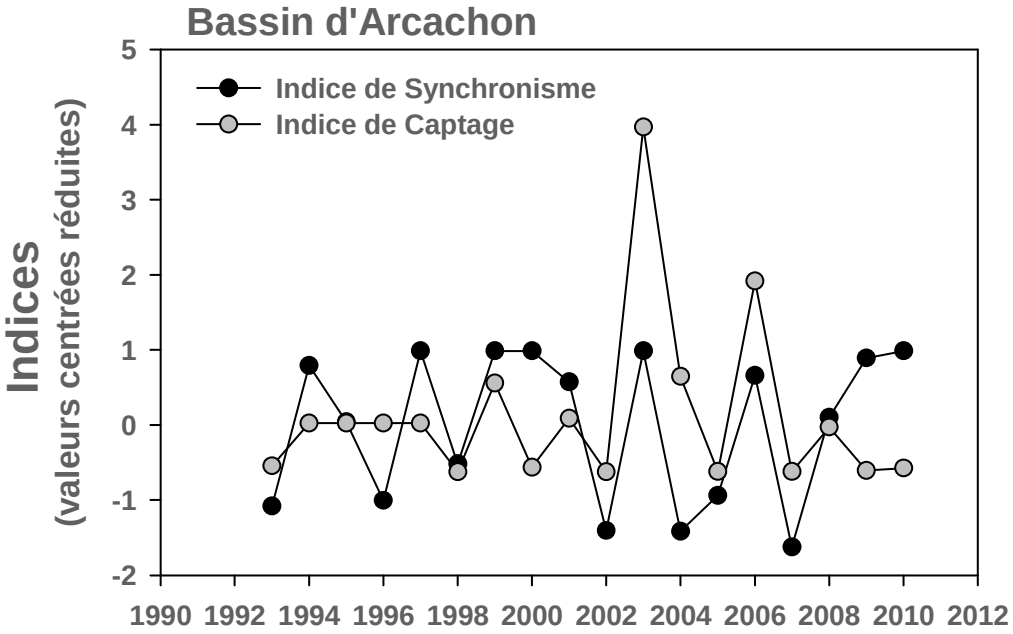


Figure 30 : Variabilité inter-annuelle de l'indice de captage et de l'indice de synchronisme (valeurs centrées et réduites) sur Arcachon.

3.3.4 Amplitude thermique et déclenchement des pontes

Nous avons montré que : (1) tous sites confondus, la date de ponte principale (précoce, tardive) est en partie déterminée par la température de l'eau au printemps, conformément aux résultats obtenus plus localement sur le Bassin d'Arcachon (Auby et Maurer, 2004) ; (2) le synchronisme des pontes entre bancs d'un même bassin est souvent à l'origine d'un bon captage. Il nous reste donc à déterminer les facteurs ultimes du déclenchement de la ponte pour mieux comprendre ce qui favorise le synchronisme.

Pour se faire, des expériences de valvométrie[9] ont été mises en œuvre en collaboration avec l'équipe GEMA de l'Unité Mixte de Recherche EPOC[10] et sont présentées en détail par Bernard *et al*. (2011). Ainsi, des valvomètres haute fréquence ont été mis en place tout au long de l'été, sur les 2 bassins Marennes Oléron et Arcachon de 2008 à 2010 (et d'anciennes données 2006-2007 ont été reprises). Ces valvomètres permettent sur un échantillon de 30 huîtres sentinelles de repérer précisément la ponte. Ainsi, de 2006 à 2010, les événements de ponte ont été repérés précisément sur le site d'Agnas à Marennes Oléron et sur le site d'Eyrac à Arcachon.

La Figure 31 replace, pour les 2 bassins, ces événements de ponte par rapport à la température moyenne de l'eau de mer (associés à sa distribution en fréquence tout au long de l'été) et son l'amplitude (associée là aussi à sa distribution en fréquence tout au long de l'été), toutes deux enregistrées le jour de la ponte. On constate que la plupart des événements de ponte se situent les jours présentant les écarts thermiques les plus forts (min-max = 3-4 degrés), alors que ces jours sont sous-représentés dans le diagramme en fréquence des amplitudes : ces forts écarts de température constituent donc des périodes propices à la ponte. En outre, ces périodes de ponte surviennent plutôt vers des températures de 22.5°C à Arcachon contre 20.5°C à Marennes en conformité avec le mode de distribution des températures estivales sur ces 2 sites, ce qui montre que la température absolue n'a pas d'effet particulier.

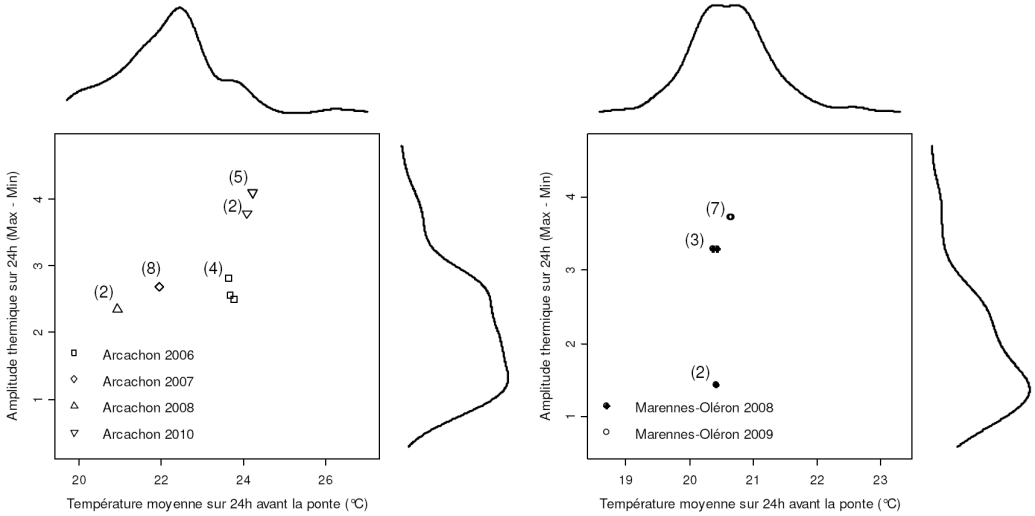


Figure 31 : Température moyenne et amplitude journalière de l'eau de mer et relation avec les jours de ponte, extrait de Bernard *et al*. (2011). Le chiffre indique le nombre d'huîtres ayant pondu et/ou dont le signal était utilisable.

[9] http://www.domino.u-bordeaux.fr/molluscan_eye
[10] http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq_gema1

Des résultats similaires sur l'effet des variations à court terme des températures de l'eau sur le déclenchement des pontes ont été montrés par Dutertre *et al*. (2009) pour le site de la Baie de Bourgneuf. La technique des chocs thermiques est aussi une méthode connue en écloserie pour déclencher les pontes chez cette espèce (*e.g.* Robert et Gérard, 1999).

Afin de généraliser les résultats de la Figure 31 sur le rôle clé de l'amplitude thermique comme déclencheur de ponte, une analyse sur les données d'abondance de larves disponibles sur le bassin d'Arcachon depuis 1982 a été menée (Bernard *et al*., 2011). Elle s'est intéressée à la distribution de fréquence des amplitudes thermiques des jours précédant l'apparition du pic de larves petites par rapport à la distribution de fréquence des amplitudes thermiques journalières de chaque été (distribution de référence). En cas d'effet de l'amplitude de la température de l'air sur la ponte, les deux distributions doivent présenter des profils différents, dans le cas contraire, les 2 distributions doivent être identiques. La Figure 32 montre le résultat de ces deux distributions : il apparaît clairement un décalage vers les hautes valeurs de la distribution des amplitudes de l'air, pour les jours de ponte, par rapport à la distribution de référence. Un mode apparaît pour des amplitudes journalières de l'air de l'ordre de 15°C.

Il apparaît donc que les périodes estivales chaudes (amplitude journalière de l'air et de l'eau les plus élevées) sont à l'origine d'une majorité d'événements de ponte. Cette configuration estivale « chaude » (amplitude journalière de l'eau 3-4°C, amplitude journalière de l'air 15°C) est vraisemblablement le facteur clé majeur dans le synchronisme des bancs d'huîtres d'un bassin. A l'inverse, des étés 'plutôt frais' risquent de se traduire par des pontes plus asynchrones.

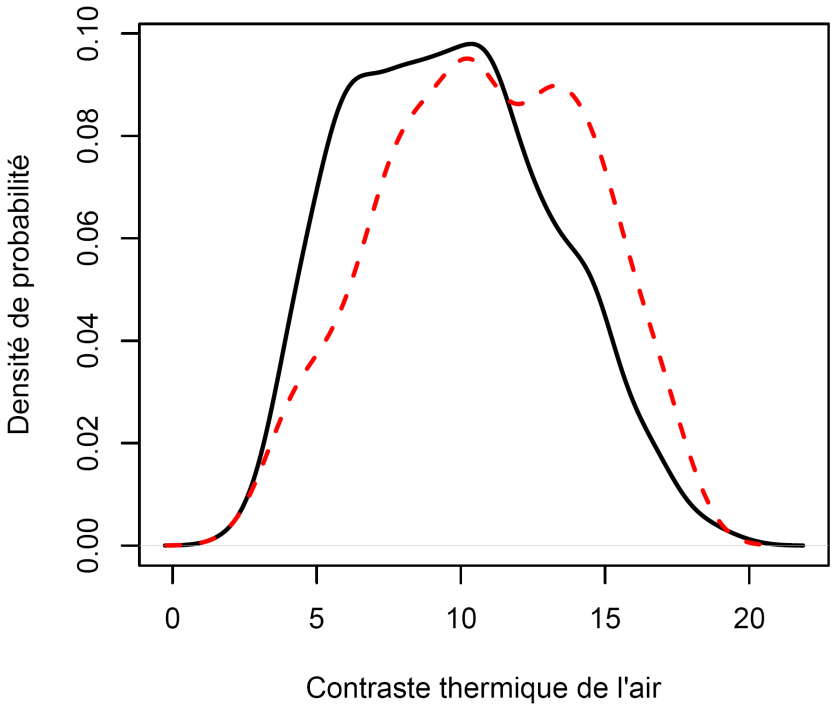


Figure 32 : Distribution de fréquence des amplitudes de température de l'air quelques jours (2-4 jours) avant l'observation des pics de larves observés chaque été (en rouge), à Arcachon, depuis les années 1982 par rapport à la distribution de fréquence des amplitudes de l'air observée tout au long de ces étés (en noir). Extrait de Bernard *et al*. (2011).

3.3.5 Température et développement 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 3 facteurs majeurs : la durée du développement (liée à la température de l'eau et aux conditions nutritives), les conditions hydrodynamiques (liées aux coefficients de marée et aux régimes de vent) et la prédation associée (ou non) à la compétition.

Auby et Maurer (2004) ont montré que ni la prédation, ni la compétition n'étaient en cause dans les variations d'abondance larvaire d'huîtres creuses à Arcachon. Nous n'avons donc pas retenu ce facteur comme prioritaire dans notre analyse. En revanche, nous avons voulu vérifier ici, sur l'ensemble des écosystèmes étudiés, l'effet, parfois conjoint, de deux facteurs physiques vraisemblablement clés : la température de l'eau au cours de la vie larvaire et la dispersion hydrodynamique liée notamment aux coefficients de marée au début du développement larvaire.

La Figure 33 illustre la relation entre l'effet de la température de l'eau sur la durée de l'évolution d'une cohorte larvaire entre le stade 'petites' et le stade 'grosses', tous sites confondus. Il en résulte que la durée d'évolution d'une cohorte est de plus de 18 jours en-dessous de 20°C contre moins de 10 jours au-delà de 23°C. Ces observations obtenues *in situ* sont confortées par les travaux de Rico Villa *et al*. (2009 et 2010), dont la Figure 34 est extraite.

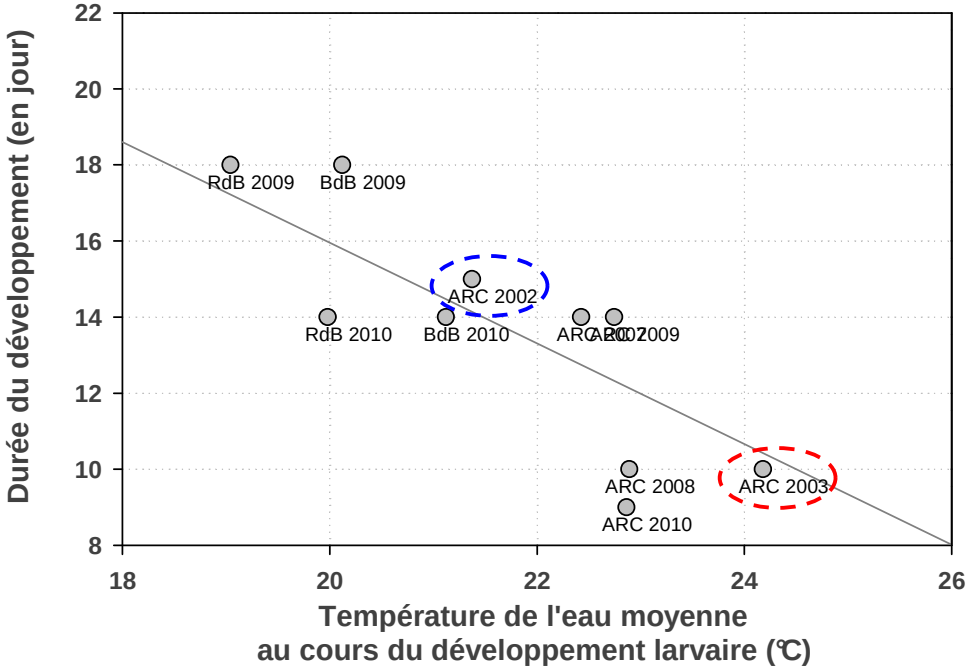


Figure 33 : Relation entre la durée du développement larvaire (entre le stade petite et le stade grosse) et la température de l'eau sur tous les sites et années Velyger pour lesquels des cohortes larvaires ont été repérées sans ambiguïté. Les années 2002 et 2003 d'Arcachon ont été ajoutées compte-tenu de leur caractère thermique exceptionnel (2002 : été particulièrement frais - 2003 : été caniculaire). La durée du développement larvaire est calculée comme la différence entre le pic de larves grosses et le pic de larves petites correspondant.

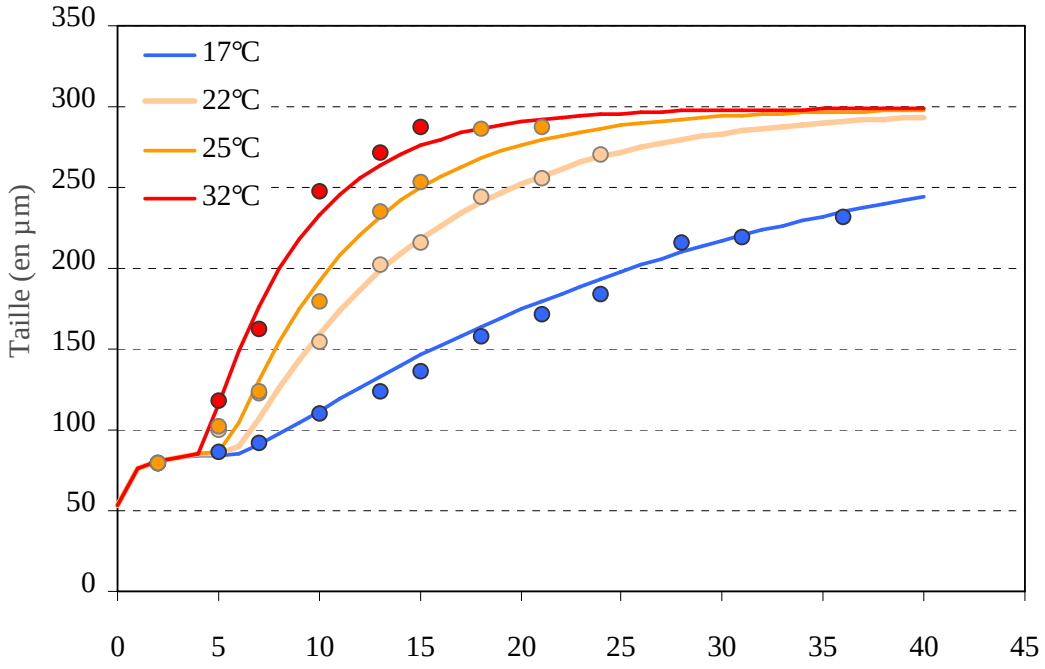


Figure 34 : Courbe de croissance de larves de *C. gigas* élevées, depuis la fécondation et jusqu'à la métamorphose, en condition contrôlée à différentes températures dans des conditions de nourriture *ad libitum* (d'après Rico-villa et al., 2009 et 2010). A 25°C, les larves grosses sont observées en moyenne au 14ème jour alors qu'en dessous de 20°C, il faut compter plus de 20 jours (plus de 30 jours à 17°C).

Dans le travail de Rico-villa *et al*. (2009), il convient de rappeler que l'effet de la température sur le développement larvaire est réalisé dans des conditions de nourriture *ad libitum*. Les auteurs montrent que, dans ces conditions optimales, à 25°C, les larves grosses sont observées en moyenne au 14ème jour, à 22°C elles sont observées en moyenne au 18ème jour et on peut extrapoler leurs résultats pour estimer qu'il faut plus de 24 jours pour les observer à 20°C. Pour information, à 17°C les larves sortent juste du stade évolué au 18ème jour ! L'ensemble de ces données obtenues en laboratoire est totalement conforme à nos données obtenues *in situ* présentées sur la Figure 33. Cette grande proximité des résultats, associée à la faible différence des durées de vie larvaire entre les écosystèmes (corrigées de l'effet thermique) suggèrent que les cohortes larvaires *in situ* rencontrent la plupart du temps des conditions nutritives non limitantes : la température est donc, tout écosystème confondu, l'un des facteurs clés de la durée de la vie larvaire. Ainsi, dans les écosystèmes Nord ou lors des étés frais dans les écosystèmes Sud, le développement larvaire est ralenti : la fixation aura lieu, au minimum, 24 jours après la fécondation à 20°C, alors qu'il ne faudra que 15 jours à 25°C.

Cette différence de temps de développement augmente la durée d'exposition au risque de dispersion hydrodynamique et engendre une réduction de l'abondance de larves grosses de façon très rapide. Pour démontrer l'ampleur de cet effet thermique sur l'abondance observée des larves, nous présentons ici le résultat de simulations théoriques mais réalistes (Figure 35). Cet exercice a utilisé l'équation présentée précédemment, modifiée pour calculer une concentration larvaire plutôt qu'une quantité : $C_t = 1/V \times G_0 \times w_0 \times e^{-z \times t}$

Avec :

- V, le volume moyen du « secteur » étudié

- G0, la quantité de géniteurs (femelles) du secteur
- w0, la quantité d'ovocytes émis lors de la ponte
- z, un facteur proportionnel à la dilution, la dispersion et la survie larvaire (supposé constant sur toute la durée de la vie larvaire)
- t, le temps de développement (nombre de jours écoulés depuis la fécondation)

Pour l'exercice théorique, V, G0, w0 et z ont été fixés de façon à obtenir deux concentrations initiales de larves réalistes : (1) de l'ordre de 1 millions larves petites/1,5 m^3 dans le cas d'une fécondité forte (*e.g.* Arcachon Est - année 2003) et (2) de l'ordre de 100 000 larves petites/1,5 m^3 dans le cas d'une fécondité faible (e.g. Arcachon Est – année 2007).

La Figure 35 montre l'évolution des concentrations pour ces 2 cas de figure et fournit une projection des concentrations de larves grosses en fonction de la température de l'eau selon 3 modalités (24°C, 22°C et 19°C) et d'après les vitesses de développement déduites des résultats précédents. On constate qu'une concentration initiale d'œufs permettant d'observer de l'ordre de 1 million/1,5 m^3 de larves petites (à J3-J4) se traduira par une abondance de larves grosses de l'ordre de 10 000 larves/1,5 m^3 si la température est de 24°C (à J14), par une abondance de larves grosses de l'ordre de 1 000 larves/1,5 m^3 si la température est de 22°C (à J19) et par une abondance inférieure à 100 larves grosses si la température n'est plus que de 19°C (J 26).

Dans les mêmes conditions hydrodynamiques, mais si la concentration de larves petites est réduite à ~ 100 000 larves/1,5 m^3 , il y aura moins de 1000 larves grosses/1,5 m^3 à 24°C (à J14), moins de 100 larves grosses/1,5 m^3 à 22°C (à J19) et moins de 10 larves grosses à 19°C (à J23).

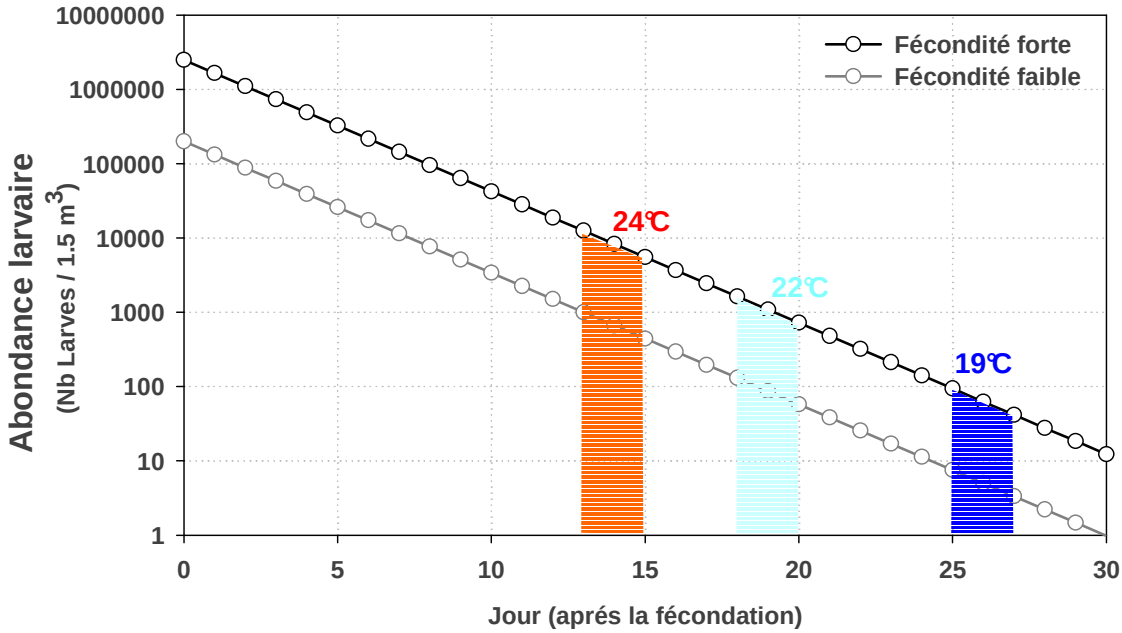


Figure 35 : Evolution des concentrations de larves en fonction la durée du développement larvaire (et donc de la température moyenne de l'eau) dans 2 cas théoriques : (1) fécondité forte permettant des pics de larves petites proches de 1 million/1,5m^3 ; (2) fécondité faible se traduisant par des concentrations de larves petites inférieures à 100 000 larves/1,5 m^3.

3.3.6 Coefficient de marée et dispersion des larves

Le paragraphe précédent a montré, de façon quantifiée, l'impact significatif de la température sur les concentrations larvaires, en faisant l'hypothèse de conditions hydrodynamiques constantes. Or, il est vraisemblable qu'il y ait un effet de dispersion liée à l'hydrodynamique selon le moment de la ponte en fonction des conditions des marées. Auby et Maurer (2004) ont déjà abordé cette question en s'intéressant à la moyenne des coefficients de marée pendant les 10 jours suivant le pic de larves "petites". Dans cette étude, nous nous sommes intéressé, pour les 4 écosystèmes, au moment d'apparition du pic de larves par rapport aux cycles de marée.

Dans le paragraphe 2.3.4.2, et notamment dans les figures 16 à 20, il est apparu que, d'une façon générale, tous écosystèmes confondus, les pics de larves petites apparaissant ou se développant en marée de forte vive-eau (> 80) présentaient des rendements généralement inférieurs à ceux apparaissant en marée de morte-eau ou de petite vive-eau (<80). La Figure 36 reprend l'ensemble des rendements larvaires, calculés pour chaque cohorte facilement repérable, de chaque secteur étudié par Velyger de 2008 à 2010 (soit 22 cohortes en tout). Il apparaît clairement un effet négatif du coefficient de marée observé en début de vie larvaire. En moyenne, le rendement est de 1,45 % si les larves se développent en mortes-eaux contre 0,39 % si elles se développent en fortes vives-eaux. Les valeurs extrêmes observés vont de 3,50 % en mortes-eaux à 0,01 % en fortes vives-eaux. Cela montre l'effet défavorable des très forts coefficients sur la dispersion des larves.

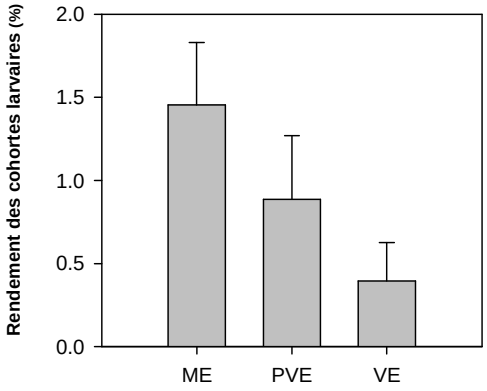


Figure 36 : Rendement larvaire moyen (100 x Nombre de grosses/Nombre de petites pour chaque cohorte identifiée clairement) en fonction du coefficient de marée <u>observé en début de développement larvaire</u> (ME : coefficient de mortes eaux ; PVE : coefficient de petite vive-eau, *i.e.* <80 ; VE : coefficient de vive-eau, *i.e.* > 80).

Pour vérifier cette relation sur un plus grand nombre de cohortes, il a été fait appel à la série historique de pêches de larves disponible pour le bassin d'Arcachon, en utilisant les données à partir de 2001(Figure 37). Ainsi, il apparaît que les cohortes dont le pic de larves petites se situe en fin de vives-eaux ou en mortes-eaux (cohortes n°1 et n°3 de 2001, n°1 de 2003, n°1 et n°3 de 2004, n°1 de 2006, n°1 et n°3 de 2008, n°1 de 2009) présentent toujours des rendements supérieurs aux cohortes dont le pic de larves petites se situent en fortes vives-eaux (cohortes n°2 de 2001, n°2 de 2002, n°2 de 2003, n° 2 de 2004, n°1 de 2005, n°1 de 2007, n°2 de 2008, n°2 de 2009).

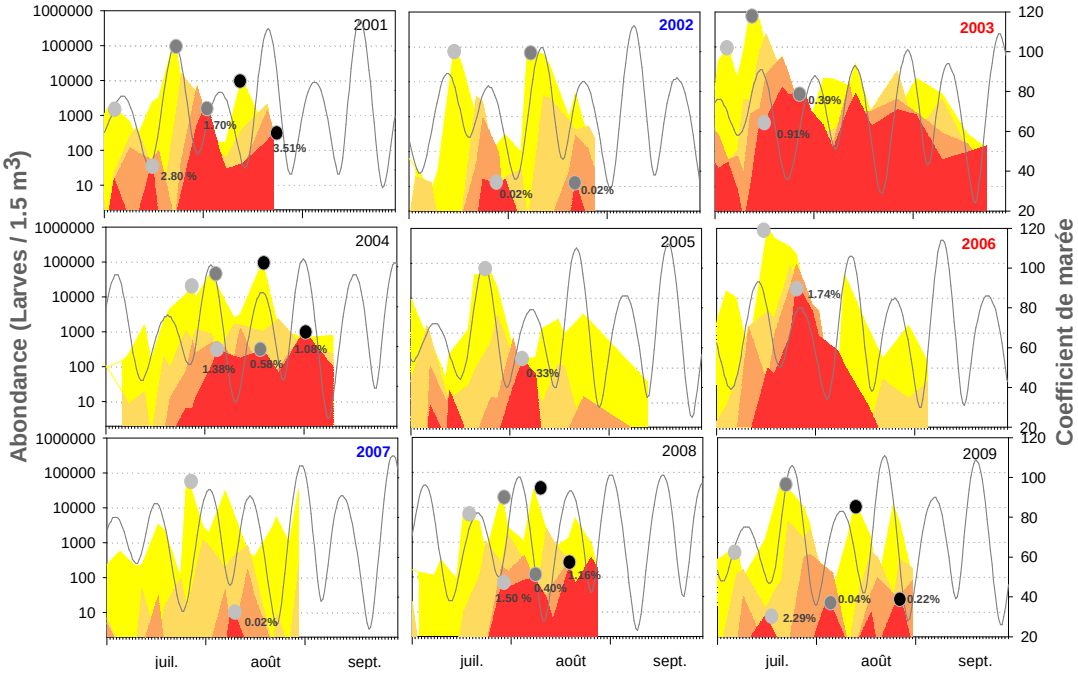


Figure 37 : Abondance larvaire, rendement des cohortes et coefficient de marée dans le secteur Est du Bassin d'Arcachon depuis 2001. La courbe grise reproduit les variations du coefficient de marée, les ronds de couleur indiquent les différentes cohortes repérables chaque année, le chiffre à côté fournit le rendement moyen de la cohorte considérée. Légende des couleurs : jaune = larves petites ; orange = larves évoluées ; rose = larves moyennes et rouge = larves grosses.

Il convient de noter que les faibles rendements observés lors des années 2002 et 2007 sont aussi dus à la température de l'eau plus faible ces années-là.

3.3.7 Phytoplancton et croissance larvaire

Les larves se nourrissent principalement de nanoplancton généralement inférieur à 10 µm. Il s'agit par exemple des genres et espèces suivants (Guillocheau, 1988, Auby et Maurer, 2004) : *Pyramimonas sp.*, *Chrysochromulina sp.*, *Cyclotella atomus*, ainsi que du groupe des Cryptophycées. Leur abondance (en biovolume), mesurée en cytométrie de flux, varie selon les sites et les années et semble fonction de la température. A titre d'exemple, sur le bassin d'Arcachon, les valeurs estivales d'abondance de nanoplancton sont comprises entre 200 $\mu m^3/\mu l$ et 1300 $\mu m^3/\mu l$ (Auby et Maurer, 2004).

Il n'a pas été possible, dans le cadre de la première phase du projet Velyger, de mettre en œuvre le suivi du nanoplancton par cytométrie sur les 4 bassins étudiés, mais une expérience préalable obtenue en condition contrôlée a permis de montrer l'effet de la concentration phytoplanctonique sur la croissance larvaire (Rico-villa et al., 2009). Les résultats de cette expérience sont présentés sur la Figure 38.

D'après cette expérience, la croissance (et donc la vitesse de développement) atteint son maximum pour une concentration en phytoplancton supérieure à 600 $\mu m^3.\mu l^{-1}$. En deçà de cette valeur, le phytoplancton peut donc constituer un facteur limitant pour la croissance larvaire. Bien que le nano-phytoplancton n'est pas été suivi dans le cadre de Velyger, cette expérience montre que les faibles concentrations de nano-phytoplancton

observées lors des étés 2000 et 2002 (valeurs inférieures à 300 µm³/µl, e.g. Auby et Maurer, 2004) peuvent être à l'origine d'un mauvais développement larvaire.

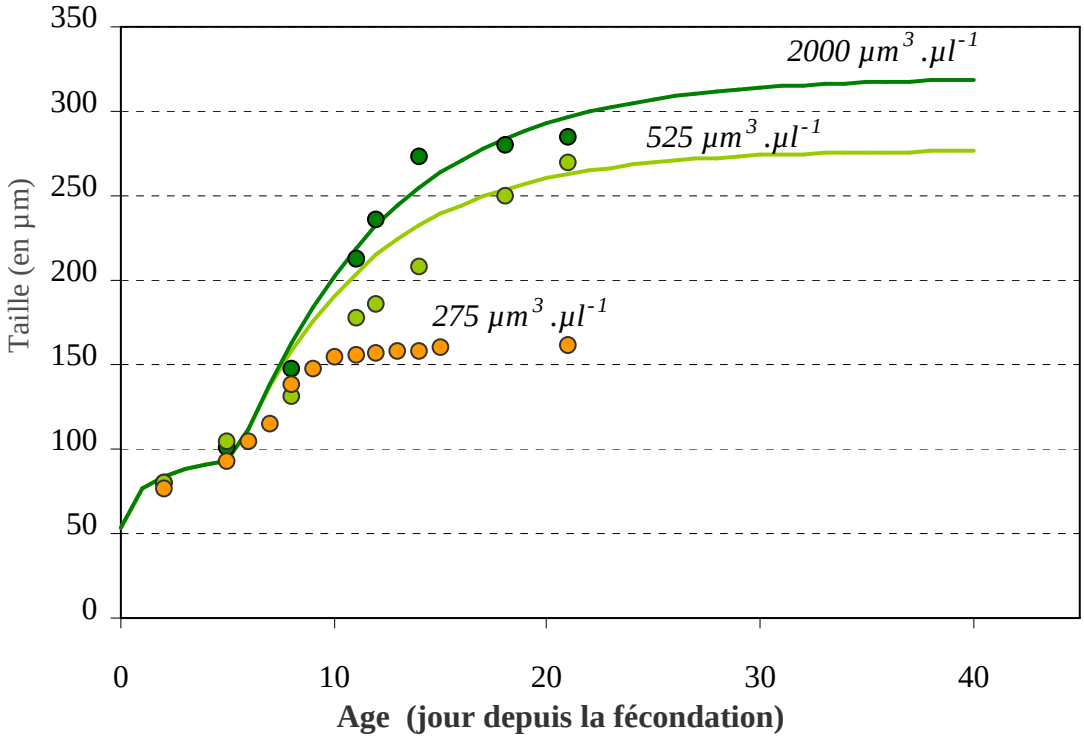


Figure 38 : Courbe de croissance de larves de *C. gigas* élevées en condition contrôlée à différentes concentrations de nano-phytoplancton (d'après Rico-villa et al., 2009 et 2010). En dessous de 500 µm³.µl⁻¹, la concentration en phytoplancton peut devenir un facteur limitant.

3.3.8 Abondance de larves grosses et intensité du captage

Pour terminer cette série de corrélation 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 obtenu à l'automne sur les collecteurs posés au cours de l'été.

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

La Figure 39 montre 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 estimé à l'automne sur ce même secteur.

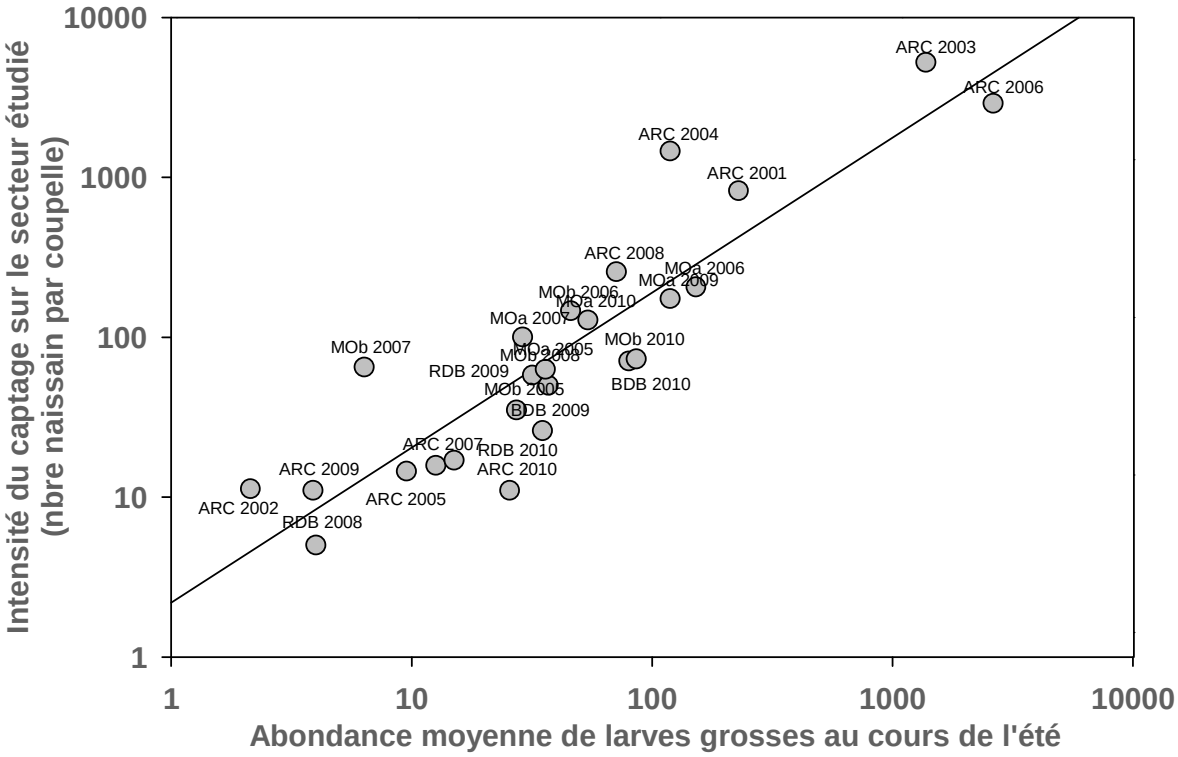


Figure 39 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été et l'intensité du captage estimé à l'automne (exprimé en équivalent coupelle). Afin de représenter au mieux l'échelle de variation, les échelles du graphique sont en logarithme (base 10). La relation (puissance) est la suivante : $Y = 1.70 X^{1.03}$ (R^2= 0.85). Légende : ARC = Arcachon, MOa = 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/1,5m^3 aboutit à un captage inférieur à 10 naissains par coupelle, qualifié de faible (à nul) ;
- une abondance moyenne entre 10 et 100 larves/1,5m^3 fournit un captage compris entre 10 à 100 naissains par coupelle, qualifié de moyen ;
- une abondance de larves grosses entre 100 et 1000 larves/1,5m^3 permet un captage compris entre 100 et 1000 naissains par coupelle, qualifié de bon à excellent ;
- une abondance moyenne de larves grosses au-dessus de 1000 larves/1,5m^3 apporte un captage sur-abondant, supérieur à 1000 naissains par coupelle, qualifié d'exceptionnel.

Il convient enfin de signaler 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, qui pourraient entraîner un mauvais recrutement malgré une forte abondance de larves grosses.

3.4 Synthèse générale

3.4.1 Vue d'ensemble

Il ressort de l'ensemble de cette analyse, et pour les secteurs à « recrutement autochtone », les résultats suivants :

(1) **La quantité de jeunes larves présentes dans l'eau dépend de l'effort de reproduction individuel des géniteurs du secteur et du synchronisme des pontes** : un fort synchronisme entre les bancs, associé à un effort de reproduction important, permettra d'atteindre des concentrations de larves petites supérieures à 1 million de larves/1,5 m^3 (*e.g.* baie de Bourgneuf 2009). A l'inverse, un faible synchronisme et/ou un faible effort de reproduction se traduit par des concentrations de larves petites inférieures à 100 000 larves/1,5 m^3 (*e.g.* Rade de Brest 2008, 2010, Arcachon 2008-2009) ;

(2) **L'effort de reproduction des géniteurs dépend de la quantité de phytoplancton** lors des 6 derniers mois précédant la ponte, **mais aussi de sa qualité**, la présence en abondance des genres *Chaetoceros* et *Skeletonema* étant très favorable (*e.g.* Rade de Brest).

(3) **Le synchronisme des pontes sur un secteur donné dépend du forçage thermique** lié aux conditions hydro-climatiques, les fortes amplitudes thermiques (air et eau) étant favorables à des pontes massives et synchrones (*e.g.* années à canicule 2003 et 2006 sur Arcachon). A l'inverse, les étés plutôt frais se traduisant par des pontes asynchrones et tardives (*e.g.* Rade de Brest 2008, 2010).

(4) Une fois les larves émises, **leur développement et leur abondance à chaque stade dépend directement de la température de l'eau et du coefficient de marée** :

- A partir d'une situation de référence à 20°C (aucune observation de cohorte aboutie en deçà d'une température moyenne de l'eau de 19°C au cours du développement larvaire) et dans un secteur donné, **chaque augmentation de 2°C de la température de l'eau de mer se traduit par un gain d'au moins un facteur 10 (un « log ») dans la concentration des larves au stade grosses.** Ainsi les cohortes pour lesquelles l'abondance initiale de larves 'petites' est faible (100 000 larves/1,5 m^3) et au cours desquelles la température est inférieure à 22°C ne fourniront jamais plus de 100 larves grosses/1,5 m^3 (*e.g.* Arcachon 2002, 2007 ; Rade de Brest 2008, 2010).

- Associée au facteur thermique, la dispersion liée à l'apparition des larves petites en période de vives-eaux constitue le deuxième facteur de risque : **un facteur 10 à 100 existe entre le rendement d'une cohorte dont le développement initial a eu lieu en période de mortes-eaux contre celle apparue en début de fortes vives-eaux (coefficients supérieurs à 80)**. C'est par exemple ce qui distingue clairement les années 2008 et 2009 à Arcachon.

(5) Enfin, **une relation très claire 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 renforce donc le caractère prédictif des résultats énoncés dans les points 1 à 4 dans l'explication de la variabilité du recrutement.

(6) Bien évidemment, ces conclusions générales sont à modérer pour **les secteurs à recrutement de type 'allochtone'** comme ceux du Bassin de Marennes Oléron (*e.g.* Bernard, 2011). Les modalités du recrutement sur ces secteurs sont discutées dans le paragraphe 3.4.3.4.

3.4.2 Schéma quantitatif

Cette synthèse générale peut se résumer sur le schéma ci-joint :

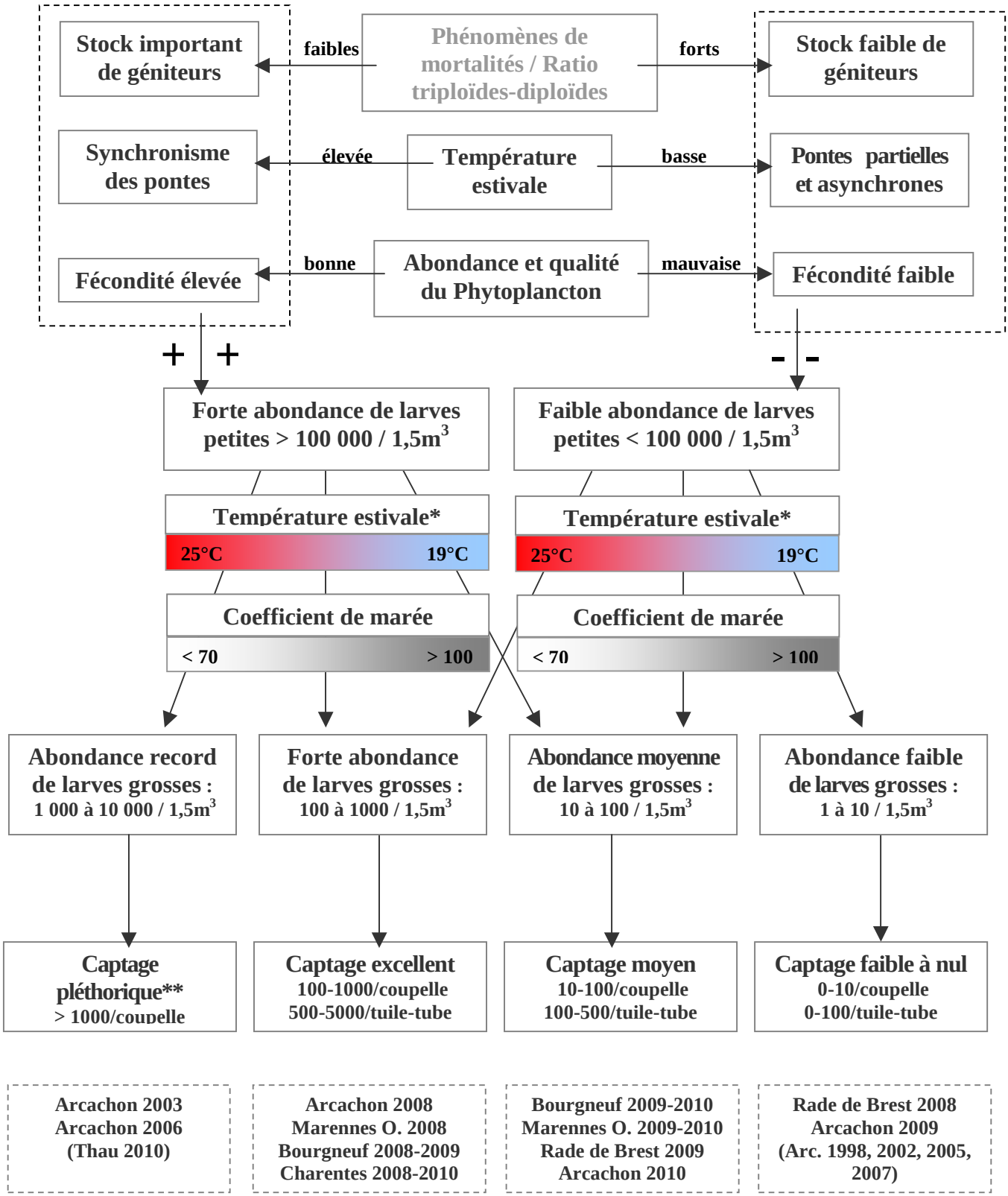


Figure 40 : Schéma récapitulatif et quantifié expliquant la variabilité du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises. Le cadre grisé indique que l'étude actuelle ne permet pas d'affirmer la relation, mais que l'hypothèse forte mérite d'être prise en compte. * La température estivale peut aussi agir indirectement sur la concentration en nanoplancton, nous rappelons ici qu'une concentration inférieure à 600 µm³/µl est défavorable à la croissance. **Rappelons ici qu'un captage pléthorique n'est pas forcément toujours favorable compte tenu de la très forte perte hivernale qu'il peut engendrer.

3.4.3 Bilan par secteur

Pour terminer cette analyse, cette partie se propose d'expliquer de façon synthétique, à la lumière des résultats des parties 'Observer' et 'Analyser', les performances de la reproduction de l'huître creuse par secteur et sur les 3 années du projet.

3.4.3.1 Pour la rade de Brest - secteur Daoulas

Ce secteur de captage, situé le plus au Nord en France, a souffert sur les 3 années 2008-2010 de conditions hydro-climatiques estivales défavorables (Tableau 2, Tableau 3, Figure 7) : température maximale de l'air en-dessous des normales, excédents pluviométriques, température de l'eau dépassant rarement 20°C (Figure 8).

Bien que les géniteurs présentent, dans ce secteur, les indices de conditions et les fécondités les plus élevés des sites Velyger (Figure 13, Figure 14), grâce à une richesse phytoplanctonique (Tableau 4, Figure 12) et une qualité nutritive particulièrement élevées (Figure 11, Figure 27), les pontes ont été, sur le secteur, souvent partielles, asynchrones et plutôt tardives surtout en 2008 et en 2010 (Figure 28).

Conformément au schéma de la Figure 37, ces caractéristiques se traduisent par des abondances de larves 'petites' plutôt faibles sur les 3 années (< 100 000 larves/1,5m^3, Tableau 6). Ces pics de larves petites n'évoluent pas systématiquement en cohorte jusqu'au stade grosse (Figure 16).

- Ainsi, en 2008, le premier pic apparaît en vive-eau et la cohorte avorte compte tenu des températures très faibles (18°C). La deuxième cohorte évolue, mais difficilement (rendement de 0.07%), compte tenu des températures toujours trop faibles : l'abondance moyenne de larves grosses sur l'été est inférieure à 10 larves/1,5m^3, **le captage 2008 est faible voire nul avec une valeur moyenne de 8 naissains par coupelle (**Tableau 7**) ;**

- Par contre, en 2009, si la première cohorte avorte compte tenu des températures trop basses, la deuxième cohorte, apparue en mortes-eaux et dans une eau proche de 19°C, évolue plus favorablement (rendement de 1.4%) : l'abondance moyenne de larves grosses sur l'été est de 37 larves/1,5m^3, permettant **un captage 2009 modéré avec une valeur moyenne de 50 naissains par coupelle (**Tableau 7**) ;**

- Enfin, en 2010, si le premier pic de larves apparu en forte vive-eau disparaît rapidement, le deuxième apparu en mortes-eaux permet l'établissement d'une cohorte qui évolue favorablement mais avec un rendement inférieur à 2009 (0.24%) : l'abondance moyenne de larves grosses sur l'été est donc plus faible qu'en 2009, mais reste supérieure à 2008 (15 larves/1,5m^3), **le captage 2010 sur ce secteur devrait être faible à modéré** (estimation mi-novembre 2010).

Le facteur limitant majoritaire 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, des captages dans la classe 'excellent'.

3.4.3.2 Pour la Baie de Bourgneuf - secteur Nord

Rappelons ici que la Baie de Bourgneuf n'a pas fait l'objet de suivis Velyger en 2008. Ce secteur de captage, situé à une latitude intermédiaire en France, a bénéficié en 2009 et en 2010 de conditions hydro-climatiques estivales plutôt favorables au moins une partie de l'été, *i.e.* juin et août 2009, juin et juillet 2010 (Tableau 2, Tableau 3, Figure 7) permettant à la température maximale de l'air d'être dans les normes et à celle de l'eau de dépasser 20°C pendant plusieurs semaines en août 2009 et juillet 2010 (Figure 8).

En ce qui concerne les géniteurs, ces 2 années se sont caractérisées par des indices de condition et des fécondités plutôt élevés (Figure 13, Figure 14), grâce à une richesse phytoplanctonique au-dessus des normes au printemps 2009 et 2010 (Tableau 4, Figure 12) et une qualité nutritive plutôt bonne, avec la présence systématique de fort bloom du genre *Skeletonema* sp. (Figure 11, Figure 27). En outre, les contrastes thermiques de début d'été (Figure 8) ont favorisé des pontes synchrones (particulièrement en 2009) et plutôt précoces pour ce site, *i.e.* toujours dans la première quinzaine de Juillet (Figure 28).

Conformément au schéma de la Figure 37, ces caractéristiques (effort de reproduction important, pontes plutôt synchrones) se traduisent par de fortes abondances de larves 'petites' (un pic supérieur à 1 million en 2009, 2 pics supérieurs à 100 000 larves/1,5m^3 en 2010, Tableau 6). Ces pics de larves petites évoluent plus ou moins favorablement jusqu'au stade grosse (Figure 17), à la seule exception du premier pic observé en 2010, qui avorte :

- Ainsi, en 2009, les deux pics de larves petites donnent naissance à des cohortes facilement repérables : la première cohorte évolue très favorablement avec un rendement de 1,35% (mortes-eaux et température de 21°C). La deuxième cohorte, issue du pic exceptionnel de larves petites, évolue plus difficilement (rendement de 0.02%) compte tenu de son apparition en pleine vive-eau et des températures plus fraîches, mais la très forte abondance initiale permet tout de même d'observer suffisamment de larves dans les stades avancés : l'abondance moyenne de larves grosses sur l'été est de 35 larves/1,5m^3 ce qui se traduit par un **captage 2009 modéré avec une valeur moyenne de 26 naissains par coupelle (**Tableau 7**)** ;
- En 2010, si le premier pic de larves apparu en forte vive-eau disparaît rapidement malgré une température de l'eau supérieure à 21°C, le deuxième apparu en morte-eau et dans une eau à température toujours supérieure à 21°C permet l'établissement d'une cohorte qui évolue favorablement avec un rendement de 0.70 % : l'abondance moyenne de larves grosses sur l'été est supérieure à celle 2009 (80 larves/1,5m^3), ce qui se traduit sur ce secteur par un **captage 2010 modéré mais meilleur qu'en 2009 avec une valeur moyenne de 71 naissains par coupelle (**Tableau 7**).**

Sur ce site à latitude intermédiaire, la température et/ou le positionnement de la ponte juste avant des fortes vives-eaux sont les seuls facteurs problématiques, tous les autres facteurs semblent non limitant. **En effet, ce secteur semble présenter de fortes abondances de larves petites, qui devraient chaque année permettre un captage modéré.** On peut même envisager que, lors d'étés particulièrement chauds, le captage soit excellent, **pour peu que les stocks de géniteurs soient préservés et les conditions phytoplanctoniques printanières soient favorables.**

3.4.3.3 Pour le Bassin d'Arcachon - secteurs Est et Ouest

Ce site de captage, situé le plus au Sud en France, a bénéficié, à l'exception de l'été 2008, de conditions hydro-climatiques estivales plutôt favorables (Tableau 2, Tableau 3, Figure 7) : température maximale de l'air supérieure aux normales, température de l'eau toujours au-dessus de 22°C sur une bonne partie de l'été et autour de 24°C en août 2008, août 2009 et juillet 2010 (Figure 8).

Par contre, il s'avère que la population sentinelle de géniteurs suivie pour ce site (implantée chaque année dans le secteur Est d'Arcachon) a présenté, chaque année, les indices de condition et les fécondités les plus faibles des sites Velyger (Tableau 5, Figure 13, Figure 14), surtout en 2008 et 2009. Ces faibles valeurs peuvent s'expliquer, en partie, par la faible richesse phytoplanctonique des dernières années (Tableau 4, Figure 12). A noter que des éléments semblent cependant indiquer un retour à des conditions plus normales pour l'année 2010 (indice de condition légèrement plus élevé, abondance phytoplanctonique tout juste dans les normes). En outre, les pontes sur ce bassin, normalement les plus précoces de la façade atlantique, ont été légèrement plus tardives que ne laissaient prévoir les températures en 2008 et 2009 ne survenant pas avant la deuxième quinzaine de juillet. L'année 2010 présente une ponte synchrone qui se situe début juillet, en conformité avec les températures de la fin du printemps (Figure 28) et en relation avec les fortes chaleurs de début juillet (température de l'eau proche de 25°C).

Conformément au schéma de la Figure 37, ces caractéristiques se traduisent par des abondances de larves 'petites' plutôt faibles en 2008 et 2009 (< 100 000 larves/1,5m^3) et un peu meilleures en 2010 avec plus de 300 000 larves/1,5 m^3 (Tableau 6) probablement liées à plus de synchronisme entre les bancs de géniteurs favorisé par le régime thermique forçant de début juillet 2010. Notons cependant que ces pics de larves restent, pour le Bassin d'Arcachon, inférieurs à la moyenne des 20 dernières années. En règle générale, ces pics de petites larves évoluent plus ou moins favorablement et permettent d'observer trois cohortes par été, dont le rendement est néanmoins variable (Figure 20) :

- Ainsi, en 2008, chaque pic apparaît soit en morte-eau, soit en petite vive-eau et par conséquent les rendements sont plutôt élevés, respectivement de 1,50%, 0,40% et 1,16%. Il en résulte des abondances moyennes de larves grosses autour de 71 larves/1,5m^3 **et le captage 2008 est excellent avec une valeur moyenne de 256 naissains par coupelle et 2751 par tuile (**Tableau 7**).** Ces valeurs sont même plus élevées que ne le laissait entrevoir l'abondance moyenne de larves grosses, probablement en raison du caractère tardif de la présence de ces larves jusqu'en septembre et donc non comptabilisées dans les observations qui s'arrêtent fin août sur ce site;

- Par contre, en 2009, la situation est beaucoup plus contrastée : si la première cohorte (faible numériquement) présente un rendement élevé (2.20 %) compte tenu de son apparition en période de morte-eau, la deuxième cohorte (la plus importante) évolue très défavorablement (rendement 0,04%) en raison de son apparition en pleine vive-eau. La dernière cohorte, trop faible numériquement, ne sauve pas la situation : l'abondance moyenne de larves grosses sur l'été est de

4 larves/1,5m^3, ce qui se traduit par **un captage 2009 faible avec une valeur moyenne de 11 naissains par coupelle et 129 par tuile (**Tableau 7**);**

- Enfin, en 2010, la situation est intermédiaire par rapport à 2008 et 2009 : le premier pic de larves petites (le plus élevé) apparaît en pleine vive-eau, et par conséquent son rendement est faible (0,06%), le deuxième pic (d'ampleur faible) évolue en période de mortes-eaux et son rendement est meilleur (0,33 %), le dernier pic (d'ampleur faible) apparaît, à nouveau, en pleine vive-eau et son rendement est à nouveau faible (0,06%). Il en résulte une abondance moyenne de larves grosses sur l'été de 26 larves/1,5m^3 plus élevée qu'en 2009, mais plus faible qu'en 2008. **Le captage 2010, intermédiaire entre ces 2 années, est donc moyen à faible** avec tout juste 11 naissains par coupelle et 271 par tuile (Tableau 7).

Il apparaît que le facteur limitant, pour ce bassin, réside actuellement dans la quantité de petites larves : elle semble faible ces dernières années, surtout en 2008 et 2009, mais aurait aussi dû être plus élevée en 2010, compte tenu du bon synchronisme dans les pontes. Cette faible quantité trouve en partie une explication dans une fécondité restreinte des géniteurs (par rapport aux autres sites Velyger), liée en partie à des abondances phytoplanctoniques plus faibles (c'est particulièrement le cas en 2008 et 2009). On peut aussi envisager, pour compléter l'explication, une réduction du nombre total de géniteurs : des informations sur les stocks sauvages et en élevage (ratio de triploïdie) permettrait de statuer en comparant la situation actuelle aux dernières estimations faites dans les années 90.

3.4.3.4 Pour le Bassin de Marennes Oléron

Ce bassin a bénéficié en 2009 et en 2010 de conditions hydro-climatiques estivales plutôt favorables au moins une partie de l'été, *i.e.* juin et août 2009, juin et juillet 2010 (Tableau 2, Tableau 3, Figure 7) permettant à la température maximale de l'air d'être dans les normes et à celles de l'eau de dépasser 21°C pendant plusieurs semaines en Août 2009 et Juillet 2010 (Figure 8). Par contre, l'été 2008 a été plus frais avec une température de l'eau, très faible au début juillet, juste au-dessus de 20°C par la suite et s'élevant ensuite fin août-début septembre.

En ce qui concerne les géniteurs, ces 3 années se sont caractérisées par un indice de condition et une fécondité plutôt élevés en 2008, dans les normes en 2009 et un peu plus faibles en 2010 (Figure 13, Figure 14), grâce notamment à une abondance phytoplanctonique au-dessus des normes au printemps 2008 et dans les normes pour les autres années (Tableau 4, Figure 12) associée à une qualité nutritive plutôt bonne, avec la présence systématique de bloom du genre *Skeletonema* sp. (Figure 11, Figure 27). La ponte majeure a eu lieu un peu tardivement en 2008, mais de façon assez synchrone sur le bassin, vers la fin juillet-début août. Elle est survenue un peu avant fin juillet en 2009 et à la mi-juillet en 2010 (Figure 28).

Conformément au schéma de la Figure 37, les caractéristiques (effort de reproduction assez important, pontes plutôt synchrones) se traduisent par une abondance modérée à forte de larves 'petites' : un pic supérieur à 100 000 larves/1,5m^3 en 2008 et des pics plus faibles en 2009 et 2010, mais toujours au-dessus de la moyenne décennale de ce

bassin (Tableau 6). Ensuite, selon les secteurs et les années, ces pics de larves évoluent plus ou moins favorablement jusqu'au stade grosse, mais l'identification de cohortes, plus délicates à réaliser sur ce bassin, réduit le niveau d'interprétation (Figure 18, Figure 19):

- Pour le secteur Charente, il ressort que, pour toutes les cohortes observées, qu'elles soient en mortes-eaux ou en vives-eaux, le rendement est toujours plutôt élevé, compris entre 0.27% et 1.20%, témoignant d'un temps de résidence plutôt long sur ce secteur et moins soumis, par rapport aux autres secteurs du bassin, à des effets de chasse (Toulhoat, 2008 ; Bernard *et al.*, 2010, Figure 38) lors des fortes vives-eaux. Par conséquent, les abondances de larves grosses dépendent plus directement de l'abondance initiale de larves petites (et de la température de l'eau). Il faut aussi rajouter, à ce secteur, une caractéristique supplémentaire : l'arrivée d'un pic de larves grosses en deuxième partie d'été qui ne peut pas être relié à un pic antérieur de larves petites, *e.g.* fin août 2008 et fin août 2009 (Figure 18). Pour ces raisons, on parle d'un secteur à recrutement de type allochtone (voir aussi Bernard, 2011). **Ces caractéristiques font que, compte tenu (1) d'une forte abondance de larves petites, (2) d'un rendement élevé et (3) d'un apport allochtone probablement jusqu'en septembre, le captage 2008 sur ce secteur est excellent avec 920 naissains par coupelle (3779 par tube).** En 2009 et 2010, les abondances de larves petites sont plus modérées, mais associées aux apports allochtones, les abondances moyennes de larves grosses sont respectivement de 118 larves/1,5 m^3 en 2009 et 39 larves/1,5 m^3 en 2010 : le captage est donc modéré avec 174 naissains par coupelle (543 par tube) en 2009 et 128 naissains par coupelle en 2010 ().
- Le secteur Centre se comporte de la même manière que le secteur Charente, mais avec des concentrations en larves grosses toujours inférieures, témoignant probablement d'un hydrodynamisme moins favorable (Bernard *et al.*, 2010, figure 38). Il convient là aussi de noter, à la fin de chaque été, la présence de larves grosses vraisemblablement d'origine allochtone, comme le secteur Charente, mais en moins grande proportion. Ainsi, le captage en 2008 est là aussi excellent avec 710 naissains par coupelle (2970 par tube) lié notamment aux apports allochtones de fin d'été. En 2009 et 2010, les abondances moyennes de larves grosses sont respectivement de 32 larves/1,5 m^3 et 86 larves/1,5 m^3: le captage est modéré en 2009 avec 58 naissains par coupelle (281 par tube) et un peu plus élevé en 2010 avec 73 naissains par coupelle.

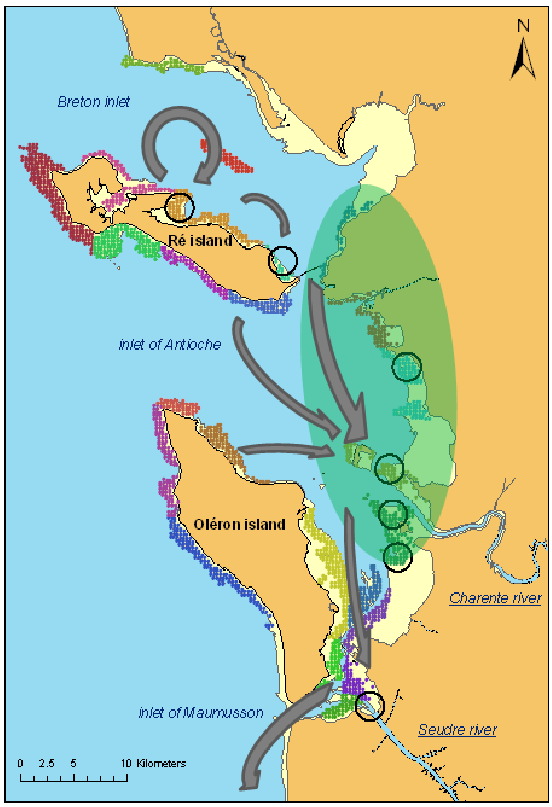


Figure 41 : Contribution des bancs de géniteurs aux différentes zones de captage dans le Bassin de Marennes-oléron (extrait de Bernard *et al.*, 2010)

- 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 (Figure 19). Ce secteur donne l'impression d'exporter ces jeunes larves et de recevoir des larves plus âgées provenant d'autres secteurs conformément à la proposition de fonctionnement hydrodynamique proposée par Bernard *et al*. (2010) et résumée sur la figure 38. 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 reste excellent en 2008 avec 276 naissains par coupelle, il est modéré en 2009 avec 40 naissains par coupelle et un peu meilleur en 2010, avec une valeur de 105 naissains par coupelle.

Enfin, pour terminer l'interprétation de la variabilité du captage sur le Bassin de Marennes Oléron et apporter un élément de simplification dans la compréhension des modalités du recrutement sur ce bassin, nous souhaitons attirer l'attention sur la Figure 42 qui montre des éléments de corrélations assez forts entre les 3 secteurs.

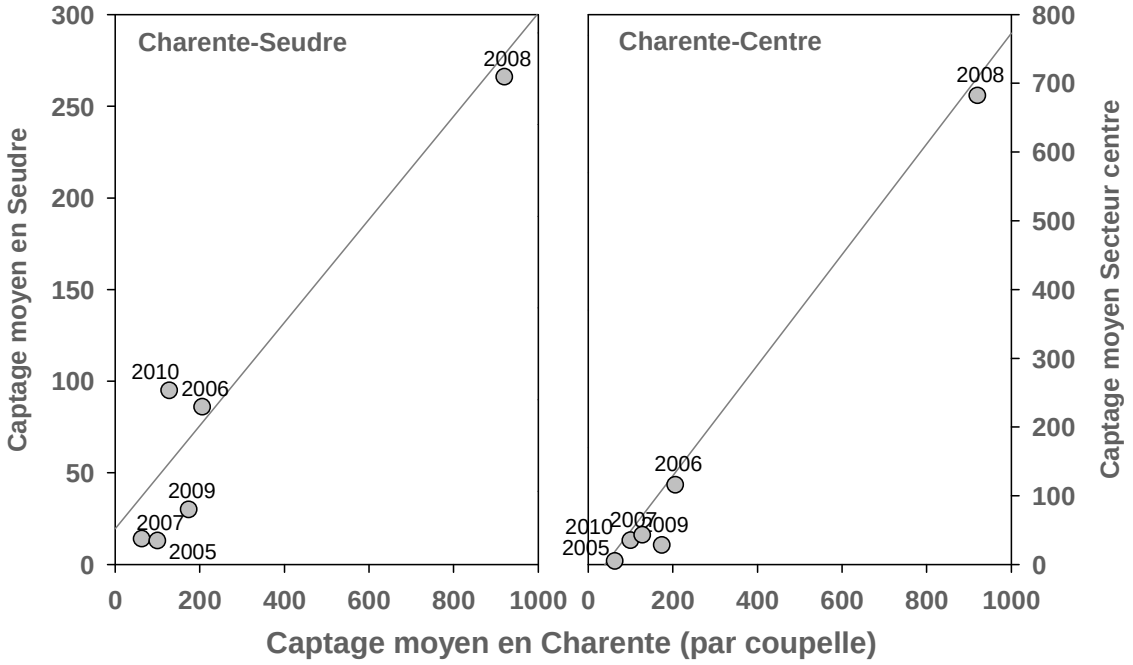


Figure 42 : Relation entre les intensités de captage de chacun des 3 secteurs du Bassin de Marennes Oléron. En termes de variabilité inter-annuelle, les 3 secteurs se comportent de façon similaire, seule la valeur absolue varie entre secteurs. ©Données Creaa 2005-2009

Sur ce site, les dernières années ont été plutôt favorables en termes de captage, **et ce notamment pour le secteur Charente, probablement en raison d'abondances relativement élevées de larves petites, liées à des efforts de reproduction importants.** En outre, des apports allochtones provenant de secteurs situés plus au nord semblent jouer un rôle important : la préservation de ces stocks de géniteurs 'source' est une garantie d'avenir. **Le facteur limitant pour ce site réside effectivement soit dans l'abondance des stocks, soit dans leur effort de reproduction.**

4 Troisième partie : « Informer »

L'action 'Informer' a toujours constitué la pierre angulaire du projet Velyger en visant à fournir le maximum d'informations aux professionnels, pour chaque secteur impliqué et *via* un site Internet (Figure 43). Tourné vers l'opérationnel, ce projet a donc créé, dès la première année, un site Internet délivrant en 'temps réel' les résultats de l'observatoire-réseau, tout au long de la saison, ainsi que des bulletins annuels d'information, un peu plus analytiques, en fin de saison. Ces différents 'produits' avaient pour vocation de permettre à la profession ostréicole de mieux 'Gérer' la variabilité du recrutement de cette espèce et d'optimiser, à terme, leur activité de captage face aux contraintes environnementales.

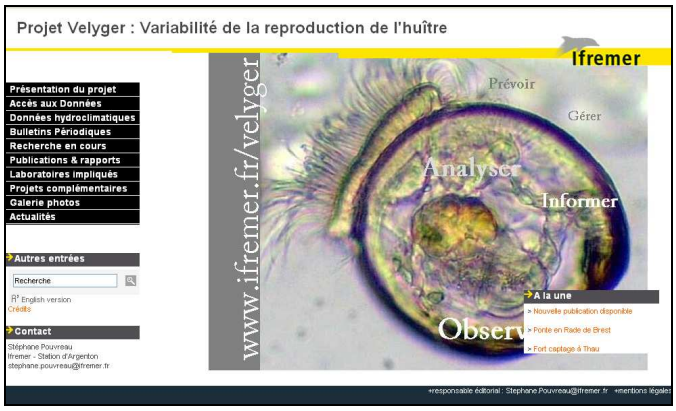


Figure 43 : Page d'accueil du site Internet Velyger (Adresse : http://www.ifremer.fr/velyger/). A partir de janvier 2011, une page d'accueil plus dynamique sera mise en œuvre.

Nous présentons ici de façon succincte l'organisation du site Internet Velyger dans la version 2008-2010, mais conseillons au lecteur de se reporter à l'adresse ci dessous, compte tenu de l'évolution du site à compter du début de l'année 2011 :

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

Outre les pages d'information concernant la présentation du projet, les laboratoires impliqués et le lien vers les projets complémentaires, le site Internet est constitué par 2 domaines clés : (1) un domaine « Observatoire » et (2) un domaine « Connaissance ».

Le domaine 'Observatoire' permet de consulter, par site atelier et chaque année (pendant l'été), le déroulement du cycle de reproduction en cours, en fournissant l'évolution des indicateurs suivants :

- Dynamique de croissance et de maturation d'une population « sentinelle » d'huîtres
- Abondance et développement des larves (2 fois par semaine en juillet et août)
- Intensité du recrutement à l'automne par échantillonnage chez les professionnels
- Situation hydro-climatique en cours, notamment température de l'eau et aussi des informations plus générales *via* un accès aux sites de Previmer et de Météo-France.

Il faut noter que pour les Sections Régionales Conchylicoles de Marennes et d'Arcachon, ce domaine 'Observatoire' est venu compléter, de façon différente, le travail de publications de bulletins larvaires émis régulièrement depuis maintenant plusieurs années par le Creaa et le Laboratoire Ifremer Environnement Ressource d'Arcachon. Pour les autres sections, ces informations ont été totalement nouvelles.

Techniquement, ce domaine observatoire est constitué par 3 onglets :

- Accès aux données
- Données Hydro-climatiques
- Bulletins Périodiques

L'onglet « Accès aux données » constitue le cœur du système d'observation en permettant à l'utilisateur, de consulter tout au long de l'été et en temps quasi-réel, à partir d'un accès par bassin (Figure 44), les abondances de larves, leur évolution ainsi que les températures de l'eau pour chaque site de pêche de larves. L'utilisateur peut aussi obtenir des informations moyennées par secteur, de manière à avoir une vision plus synthétique du cycle de reproduction en cours (Figure 45). Il peut aussi comparer ces données avec les valeurs des années précédentes, ce qui lui permet là aussi de se faire une interprétation personnelle des événements.

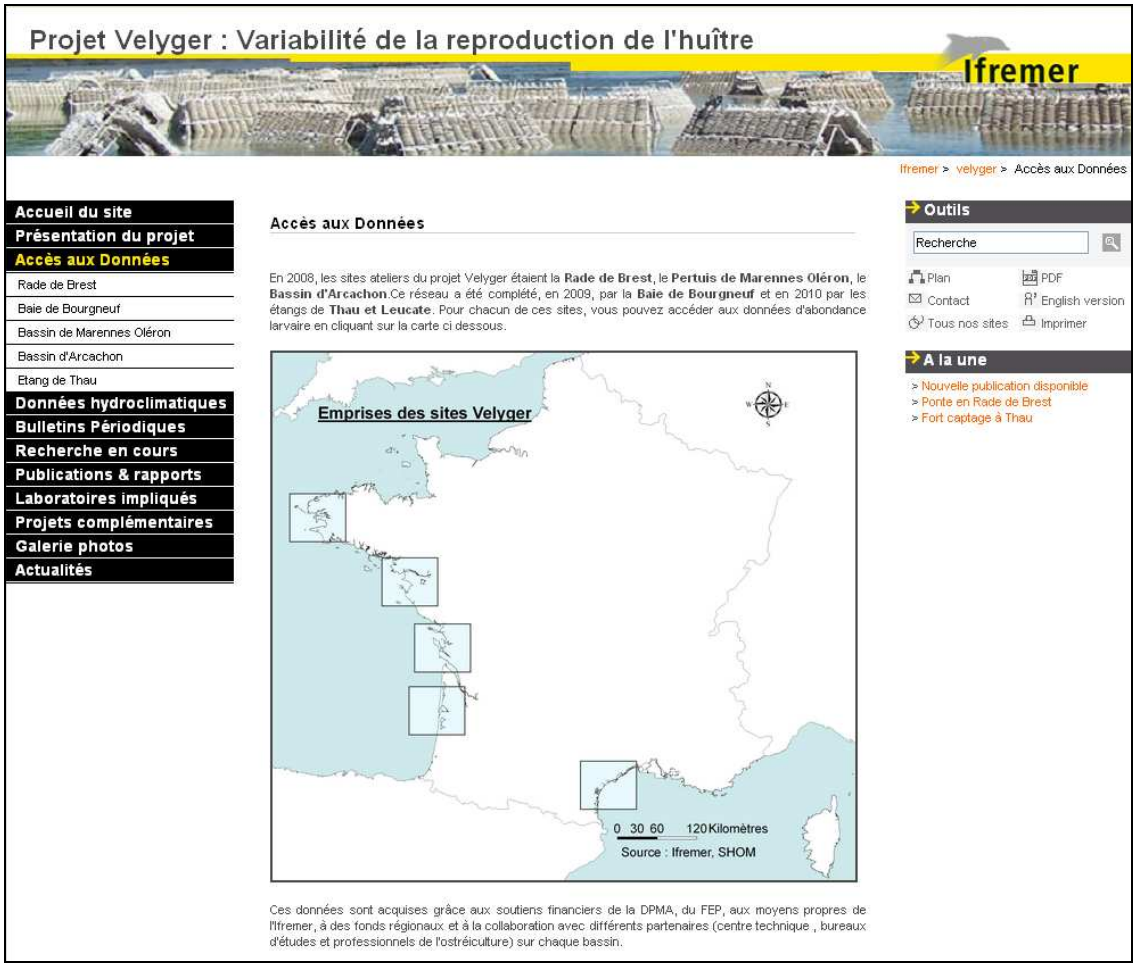


Figure 44 : Page d'accès aux données issues des pêches de larves, organisée par bassin.

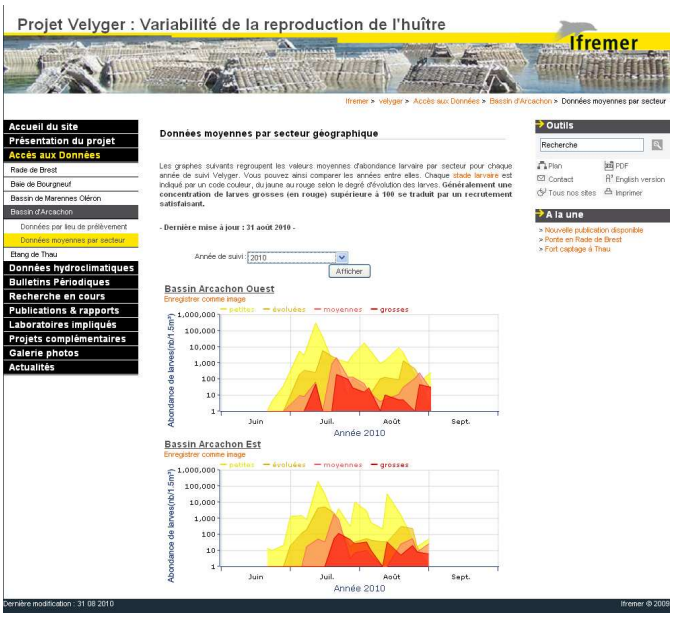


Figure 45 : Exemple d'une page dynamique (ici, Arcachon en 2010) permettant de consulter les données d'abondance de larves (moyennes par secteur). L'utilisateur peut rapidement changer d'année d'observation ce qui lui permet d'établir des comparaisons.

Pour les 2 premières années du projet (2008 et 2009), ces pages dynamiques n'étaient pas encore opérationnelles. L'accès aux données se faisait sous forme de bulletins hebdomadaires (format pdf) disponibles et téléchargeables, pour chaque site *via* un tableau général dans l'onglet « Bulletins Périodiques » (Figure 46).

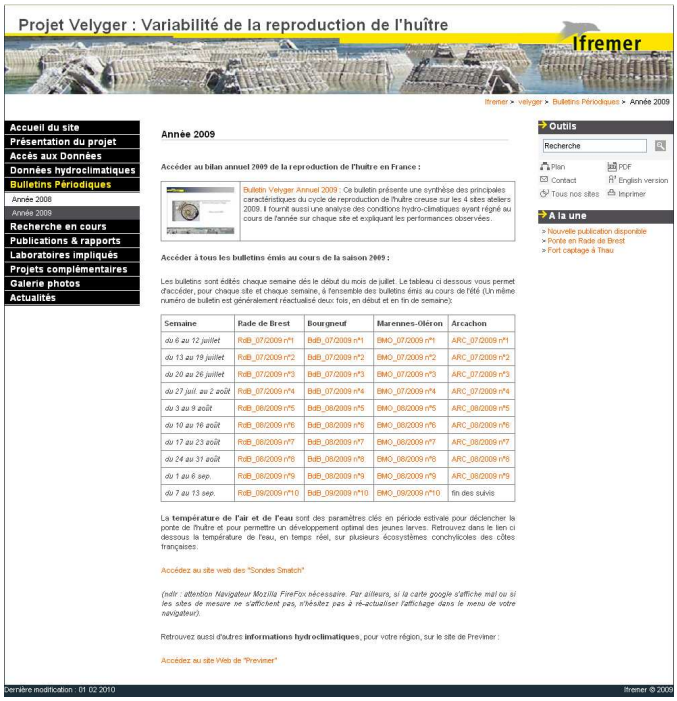


Figure 46 : Page d'accès aux bulletins périodiques fonctionnelle en 2008 et 2009. L''onglet « accès aux données » a ensuite pris le relais en 2010.

Le domaine 'Connaissance' consiste en une médiathèque centralisant différents documents sur la reproduction de l'huître creuse : il vise un public tout horizon en proposant sous forme de rapports et/ou de pages didactiques des travaux sur la biologie de la reproduction de l'huître creuse et son déterminisme (Figure 47). Ce domaine proposera aussi un bilan vulgarisé, au cours de l'hiver 2010-2011, de l'ensemble des connaissances scientifiques acquises au cours du projet.

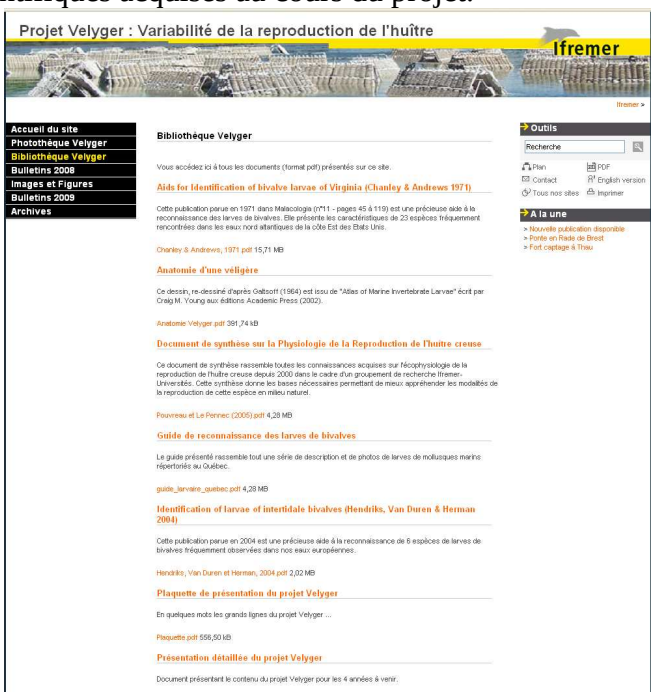
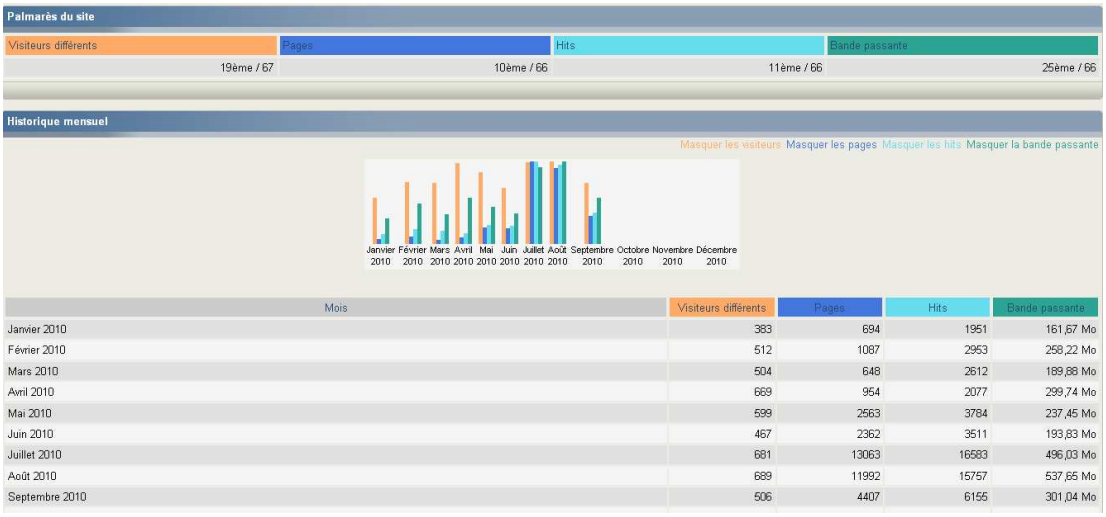


Figure 47 : Page d'accès à la bibliothèque de Velyger centralisant différents documents sur la biologie de la reproduction de l'huître creuse.

En 2010, en plein cœur de la saison de reproduction, le site Internet de Velyger a été consulté par plus de 680 utilisateurs différents par mois avec plus de 13 000 pages consultées par mois (Figure 48): il nous semble donc que le site répond à un besoin et que vraisemblablement un outil technologique nouveau est né pour l'ostréiculture. Cet outil doit désormais rentrer dans une phase d'optimisation et de pérennisation et pourrait constituer l'un des outils utiles à la sortie de crise.



Mois	Visiteurs différents	Pages	Hits	Bande passante
Janvier 2010	383	694	1951	161,67 Mo
Février 2010	512	1087	2953	258,22 Mo
Mars 2010	504	648	2612	189,88 Mo
Avril 2010	669	954	2077	299,74 Mo
Mai 2010	599	2563	3784	237,45 Mo
Juin 2010	467	2362	3511	193,83 Mo
Juillet 2010	681	13063	16583	496,03 Mo
Août 2010	689	11992	15757	537,65 Mo
Septembre 2010	506	4407	6155	301,04 Mo

Figure 48 : Statistiques de consultation du site Internet Velyger au cours de l'année 2010.

5 Conclusion, perspectives et recommandations

En termes de bilan, le projet Velyger a permis de mettre en place : (1) un réseau national d'observation de la reproduction (et des perspectives d'amélioration), (2) une stratégie d'analyse spatio-temporelle des données à dimension nationale et (3) un outil d'information temps réel destiné à la profession, aux administrations et aux scientifiques.

Cet ensemble peut constituer sans nul doute un outil de développement durable pour l'ostréiculture, particulièrement utile dans le contexte actuel de la crise ostréicole et dans le contexte, à plus long terme, du changement climatique.

La poursuite du réseau d'observation (et son amélioration progressive) peut réellement constituer une aide technique aux ostréiculteurs désireux de maintenir une activité traditionnelle de captage significative et rentable.

En outre, ce réseau permet aussi de suivre l'état de santé général des stocks d'huîtres dans chaque écosystème et les éventuelles évolutions qu'il pourrait y avoir dans les années à venir, liées aux opérations de repeuplement dirigé et de mise en place d'une éventuelle résistance naturelle.

Ainsi, le projet Velyger et son évolution à venir constitue un élément de soutien à l'activité traditionnelle de captage de la filière ostréicole.

La partie « analyser » du projet a réellement permis de définir une typologie détaillée du captage en fonction des années et des secteurs étudiés. Il ressort les éléments suivants :

(1) La quantité de jeunes larves observées au cours de l'été dépend du stock de géniteurs (sauvages ou diploïdes cultivés), de l'effort de reproduction individuel des géniteurs du secteur (fécondité) et du synchronisme des pontes entre les différents bancs. Selon les conditions, la concentration en larves petites varie entre 10 000 et plus d'un million de larves/1,5 m^3 .

(2) L'effort de reproduction des géniteurs dépend de la quantité et de la qualité phytoplanctonique du printemps alors que le synchronisme des pontes est plutôt lié aux forçages thermiques de l'été.

(3) Une fois les larves émises, leur développement et leur abondance à chaque stade dépendent de deux facteurs clés : la température de l'eau et le coefficient de marée :
- **Chaque augmentation de 2°C de la température de l'eau de mer se traduit par un gain d'au moins un facteur 10 dans la concentration des larves au stade 'grosses'.**
- **Un facteur 10 à 100 existe entre le rendement d'une cohorte dont le développement initial a eu lieu en période de mortes-eaux contre celle apparue en début de fortes vives-eaux (coefficients supérieurs à 80).**

(4) Enfin, une relation très claire de proportionnalité directe existe entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été sur un secteur et le captage observé à l'automne sur ce même secteur.

Ces 4 points expliquent à eux seuls la variabilité du recrutement sur les différents secteurs, observée depuis 2008 dans le cadre du projet. Il convient juste de préciser que certains secteurs, à l'hydrodynamique plus complexe, peuvent présenter des comportements particuliers leur permettant de recueillir des larves venues de l'extérieur (secteur à recrutement allochtone). Cette caractéristique leur assure une variabilité inter-annuelle de recrutement moins élevée.

Il ressort aussi de notre analyse des recommandations potentielles 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 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 et le maintien de conditions phytoplanctoniques favorables devraient permettre d'assurer un captage modéré.** A noter que ce captage peut être faible lors d'étés maussades et être excellent lors d'étés chauds. **La pose des collecteurs sur les sites à plus fort temps de résidence des masses d'eau doit aussi permettre d'augmenter le captage.**

(3) **Pour le secteur « Charente » de Marennes-Oléron, il apparaît que le recrutement y est peu variable ces dernières années, souvent modéré à excellent.** Ce secteur à recrutement allochtone a probablement profité des conditions phytoplanctoniques favorables des dernières années sur le bassin**. Par contre, les faibles performances enregistrées en Seudre sont vraisemblablement à rechercher dans une réduction des stocks de géniteurs sauvages et/ou cultivés (diploïdes) alimentant ce secteur**, mais aucune donnée chiffrée n'est disponible pour statuer.

(4) Enfin, pour les secteurs Est et Ouest d'Arcachon, la variabilité actuelle enregistrée ces dernières années est probablement liée à une réduction de l'abondance phytoplanctonique associée à une éventuelle réduction de la quantité de stocks de géniteurs (sauvages et/ou diploïdes cultivés). Les résultats de l'estimation des stocks 2011 devraient permettre de statuer. Notons cependant qu'une situation similaire semble avoir été observée au début des années 1990.

6 Références bibliographiques

Arnaud C., Faury N., Bouquet J.P., Guesdon S. (2000) Suivi de la reproduction de l'huître creuse *Crassostrea gigas* et de la Moule *Mytilus edulis* dans le Bassin de Marennes Oléron. Rapport Interne Ifremer, RST. DEL/00.12/ La Tremblade. 64 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

Bernard I. (2011) Eologie 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. - soutenance le 8 juin 2011.

Bernard I., Le Moine O., Stanisière J.Y, Pouvreau S., Goulletquer 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.

Berthomé J.P., Deslous-Paoli J.M., Héral M., Razet D., Garnier J. (1982) Absence de captage de *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron en 1981 : Causes et conséquences. Comité de la Mariculture, F : 26.

Blenckner T., Hillebrand H. (2002) North Atlantic Oscillation signatures in aquatic and terrestrial ecosystems – a meta-analysis. Global Change Biology 8, 203-212.

Cassou C. (2004) Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation nord-atlantique. La Météorologie 45, 21-32.

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

Deslous-Paoli J.M., Héral M., Berthomé J.P., Razet D., Garnier J. (1982) reproduction naturelle de *Crassostrea gigas* Thunberg dans le bassin de Marennes-Oléron en 1979 et 1981 : aspects biochimiques et énergétiques. Rev. Trav . Inst. Pêches marit. 45, 319-327.

Dutertre M., Beninger P.G., Barillé L., Papin M., Rosa P., Barillé AL., Haure J. (2009) Temperature and seston quantity et quality effects on field reproduction of farmed oysters, *Crassostrea gigas*, in Bourgneuf Bay, France. Aquat. Living Resour. 22, 319-329.

Eloire D., Somerfield PJ., Conway D., Halsband-lenk C., Harris R., Bonnet D. (2010) Temporal variability and community composition of zooplankton at station L4 in the Western Channel : 20 years of sampling. Journal of Plankton Research 32, 657-679.

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/

Gislason A., Petursdottir H., Astthorsson O., Gudmundsson K., Valdimarsson H. (2009) Inter-annual variability in abundance and community structure of zooplankton south and nort Iceland in relation to environmental conditions in spring 1990-2007. Journal of Plankton Research 31, 541-551.

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

Haure J., Papin M., Dupuy B., Nourry M., Penisson C., Martin J.L., Barillé L., Dutertre M., Rosa P., Beninger P., Barillé AL. (2008) Etude de la croissance et de la reproduction de l'huître, *Crassostrea gigas*, en Baie de Bourneuf. Rapport Ifremer Nantes 113 p.

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

His E. (1991). Biologie et écotoxicologie des véligères de *Crassostrea Gigas* (Thunberg) dans le bassin d'Arcachon. PhD Thesis, Université Bordeaux 1. http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3347/

Jansen JM., Pronker AE., Kube S., Sokolowski A., Sola JC., Marquiegui MA., Schiedek D., Wendelaar Bonga S., Wolowicz M., Hummel H. (2007) Geographic and seasonal patterns and limits on the adaptive response to temperature of European Mytilus spp. and Macoma balthica populations. Oecologia 154, 23-34.

Lepennec, M. (1978) Genèse de la coquille larvaire et postlarvaire chez divers Bivalves Marins. Th. Univ. Bretagne Occidentale, Tome II, 130 p.

Martin J.L., Haure J., Dupuy B., Nourry M., Palvadeau H., Papin M., Pénisson C., Thouard E. (2004) Suivi de l'émission de larves et de la fixation du naissain des huîtres creuses, *Crassostrea gigas*, en Baie de Bourgneuf durant l'été 2004. Rapport Ifremer DRV/RA/LCPL/2004-05. 15 p.

Martin J.L., Haure J., Dupuy B., Nourry M., Palvadeau H., Papin M., Pénisson C. (2005) Suivi de l'émission de larves et de la fixation du naissain des huîtres creuses *Crassostrea gigas* en Baie de Bourgneuf durant l'été 2005. Rapport Ifremer DPS/AGSAE/LGP/Bouin2005-02. 17 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. (2009**a**). 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., Borel M. (1986) Croissance, engraissement et cycle sexuel de Craosstrea gigas dans le Bassin d'Arcachon : comparaison des huîtres âgées de 1 et 2 ans. Haliotis 15, 125-134.

Maurer D., Defenouillère P., Auby I. (2009**b**) 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.

Parmesan C. (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 37, 637–669.

Philippart CJM., van Aken HM., Beukema JJ., Bos OG., Cadée GC., Dekker R. (2003) Climate-Related Changes in Recruitment of the Bivalve *Macoma balthica*. Limnology and Oceanography 48, 2171-2185.

Pouvreau S., Maurer D., Auby I., Soletchnik P., Mille D., Bernard I., Bedier E. (2008). Temporal variability in the Pacific oyster spatfall along the French Coast: a new monitoring project. Physiomar 08 Physilogical aspects of reproduction, nutrition and growth "Marine molluscs in a changing environment". http://archimer.ifremer.fr/

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/

Robert R., Gerard A. (1999). Bivalve hatchery technology: The current situation for the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and the scallop Pec*ten maximus* in France. Aquatic Living Resources, 12(2), 121-130. Publisher's official version : http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440(99)80021-7 , Open Access version : http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/861/

Samain JFS, Mc Combie H (2008). Summer mortality of Pacific oyster *Crassostrea gigas* : the Morest Project. Quae editions, 379 p.

Soletchnik P. (2008) Reproduction de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) dans le Bassin de Marennes Oléron. La pêche expérimentale de larves d'huîtres, indicateurs de ponte et de recrutement. Analyse spatio-temporelle et relation avec l'environnement. Rapport de Contrat de plan état- Région 2008-2013 41 p. http://archimer.ifremer.fr/