



Ifremer

Contrat de projets Etat-Région Poitou-Charentes 2007– 2013

Convention n° 08/RPC-A-29 du 19 mai 2008 / Projet « Développement durable des Pertuis charentais »

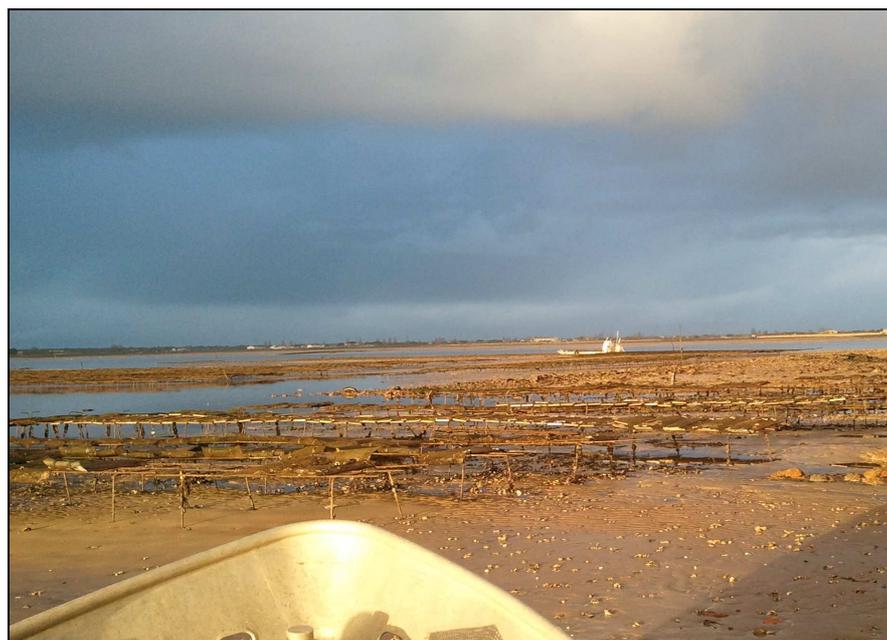
Laboratoire Environnement Ressource des Pertuis charentais, Ifremer, 17390 La Tremblade

Jean François Pepin
Patrick Soletchnik
Stéphane Robert
Olivier Le Moine
Gérard Thomas
Jean Luc Seugnet
Philippe Geairon
Stéphane Guesdon
Christian Béchemin

Septembre 2014 – ODE/LER-PC/ 14-05

Mortalités massives de l’Huître creuse

Synthèse - Rapport final des études menées sur les mortalités de naissains d’huîtres creuses *C. gigas* sur le littoral charentais pour la période de 2007 à 2012



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Nathalie Cochennec-Laureau Adresse électronique : Nathalie.Cochennec@ifremer.fr		Date de publication : sept. 2014 Nombre de pages : 52 Bibliographie : oui Illustration(s) : 11 figure s Langue du rapport : française
Titre de l'article : Synthèse - Rapport final des études menées sur les mortalités de naissains d'huîtres creuses <i>Crassostrea gigas</i> sur le littoral charentais pour la période de 2007 à 2012		
Contrat n° 08/RPC-A-29 du 19 mai 2008 Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal (aux) : Pépin Jean François, Patrick Soletchnik & Stéphane Robert	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer / ODE/UL/ Laboratoire Environnement Ressource des Pertuis charentais, La Tremblade	
Contributeur(s) : Olivier Le Moine, Stéphane Guesdon, Jean Luc Seugnet, Philippe Geairon, Jean-Michel Chabirand, Gérard Thomas, Ismaël Bernard, James Grizon, Sylvie Taillade, Christian Béchemin, Lionel Dégremont, Nicole Faury, Philippe Haffner, Tristan Renault, Denis Saulnier, Agnès Travers, Delphine Tourbiez, Abdellah Benabdelmouna, Tanguy Guyader, Christophe Ledu, Philippe Laporte, Issam Hemissi, Stéphane Bodin, Caroline Yonneau, Elise Maurouard, Max Nourry, Coralie Lupo, Yann Couraleau, Neirouz Soussi	Laboratoire Environnement Ressource des Pertuis charentais, Ifremer, La Tremblade Laboratoire de Génétique et Pathologie des Mollusques Marins, Ifremer, La Tremblade	
Cadre de la recherche : Synthèse de fin de Contrat de Projet Etat-Région (CPER) 2007-2013 / Développement Durable de la Pêche et de la Conchyliculture dans les Pertuis Charentais (DDPC) / Sous Projet 2 / Thème « Mortalités ». Coordinateur du projet DDPC/CPER : Christian Béchemin		
Coordinateurs de la synthèse : Pépin J.F. & P. Soletchnik	Destinataires : Région Poitou-Charentes, Ifremer	
Résumé: Depuis 2008, l'ostréiculture française est confrontée à une surmortalité exceptionnelle des naissains (environ un an) d'huîtres creuses (<i>C. gigas</i>). Les taux de mortalité atteignent 60 à 90% sur tous les sites des Pertuis Charentais. L'objectif de ce rapport est de présenter les études et recherches conduites sur ce thème par l'Ifremer, depuis l'émergence du phénomène. Les actions ont été financées par IFREMER et le CPER Poitou-Charentes 2007-2013.		
Abstract: Since 2008, the French oyster-farming sector has been confronted with exceptionally high rates of mortality affecting spats (less than one year old) of the Pacific oyster, <i>C. gigas</i> , of between 60 and 90% at all rearing sites and in Pertuis Charentais sea. The objective of this document is to provide an overview of the research and studies carried out by Ifremer in Poitou-Charentes since the emergence of this phenomenon. The actions presented were funded by IFREMER, and CPER Poitou-Charentes 2007-2013.		
Mots-clés : Huître creuse, Naissain, Surmortalité, Virus herpès, Vibrions, Environnement, Pertuis charentais. Keys words Pacific oyster, Spat, Mortality, Herpes virus, Vibrios, Environment, Pertuis charentais.		

1. Introduction	7
1.1. Introduction générale	7
1.2. Contexte	7
1.3. Enjeux	8
1.4. Etudes sur les surmortalités	9
2. Moyens et Observation du phénomène de surmortalités dans les pertuis charentais	11
2.1. Observation des surmortalités	11
A l'échelle du littoral français	11
A l'échelle régionale	11
2.2. Origine des huîtres et sites d'élevage	12
3. Caractérisation des mortalités observées	15
3.1. Intensité des mortalités	15
3.2. Etudes spatio-temporelles des mortalités dans le BMO	17
4. Comprendre et expliquer le phénomène de surmortalité de naissain à partir de 2008.	22
4.1. Recherche d'une cause infectieuse. Détection et suivi des organismes pathogènes.	22
Détection des agents infectieux	22
Mise au point d'outils	23
4.2. Principaux résultats des Etudes	26
Etude CAPRETAR	26
Etude CARTAMO	27
Etude CIDAGINF	27
Etude CINDIMOR	29
Etude EVIVAS	30
Etude EXOZ	31
Etude SERRER	32
Etude SPAC	33
4.3. Synthèse des résultats des études Ifremer relatives aux surmortalités de naissain	34
Pistes liées à la qualité et au phénotype de l'huître pour expliquer sa sensibilité aux mortalités	34
Pistes liées aux facteurs environnementaux et à la qualité du milieu	35
Pistes liées aux agents pathogènes dans les animaux et le milieu	35
5. Gestion du risque : Comment limiter le phénomène de surmortalité et son impact sur la filière	37
6. Informer et communiquer	38
6.1. A l'échelle de la Région	39
Action de communication : COMOR	39
6.2. A l'échelle nationale	39
7. Conclusions et perspectives	40
Références bibliographiques	42

1. INTRODUCTION

1.1. INTRODUCTION GENERALE

La conchyliculture est une activité économique de première importance pour la région Poitou-Charentes. Son dynamisme et ses spécificités la place en tête des zones françaises de production, avec notamment le 1/3 des entreprises, 44% de la commercialisation, et les 2/3 du captage naturel national (Agreste, 2005). Les entreprises conchylicoles sont régulièrement confrontées à des problèmes de croissance et mortalité des cheptels affectant leur rentabilité.

Des phénomènes de mortalités massives ont ponctué toute l'histoire de l'ostréiculture en France, avec notamment, pour l'huître plate, *Ostrea edulis*, la grande épizootie de 1920-1921, puis les parasitoses des années 1970, qui ont réduit considérablement la production de cette espèce. L'huître portugaise a été éradiquée à son tour par les épidémies virales des années 1970 (Comps et Gras, 1973, Comps 1978, Comps *et al.*, 1991). L'huître japonaise (*C. gigas*) lui a succédé. Elle a permis de relancer la production mais des mortalités sont apparues dès les années 1980 (Comps, 1983, Bodoy *et al.*, 1990), et notamment en 1994 et 1999 sur l'ensemble des bassins conchylicoles (Fleury *et al.*, 2000, Soletchnik *et al.*, 1999). Ces mortalités ont donné lieu à un important programme de recherche coordonné par l'Ifremer (défi MOREST : MORTalités ESTivales de l'huître creuse *C. gigas*, 2001-2006, Samain & McCombie, 2008). Les études en lien avec ce programme, ont été menées sur des huîtres âgées de 12 mois et plus. Elles ont conclu au caractère multifactoriel du phénomène, avec en particulier un rôle important des anomalies climatiques hivernales conduisant à un mauvais état physiologique et nutritionnel des mollusques. Durant cette période, le réseau REPAMO¹ (Réseau de PATHologie des MOllusques de l'Ifremer) a procédé à des analyses sur les lots d'huîtres déclarés comme présentant des hausses de mortalité et les résultats ont majoritairement révélés la présence de Vibrions pathogènes (*Vibrio splendidus*, *Vibrio aestuarianus*, Garnier *et al.*, 2007) ainsi que celle de l'herpès virus de l'huître OsHV-1 (Garcia *et al.*, 2011, Renault *et al.*, 1994). Au cours du programme MOREST (Samain *et* Mc Combie, 2008), les agents infectieux observés ont plus été considérés comme des facteurs aggravants et opportunistes que comme responsables des mortalités (Soletchnik *et al.*, 2007; Cochenec-Laureau *et* Baud, 2011).

¹ Le réseau REPAMO : Le REPAMO, REseau de PATHologie des MOllusques dépend de l'Ifremer, créé en 1992. C'est un réseau national de surveillance de l'état de santé des peuplements de mollusques sur les gisements naturels ou dans les zones de production conchylicole, et ce, en application des directives européennes 91/67 (concernant les aspects zoosanitaires des mollusques d'élevage) et 95/70 (portant sur les mesures à prendre pour le contrôle de certaines maladies affectant les bivalves). Il assure cette surveillance pour le compte de la DPMA au travers de la convention SOCLE. Les analyses et identifications des agents pathogènes sont réalisées au Laboratoire de Génétique et Pathologie de l'Ifremer de la Tremblade qui est à la fois, le Laboratoire Communautaire de Référence (LCR) pour l'Europe, le Laboratoire National de Référence (LNR) pour les maladies des coquillages et le Laboratoire de Référence de l'Organisation mondiale de la santé animale. La surveillance officielle des mortalités de mollusques est basée sur un système déclaratif. Le REPAMO est saisi pour intervention par les DDTM ou la DGAL. <http://www.ifremer.fr/repamo/>

1.2. CONTEXTE

Depuis 2007 et de manière plus aiguë en 2008 puis en 2009, 2010, 2011, 2012 et 2013, des mortalités importantes ont à nouveau frappé les cheptels d'huîtres creuses *C. gigas* au niveau national. Ces surmortalités² ont été signalées sur tous les cheptels élevés, dans tous les sites de production de France et dans des secteurs de production des États membres de l'UE (en 2009 ou 2010 : Irlande, Royaume uni : Kent et Jersey, Espagne, source EFSA, 2010). Ces mortalités diffèrent de celles observées antérieurement par plusieurs aspects: les mortalités touchent beaucoup plus fortement le naissain (âge < 1 an) et atteignent des niveaux exceptionnels. Elles se déclarent à des températures plus faibles que celles observées au cours du projet Morest et ne semblent pas liées aux anomalies climatiques hivernales.

Dès le début de cette nouvelle crise de surmortalité des huîtres, l'Ifremer a mis en place des suivis de cheptels spécifiques répartis sur 13 sites en France (réseau de l'Observatoire National de la Conchyliculture et RESCO³). Ces suivis sont nés du constat des mortalités massives sur les animaux de moins d'un an et du rôle prédominant de plusieurs agents infectieux dans les surmortalités de l'huître creuse, observées en 2008 et 2009, et de l'absence d'un suivi de ces agents en dehors des épisodes de mortalités (analyses officielles réalisées par l'Ifremer

au travers du REPAMO pour le compte du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche).

² Notion de surmortalité : Le concept de « hausse de mortalité » ou surmortalité de coquillage est ici définie comme un « accroissement inexplicable et significatif de la mortalité au-delà du niveau considéré comme normal pour l'exploitation aquacole ou la zone d'élevage de mollusques concernés dans les conditions habituelle ; le niveau d'accroissement à désigner comme une hausse de la mortalité doit être convenu par l'exploitant et l'autorité compétente ». (Art. 3. de l'arrêté du 4 novembre 2008 NOR : AGRG0825593A). Selon l'ampleur des mortalités qui affectent un stock de coquillages, une déclaration obligatoire doit être faite par les professionnels auprès de la DDTM qui pourra saisir le REPAMO.

A partir d'analyses pathologiques, plusieurs agents infectieux ont été mis en évidence sur des lots de naissains affectés par ces surmortalités, privilégiant ainsi la piste infectieuse. De plus, l'Ifremer, en collaboration avec les services de l'Etat (DDTM, DGAL) et les organismes régionaux (CREAA⁴, CRC) a mis en place une série d'études pour décrire, comprendre et tenter d'expliquer le phénomène des surmortalités de naissain. Une partie de ces études a pu bénéficier du financement de la région Poitou-Charentes dans le cadre du CPER-PC. **Le principal objectif de ce rapport est de faire la synthèse des résultats en lien avec les surmortalités d'huîtres creuses (stade naissain) sur le littoral charentais pour la période de 2007 à 2012.** Il présente également les actions de communication réalisées entre les professionnels de l'ostréiculture, les autorités régionales et les scientifiques ainsi que des pistes de gestion des risques. Ce rapport constitue une synthèse des résultats et des connaissances acquises. Les données présentées sont principalement issues des travaux des laboratoires Ifremer de la Tremblade. Le LERPC (Laboratoire Environnement Ressources des Pertuis Charentais) et le LGP (Laboratoire de Génétique et Pathologie) et des observatoires conchylicoles de l'Ifremer et du CREAA.

³ Les réseaux Ifremer de suivi des huîtres : REMORA (1993-2008), Observatoire Conchylicole (2009-2011), puis RESCO (2012). Le REseau Mollusques des Rendements Aquacoles (REMORA) suit chaque année, depuis 1993, la survie, la croissance et la qualité de deux lots d'huîtres creuses ("juvéniles" = 1 an ; et "adultes" = 2 ans) réparties dans 45 stations (39 jusqu'en 2002, 13 depuis 2009) des principales régions ostréicoles françaises. Depuis 2012, dans le cadre de l'Observatoire National Conchylicole, ce réseau a été rebaptisé **RESCO**, REseau national d'observations Conchylicoles, il est financé par la DGAL dans le cadre d'une convention annuelle. Des échantillonnages réguliers sont réalisés entre mars et décembre. Ce réseau est un outil d'évaluation des tendances géographiques et chronologiques à l'échelle nationale. L'intérêt de ces résultats réside dans la possibilité de comparer les sites entre eux et les années entre elles en s'affranchissant des variations de pratiques culturelles locales.

http://www.ifremer.fr/observatoire_conchylicole

⁴ Le CREAA : Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacoles de Poitou-Charentes situé sur l'île d'Oléron. Cet institut technique créé en 1990 est une association qui regroupe des professionnels de la conchyliculture et de la pêche, des élus et des scientifiques. Les missions de cette structure sont le développement de l'aquaculture et de la conchyliculture en région Poitou-Charentes. Entre autres actions, il réalise en collaboration avec le Comité Régional de la Conchyliculture, des suivis des émissions de larves de moules et d'huîtres dans le bassin de Marennes-Oléron, depuis 2004, des suivis de la salinité en Seudre et dans les marais, depuis 2000, des suivis de croissance et mortalités sur des lots de coquillages sentinelles. Il pilote un observatoire conchylicole, depuis 1991 et édite régulièrement des bulletins d'information à partir de ses données. <http://www.creaa.fr/>

1.3. ENJEUX

Comprendre et expliquer les facteurs et les causes qui ont généré la surmortalité de naissain observée (*enjeu scientifique*).

Pérenniser l'activité conchylicole dans la région et au niveau national.

Fournir des informations sur l'ampleur et l'évolution du phénomène de surmortalité aux gestionnaires (autorités publiques et instances professionnelles)

Proposer des pistes pour minimiser l'impact du phénomène sur les cheptels et la filière ostréicole (*enjeu zoosanitaire et économique*).

Des questions:

Quels sont les causes et les facteurs associés à la surmortalité du naissain d'huîtres creuses depuis 2008 ?

Quelles sont les mesures de gestions à développer et à mettre en place pour limiter l'impact du phénomène?

1.4. ETUDES SUR LES SURMORTALITES

Etudes et actions de recherche conduites par l'Ifremer (la Tremblade) dans le cadre du CPER Poitou-Charentes (DDPC- SP2) en lien avec les surmortalités d'huîtres creuses dans les pertuis charentais.

CAPRETAR : *Etude comparative des caractéristiques cytogénétiques et des performances de survie de naissains sauvages issus du CAPtage PREcoce ou TARDif (2009-2010).*

Cette action vise à étudier le lien qui existerait entre la nature précoce/tardive des captages naturels d'huîtres creuses et la qualité des naissains (qualité génétique : « R » résistante ou « S » sensible et qualité génomique : anomalies). Cette différence captage précoce versus captage tardif est-elle corrélée aux performances de survie et aux critères cytogénétiques ?

Pilotage : Abdellah Benabdelmouna

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00062/17283/>

CARTAMO : *CARTographie des Anomalies génomiques dans les gisements naturels d'huître creuse du bassin de Marennes-Oléron (NB : stade adulte, huîtres sauvages, pas de suivi de mortalité) (2010) (figure 2).*

Cette action, vise à comparer le taux d'anomalies génomiques d'huîtres creuses issues d'une vingtaine de gisements naturels sur le pourtour des Pertuis Charentais

Pilotage : Abdellah Benabdelmouna

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00062/17281/>

CIDAGINF : *Etude de la Cinétique de détection D'Agents INFectieux associés aux épisodes de mortalités sur estran. (2009-2010)*

Cette action vise à améliorer la compréhension des causes des mortalités de naissain en pertuis charentais en lien avec les paramètres environnementaux et la cinétique d'agents infectieux ciblés. L'approche retenue a consisté à détecter et quantifier à pas de temps serrés les agents infectieux dans les tissus d'huîtres creuses d'élevage ainsi que dans divers prélèvements réalisés à proximité : huîtres autochtones et autres espèces (moules sauvages et balanes), prélèvements d'eau de mer et de sédiment. Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées sur le site d'Agnas en 2009 et 2010, avant, pendant ou après les épisodes de surmortalité de naissain.

Pilotage : Denis Saulnier

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00058/16920/>

CINDIMOR : *Etudes sur la CINétique et Diffusion de la MORTalité (2009-2010).*

L'action a été initiée en 2009 puis améliorée en 2010 avec comme but principal de déterminer la cinétique et la diffusion de la mortalité pour quatre lots de naissains différents par leur origine et niveaux de ploïdies (sauvages ou d'écloserie, diploïdes ou triploïdes). Ces lots ont été élevés dans trois environnements : des bacs en laboratoire, des claires ostréicoles et des poches sur estran. Pour chaque environnement, sauf celui de l'estran, deux conditions ont été testées en élevant les lots soit séparément (en claire ou en bac), soit ensemble, c'est à dire, les 4 lots dans une claire ou les 4 lots dans un bac.

Pilotage : Lionel Dégremont & Abdellah Benabdelmouna

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00063/17405/>

COMOR : *Cellule de Communication autour des mortalités.*

Devant l'ampleur de l'épizootie de 2008, une cellule de crise et de communication a été mise en place dès le début 2009. Cette opération de communication a comme objectif de traiter l'information scientifique et technique issue de l'observation et de la recherche sur les surmortalités et de la transmettre à la profession grâce à

un bulletin : le **FLASH INFO MALINE**¹ (FIM) : Bulletin d'information régulier sur les mortalités en région PC à destination des professionnels, dont la rédaction est assurée par la cellule regroupant l'Ifremer, le CREA, la DDTM et le CRC-PC. Ce bulletin présente aux conchyliculteurs une information objective et actualisée des mortalités de naissains, basée sur les résultats issus des différents réseaux d'observation régionaux et nationaux de l'huître creuse. Ces informations, validées par l'ensemble des partenaires de la structure sont ensuite communiquées par le CRC aux professionnels.

Pilotage : Patrick Soletchnik

<http://wwz.ifremer.fr/lerpc/Periodiques/Flash-Info-Maline>

EVIVAS : *EValuer les Interactions entre les VArriables influant sur la Survie du naissain (Effet de l'environnement sur les mortalités).*

Cette action étudie en particulier l'influence de l'émersion et de l'alimentation sur la survie des naissains. Cette expérience est conduite en 2011 en éclosérie. Les naissains sont fixés sur des structures de PVC, en petits bacs, en circuit ouvert. Le plan d'expérience croise les facteurs : [immersion versus émersion] et [complément alimentaire versus pas de complément alimentaire].

Pilotage : Patrick Soletchnik

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00084/19478/>

EXOZ : *Améliorer l'itinéraire zootechnique des élevages de naissains.*

Conduite en 2010, sur le site ostréicole d'Agnas (bassin de Marennes-Oléron) l'expérimentation vise à préciser l'effet de l'altitude des parcs (plusieurs sites à différents coefficients de marée), de l'exposition à la lumière et de l'accès à la ressource trophique (enrobage de certains lots par des moules qui prélèvent la ressource trophique du milieu), sur la survie du naissain au cours du printemps et de l'été.

¹ *Maline* : terme utilisé par les conchyliculteurs en Charente Maritime pour désigner les marées à fort coefficient (= fortes amplitudes entre basse mer et haute mer permettant un accès aux parcs les plus « profonds » ou « bas »).

Pilotage : Patrick Soletchnik

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00084/19478/>

SERRER : *Evaluation de la survie du naissain de captage naturel en fonction de la période des pontes à partir de lots sélectionnés pour les caractères de survie (S ou R) et Efforts de Reproduction.*

Cette étude vise à évaluer la survie du naissain en fonction de la sélection de lots de naissain pour les caractères de survie (S ou R) et l'effort de reproduction. Elle consiste à produire en éclosérie des lots d'huîtres creuses *C. gigas* contrastés soit pour l'effort de reproduction, soit pour leur meilleure résistance aux mortalités au stade naissain, ainsi que des lots témoins. Les lots, produits pendant la période estivale 2009 ont été suivis sur estran en 2010 et 2011 dans le bassin de Marennes-Oléron.

Pilotage : Lionel Dégremont

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00065/17643/>

SPAC : *Spatialisation de la contamination des stocks d'huîtres pour le virus OsHV en bassin de Marennes-Oléron.*

Cette étude a pour objectif d'évaluer si les stocks sauvages des pertuis charentais sont contaminés ou non par le virus OsHV-1. Conduite en 2010, elle consiste à recenser les stocks d'huîtres sauvages des pertuis charentais, à échantillonner deux classes d'âge (naissain et huîtres adultes), au cours de trois saisons de l'année. Des analyses sont ensuite conduites par un laboratoire privé en vue de détecter dans la chair des huîtres, à la fois le virus OsHV-1 et *Vibrio splendidus*. (figure 2)

Pilotage : Patrick Soletchnik

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00105/21673/>

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00084/19485/>

2. MOYENS ET OBSERVATION DU PHENOMENE DE SURMORTALITES DANS LES PERTUIS CHARENTAIS

2.1. OBSERVATION DES SURMORTALITES

Dans le cadre de ses missions institutionnelles et nationales, l'Ifremer entretient des réseaux de surveillance des mollusques bivalves et de l'environnement littoral. Dans le contexte particulier des « surmortalités » de naissains survenues à partir de 2008, ceux-ci ont été renforcés ou développés (IFREMER, CREEA).

A L'ECHELLE DU LITTORAL FRANÇAIS

L'**Observatoire National de la Conchyliculture (RESCO***-Ifremer) a pour objectif de comparer les performances des bassins français où sont élevés des naissains d'écloserie et de captage sur estran, ainsi que des huîtres de 18 mois. Les deux sites régionaux (Pertuis Charentais) sont situés à Agnas et à Loix en Ré (figure 1).

Le **REseau de PATHologie des MOllusques de l'IFREMER (REPAMO)** est un outil de surveillance de la santé des mollusques marins d'élevage et sauvages à l'échelle nationale. Il est activé en cas de mortalités anormales et réalise des analyses sur les mollusques pour confirmer ou infirmer une hypothèse infectieuse.

Le **suivi "sentinelle" interrégional des agents infectieux de l'huître creuse** a été mis en place en 2010. Il regroupe en 2011 les 4 instituts techniques : SMEL, SMIDAP, CREEA et CEPRALMAR. Il a pour objectif d'observer au niveau national et sur une base mensuelle, le développement des agents infectieux de l'huître creuse. Cet outil d'autocontrôle est réalisé sous maîtrise d'ouvrage du CRC-PC (voir : <http://www.src-poitoucharentes.com>).

A L'ECHELLE REGIONALE

L'**Observatoire des Croissances et des Mortalités (CREEA)** permet l'acquisition de données en conditions de production, pour trois classes d'âge (naissains, demi-élevages et huîtres de finition) sur 16 parcs répartis sur l'ensemble du littoral charentais ainsi que sur les filières des pertuis d'Antioche et Breton.

Un **suivi des pratiques zootechniques** est réalisé par le CREEA depuis 2009. Son objectif est de rechercher des solutions zootechniques afin de limiter les mortalités par

le suivi de naissains naturels et d'écloserie, diploïdes et triploïdes, sur différents sites d'élevage (parcs, marais, filières). Ces suivis sont réalisés sur un cycle complet d'élevage (3 ans).

Le Laboratoire Environnement et Ressources des Pertuis Charentais de l'Ifremer (LERPC), produit mensuellement un BULLETIN de DONNÉES de Surveillance de l'Environnement et de la Ressource (Bulldoser) (voir lien : <http://www.ifremer.fr/lerpc/reseaux/bulldoser/bulldoser.htm>)



Naissain mort sur un tube collecteur, Ifremer®

D'autres actions ont fourni ponctuellement des informations sur le phénomène de surmortalité. A la demande de la DPMA et la DGAL des études épidémiologiques ont été spécifiquement menées par l'Ifremer (cf. Miossec *et al.*, 2009 ; Lupo *et al.*, 2012 ; Gaussem *et al.*, 2012).

Dans le cadre du « **Plan de sauvegarde et de relance ostréicole** ⁵ » des actions conjointes entre le CRC, le CREEA et l'IFREMER ont été menées localement, elles ont permis le suivi sur l'estran de cheptels sélectionnés pour le caractère « survie » pendant plusieurs années.

Parallèlement à ces actions et dans le cadre du projet DDPC, des études citées dans la présente synthèse (cf. p 7) ont permis de suivre (stocks sauvages) ou de déployer sur différents sites du bassin de Marennes-Oléron (marais, estran, parcs) des lots d'huîtres de classes d'âge, d'origine et de niveau de ploïdie différents (tableau 1, p 19).

Enfin, devant l'ampleur du phénomène de surmortalité des huîtres creuses et la crise ostréicole associée, l'Ifremer a mis en place dès 2008 un projet dédié, le **projet « Surmortalités »**, afin de coordonner les efforts de recherche et centraliser les très nombreuses informations générées par toutes les équipes mobilisées. Ce projet a permis d'organiser des rencontres et des

échanges avec les Centres techniques et les Comités ou Sections Régionales Conchyliques (CRC, SRC) (Cochennec-Laureau *et al.*, 2010, 2011).

⁵ Plan de Sauvegarde de l'huître creuse : A la suite de la crise ostréicole liée aux surmortalités d'huîtres (2008-2012) et afin d'apporter un soutien à la filière ostréicole, il a été mis en place un plan de sauvegarde dès 2010 pour permettre l'approvisionnement partiel des établissements ostréicoles en naissain « à survie améliorée » d'écloseries et un protocole d'approvisionnement partiel de sauvegarde (PSI) a été mis en place en 2010 entre le CNC, les CRCs, les éclosiers et l'Ifremer afin de fournir aux ostréiculteurs du naissain présentant les meilleures chances de survie face aux mortalités estivales. Sur la base notamment des recommandations des Assises de la Conchyliculture, l'opération a été reconduite en 2011 (PSII) et 2012 (PSIII). Convention DPMA-IFREMER n° 11/1219297. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00143/25412/>

2.2. ORIGINE DES HUITRES ET SITES D'ELEVAGE

Le Bassin de Marennes-Oléron (BMO) constitue le plus grand secteur ostréicole de toute l'Europe. Il est l'une des deux plus importantes zones de reproduction de *C. gigas* en France.

Les lots suivis par l'Ifremer de la Tremblade se répartissent comme suit (tableau 1). Les animaux utilisés dans le cadre du RESCO, lots standardisés de naissain issus de captage naturel ou d'écloserie et huîtres de 18 mois sont positionnés sur les sites d'Agnas (bassin Marennes-Oléron) et de Loix (île de Ré) (figure 1).

Les animaux utilisés dans le cadre du CPER-DDPC sont :

i) Les huîtres issues du captage naturel étudiées dans l'action **SPAC**. Elles correspondent à des naissains ou des adultes sauvages fixés sur substrat rocheux et sont situées sur quatre sites Deux sites qui sont spatialement et hydro dynamiquement fortement isolés des cheptels en élevage (N°10 et 18, La Tranche, Chaucre), et deux autres qui sont faiblement isolés (N°4 et 19, Fouras, la Tremblade), voir carte 2. Pour ces quatre sites les huîtres adultes et naissain ont été suivis (mortalité) et échantillonnés (recherche du virus OsHV-1) en avril, juin et octobre 2010 (figure 2).

ii) Les huîtres suivies dans le cadre des études CIDAGINF, CAPRETAR, EXOZ et SERRER, placées sur le banc d'Agnas (figure 1).

iii) Les huîtres suivies dans l'étude CINDIMOR, placées sur l'estran à la Floride (banc de Ronce les bains dans le sud du bassin de Marennes-Oléron), en écloserie expérimentale (Ifremer LGP) et dans des claires ostréicoles.



Collecteurs « blanchis » par la mortalité de naissain d'huîtres en embouchure de Seudre (Sud du BMO), Ifremer[®]

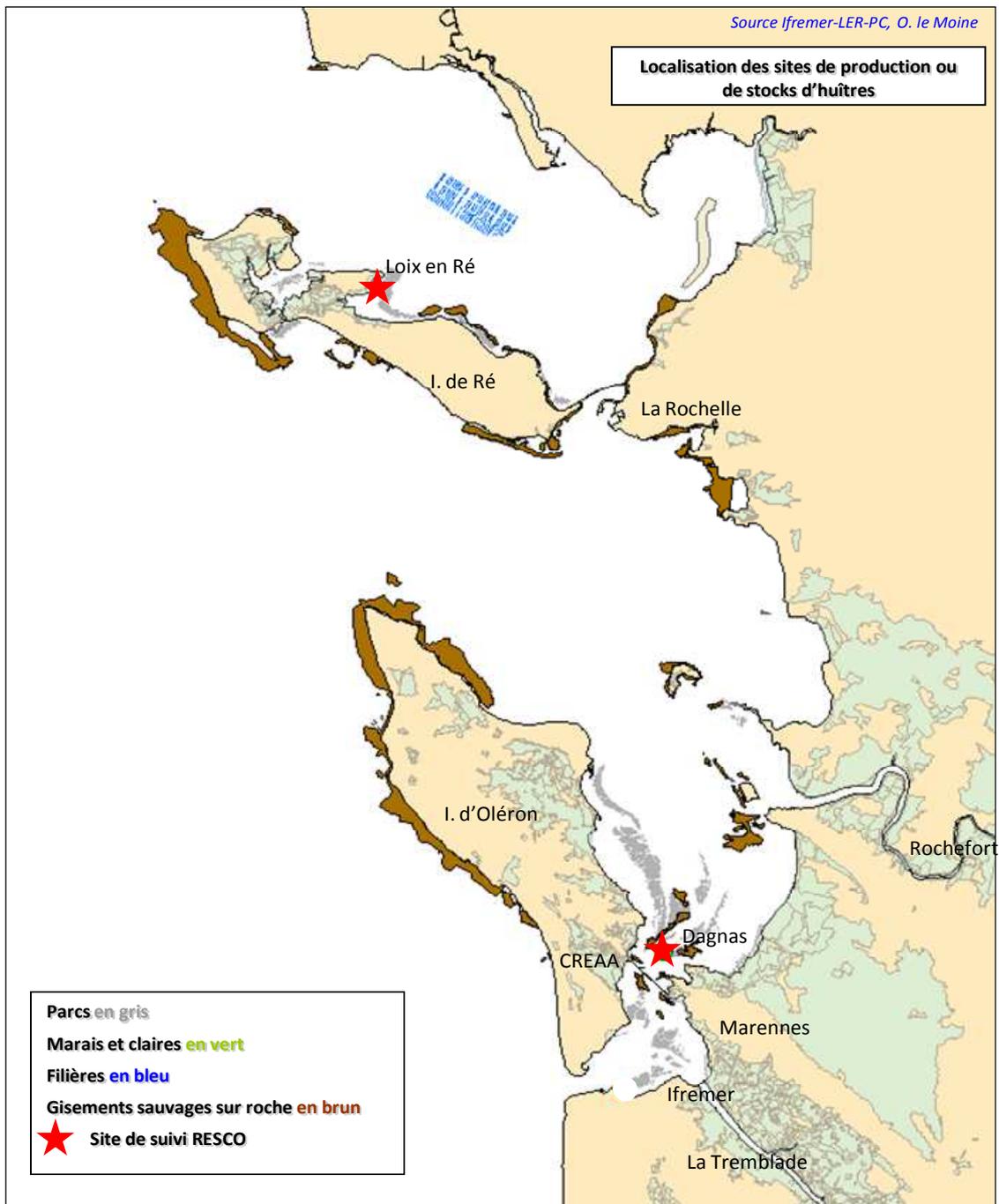


Figure 1. Stocks d'huîtres creuses sur le littoral charentais : sur parcs, marais et stocks de gisements naturels.



Figure 2. Les études : SPAC et CARTAMO ont été réalisées à partir d'échantillonnages d'huîtres sauvages sur le littoral des Pertuis Charentais (stations 1 à 20).

3. CARACTERISATION DES MORTALITES OBSERVEES

3.1. INTENSITE DES MORTALITES

Depuis l'importation de l'huître japonaise *C. gigas* dans les pertuis charentais, à fin des années 60 (opération RESUR, Grizel et Heral, 1991), des mortalités importantes ont touché les huîtres en élevage en 1976 (Parache, 1989) et surtout en 1988 (Bodoy *et al.*, 1990), en lien avec des épisodes de crues de la Charente (Soletchnik, 2001). Dans le bassin de Marennes-Oléron, les mortalités d'huîtres creuses touchent plus les naissains d'huîtres que les adultes. C'est là une "spécificité régionale" mise en évidence par l'analyse des données du réseau REMORA (Soletchnik *et al.*, 2007).

D'un point de vue méthodologique, l'estimation de la mortalité est décrite dans les études présentées dans ce rapport. Pour un lot d'huîtres identifié, il s'agit la plupart du temps d'une mortalité cumulée basée sur le décompte des animaux morts (avec chair ou coquilles vides) et des animaux vivants (coquilles fermées, pleines). Le nombre d'huîtres mortes est soustrait au nombre d'animaux vivants présents dans la ou les poches à la visite précédente.

En 2007, les données de mortalité des observatoires du CREEA et du REMORA montrent des pertes de l'ordre de 40% à 50% les lots de naissain (tableau 1). Ces niveaux de mortalité sont alors proches du niveau de la référence pluriannuelle 1994-2006 (45%). Cette année là, les adultes de deuxième et troisième année connaissent une augmentation forte et inhabituelle des mortalités, de +52% et +147% par rapport à la référence (moyenne interannuelle des années précédentes – depuis 1993). Une forte variabilité de la mortalité est notée selon les parcs (CREEA, 2007 ; figure 3). Cet événement a justifié une enquête auprès de la SRC diligentée par la DRAM (DDTM). Il n'a pas été possible d'identifier des causes précises associées à cet événement (CREEA et SRC-PC, 2007) et très peu de lots ont été analysés en pathologie.

Parallèlement à ces événements de surmortalité d'huîtres dans les pertuis charentais, des mortalités anormales ont été également observées en Vendée et Languedoc Roussillon (François *et al.*, 2008). Dans les étangs lagunaires de Thau, Leucate et Ingril, des surmortalités (>30%) ont affectées le naissain et le demi-élevage entre mai et juin 2007 (Pichot et Barret, 2007), après de brusques montées en température de l'eau (+5°C en 10 jours).



En 2008, les mortalités de naissains d'huîtres creuses *C. gigas* ont constitué la crise la plus importante pour cette espèce depuis son introduction en France. Leurs caractéristiques sont : i) Une ampleur, sans précédent. Tous les bassins ostréicoles voient disparaître entre 75 et 100% de leurs stocks de naissains; ii) Elles touchent principalement le naissain (jusqu'à 18 mois), toutes origines confondues (captage naturel ou éclosion, ploïdie 2N ou 3N) ; iii) Elles apparaissent de façon quasi-simultanée sur l'ensemble des façades maritimes françaises et dans des écosystèmes très variés (OIE 2008, François *et al.*, 2009).

Une étude épidémiologique est mise en place en septembre 2008 afin d'identifier la (/les) source(s) et facteurs de risque impliqués dans ces mortalités. Elle s'est appuyée sur les déclarations de mortalités faites par les ostréiculteurs auprès des Affaires Maritimes et des sections régionales conchyliques. Toutefois, ces données (déclarations utilisées dans l'étude épidémiologique des mortalités 2008) présentent des limites d'interprétation. L'étude « souffre » en particulier de l'absence de données quantifiées et actualisées sur les pratiques d'élevage, les stocks en élevage (absence d'inventaire des stocks à l'échelle locale et nationale) et les productions commercialisées.

L'analyse régionale des données des mortalités issues du REMORA et du CREEA, montre que : i) les mortalités de naissains sont plus importantes que les mortalités d'adultes ; ii) le Pertuis Breton et le Pertuis d'Antioche subissent moins de mortalité que le Bassin de Marennes-Oléron. En 2008 (entre janvier et septembre), près de 3717 « cas » de mortalité d'huîtres creuses ont été déclarés ou constatés par les professionnels, le CREEA et l'Ifremer, en Poitou-Charentes (Miossec *et al.*, 2009). En 2007, une enquête avait recensé 666 déclarations (source CREEA & SRC, 2007). Selon les sources et les lots

de naissains, le taux de mortalité est compris entre 52% et 76% entre mai et septembre 2008, avec un pic majeur fin mai.

Remarque : A titre de comparaison, les figures 3, 4, 5 et le tableau 1 présentent des résultats de mortalité (2007 à 2012) issus d'autres projets. Ces résultats peuvent concerner d'autres stades que le naissain, sujet central de cette synthèse.

En 2009 d'importantes mortalités d'huîtres sont à nouveau enregistrées dans tous les bassins ostréicoles (RESCO et REPAMO). Celles-ci ont commencé en Méditerranée fin Avril (Corse et étang de Thau) pour apparaître ensuite en Atlantique (Arcachon, Pertuis Charentais, Vendée et Bretagne Sud) (Miossec *et al.*, 2009). Au niveau des pertuis et du bassin de Marennes-Oléron, les surmortalités ont affecté tous les sites et tous les lots de naissains suivis. Les pertes ont atteint jusqu'à 85% des lots. Deux actions conduites en 2009 (CIDAGINF et CINDIMOR) ont permis d'observer des % de mortalité importants (>55%) sur de lots de naissains issus de captage naturel ou issus d'écloserie (2N ou 3N), placés sur estran.

Le même phénomène a été constaté à nouveau sur les naissains en 2010, 2011 et 2012, avec selon les lots et les

sites entre 73% et 93% de perte (tableau 1). Pour ces années, selon les études engagées dans le cadre du DDPC, les lots de naissains non sélectionnés et placés sur estran ont connu des mortalités de forte intensité.



Rocher « blanchi » par la mortalité de naissain sur le site de Fouras (embouchure de Charente)

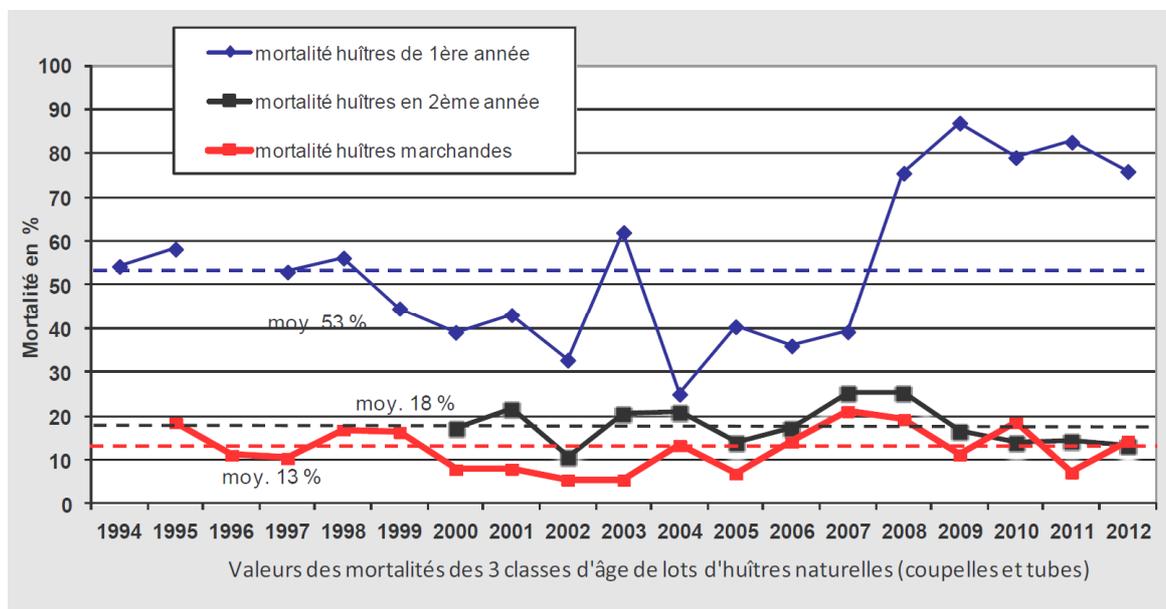


Figure 3 : Valeurs des mortalités des 3 classes d'âge de lots « sentinelles » d'huîtres naturelles captées et élevées en Charente maritime, entre 1994 et 2012. Les lignes en pointillés représentent pour chaque classe la mortalité moyenne des séries temporelles sur 18 années (valeurs au bilan, données de l'Observatoire ostréicole du littoral charentais, source CREEA, 2013)

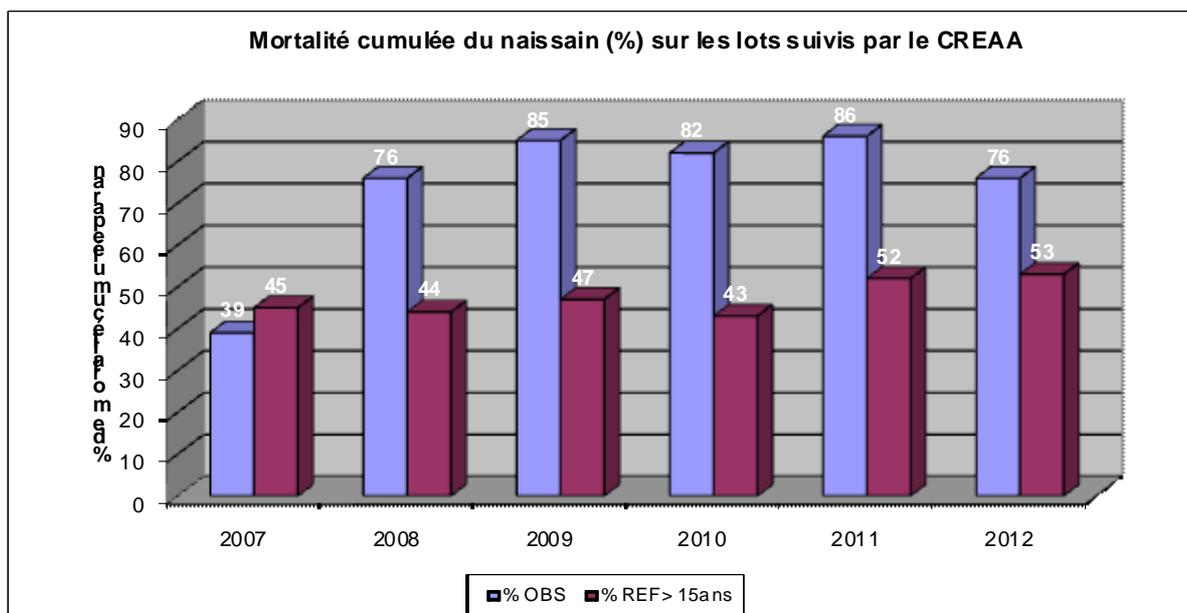


Figure 4. Niveaux de mortalité annuelle cumulée (en %) de **lots de naissain** d’huîtres issus de captage naturel et élevés en Charente maritime (histogramme bleu) au regard du niveau moyen de mortalité cumulée calculé sur la série historique entre 1993 et 2012 (histogramme violet). Données de l’Observatoire ostréicole du littoral charentais, CREEA.

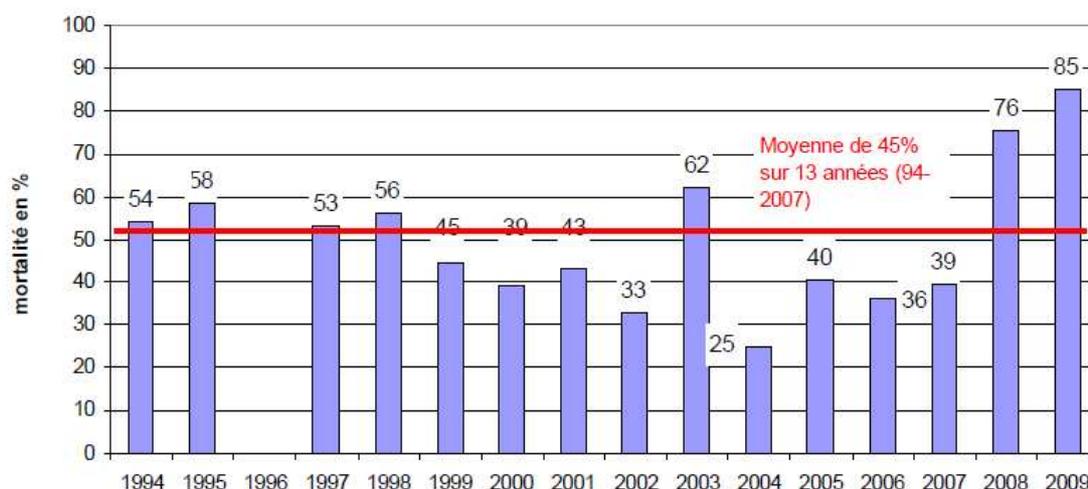


Figure 5 : Mortalité **des huîtres de première année** entre 1994 et 2009 dans le bassin de Marennes-Oléron – données CREEA - séminaire surmortalité à Nantes en 2009.

3. 2. ETUDES SPATIO-TEMPORELLES DES MORTALITES DANS LE BMO

Avant 2008, au cours des études réalisées dans le cadre du projet MOREST (Samain et McCombie, 2007), l’apparition des mortalités avait lieu, en lien avec l’élévation de la température de l’eau de mer, suivant une progression géographique du sud vers le nord le long du littoral français (Bassin d’Arcachon, puis Bassin de Marennes, sud Bretagne et beaucoup plus tardivement: Basse Normandie -Baie des Veys). La mortalité est alors nettement mise en relation avec le franchissement d’un

seuil thermique de l’eau de mer de 19°C (Samain et McCombie, 2007).

En 2008, la mortalité survient d’abord dans le nord des pertuis (Soletchnik *et al.*, 2013a), au début du mois de mai dans des établissements de l’île de Ré et de Marsilly (Pertuis Breton, figure 6). De très fortes mortalités ont également été observées sur les huîtres de 1^{ère} et de 2^{ème} année à la mi-juin au nord de l’île de Ré puis lors de la maline suivante (fin juin/début juillet) sur une partie des parcs du bassin de Marennes-Oléron et au sud de l’île de Ré. À la mi-juillet, tous les parcs de Marennes-Oléron

étaient touchés et des mortalités anormales d’huîtres de 3^{ème} année étaient relevées. En 2008, toujours, l’évolution spatio-temporelle des mortalités de naissain d’huîtres creuses peut être représentée grâce aux déclarations de surmortalité faites par les ostréiculteurs de Charente maritime (figure 6). Elle présente une caractéristique de propagation, orientée du nord vers le sud, entre avril et juillet 2008 (figure 6 ; Soletchnik *et al.*, 2013a).

A partir de 2009, la situation d’épidémie est déclarée sur tout le littoral français Elle conduit à un modèle de propagation des mortalités de naissain, en lien direct avec un seuil thermique de 16-17°C en deçà duquel, les surmortalités (associées au virus OsHV-1) ne se déclarent pas (Bédier, 2010 ; Pernet *et al.*, 2012 ; Soletchnik, 2013b). La variabilité spatio-temporelle de la mortalité du naissain est donc bien en lien direct avec le cycle thermique saisonnier spécifique au site d’élevage. L’occurrence des mortalités se trouve ensuite modulée, dans le temps et en intensité : i) par la « nature » des naissains (origine, type, histoire zootechnique, ...) avant leur mise à l’eau, ii) par l’ensemble de pratiques culturelles sur ce site (altitude du site, temps d’immersion, densité d’élevage, type d’élevage, mélange de cheptels...), iii) et en interactions étroites avec l’environnement hydro-biologique (température, ressource alimentaire) et hydrodynamique (vitesse du courant, temps de renouvellement, confinement du site) (Soletchnik *et al.*, 2011).

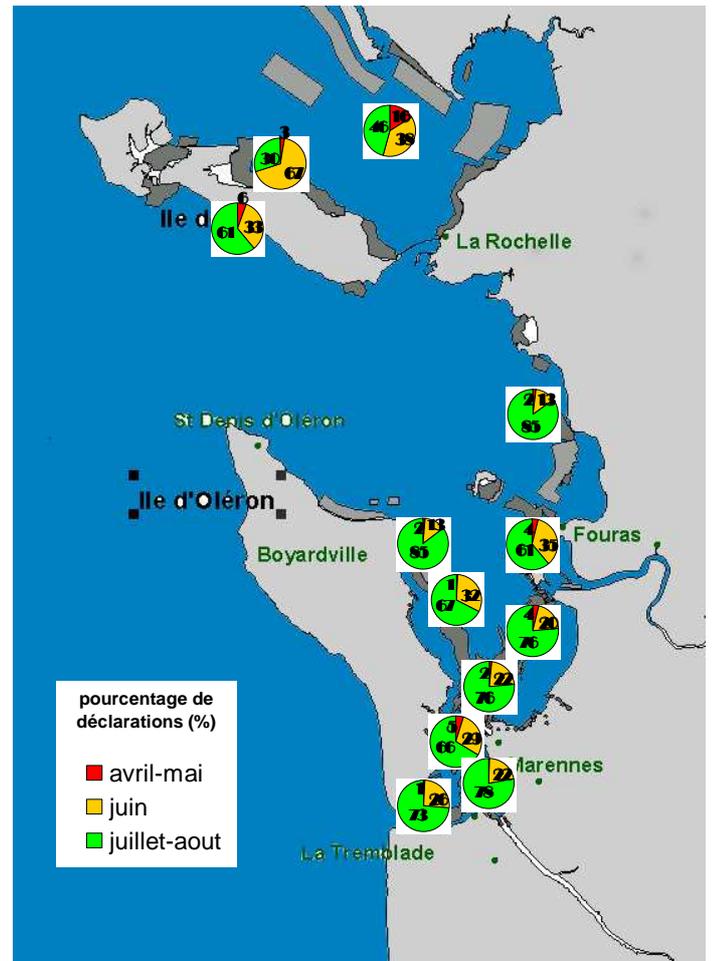


Figure 6. Déclarations de surmortalités de naissains par les ostréiculteurs de Charente maritime entre avril et aout 2008

Tableau 1. Mortalités cumulées observées (en %) sur les naissains d'huîtres creuses en Charente maritime entre 2007-2012, pour les lots témoins « sentinelles » des suivis historiques et les lots expérimentaux d'études dédiées CPER-DDPC (sources Ifremer et CREAA)

				2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nom de l'étude	Sites	Type structure d'élevage	Types stades huître suivis	Mortalité obs. (%)					
RESCO*	suivi sur 2 sites : Loix en Ré ; Banc de Dagnas, *lots issus de captage	poches	naissain, juvéniles et 18 mois	(naissain + juvéniles Dagnas 51%)	(naissain 53%)	(naissain 45%)	(naissain 73%)	(naissain 75%)	(naissain 87%)
CREAA	suivi sur 13 sites : parcs	poches	naissain, 2 ans, 3 ans	(naissain 39%)	(naissain 76%)	(naissain 85%)	(naissain 82%)	(naissain 86%)	(naissain 76%)
CAPRETAR	suivi sur 1 site : Banc de Dagnas	poches	naissain	/	/	/	(naissain précoce 42% naissain tardif 80%)	/	/
CIDAGINF	suivi sur 1 site : Banc de Dagnas	poches	naissain	/	/	(naissain 58%)	(naissain 78%)	/	/
CINDIMOR	suivi sur 1 site : estran la Floride (Ronce)	poches	naissain	/	/	(naissain sur estran 70%)	(naissain sur estran 57%)	/	/
EVIVAS	suivi en écloserie expérimentale (Ronce)	bacs en circuit ouvert sans UV	naissain	/	/	/	/	(naissain)	/
EXOZ	suivi sur 1 site : Banc de Dagnas	poches	naissain	/	/	/	/	(naissain)	/
SERRER	suivi sur 1 site : Banc de Dagnas	poches	naissain	/	/	/	(naissain témoin 93%)	(naissain témoin 25%)	/
SPAC	suivi sur 4 sites (La Tranche, Chaucre, Fouras, la Tremblade)	animaux sauvages sur roche	naissain et adultes sauvages	/	/	/	(naissain)	/	/

/ : donnée non disponible ou inexistante ; *RESCO 2012, réseau REMORA 2007-2008, Observatoire Conchylicole 2009-2011

En 2010, les 3 « pics » de mortalité enregistrés à différentes altitudes d'élevage, succèdent bien à 3 phases montantes du cycle de température, à partir du franchissement du seuil thermique de 16-17°C ; les deux premiers pics survenant au cours des périodes de mortes eaux (Soletchnik *et al.*, 2012a). L'intensité de la mortalité semble dépendre de la vitesse à laquelle le seuil thermique de 16-17°C est franchi et du nombre de jours au cours desquels la température demeure au-dessus de cette température-seuil².

Les données de mortalité du naissain sur les sites atelier du réseau REMORA-RESCO montrent la cinétique de mortalité en lien avec le passage du seuil thermique de 16-17°C durant les mois d'avril ou mai (figure 7). Un pic principal de mortalité survient dans les semaines qui suivent. Globalement, les premières mortalités apparaissent vers mi-mai et atteignent rapidement leur maximum dans le mois qui suit. Une fois le premier pic de mortalité passé, la mortalité évolue peu (figure 7).

Avec un pas de temps d'observation de 2 ou 3 jours, les données de mortalité collectées en 2010 dans le cadre de l'étude CIDAGINF ont permis d'observer sur 4 lots de naissains différents, la soudaineté d'apparition et d'évolution des mortalités (figure 8). La cinétique observée montre une progression très rapide des niveaux de mortalité passant de 0% à plus de 50%, voir 90% en 8 jours à peine avec des pics journaliers à 9% (Saulnier *et al.*, 2011). On remarque également une disparité de la cinétique d'évolution de la mortalité selon les lots sur un même site.

En 2011, la précocité du réchauffement thermique de l'eau de mer (par rapport à 2010), est sensible sur le bassin de Marennes-Oléron. La température moyenne supérieure est supérieure de +2,1°C sur la période mars à mai. La mortalité démarre avec près d'1 mois d'avance par rapport à 2010, et touche de manière brutale l'ensemble des lots.



Naissain sauvage dans le bassin de Marennes-Oléron

² Une oscillation thermique, sur plusieurs jours, autour du seuil de 16-17°C, aura une incidence plus faible sur les mortalités que si la température passe brusquement au delà du seuil, et y demeure.

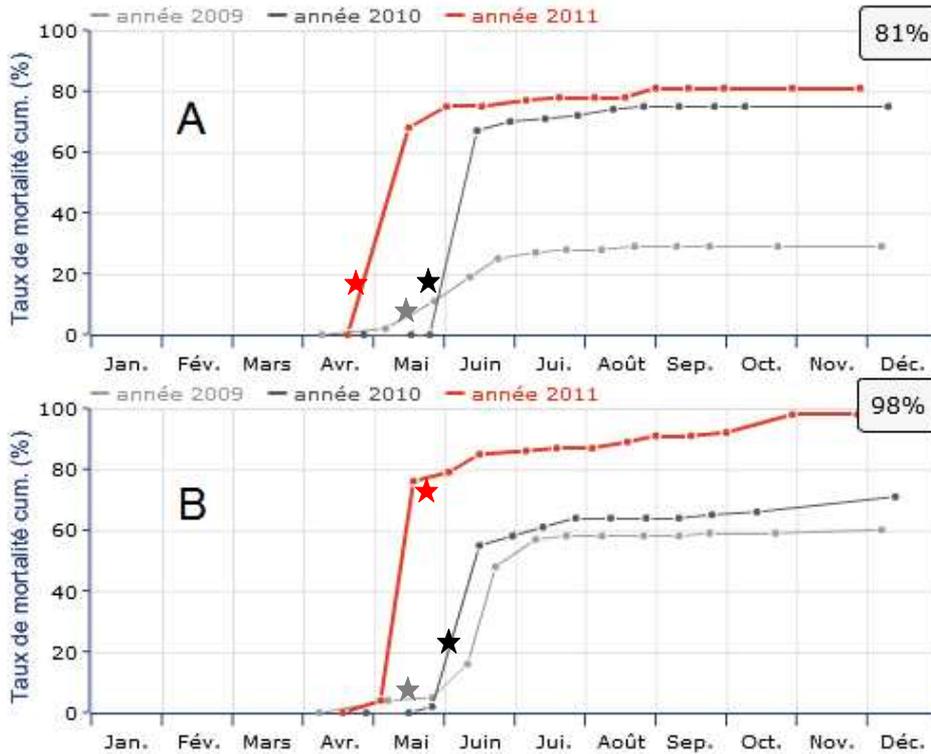


Figure 7 : Cinétiques des mortalités du lot de naissain sentinelle issu d’Arcachon et déployé sur les sites d’Agnas (A) et de Loix en Ré (B) pour les années 2009, 2010 et 2011 (source REMORA-RESCO). Les étoiles marquent le passage du seuil thermique de 16°C associé à un delta de +0.5°C en 72h (S. Guesdon)

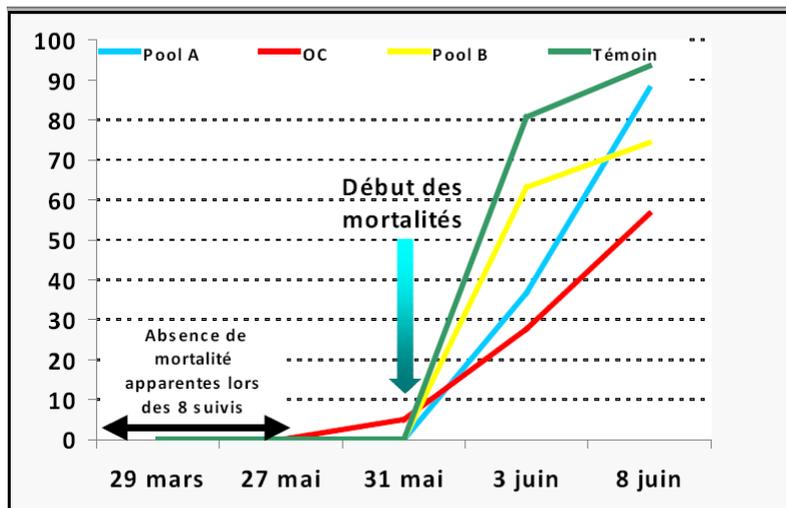


Figure 8 : Évolution des mortalités cumulées (en %) chez des lots de naissain d’huîtres creuses suivis sur le site de d’Agnas en 2010 (baie de Marennes-Oléron), selon l’origine des animaux : Pool A (écloserie), OC (lot sentinelle, captage), Pool B (écloserie) et Témoin (écloserie).

4. COMPRENDRE ET EXPLIQUER LE PHENOMENE DE SURMORTALITE DE NAISSAIN A PARTIR DE 2008.

Avant la crise de surmortalité des huîtres creuses en 2008 et dans le cadre du projet Morest, des analyses statistiques de séries historiques (1993-2003) des bases de données du réseau REMORA ont conclu que les facteurs en lien avec les causes de mortalité différaient entre les naissains (effet des facteurs géographiques et sites dépendants : nourriture et température) et les huîtres de plus de deux ans (effet des facteurs météorologiques années dépendants, nature des pluies, Soletchnik *et al.*, 2007). A partir de 2008, de nombreuses pistes et hypothèses ont été testées par des expériences et études ciblées. L'avancée des connaissances est présentée dans une synthèse (Cochennec-Laureau *et al.*, 2010, 2011).

Dans ce contexte de recherche sur les surmortalités, ce rapport présente : i) des données relatives à l'hypothèse d'une étiologie infectieuse des mortalités mais aussi, ii) la synthèse de huit études et essais dédiés à la compréhension du phénomène de surmortalité de naissain dans les pertuis charentais et menés dans le cadre du projet CPER-PC DDPC (liste des études en pages 9-10).

4.1. RECHERCHE D'UNE CAUSE INFECTIEUSE. DETECTION ET SUIVI DES ORGANISMES PATHOGENES.

DETECTION DES AGENTS INFECTIEUX

Les travaux menés en pathologie ont pour objectifs la détection d'organismes pathogènes et la démonstration de leur rôle dans les mortalités observées. Il s'agit dans un premier temps d'écarter ou de confirmer l'implication d'un organisme pathogène, puis dans un second temps, en cas de détection, de montrer son implication dans les mortalités rapportées.

Les approches méthodologiques mises en place par le Laboratoire Ifremer de Génétique et Pathologie (LGP) de la Tremblade qui héberge le LNR (Laboratoire National de Référence) et le REPAMO, permettent d'explorer d'une part la présence d'organismes pathogènes connus et ayant un impact sur la production conchylicole française (dont l'herpès virus OsHV-1 et les bactéries *Vibrio splendidus* et *Vibrio aestuarianus*) et d'autre part, la possible émergence d'un nouvel organisme pathogène. Les mollusques marins peuvent être affectés par des maladies infectieuses liées à la présence de virus⁷, bactéries⁸, parasites protozoaires et métazoaires, dont

certaines sont à déclaration obligatoire (parasites ciblés par l'OIE et CE : *Perkinsus sp.*, *Mikrocytos mackini*).

Dans le cadre du phénomène de surmortalités des huîtres creuses apparu à partir de 2008 en France, les pistes liées à des toxines ou des pollutions du milieu sont vite écartées du fait de l'ampleur nationale du phénomène (de la Méditerranée à la Normandie, tous types de sites) mais aussi parce que seule *C. gigas* est décimée (moules, coques, palourdes, coquilles st Jacques et les huîtres plates sont très peu ou pas affectées). Ces données sont donc largement en faveur d'une étiologie infectieuse.

De nombreuses analyses ont été réalisées sur des lots d'huîtres moribondes échantillonnés par le REPAMO (déclaratif). Il n'a pas été observé en histologie et par culture, d'organismes pathogènes exotiques et émergents dans l'ensemble des échantillons analysés, notamment pas de détection d'agents listés à déclaration obligatoire. Il n'y a pas eu non plus de détection d'organisme pathogène nouveau. Cependant, le virus OsHV-1 et des bactéries appartenant au groupe *Vibrio splendidus*, ont été détectés dans de très nombreux échantillons analysés (François *et al.*, 2009 et 2010 ; Guichard *et al.*, 2011).

Dans ce contexte, des travaux ont été réalisés afin : i) de préciser la nature de ces agents, en particulier en se penchant sur leur génome, ii) d'étudier leur pouvoir infectieux au travers d'essais réalisés en laboratoire, iii) de développer, transférer, valider et partager des outils de diagnostic spécifiques, (iv) de disposer de connaissances concernant l'écologie de ces agents infectieux.

Avant 2008, les cas de mortalités d'huîtres pouvaient fréquemment être associés à la présence des agents pathogènes comme le virus OsHV-1 et des bactéries du genre *Vibrio* (*V. splendidus*, *V. aestuarianus*, *V. harveyi*) (Garcia *et al.*, 2011). Leur détection en 2008 ne pouvait suffire à expliquer l'ampleur du phénomène de mortalité des naissains, sauf à envisager une (ou des) mutation qui aurait favorisé une virulence ou des facteurs de virulence.

Sur les cas d'animaux affectés par le virus herpès OsHV-1⁹, des recherches biomoléculaires renforcées ont permis la description nouvelle d'un génotype variant jusque là inconnu, appelé **OsHV-1 μ Var**** (*micro-variant*) du fait de la délétion de 12 paires de bases qu'il présente dans une zone microsatellite d'un 'gène' (Pepin *et al.*, 2009b, Segarra *et al.*, 2010). L'émergence forte et rapide de ce génotype variant par rapport au virus de référence décrit et connu depuis 1995 (Davison *et al.*, 2005) a été

observée dans les analyses réalisées entre 2008 et 2010. En 2008, 50% des analyses virales présentent le génotype OsHV-1 de référence (Genbank accession no. [AY509253](#)), l'autre moitié le génotype émergent OsHV-1 μ var (Segarra *et al.*, 2010); en 2009 et 2010, 100% des infections à herpès virus analysées par le LGP présentent le génotype émergent du variant OsHV-1 μ var (Genbank accession no. [HQ842610](#)) (Renault *et al.*, 2012). La fréquence de détection du virus observée dans les lots à mortalité a été respectivement de 75%, 95%, 86% pour 2008, 2009, 2010 (Bilans du REPAMO). A ces données s'ajoute le niveau très élevé des charges virales quantifiées dans les huîtres moribondes ($> 10^{+6}$ copies de génome/mg de chair) grâce à l'utilisation nouvelle par le LNR de la technique de PCR quantitative (Pepin *et al.*, 2008, encart-6) pour ce diagnostic (N.B. deux appareils de type thermocycleur pour la technique de PCR-Q ont été cofinancés par la Région Poitou-Charentes dans le cadre du CPER).

**** Afin de mieux caractériser le génotype du variant OsHV-1 μ var, des isolats du virus ont été purifiés. Les ADN extraits ont été qualifiés au moyen d'un analyseur d'acides nucléiques (cofinancé par la Région Poitou-Charentes dans le cadre du CPER). Ce matériel génomique a permis de réaliser le **séquençage complet du génome du virus** et de le comparer ensuite à la souche de référence AY509253. Parmi les 124 ORFs identifiés (Open Reading Frame, cadre de lecture ouvert), les différences suivantes ont pu être observées :**

- au moins 72 insertions / délétions dans des régions de codantes de l'ADN
- 119 Sites avec au moins une délétion
- 27 sites avec au moins une insertion
- au moins 39 ORFs différents touchés par des insertions ou délétions
- autour de 390 substitutions simples
- parmi les SNP, au moins 186 substitutions faux-sens (codon muté, acide aminé modifié)
- au moins 82 substitutions silencieuses
- au moins 78 ORFs présentent des SNP (Single Nucleotide Polymorphisms).

⁶ La technique d'amplification génique (PCR, PCR-Q et RT-PCR) : La technique d'amplification génique classiquement désignée PCR (de l'anglais Polymerase Chain Reaction), est une méthode d'amplification des acides nucléiques par réaction de polymérisation en chaîne après : une étape d'hybridation des amorces sur l'ADN cible échantillon, une étape de synthèse et d'élongation d'un double brin d'ADN complémentaire par une enzyme (TAQ polymérase). Cette technique permet de rechercher une séquence d'ADN matrice cible dans un échantillon et si elle est présente, de la multiplier de très nombreuses fois ($> 10^{+6}$ copies) de sorte qu'elle soit décelable voire quantifiable. Cette méthode de biologie moléculaire est largement utilisée pour le diagnostic, de par sa très haute sensibilité et spécificité. De plus, des évolutions techniques permettent de décliner cette méthode pour quantifier des cibles ADN (PCR-Q, PCR quantitative) ou ARN (RT-PCR, Reverse Transcriptase Polymerase Chain Reaction). La technique de PCR détecte des acides nucléiques mais ne permet pas de savoir s'ils proviennent d'organismes ou de virus intègres et s'ils sont virulents.

MISE AU POINT D'OUTILS

Diagnostic : Des outils de diagnostic du virus OsHV-1 μ var⁹ ont été développés par le LGP. Un premier diagnostic a été proposé basé sur deux analyses d'un même ADN échantillon, une PCR-Q en première analyse ciblant une région conservée, « générique » des virus du type OsHV-1 (<http://www.eurl-mollusc.eu/content/download/42545/578238/file/OsHV-1RTPCR1.pdf>). Si le résultat de ce test était positif, une deuxième analyse par PCR simple spécifique du génotype du variant était réalisée (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/probe/?term=Pr010595154>). Ce test a été adopté pour la surveillance par la commission européenne de mars 2010 à avril 2011 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/?uri=OJ:L:2010:052:0001:0013:EN:PDF>).

Par la suite, à partir de 2012, un nouveau diagnostic plus sensible et basé sur une PCR-Q direct a été proposé (EURL-Mollusc, 2011). Enfin, cet agent pathogène et son diagnostic ont fait l'objet d'un chapitre spécifique dans le manuel de diagnostic pour les animaux aquatiques de l'office international des épizooties, adopté en mai 2013 (OIE, 2013).

⁷ Qu'est-ce qu'un virus ? Les virus sont des entités biologiques particulières qui se situent entre les êtres vivants et les macromolécules. Ils sont incapables de se multiplier par eux-mêmes et se comportent comme des parasites obligatoires de cellules vivantes dont ils détournent le fonctionnement. Les virus sont constitués par un génome entouré par une coque protéique, la capsid. Selon les virus, le génome (molécule d'acide nucléique) est de type ADN ou ARN.

Données d'épidémiologie relatives au virus OsHV-1

µvar : La détection dès 2008 du variant OsHV-1 µvar dans les lots d'huîtres touchés par les mortalités concernait autant le naissain issu de captage naturel que le naissain issu des éclosiers (2N ou 3N). Au regard des données décrites pour le virus OsHV-1 « de référence » (Garcia *et al.*, 2011) et ses variants connus (Arzul *et al.*, 2001 ; Martenot *et al.*, 2011), le variant µvar semble présenter une virulence accrue vis à vis du naissain.

Transmission : La maladie liée au virus OsHV-1 µvar est contagieuse avec un cycle de vie direct d'hôte à hôte. La source de virus est constituée principalement par les huîtres creuses elles-mêmes, c'est à dire par les animaux infectés chez lesquels la réplication virale est intense et dont les tissus infectés libèrent des particules virales. La transmission verticale est suspectée mais pourrait être confondue et associée aux débris tissulaires infectés des gonades, libérés lors de l'émission des gamètes. La transmission horizontale indirecte est avérée et démontrée, par l'eau de mer, comme vecteur mécanique principal (Pepin *et al.*, 2009a, Schikorski *et al.*, 2011b) comme cela avait été décrit pour OsHV-1 (Le Deuff *et al.*, 1994). Du matériel infectieux peut s'adsorber aussi sur des particules en suspension qui pourraient venir en contact avec le coquillage par filtration ou par ingestion (Soletchnik *et al.*, 2012a). Des huîtres infectées, non détectables positives, peuvent être porteurs asymptomatiques: le virus en faible quantité est en latence et peut transmettre plus tard la maladie à de jeunes huîtres saines (Dégremont *et al.*, 2013a).

Les voies de contamination majeures sont les branchies et le tractus digestif (Schikorski *et al.*, 2011b).

Réservoir : Les stocks d'huîtres creuses infectés présents sur l'estran peuvent jouer le rôle de réservoir (action Spac). Les moules infestées à partir du milieu ne sont pas sensibles à l'infection et pourraient avoir potentiellement un rôle d'hôtes accidentels (test positif en conditions expérimentales).

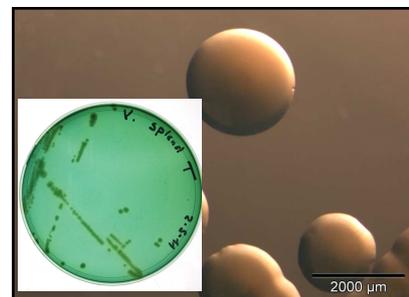
Des études épidémiologiques ont été réalisées sur différents jeux de données (Miossec *et al.*, 2009 ; Gaussem *et al.*, 2012 ; Jolivel et Fleury, 2012) et l'analyse des données soutient les hypothèses suivantes :

-2008 : année d'apparition et/ou première détection du génotype variant OsHV-1 µvar avec contagion intrabassin (Thau et Charente) puis contagion inter bassins,

-2009 : expression de la maladie présente partout en France probablement liée aux transferts des lots d'huîtres infectés en 2008, dissémination de la maladie vers l'Irlande via des transferts,

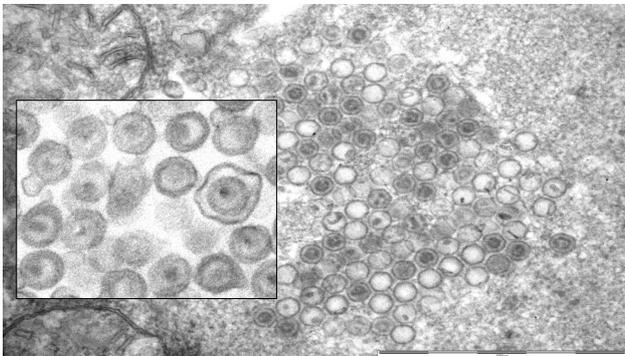
-2010 : confirmation de l'installation de la maladie. En France, on peut considérer que la maladie des jeunes huîtres liée au virus OsHV-1 µvar est devenue « endémique ».

⁸ Vibrions infectant les coquillages : Les bactéries du genre *Vibrio* appartiennent à la famille des *Vibrionaceae*. Ce sont des bacilles à Gram négatif, droits ou incurvés de 1,2 à 3,5 µm de longueur, majoritairement mobiles grâce à la présence d'un ou plusieurs flagelles. En France, les mortalités associées à des vibrions chez les coquillages concernent principalement le naissain et les juvéniles de moins d'un an ainsi que les adultes, quoique de façon moindre. Seules quelques espèces sont connues pour être associées à des épisodes de mortalité de bivalves et pour exprimer une virulence en infection expérimentale. Il s'agit de *Vibrio splendidus* (groupe polyphylétique), *V. aestuarianus*, *V. harveyi* (groupe polyphylétique) *V. alginolyticus*, *V. pectinica*, *V. tubiashii* et *V. tapetis*. Il est à noter que *Vibrio splendidus* et *V. aestuarianus* sont régulièrement détectés libres et viables dans les eaux marines côtières. L'impact des vibrions cités ci-dessus en santé humaine semble nul en l'état actuel des connaissances.



http://www.ifremer.fr/repamo/content/download/32428/444969/file/lf_Fiche_%20Vibrions_0409.pdf

⁹ Qu'est-ce que le virus OsHV-1 et son variant μ Var ? Le virus appelé Ostreid Herpes virus 1 (OsHV-1), appartient à la famille des *Malacoherpesviridae*, il présente une morphologie caractéristique des herpes virus, et possède un matériel génétique à ADN double-brin de grande taille. Il est associé à des épisodes de mortalité chez différentes espèces de bivalves, incluant l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, dans des éclosiers/nurseries et dans le milieu naturel depuis les années 1990. Des variants du virus OsHV-1 ont été décrit chez différentes espèces de bivalves marins dans diverses zones géographiques du monde. Depuis 2008, des épisodes de mortalités massives d'huîtres creuses en France et en Europe ont permis de mettre en évidence l'émergence d'un génotype particulier du virus appelé : OsHV-1 μ Var (microvar). Ce variant semble présenter une virulence accrue et il a été identifié comme la cause majeure des surmortalités d'huîtres juvéniles jusqu'en 2012 en France. Le pouvoir pathogène de ce virus et du variant OsHV-1 μ Var a pu être démontré par la pathologie expérimentale. En terme de santé humaine, la spécificité d'hôte du virus et la distance phylogénétique entre des virus affectant l'homme et ceux affectant les mollusques, permettent de considérer comme nul le risque d'une transmission de ce virus à l'homme.



http://wwz.ifremer.fr/repamo/content/download/32430/444991/file/lf_Fiche_OsHV-1-04009.pdf

Police sanitaire : La santé des mollusques est encadrée par la Directive unique 2006/88/EC émanant de la Commission européenne. Dans le cadre des surmortalités de naissains d'huîtres creuse associées au variant μ var, La Commission assistée de la DGSanco et de la DGAL, ont mis en œuvre des mesures temporaires de contrôle pour définir des zones de confinement des cheptels d'huîtres en cas de surmortalité avérée, vis à vis des transferts de lots en France ou vers l'étranger.

Entre 2008 et 2010, le pourcentage des échantillons collectés lors de mortalités et présentant une détection de *V. splendidus*, a augmenté. Le pouvoir infectieux des bactéries *V. splendidus* et *V. aestuarianus* associé à des toxines du type métalloprotéases et celui du virus OsHV-1 μ var a été exploré en conditions expérimentales (Saulnier *et al.*, 2010 ; De Decker *et al.*, 2011 ; Schikorski *et al.*, 2011a, b). Il a été développé pour ces trois agents infectieux un modèle d'infection basé sur la contamination d'animaux sains par mise en contact avec des animaux expérimentalement infectés. Ce modèle présente l'intérêt de mimer la contamination naturelle et a permis d'étudier le développement de la maladie. Il a ainsi été montré que les bactéries et le virus étaient capables d'infecter très rapidement des animaux sains après contact avec des animaux infectés (Schikorski *et al.*, 2011b). L'implication de la température, de la dose d'agents infectieux ou de l'origine génétique des huîtres dans le développement d'une infection a également pu être mise en évidence au travers d'expériences en milieu contrôlé.

Face aux mortalités massives et récurrentes de naissain, un nombre croissant d'analyses a été demandé à l'Ifremer, tant pour la recherche que par les autorités compétentes (nationales ou UE) ou les professionnels de l'ostréiculture. Pour pallier à cette demande, l'équipe recherche en pathologie du LGP a développé de nouveaux outils de détection. Ces outils de diagnostics spécifiques (PCR-Q) ont été rapidement transférés vers d'autres laboratoires. Ce transfert a été réalisé au travers de formations et leur validation assurée par le biais d'essais de comparaison inter-laboratoires. Ainsi, régionalement, deux laboratoires d'analyses publiques ou privés ont été concernés par ce transfert de méthodes tels le LASAT (la Rochelle et Niort) et GENINDEX (la Rochelle). Actuellement au niveau national, un **réseau de laboratoires pour l'analyse de maladies des mollusques marins** est constitué de 9 laboratoires agréés et 5 laboratoires reconnus.

Cette démarche globale de transfert de protocoles et d'outils, a en particulier permis la mise en place d'études ciblées développées au sein de différents laboratoires Ifremer (Pernet *et al.*, 2012, SPAC, Cindaginif, Cindimor, ...), mais également portées par les centres techniques (CREAA, SMEL, SMIDAP, ...). Des études dédiées ont été conduites par l'Ifremer au niveau national au travers du réseau **RESCO**, mettant en jeu différents lots de naissains d'huîtres « sentinelles » déployés sur 13 sites du littoral français (2009-2012). Grâce aux outils de diagnostic disponibles ces lots ont été systématiquement testés

avant leur déploiement, au cours de mortalités et en fin de suivi (Fleury et Bédier, 2013 ; Jolivel et Fleury, 2012).

En dehors des études ciblées, les cas déclarés de mortalités anormales ont été étudiés. Les résultats des analyses obtenus par le LNR de l'Ifremer sont transmis à la DDAM qui a déclenché l'alerte REPAMO. La DDAM est chargée de diffuser les résultats communiqués, à la SRC et au professionnel à l'origine de l'observation.

Du point de vue de la recherche des agents infectieux associés aux surmortalités de naissain d'huîtres creuses, globalement, pour la période 2008-2012, le fait pathologique nouveau et majeur identifié à partir de 2008 a bien été l'émergence du variant OsHV-1 μ var (Pepin *et al.*, 2009b ; Segarra *et al.*, 2010, Renault *et al.*, 2012). Les analyses menées lors des épisodes épidémiques révèlent que cet agent est détecté dans la majorité des cas suivis avec des charges virales dans les tissus d'huître augmentent fortement durant les périodes de surmortalité pouvant passer de 0 à $> 10^{+7}$ copies par mg de tissu. Ces observations ont pu être faites pour des études traitées par cette synthèse (Cidaginf, Cindimor, Evivas, Spac, *cf. infra*) et sont en accord avec d'autres cinétiques d'agents infectieux mesurées sur le naissain d'huître creuse, sur estran (Blin, 2009 ; Dégremont, 2010 ; Maurice, 2010, Gaussem *et al.*, 2012). Ces auteurs montrent que la détection des bactéries du groupe *Vibrio splendidus* n'est pas corrélée aux épisodes de mortalités estivales des jeunes huîtres. Il existe une corrélation positive significative entre la prévalence d'OsHV-1 et les niveaux de mortalité ainsi qu'entre le niveau des charges virales et la mortalité. L'analyse de données à l'échelle nationale (RESCO) apporte cependant des informations complémentaires qui nuancent le poids des infections à *Vibrio* dans le phénomène des surmortalités d'huîtres creuses entre 2009 et 2011 (Jolivel et Fleury, 2012).

4.2. PRINCIPAUX RESULTATS DES ETUDES

Cette partie du rapport présente un résumé de chacune des 8 études menées entre 2009 et 2011 dédiées à la problématique des surmortalités de naissains dans les pertuis charentais. Le détail des protocoles et des résultats de chaque étude est à consulter dans les rapports spécifiques des études, disponibles sur le site Ifremer [Archimer](#) (liens pages 9-10), ou sur demande à la bibliothèque Ifremer de la Tremblade.

ETUDE CAPRETAR

Etude comparative des caractéristiques cytogénétiques et des performances de survie de naissains sauvages issus du CAPtage PREcoce ou TARDif (2009-2010)

Cette action, s'inscrit dans le cadre d'un lien direct qui existerait entre la nature précoce/tardive d'un captage naturel et la qualité génomique des naissains de l'huître creuse *C. gigas* qui en sont issus : taux des aneuploïdies et des dommages à l'ADN. Cette action vise à estimer durant l'année (2010) les performances relatives de survie de naissains issus d'un captage précoce ou tardif réalisé l'année précédente (2009).

L'objectif de cette étude est de comparer la qualité cytogénétique des naissains de captage précoce et tardif sur deux sites traditionnels de captage du bassin de Marennes-Oléron : Moulière et Seudre, et de tester leur capacité de survie selon les critères, captage précoce et tardif, en lien avec leur qualité cytogénétique. Cette qualité cytogénétique, mesurée par analyses cytométriques, permet de mesurer l'état d'hypodiploïdie des naissains qui se caractérise par l'absence d'un ou plusieurs chromosomes dans le caryotype diploïde normal.

Globalement, les naissains issus des deux zones de captage (Moulière et Seudre) sont caractérisés par la présence d'individus ayant une taille du génome plus faible que la normale (dits aneuploïdes ADN avec un ratio inférieur à 0,38). Les résultats montrent que cette aneuploïdie ADN est présente dans tous les lots mais à des taux différents. Par ailleurs, sur chacun des sites : Moulière, et Seudre, les taux d'aneuploïdie sont plus faibles pour le captage précoce que pour le captage tardif. Le suivi de la mortalité montre que la survie du naissain de captage précoce est meilleure que celle du captage tardif et cela quel que soit le site de captage. Ainsi, le captage précoce subit une mortalité finale moyenne de 42% alors que le captage tardif subit une mortalité finale de l'ordre de 80%. Il apparaît que le taux initial d'aneuploïdie est corrélé (de façon probablement indirecte) au taux de mortalité finale. L'aneuploïdie semble bien constituer un indicateur de qualité des lots de naissains, en lien avec le risque de mortalité. Les naissains aneuploïdes paraissent fragilisés et sont plus à même de succomber à une épidémie que ceux présentant un caryotype diploïde normal (Benabdelmouna A *et al.*, 2011b).

De manière générale, les naissains issus d'un captage précoce présentent les meilleures survies.

CARTographie des Anomalies génomiques dans les gisements naturels d'huître creuses du bassin de Marennes-Oléron (2010)

Depuis son origine en 2005 le réseau « Biovigilance³ » détecte des naissains sauvages issus du captage naturel atteints d'anomalies génomiques dont le taux varie en fonction des années et des sites de captage. Dans d'autres suivis, nous avons montré que ces anomalies génomiques affectant les naissains de *C. gigas* étaient négativement corrélées avec le niveau de survie des naissains. Dans le contexte des mortalités des naissains de *C. gigas* (depuis 2008), et compte tenu du fait que les deux principaux bassins naisseurs français sont à la base de la fourniture de pratiquement les trois quarts des naissains annuellement utilisés, l'occurrence de ces anomalies génomiques mises en évidence dans le cadre du réseau devrait susciter un intérêt particulier sur leurs causes. Sachant que certaines anomalies génomiques pourraient se transmettre d'une génération à la suivante (transmission verticale des anomalies génomiques et donc plus forte sensibilité aux causes de la mortalité), l'action CARTAMO a pour objectif de fournir une première spatialisation de la prévalence des anomalies génomiques dans les bancs de géniteurs sauvages répartis tout le long des pertuis charentais (Benabdelmouna & Hemissi, 2011).

Trois types de gisements sont identifiés, au regard de l'importance des anomalies génomiques qu'ils révèlent :

i) Des gisements très fortement impactés par les anomalies génomiques : c'est le cas du site de l'île madame avec environ 25% des huîtres analysées présentant une quantité d'ADN inférieure à la normale (hypo-diploïdie ADN). Ce site se trouve au niveau de l'embouchure de la Charente et est donc pleinement sous l'influence directe des apports de ce fleuve et de son bassin versant.

³ La mise en place du réseau « biovigilance », résulte des recommandations formulées dans le cadre de l'expertise indépendante demandée par le Comité Scientifique du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche concernant « l'effet d'un flux éventuel d'huîtres tétraploïdes dans les zones conchylicoles ». Mis en place en 2005, ce réseau poursuit sa mission de surveillance de la ploïdie mise en place par l'Ifremer dès 2001 (Benabdelmouna *et al.*, 2012).

ii) Des gisements moyennement à fortement impactés par les anomalies génomiques avec 5 à 15 % des huîtres analysées typiquement hypo-diploïdes. Cette catégorie regroupe des sites situés dans les panaches d'influence des fleuves (Gironde et Seudre) ainsi que des zones proche d'agglomérations (Ré, la Rochelle).

iii) Des gisements faiblement impactés par les anomalies génomiques avec moins de 5% des huîtres analysées typiquement hypo-diploïdes. Cette dernière catégorie regroupe les zones océaniques tournées vers le large ainsi que les zones isolées.

Les résultats présentés ici constituent une première analyse effectuée en 2010. Elle demande à être précisée dans les années à venir. La relation entre l'importance des apports anthropiques et le taux d'aneuploïdie doit être étudiée en croisant avec les données ou les modélisations environnementales du bassin versant. Tout laisse à penser que l'aneuploïdie des huîtres peut servir de bio-indicateur de qualité environnementale des écosystèmes estuariens (huître sentinelle).

Les applications peuvent permettre : (1) une gestion par les professionnels de l'ostréiculture de ces cheptels sauvages (selon ce critère de qualité) ; (2) d'identifier des bancs d'huîtres plus favorables à un repeuplement dirigé ; (3) d'identifier des sites de captage plus favorables que d'autres ; (4) de réaliser des études d'impacts de rejets anthropiques (fleuves et autres exutoires) ; (5) d'aider à la gestion pour d'autres usages (zones sanctuaires, protection de l'environnement, etc...).

Etude de la cinétique de détection d'agents infectieux associés aux épisodes de mortalités sur estran (2009-2010)

Cette étude a pour objectif d'améliorer la compréhension des causes des mortalités de naissain d'huîtres creuses *C. gigas* en pertuis charentais en lien avec les paramètres environnementaux et la cinétique de détection d'agents infectieux ciblés (bactéries *Vibrio splendidus* (groupe), *V. aestuarianus* ainsi que l'herpès virus OsHV-1). Deux campagnes d'échantillonnage (2009 et 2010) ont été réalisées sur le site d'Agnas, avant, pendant ou après les épisodes de surmortalité. L'objectif est de détecter et quantifier à pas de temps serrés (mesure tous les deux-trois jours à l'approche des mortalités) les agents infectieux : i) dans les tissus des naissains d'huîtres creuses en élevage ; ii) sur les huîtres et les moules

sauvages, et les balanes à proximité ; iii) dans l'eau de mer et le sédiment.



Carrusel de sondes physico-chimiques déployé sur le banc d'Agnas

Le suivi des paramètres environnementaux ; température, salinité, turbidité, fluorescence éq. chlorophylle a, oxygène dissous a été réalisé grâce à des sondes physico-chimiques (financées par le CPER et le FEDER). Température et salinité sont mesurées à haute fréquence (1 mesure toutes les 10 minutes). Au total, près de 800 échantillons ont été prélevés et traités pour

extraction d'ADN totaux, et testés par PCR-Q (encart-6) pour la détection des trois agents ciblés. Les principales informations relevées au cours de cette étude sont les suivantes : La cinétique des bactéries appartenant au groupe *Vibrio splendidus* montre que ces bactéries sont très fréquemment détectées en nombre ($> 10^3$ copies/mg) chez le naissain échantillonné vivant, avant ou durant les périodes de mortalité (figure 9). Les niveaux de charges bactériennes détectés dans les tissus n'augmentent pas ou peu durant les périodes de surmortalité. OsHV-1 est faiblement ou pas détecté en dehors des périodes de mortalité alors que sa prévalence augmente rapidement jusqu'à 90-100%, juste avant et durant l'épisode de mortalité (figure 9, cadre vert). Simultanément, les niveaux des charges virales détectées dans les tissus s'élèvent très fortement ($> 10^8$ copies/mg) durant les périodes de surmortalité, entraînant la mort de nombreux naissains. Durant ces épisodes épidémiques les moules, à proximité des huîtres, ne sont pas affectées par des mortalités. Le caractère infectieux des mortalités observées sur ces deux campagnes est bien établi. Néanmoins la bactérie *V. aestuarianus* n'a jamais été détectée. Lors des épisodes épidémiques, les bactéries du groupe *Vibrio splendidus* apparaissent plutôt comme des opportunistes et semblent venir surinfecter le naissain affaibli à la suite de l'infection virale, participant ainsi à la mortalité globale en fin d'épisode.

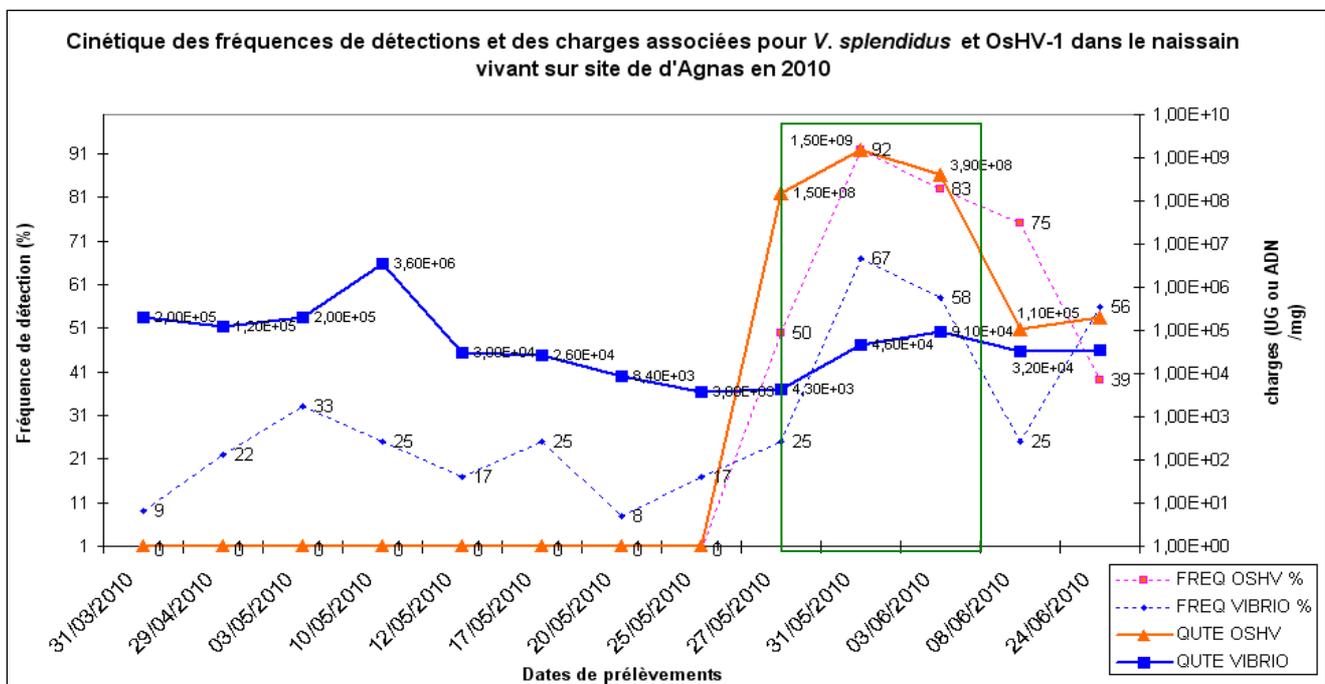


Figure 9 : Cinétique de la fréquence de détection de l'ADN de bactéries appartenant au groupe *V. splendidus* et du virus OsHV-1 ainsi que les charges associées dans le naissain échantillonné vivant sur le banc d'Agnas entre fin mars et fin juin 2010 (le cadre vert correspond au pic de mortalité).

Le suivi régulier et individuel en période à risque (printemps-été) a permis d'établir la cinétique de mortalité de naissains d'huîtres creuses ainsi que la cinétique de détection de l'agent infectieux OsHV-1 et des bactéries du groupe *V. splendidus*, au sein de ces animaux mais aussi dans d'autres compartiments de l'élevage. Des mortalités d'huîtres sont observées six jours environ après un pic de température, avec une eau à plus de 16°C. Les cinétiques des mortalités du naissain sont rapides et très soudaines (figure 8) avec un pic d'expression maximal inférieur à 10 jours.

Pour la première fois⁴, a été détecté l'ADN du virus OsHV-1 dans l'eau de mer des pertuis, dans les moules et dans les balanes, en dehors des périodes de mortalité. Une hypothèse avancée est que moules et balanes pourraient agir comme 'porteurs passifs' des agents étudiés. L'eau de mer paraît agir comme un vecteur mécanique des ces agents pathogènes. Le caractère infectieux des mortalités observées est établi. Il est largement associé à la détection du virus OsHV-1 dans les tissus des naissains. Les données acquises renforcent le lien de causalité entre la détection d'OsHV-1 et la mortalité du naissain observée. Les mortalités observées au cours de ces deux années d'échantillonnage ne paraissent pas liées aux variations des paramètres environnementaux : salinité, turbidité, oxygène dissous ou chlorophylle-a. L'étude montre que les périodes de mortalité sont précédées par une élévation de la température de la colonne d'eau (+0,5°C/jour, > 4 jours). Ce paramètre paraît jouer un rôle clé dans le déclenchement des mortalités de naissain et constitue un facteur de risque important (température seuil ~ +16°C) en lien avec l'expression de l'infection virale à OsHV-1 μ var.

ETUDE CINDIMOR

Etude sur la cinétique et diffusion de la mortalité (2009-2010)

En France, l'ostréiculture de *C. gigas* est basée sur l'utilisation majoritaire de naissains sauvages captés dans les deux principaux bassins de captage naturel que sont Marennes-Oléron et Arcachon (70 à 75% des naissains)

avec un recours croissant aux naissains produits par des écloséries privées (25-30%). A côté de cette diversité d'origine, les naissains élevés en France sont soit diploïdes (sauvages issus du captage naturel ou d'écloserie) soit triploïdes (produits dans les écloséries privées). Depuis 2008, la mortalité des naissains atteint des niveaux record et paraît largement associée au virus herpès OsHV-1. Cependant, plusieurs questionnements se posent concernant l'origine de ces mortalités ainsi que le lien ou le rôle de chaque type de naissains (écloserie versus sauvage, diploïde versus triploïde) dans ces mortalités. Pour répondre à ces questions, l'action « Cindimor (2009-2010) » a comme but principal de déterminer la cinétique et la diffusion de la mortalité pour quatre lots de naissains différents par leurs origines (captage sur estran ou écloserie), diploïdes ou triploïdes. Ces lots ont été élevés seuls ou en mélange dans trois environnements différents : bacs en écloserie, claires ostréicoles ou poches sur estran.

Cette étude montre qu'en condition « isolée », seuls les lots de captage naturel (Arcachon et Fouras) meurent alors qu'aucune mortalité n'est observée pour les lots produits en écloserie (diploïdes ou triploïdes). La mortalité se déclenche à partir de naissains sauvages (issus du captage naturel) initialement testés comme porteurs asymptomatiques ou porteurs « sains » d'OsHV-1, (naissains confrontés à la mortalité et au virus OsHV-1 durant leurs premiers mois d'existence et dont une partie est devenue porteurs asymptomatiques), dès que les conditions environnementales le permettent (seuil thermique). La mortalité se propage ensuite vers les autres naissains indemnes, qu'ils soient issus d'écloserie ou non. Les lots produits par les écloséries sont les seuls qui se révèlent indemnes de mortalité s'ils sont maintenus isolés des lots porteurs issus du captage naturel. L'étude montre l'effet d'amplification des mortalités dans des situations de confinement et de mélange de lots porteurs et naïfs. Ainsi un lot de captage naturel issu de Fouras, élevé seul en claires ou dans l'écloserie subit 39 et 47% de mortalité ; en situation de mélange avec des lots naïfs, les mortalités augmentent pour atteindre 81 et 60%, montrant bien par-là l'effet d'amplification sans doute en lien avec une charge « contaminante » environnementale qui toucherait une population de plus en plus large en s'intensifiant.

En 2009 après que de fortes mortalités, liées à OsHV-1, aient touché l'ensemble des lots (larves, micro-naissain et naissain) élevés dans l'écloserie expérimentale, une barrière UV a été mise en place dans l'écloserie

⁴ Grâce à des protocoles sensibles de PCR quantitative développés au laboratoire et des appareils cofinancés par la région Poitou-Charentes

(Cindimor 2010). Alors que des mortalités ont été observées à l'extérieur de l'écloserie, les lots élevés à l'intérieur ont été protégés par ce dispositif, démontrant ainsi l'efficacité des UV pour inactiver le pouvoir pathogène d'OsHV-1 sur le naissain.

Les suivis réalisés dans cette étude « Cindimor » montrent que pour appréhender la survie de n'importe quel lot durant une année donnée (n), il est essentiel de prendre en compte son histoire de vie, au moins depuis sa fixation réalisée l'année précédente (n-1). En d'autres termes, les mortalités comptabilisées sur capteurs sont un facteur important à prendre en compte pour estimer les performances d'un lot par rapport à un autre (Soletchnik *et al.*, 2011). Ces mortalités sur capteurs sont en lien étroit avec le moment de captage (précoce versus tardif) et agissent en sélectionnant de façon précoce et dès l'année (n) les naissains les plus aptes à tolérer les stress rencontrés durant l'année suivante (n+1) une fois mis sur les sites d'élevage. Ainsi, quel que soit le lot de naissains considéré (captage comme écloserie), son taux de mortalité sera fonction de son histoire de vie (Benabdelmouna *et al.*, 2011a). Ce taux sera :

- Résiduel chez les naissains fortement touchés par la mortalité durant l'année n (naissance): ce sont les naissains issus d'un captage naturel précoce et ayant donc été déjà «écrémés» à un âge précoce (durant l'été-automne),
- Fort à maximal, chez les naissains peu ou pas touchés par la mortalité durant l'année n : naissains non sélectionnés issus d'un captage naturel tardif ou issus d'écloserie et n'ayant pas (ou très peu) subi de mortalité durant leur parcours zootechnique l'année n (avant leur mise en prégrossissement l'année n+1).

ETUDE EVIVAS

Evaluer les interactions entre des paramètres influant sur la survie du naissain (2011)

Cette action teste en conditions contrôlées (écloserie) les facteurs influant sur la survie du naissain, révélés par les expériences et observations terrains. L'expérimentation est menée en écloserie expérimentale, sur la base d'un plan d'expérience à deux facteurs croisés : l'immersion (50% et 100%) et l'alimentation (complément en algues ou pas) entre avril et mai 2011 pour 12 bacs isolés (3 par condition). La particularité de l'étude est liée au fait que le naissain suivi est disposé de manière homogène et collé sur des plaques de PVC. Cette technique permet une identification individuelle et un contrôle de la mortalité et de la croissance par analyse d'images (photos). Après un mois d'élevage, la mortalité moyenne

des bacs est de 52%. Les mortalités finales sont comprises entre 55 et 85% pour 9 bacs sur 12. Malgré la forte contamination initiale des huîtres en virus OsHV-1, 3 bacs sur 12 ne vont pas développer d'épisode de mortalité (1 et 13 % de mortalité pour ces 3 bacs). Les naissains épargnés sont principalement issus de la condition à immersion 50% avec un faible apport alimentaire (pas de complément en algue). La condition expérimentale : immersion 50% et apport complémentaire en algues, subit une mortalité de l'ordre de 57 % inférieure aux valeurs de 72-73% des conditions d'élevage en immersion permanente (avec et sans apport d'algues complémentaires).



Naissain collé sur plaque en bacs individuels dans l'écloserie expérimentale de la Tremblade (EVIVAS)

L'émergence apparaît ici comme le facteur principal permettant un gain de survie des naissains. Aucune relation n'est mise en évidence entre la vitesse de croissance, mesurée par analyse d'image et la mortalité. Ce ne sont pas les huîtres les plus «poussantes» qui meurent en premier quand le processus d'infestation épidémique est engagé.

On observe que la croissance de différents lots en élevage est stoppée pendant la période épidémique. Chez les huîtres survivantes à l'épisode épidémique, la charge virale peut atteindre 10^6 , 10^7 copies ADN génomique/mg de chair (Pepin *et al.*, 2008 ; Sauvage *et al.*, 2009). Chez les huîtres qui ne développent pas d'épidémie, la charge virale augmente jusqu'à des valeurs d'environ $5 \cdot 10^3$ copies par mg.

Des analyses d'eau des élevages (22 avril et le 6 juin 2011) révèlent la présence d'OsHV-1 dans le milieu. Ce résultat montre que la matière particulaire en suspension transporte de l'ADN viral d'OsHV-1 (Sauvage *et al.*, 2009 ; Cidaginf). Par ailleurs, ces travaux ont permis d'évaluer

une nouvelle méthode pour la recherche du virus OsHV-1 dans l'eau (Pepin, *pers. com.*, 12-07-2011⁵). Ces analyses ont permis de mettre en évidence et quantifier des niveaux de contamination virale de l'eau de mer brute en entrée des bassins de l'ordre de 10^{+5} copies ADN viral par litre (Soletchnik *et al.*, 2012a).

Dans cette expérimentation avec une eau non traitée aux UV pour la condition : 100 % d'immersion et apport en algues, le déclenchement des mortalités en éclosion, est parfaitement synchrone avec l'avènement des mortalités dans le sud du bassin de Marennes-Oléron et en Seudre en particulier au tout début du mois de mai 2011.

Parallèlement, dans ces mêmes structures mais avec une stérilisation de l'eau amont par les UV, une étude indépendante faisant cohabiter des huîtres porteuses du virus et du naissain indemnes (Dégremont *et al.*, 2013a) a montré que l'apparition des mortalités dans les bacs avals ne se produisait que lorsque le phénomène était présent aussi dans le milieu extérieur. Par ailleurs, il a été montré que le virus OsHV-1 μ var était très sensible et inactivé par les UV (Pépin *et al.*, 2011b). On peut supposer qu'en plus des particules virales libérées dans le milieu par les huîtres, il puisse être aussi libéré un facteur infectieux non sensible aux UV qui apparaît lorsque la vague épidémique se propage dans le milieu naturel, et qu'il facilite le déclenchement spontané d'une infection virale chez un naissain porteur d'OsHV-1. Cette hypothèse est avancée car dans les deux études indépendantes le naissain est resté indemne de mortalité durant plusieurs semaines alors que les conditions thermiques étaient favorables à l'expression du virus présent dans l'hôte. Ces observations laissent penser qu'au-delà des particules virales libérées en nombre dans le milieu (effet seuil), lesquelles peuvent atteindre le naissain en condition expérimentale, il puisse exister aussi un facteur qui favorise le déclenchement des infections virales latentes qui vont engendrer un cycle lytique qui provoquera les mortalités observées. Un tel facteur s'il existe, pourrait s'apparenter à des formes amorphes de matériel viral non infectieux (enveloppe, tégment, protéines, « L particules ») libérées dans l'eau et décrites chez certains herpes virus (Agut, 2000 ; Aleman *et al.* 2003). Des travaux expérimentaux

complémentaires seraient indispensables pour documenter cette hypothèse.

Les résultats de cette étude montrent une nouvelle fois que les pistes zootechniques de gestion des élevages, dans un contexte épidémique avéré, doivent pouvoir contribuer à améliorer la survie des naissains, même non sélectionnés.

ETUDE EXOZ

Améliorer l'itinéraire zootechnique des élevages de naissains (2010)

Cette action teste des pistes zootechniques pour évaluer l'effet de facteurs environnementaux sur la survie de naissains infectés par le virus OsHV-1 et positionné sur estran (site d'Agnas – figure 1).



Etude de l'impact environnemental (luminosité, déplétion, émersion) sur la survie des naissains sur estran (EXOZ)

Les essais d'élevage de naissain naturel (origine : BMO), porteur du virus OsHV-1, en association avec des moules ou des huîtres adultes (compétition de filtreurs pour la ressource planctonique) ne permettent pas de gain de survie significatif, pas plus d'ailleurs qu'un panel de stress thermiques courts, chauds ou froids testé sur le même naissain fortement contaminé par le virus avant sa mise en élevage sur estran. L'influence de l'exposition des naissains à la lumière n'est pas démontrée. Seule la condition d'élevage à un coefficient de parc de dépôt (coef. 35) permet un gain de survie significatif de l'ordre de 20-22% par rapport aux conditions d'élevage, plus profondes (coef. 55 ou 80). La différence d'altitude sur estran entre 1,5 m et 3m semble expliquer et permettre ce gain de survie. Ce résultat conforte les observations faites en 2009 sur le captage naturel en Seudre (figure 9). Dès 2010, il est mis en évidence un effet bénéfique en

⁵ Ainsi, grâce à cette nouvelle méthode de recherche, la fréquence de détection d'ADN viral dans l'eau de mer est supérieure d'au moins un facteur 2 par rapport à l'analyse d'une prise d'essai directe de l'eau.

termes de survie liée à la **durée d'exondation** plus longue selon la hauteur/profondeur des parcs par rapport aux coefficients de marée. Cette observation sera approfondie et testée expérimentalement en conditions contrôlées dans l'étude « Evivas » où seront évalués les effets des paramètres : « altitude des parcs » (temps et fréquence d'immersion) et l'apport trophique (Soletchnik *et al.*, 2012a).

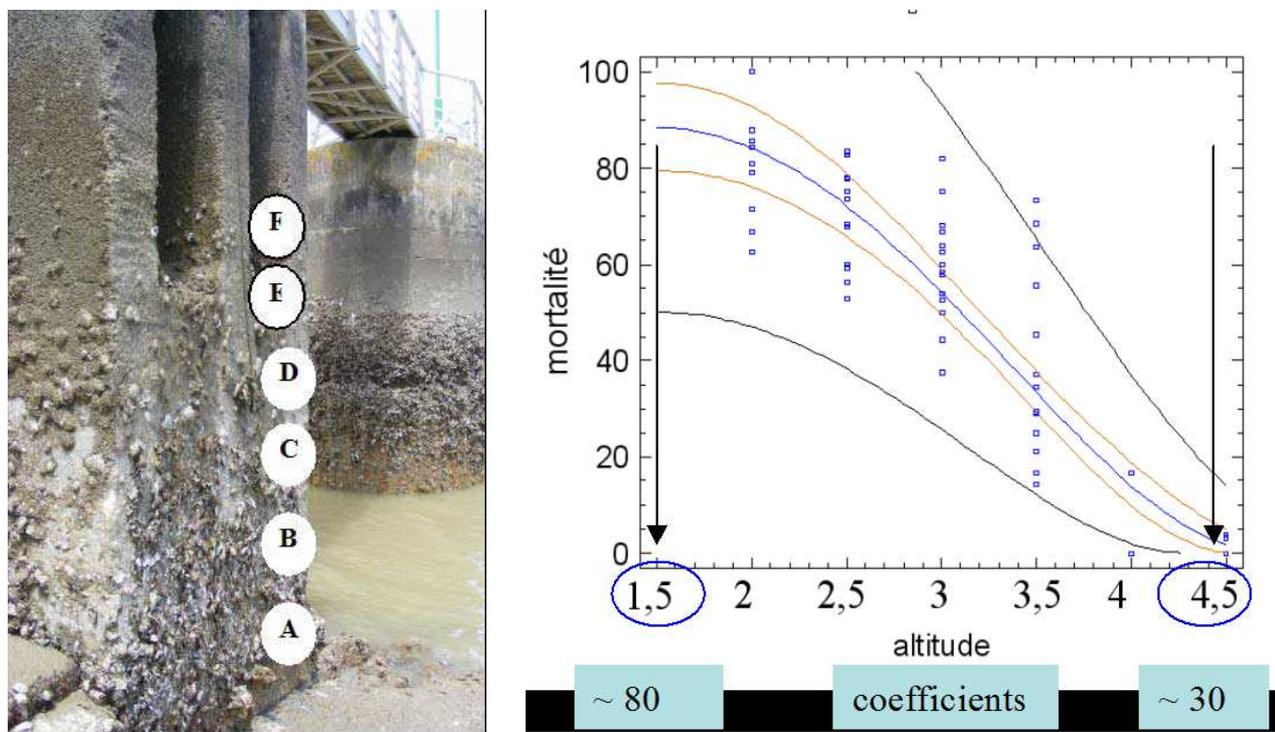


Figure 10. Sites de mesures de la mortalité de naissains sauvages sur le site de la cale de la Tremblade en Seudre (2009) entre 1,5 m d'altitude (A) et 4,5 m (F).

ETUDE SERRER

Evaluation de la survie du naissain de captage naturel en fonction de la période des pontes à partir de lots sélectionnés pour les caractères de survie et efforts de reproduction (2009-2011)

Les mortalités touchant le naissain *C. gigas* sont particulièrement élevées en France depuis 2008 fragilisant de nombreuses entreprises ostréicoles. Cependant, les mortalités estivales d'huîtres creuses sont un phénomène bien étudié et une voie de sortie de crise proposée dès 2001 est la mise en place de programmes de sélection pour l'amélioration de la survie suite à la mise en évidence de la forte héritabilité de ce caractère au stade naissain chez *C. gigas* (Dégremont *et al.*, 2010). Ainsi, des familles d'huîtres *C. gigas* présentant des survies contrastées au stade naissain ont été reproduites et maintenues depuis 2002 par le Laboratoire de

Génétique et Pathologie à la station Ifremer de La Tremblade. Ces lots d'huîtres ont été nommés « R » et « S » respectivement pour leur meilleure résistance et leur plus grande sensibilité aux mortalités estivales.

L'approche développée dans cette étude consiste à produire en éclosion des lots d'huîtres creuses contrastés soit pour l'effort de reproduction, soit pour leur meilleure résistance aux mortalités au stade naissain, ainsi que des lots témoins. De manière à mimer le cycle de vie de l'huître née en mer, les lots ont été produits pendant la période estivale 2009 puis ils ont été cultivés sur estran en 2010 et 2011 dans le bassin de Marennes-Oléron. Pendant les périodes estivales 2010 et 2011, une partie des lots en mer a été prélevée puis ramenée au laboratoire pour y subir des chocs thermiques afin de faire pondre les huîtres matures et/ou de vérifier macroscopiquement le développement

gonadique des huîtres au cours de la période estivale. L'objectif de ces observations est de déterminer les périodes des pontes en fonction du génotype et de qualifier indirectement les capacités de survie des naissains.

Les résultats de notre étude indiquent que le captage précoce ne provient pas de géniteurs présentant une aptitude à générer une meilleure survie au stade naissain. Cependant, comme les naissains de captage tardif semblent être exclusivement issus des géniteurs ayant eu les moins bonnes survies au stade naissain, ce captage tardif a donc toutes les chances de présenter les plus faibles survies au stade naissain. En effet, la ponte tardive et son naissain associé ont une probabilité plus importante de ne pas connaître de mortalités l'année de captage (n) car les conditions environnementales rencontrées sont beaucoup moins favorables aux infections saisonnières et aux mortalités, au contraire des huîtres issues de captage précoce qui subiront une pression de sélection tout l'été de l'an (n).

L'amélioration génétique d'un lot R a été entreprise dès 2009, et les testages de 2011 ont montré un différentiel de survie important entre le lot R amélioré et le lot témoin avec en moyenne 70%. Cette expérience doit être renouvelée avec ce nouveau matériel biologique contrasté et amélioré (lot R amélioré, les deux populations sauvages améliorées ou non) afin de mieux qualifier les capacités de survie des naissains en fonction de la période de captage (Dégremont *et al.*, 2011).

ETUDE SPAC

Spatialisation de la contamination des stocks d'huîtres vis à vis du virus OsHV-1 en Charente maritime (2010)

Dans le cadre des événements de mortalité survenus depuis 2008, aucune étude n'avait abordé la contamination des stocks sauvages d'huître creuse par le virus OsHV-1 μ var. Ainsi, les objectifs fixés étaient de décrire les populations sauvages d'huîtres creuses en Charente maritime (Soletchnik *et al.*, 2012) ; de caractériser ces populations pour l'infection à OsHV-1 et la prévalence du virus (ADN viral détecté par PCR-Q, encart-6) pour le naissain et les adultes en relation avec le niveau d'isolement vis à vis des stocks élevés et les périodes d'échantillonnage.

Cette étude a été réalisée en 2010. Elle a fait appel au modèle hydrodynamique (Mars 2D / Pertuis Charentais), à de l'analyse de données sous SIG (Système d'Information Géographique) et à des évaluations sur le

terrain pour préciser le niveau d'isolement entre les stocks d'élevages et sauvages. Une approche statistique basée sur la stratification des données et tirage au sort a permis de sélectionner 4 sites représentatifs parmi les vingt et un caractérisés: deux sites ayant un niveau d'isolement fort et deux sites ayant un faible niveau d'isolement. En outre, trois périodes d'échantillonnage ont été ciblées (avril, juin et octobre) en tenant compte de la température de l'eau et du risque de mortalité présumé.

Les résultats sont obtenus à partir de 1179 échantillons d'huîtres vivantes analysés pour la recherche du virus (419 lots d'adultes et 760 lots de naissains). 66 échantillons présentaient le génotype variant OsHV-1 μ var. Selon le niveau d'isolement des sites testés, une différence significative est apparue pour la détection d'OsHV-1 quelle que soit la date d'échantillonnage. Il n'y a pas eu de détection d'ADN viral dans le naissain issu des sites «isolés» aux trois dates testées en avril, juin et octobre (n = 398). Une détection positive a été obtenue sur le naissain des sites au niveau d'isolement faible (10,5%, n = 362). Néanmoins, globalement, les stocks sauvages adultes testés ont été trouvés infectés dans tous les sites. Pendant la période épidémique (juin) il n'y a pas eu de détection de virus OsHV-1 dans les naissains ou les adultes testés à partir de sites «isolés» (n = 159) (Pepin *et al.*, 2011a) alors que les stocks en élevage dans les pertuis étaient fortement affectés par le virus (Guichard *et al.*, 2011).

La détection du virus OsHV-1 chez les adultes infectés et asymptomatiques suggère l'existence d'infections persistantes et fournit des éléments pour clarifier le rôle des adultes de *C. gigas* comme réservoir du virus. Les stocks d'huîtres sauvages implantés près de stocks élevés peuvent échanger du matériel infectieux (chair d'huître en décomposition,...) selon une « hypothèse hydrodynamique » et les résultats sont en accord avec un «transport» du virus par les courants (dispersion) associé à la capacité du virus OsHV-1 (particules) d'être infectieux pendant plusieurs jours (>3 jours à 20°C, Pepin, *com. pers.*, 14-03-2011). L'eau peut jouer un rôle dans la transmission, mais pas dans la conservation de virus infectieux dans le long terme. Cette étude a permis d'évaluer à plus de 35000 tonnes les stocks d'huîtres sauvages du littoral de Charente maritime en 2010. Elle montre que les stocks sauvages et d'élevage sont interconnectés sur le plan hydrologique, et qu'une infection est transmissible d'un stock à l'autre. L'intérêt de l'approche «hydrodynamique» permet également de sélectionner des sites contrastés à des fins d'enquête ou de gestion des stocks.



Diversité de support des stocks d'huîtres sauvages dans les Pertuis Charentais (de haut en bas) : anciens parcs à pierres, anciennes lignes de bouchots et banche calcaire)

4.3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES ÉTUDES IFRÉMER RELATIVES AUX SURMORTALITÉS DE NAISSAIN

La recherche des causes qui concourent à expliquer les surmortalités de naissain a été investiguée selon différentes pistes et différentes approches, faisant écho à

l'étiologie multifactorielle identifiée dans le syndrome de mortalité estivale des huîtres (Samain *et al.*, 2007).

PISTES LIÉES À LA QUALITÉ ET AU PHÉNOTYPE DE L'HUITRE POUR EXPLIQUER SA SENSIBILITÉ AUX MORTALITÉS

Pour ce qui concerne l'effet de la qualité du naissain de captage sur estran, 3 opérations (Capretar, Cartamo et Serrer) montrent que la qualité des géniteurs issus du milieu n'est pas directement responsable de la survie du naissain. Par contre, l'historique d'une cohorte semble être déterminant à travers l'effet de « période de captage » ; le captage précoce qui subit une pression de sélection environnementale plus forte et plus longue durant les premiers mois après fixation, sera plus à même de résister aux mortalités du printemps suivant (Capretar) qu'un naissain issu de captage tardif.

Par ailleurs les taux d'aneuploïdie relevés sont plus faibles pour le captage précoce que pour le captage tardif. L'aneuploïdie semble par ailleurs constituer un indicateur de qualité des huîtres issues de captage, en lien avec leur localisation (Cartamo). Ces données sont confortées par les résultats des suivis du réseau Biovigilance (Benabdelmouna *et al.*, 2012). En effet, l'observation géographique semble relier l'intensité de l'aneuploïdie avec les apports des fleuves et autres exutoires côtiers. Si cette relation spatiale est confirmée par une analyse hydrodynamique, alors l'aneuploïdie des huîtres pourrait servir de bio-indicateur de qualité environnementale des écosystèmes estuariens (huître sentinelle).

Les données relatives à la ploïdie (2N ou 3N chromosomes) des lots d'huîtres testés ne paraissent pas être un facteur qui intervient dans la sensibilité aux mortalités sur estran (Cidaginf, Cindimor). En revanche, le caractère R « sélection pour une meilleure survie » a permis d'observer que des lots sélectionnés pour ce phénotype peuvent présenter un taux de mortalité inférieur de 50 à 70% par rapport aux lots non sélectionnés ou issus de captage naturels (Serrer, Dégremont, 2013b).

Le facteur croissance et niveau d'alimentation du naissain dans les conditions testées (Evivas) ne paraissent pas influencer sur les mortalités observées. Par contre on constate un effet significatif de l'âge : les huîtres de moins d'un an sont principalement affectées par les surmortalités (liées à OsHV-1) et quasiment pas les animaux de plus de 18 mois (Cidaginf, Spac, Dégremont 2013b). Un effet 'poids individuel' du naissain semble

interagir avec le niveau de mortalité, les individus plus gros seraient moins affectés par les mortalités (Gaussem *et al.*, 2011 ; Dégreumont 2013b). Ce dernier caractère n'est pas toujours observé dans d'autres études.

PISTES LIEES AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET A LA QUALITE DU MILIEU

Trois études, l'une conduite en écloserie (Evivas) et les deux autres sur estran (Cidaginf et Cindimor), s'intéressent aux processus de développement et de propagation de la mortalité entre des lots d'huîtres de différentes qualités et selon différents environnements. Ces études montrent : que parmi les conditions environnementales d'élevage, l'émersion et le temps d'exondation peuvent permettre un gain de survie (+7%) des naissains (Evivas). Cet effet est équivalent à l'effet positif (hauteur sur estran) observé pour les lots de naissain positionnés et maintenus en haut d'estran (coefficients 35-65, données issues d'Exoz et de certaines études du CREAA). L'émersion des coquillages limite le temps de contact des bivalves vis à vis des agents pathogènes présents dans l'eau.

En terme de contamination des huîtres entre elles (par le virus OsHV-1), le mélange de lots, non porteurs et porteurs du virus, a souvent un effet amplificateur sur le développement de la maladie et donc des mortalités (Cindimor). Les lots produits par les écloséries et testés indemnes du virus, sont les seuls qui échappent aux surmortalités s'ils sont maintenus isolés des lots porteurs issus du captage naturel. L'isolement hydrodynamique de lots de naissains sains dans des sites pas ou peu en communication avec des cheptels porteurs du virus et qui connaissent des mortalités leur permet de rester indemnes du virus OsHV-1 (Spac).

La qualité de l'eau est un élément important comme vecteur mécanique majeur des infections microbiennes et virales pour les mollusques (Cidaginf, Evivas). L'effet inhibiteur des UV, sur les virus circulant dans l'eau, est montré sur des lots isolés en écloserie (Cindimor, Pépin *et al.*, 2011b).

Les paramètres ou conditions testés relatifs : i) à l'exposition à la lumière, ii) à la présence de moules, iii) aux conditions hydrologiques (salinité, turbidité, oxygène dissous, niveau en chlorophylle-a), ne semblent pas intervenir comme seuls facteurs explicatifs des surmortalités de naissains observées dans nos études. En revanche, la température de l'eau (> 16°C) et ses variations rapides (printemps) constituent un facteur

déclenchant et nécessaire dans la survenue des événements de surmortalités liés au virus OsHV-1 μ var. De plus, des essais menés par le CREAA (Bouquet *et al.*, 2010 ; Maurice, 2010) ont montré qu'au-delà de 25°C les mortalités étaient très réduites. Cet effet d'inhibition de l'infection virale à OsHV-1 μ var par des températures hautes (25-32°C) a été confirmé en conditions expérimentales contrôlées (Petton *et al.*, 2013, Pépin *com. pers.*, 11-06-2011).

PISTES LIEES AUX AGENTS PATHOGENES DANS LES ANIMAUX ET LE MILIEU

Le caractère saisonnier, répété et brutal des surmortalités affectant le stade naissain de l'huître creuse depuis 2008 a conduit à rechercher l'implication d'agents pathogènes parmi les causes probables du phénomène. Les données des premières analyses pathologiques réalisées par le LGP (*cf.* encart-1) ne faisaient pas apparaître de maladies à déclaration obligatoire, ni d'agents infectieux nouveaux mais majoritairement des organismes pathogènes connus. Ainsi, des agents infectieux ciblés (virus OsHV-1 ou OsHV-1 μ var et bactéries, *Vibrio splendidus* ou *Vibrio aestuarianus*) ont été recherchés au cours des études : Cidaginf, Evivas, Cindimor et Spac. Durant ces études, la bactérie *Vibrio aestuarianus* n'est détectée ni dans les échantillons d'animaux vivants ou moribonds testés, ni dans l'eau de mer. La bactérie du groupe *Vibrio splendidus* est systématiquement présente avant, pendant, et après les pics de mortalités et ne paraît pas y être associée autrement que comme agent opportuniste (Evivas, Cidaginf) dont l'impact peut être diminué par un traitement antibiotique expérimental qui ne parvient pas cependant à enrayer la mortalité en cours (Cidaginf) renforçant la piste d'une étiologie virale. Il est noté que les naissains utilisés dans ces études étaient déjà porteurs de bactéries du groupe *V. splendidus*, constituées probablement par des souches non pathogènes constitutives de la flore bactérienne commensale endogène (Le Roux et Austin, 2006). De fait, durant les périodes de mortalités échantillonnées, plus de 30% des animaux testés montrent une co-détection du virus OsHV-1 et du *Vibrio splendidus*.

Globalement, la fréquence de détection (prévalence) du virus OsHV-1 dans les huîtres et les charges virales associées présentent des cinétiques parallèles : en dehors des périodes de mortalités, les naissains ont des prévalences faibles (0 à 30% selon origines des lots) et des charges virales faibles (0 à 10³ copies/mg de chair),

juste avant (<3 jours) et au cours du pic de mortalité les charges virales augmentent de manière exponentielle (de 0 à >10⁷ copies/mg) avec une prévalence qui peut atteindre 100% des individus, des mortalités apparaissent concomitamment, pouvant affecter par cumul plus de 95% des lots. Il ne fait aucun doute que les infections virales détectées sont responsables en première cause des mortalités et des épidémies observées dans les populations de naissain d'huître creuse. Les analyses virales réalisées sur certaines études montrent aussi que l'agent causal de la maladie qui est détecté correspond au variant du virus herpès OsHV-1 nouvellement décrit (Pepin *et al.*, 2009b, Segarra *et al.*, 2010) et désigné OsHV-1 μ var alors que la souche de référence connue (Davison *et al.*, 2005 ; encart-9) n'est plus détectée (Ifremer, 2011, p10). La pathogénicité de ce variant OsHV-1 μ var a été démontrée en condition expérimentale contrôlée (Pepin *et al.*, 2009a, Schikorski *et al.*, 2011a, 2011b).

En période épidémique, l'ADN viral est bien identifié et détecté dans l'eau de mer circulant (Evivas, Cidaginf) mais il est aussi détecté dans des moules et des balanes sur les sites d'élevage en dehors et au cours des périodes de mortalité (Cidaginf). L'eau est bien un vecteur mécanique de transmission de la maladie via les particules virales émises, qu'elles soient détectées libres (Cidaginf) ou adsorbées à de la matière particulaire inerte ou vivante (Evivas).

Une période à risque dans le milieu (printemps-été, et température > 16°C) est bien identifiée sur le littoral charentais en lien avec l'expression de l'infection virale à OsHV-1 μ var associée aux mortalités de naissain d'huître creuse (Cidaginf, Evivas, Cindimor). L'expression de cette maladie apparaît « environnement-dépendante » pour le caractère température de l'eau de mer.

Les études associées aux surmortalités de naissains d'huître creuses réalisées entre 2009 et 2011 dans le cadre du CPER DDPC ont concouru à l'identification de la cause principale de ces épidémies récurrentes en mettant en lumière le rôle majeur du virus OsHV-1 μ var comme agent causal du phénomène. Ces études ont favorisé également la compréhension du mode de transmission de la maladie et le rôle de réservoir du virus que constituent les cheptels infectés sur l'estran. Par ailleurs, les différentes approches mise en œuvre permettent de proposer des pistes de sortie de crise pour limiter l'impact de la maladie sur le naissain en élevage (Soletchnik *et al.*, 2011). Il est possible d'envisager de réduire le risque des mortalités par la réduction du nombre d'huîtres des lots à risques qui sont les lots

initialement porteurs asymptomatiques d'OsHV-1. Ainsi une pratique culturale orientée vers l'utilisation du captage précoce sur lequel une sélection naturelle précoce s'est opérée durant l'été, devrait permettre d'améliorer la survie du naissain.

L'expression de l'infection conduisant à de fortes mortalités peut-être modulée aussi par les facteurs environnementaux (ex : température), des pratiques culturales (hauteur sur estran, choix des périodes de mise l'eau et transfert, non mélange de lots) et également par une prophylaxie d'élevage (UV, bassins isolés en éclosion). Par contre cette « préservation » du naissain sur quelques mois, n'est pas facile à maintenir « dans la durée ». Elle peut également affecter la croissance des animaux.

Le recours possible à des lots de naissain sélectionnés/améliorés pour la survie montre son intérêt et son efficacité. La sélection permet de limiter significativement l'impact des surmortalités associées à l'herpès virus de l'huître et constituera la voie principale de lutte pour aider la filière ostréicole (Sauvage *et al.*, 2009, Dégremont 2011 et 2013b, Dégremont *et al.*, 2013a).

Les données de ces études renforcent, pour des cohortes ou des lots ciblés de naissain, la connaissance et l'identification des liens entre les facteurs d'exposition (précocité du captage, polluants génotoxiques, température de l'environnement, âges des lots, position sur l'estran, date de déploiement, positionnement /isolement hydrodynamique, présence antérieure du virus OsHV-1 μ var) et la survenue d'événements de santé ou de mortalité associés notamment à la détection l'infection virale à OsHV-1.

Grâce aux résultats de ces travaux, l'étiologie des surmortalités des naissains d'huître creuse dans les pertuis charentais est mieux précisée et ces données complètent les informations obtenues par analyses et expérimentations en laboratoire (*cf.* Ségarra *et al.*, 2010 ; Pépin *et al.*, 2011b ; Schikorski *et al.*, 2011a 2011b ; Dégremont *et al.*, 2013a).

Ainsi, l'étude des relations causales entre les facteurs d'exposition mesurés et la survenue des mortalités massives de naissain d'huître creuse *C. gigas* entre 2008 et 2012 met clairement en évidence une étiologie virale associée à l'émergence de l'herpès virus OsHV-1 μ var comme l'agent causal majeur de ces événements (Jolivel *et Fleury*, 2012).

5. GESTION DU RISQUE : COMMENT LIMITER LE PHENOMENE DE SURMORTALITE ET SON IMPACT SUR LA FILIERE

L'intensité des mortalités observées entre 2008 et 2012 sur les naissains d'huître creuse en particulier est très forte et sans précédent, tant au niveau national qu'au niveau de la région Poitou-Charentes. Les niveaux de mortalité atteints sont tels qu'il a pu être envisagé des conséquences irréversibles pour la filière ostréicole française et l'espèce cultivée. Ainsi, on a pu craindre un effondrement du recrutement de naissain de captage naturel, la disparition des populations de géniteurs d'huîtres, une inflation des cours de vente du naissain, des pénuries de naissains, une flambée des prix des produits pour la consommation... (voir le forum du site Ostrea : <http://www.ostrea.org/spip.php?rubrique5>).

Bien heureusement, les pires scénarios n'ont pas mis à terre la filière mais les conséquences de la crise ont été lourdes et les pertes subies par les ostréiculteurs ont justifié dès 2008 la mobilisation de fonds d'aides publiques. Les exploitations ostréicoles victimes des surmortalités de naissains et/ou de demi-élevages qui ont connu des pertes >50% et les ont déclarées, ont pu solliciter: i) le fonds d'allègement des charges, ii) le fonds d'indemnisation des pertes pour calamité ostréicole, iii) l'exonération des redevances domaniales. Entre 2008 et 2012, les aides versées par l'Etat aux ostréiculteurs se sont élevées à plus de 110 millions d'euros (Journal Le Marin du 12 août 2013). La Charente maritime qui a connu les pertes les plus importantes a bénéficié le plus de ces aides (source DPMA).

Dans le cadre d'un projet national piloté par le CNC et visant à produire et fournir des familles sélectionnées pour une meilleure survie (SCORE), la Région Poitou-Charentes a participé au financement d'une écloserie expérimentale sur le site Ifremer de Bouin (Vendée, PRI : plateforme de Recherche et d'innovation).

Par ailleurs, d'après le bilan réalisé en 2011 (Mille et Le Moine, 2011), sur un cycle complet d'élevage d'huître creuse en Charente maritime, la survie était (avant 2008) de 40% pour un naissain naturel issu de captage ou 2N d'écloserie et de 60% pour du naissain 3N arrivé à taille marchande. Depuis, les données ont évolué considérablement, avec 18% de survie seulement au bout de trois années d'élevage pour des huîtres issues de captage nées en 2008 et vendues en 2010 et seulement 14% de survie pour le cycle 2010-2012. Cette surmortalité diminue par deux le rendement biologique des élevages (Mille D., 2013), si l'on ne tient pas compte

des stratégies d'adaptation des professionnels. En effet, ceux-ci ont eu recours à davantage de collecteurs de captage, de garniture achetée ou récoltée sur l'estran (huîtres sauvages). Depuis « l'apparition » de la forme plus virulente de l'herpès virus de l'huître OsHV-1 μ Var en 2008, les huîtres triploïdes connaissent globalement les mêmes niveaux de mortalité que les huîtres issues de captage, entraînant ainsi une perte de rendement plus conséquente pour cette filière zootechnique (perte d'un facteur 3).



Les résultats des expérimentations menées depuis 2008 dans les écosystèmes conchylicoles français pour étudier le phénomène de surmortalité de naissain d'huîtres creuses montrent que certaines pratiques culturales permettent de préserver des naissains indemnes de mortalité ou de réduire dans une certaine mesure l'intensité de ces mortalités (Soletchnik *et al.*, 2011, Ifremer, 2011).

Il ressort de cette étude que la qualité initiale du lot revêt une grande importance, tant par son statut sanitaire (exempt de virus) que par la sélection exercée par l'environnement sur la population de naissain avant sa mise en élevage⁶. Des naissains « indemnes » de virus OsHV-1 sont capables de survivre à plus de 90% en situation d'isolement et de confinement hydrodynamique (nurserie ou claires ostréicoles). En situation d'épidémie déclarée dans un écosystème conchylicole, le naissain de captage ou celui d'écloserie

⁶ Il s'agit bien là de sélection « précoce » et non de sélection génétique. La sélection génétique permettant la production de naissains plus « résistants » ne fait pas partie de cette étude. Elle constitue une voie prioritaire de recherche et offre déjà des résultats et des perspectives essentiels pour la profession.

semblent touchés dans des proportions semblables (analyse à l'échelle d'un bassin). Mais il est clairement montré un gain de survie, en faveur du naissain issu d'écloseries par rapport au naissain issu du captage naturel à l'échéance du bilan sur une année (Jolivel et Fleury, 2012).

Certains travaux, en Méditerranée et sur la côte atlantique donnent, en 2010, un avantage de survie aux naissains triploïdes (3n) par rapport aux diploïdes (gain de 20 %) (Gaussem *et al.*, 2012). En deçà d'une température de 16°C, la survie des naissains est favorisée ; au-delà de 24°C, en Méditerranée, la mortalité est plus faible. Entre 16°C et 24°C, des gains de survie ont été obtenus au cours d'expérimentations ayant permis de réduire le risque épidémique grâce à : i) l'isolement d'un lot « indemne » (vis à vis d'autres lots potentiellement contaminants) et ii) l'isolement hydrodynamique de ce lot (vis à vis d'un environnement potentiellement contaminant). Cette situation est rencontrée au niveau des parcs de dépôt (isolement hydrodynamique relatif du fait de l'émersion importante) ou dans certains écosystèmes ayant bénéficié d'un isolement géographique (exemple de Pen-Bé, Quiberon, Ouest-Cotentin, lagunes semi-fermées de Méditerranée).

En termes de saisonnalité, la crise épidémique semble connaître sa plus forte intensité durant la période printanière, juste après le franchissement du seuil thermique de 16°C. La mortalité semble d'autant plus marquée que le franchissement de ce seuil est brutal. En fait, les spécificités hydrodynamiques et les pratiques culturelles saisonnières (contexte épidémiologique saisonnier) concourent à faire du printemps une période plus à risque que l'été. Aucune structure d'élevage par elle-même n'améliore réellement la survie, sauf si elle est mise en œuvre dans un environnement favorable (exemple des cages et filières en deçà de 16°C, ou cordes à très faible densité). De la même manière, l'effet de la densité sur la survie est souvent contradictoire (sujet bien documenté par de nombreuses études, (Blin J.L., 2009b ; Soletchnik *et al.*, 2011).

D'une façon plus générale, des gains de survie sont à rechercher dans des itinéraires zootechniques qui sauraient combiner des spécificités (ou opportunités) de sites régionaux avec les pratiques culturelles : choix de lots de naissains « naïfs », isolement de ces lots vis à vis de lots « contaminés », utilisation de parcs de dépôts dédiés à ces lots, *etc.* Ces pratiques culturelles adaptées doivent viser à réduire la contamination pendant la période épidémique, via la certification de l'état sanitaire des naissains, et la réalisation d'actions de

gestion des cheptels sur estran, en lien avec le Domaine Public Maritime (DPM) et les connaissances hydrodynamiques régionales.

En résumé, à la lumière des travaux présentés dans cette synthèse et des informations collectées par ailleurs (études nationales), il est possible de proposer des pistes de gestion des cheptels et des pratiques d'élevage qui prennent en compte les facteurs de risques associés à l'infection virale OsHV-1 pour minimiser ses ravages sur le naissain :

- Utilisation systématique d'UV dans les écloseries, bio-sécurisation, qualification zoo-sanitaire des naissains avant transfert.
- Mise à l'eau sur estran et/ou déploiement des naissains hors et après les périodes à risques (élevage sur zones en eau froide < 15°C ; après les pics de mortalités)
- Qualité des lots : transfert sur estran des animaux au-delà de 5 grammes, contrôles sanitaires des lots avant déploiement ; utilisation de lots de naissain issus de captage précoce ; utilisation de lots à survie améliorés par la sélection ; utilisation de lots testés indemnes de virus dans des sites à fort isolement hydrodynamique ; renforcer la traçabilité des lots ; prophylaxie ;
- Limiter les mélanges de lots, limitation des transferts en période à risque et/ou à partir de zones connaissant des surmortalités ; choix de sites d'élevage, ex : élevage sur haut d'estran, sur parc de dépôt en période à risque ;
- Ne pas manipuler de lots qui présentent des mortalités en cours.

Quelles que soient leurs validations expérimentales, les préconisations découlant de cette analyse ne pourront être pleinement acceptées par la profession ostréicole qu'une fois évaluées au plan économique et social.

6. INFORMER ET COMMUNIQUER

De part ses mandats et missions institutionnels, l'Ifremer a vocation à régulièrement partager ses connaissances, que ce soit avec les autorités compétentes, les services déconcentrés de l'Etat, la communauté scientifique, les usagers, les filières professionnelles et l'industrie, le citoyen, les étudiants. Face à cette situation de « crise », l'Ifremer a renforcé ses espaces et outils de communication afin de répondre aux attentes et d'offrir une information actualisée au plus prêt des connaissances et des travaux en cours.

6.1. A L'ECHELLE DE LA REGION

ACTION DE COMMUNICATION : COMOR

Dès 2009, les partenaires régionaux : CRC, CREA, DDTM et Ifremer, créent une cellule de crise afin de communiquer rapidement et « d'une seule voix », sur la surmortalité des naissains. Cette cellule traite de façon très réactive l'information issue des réseaux de surveillance (Ifremer et CREA) pour la rendre disponible la profession. A l'issue de chacune de ces réunions, un bulletin est produit ; Le Flash Info Maline (FIM), diffusé par le CRC Marennes à l'ensemble des professionnels de la région (figure 11). A ce jour, depuis 2009, 24 réunions ont donné lieu à 24 bulletins « FIM ». Ces FIM sont par ailleurs été largement diffusés sur Internet et sont largement « téléchargés » par les internautes. <http://www.ifremer.fr/lrperc/Periodiques/Flash-Info-Maline>

Flash Info Maline n°7
Le 26 octobre 2009

Le « Flash Info Maline » présente aux ostréiculteurs une actualité sur les mortalités 2009. Les faits et connaissances communiqués sont validés par l'ensemble des partenaires : Ifremer, Crea, Affaires-Maritimes et SRC.

Section régionale de la conchyliculture de Poitou-Charentes
Ifremer

À l'approche de la fin de la saison, ce dernier bulletin de l'année souhaite faire état des dernières informations recueillies depuis le début du mois d'août. Au cours de cette période, les surmortalités ont disparu excepté pour les naissains d'écléserie mis à l'eau en été. Sur l'année, les naissains ont subi une mortalité jamais vue depuis le démarrage des réseaux (85 % sur les naissains naturels).

Bilan des réseaux en Charente-Maritime

- Les huîtres :
 - À la fin-septembre, la mortalité cumulée sur le naissain atteint 85 % dans le cadre des différents observatoires. Les écarts entre les parcs sont faibles (de 75 % à 91 % à Marennes-Oléron et de 88 à 97 % sur l'île de Ré). Le même naissain sur les filières a été touché à 72 % (les Saumonards) et à 61 % (peruis breton). L'évolution depuis le début du mois d'août est de 5 % pour une mortalité estivale totale de 11 %.
 - Pour les huîtres de 18 mois, la mortalité est restée faible cet été. L'évolution depuis le début du mois d'août n'a été que de 3 %. Le cumul de 13 % depuis le début de l'année est très inférieur aux 26 % relevés en 2008 à la même époque. Certains parcs sont davantage touchés : 16 % sur Bourgeois, 17 % au Martray ou 42 % à la Flotte.
 - Sur les huîtres de 3^{ème} année, les pertes sont inférieures à celles des deux dernières années (8 % en moyenne).
- L'environnement :
 - L'été a démarré avec une température moyenne en juillet conforme aux valeurs habituelles et s'est poursuivi par un mois d'août plus chaud que la normale (maxi de 23-24°C). Au mois d'août, les pics de phytoplancton ont été de grande intensité mais précoces et la salinité a été proche de la normale.

Les réseaux des autres régions

Depuis le dernier bulletin, un seul nouveau lot a fait l'objet d'une saisine par le REPAMO. Au total, 55 lots ont été reçus et analysés au niveau national. Le virus OshV-1 a été détecté dans 51 cas sur 54, *Vibrio splendidus* dans 25 cas sur 53 et *Vibrio aestuarius* dans 5 cas sur 53.

Informations complémentaires

- Les évaluations en cours en Charente-Maritime indiquent un captage et une mortalité très variables entre les secteurs. Les pertes sont de 32 % en moyenne sur les collecteurs échantillonnés. Elles varient entre 10 et 88 % selon les secteurs. Ces mortalités inhabituelles concernent surtout les huîtres captées en juillet. Seule la Charente, jusqu'à la côte sud de Fouras semble peu touchée.
- 379 déclarations de mortalités représentent 1124 concessions pour l'ensemble de la Charente Maritime ont été déposées par les professionnels.
- Des cas de mortalité atteignant des lots d'écléserie mis à l'eau dans le courant de l'été, ont été rapportés.

Le suivi renforcé des agents infectieux sur du naissain naturel

Les premières conclusions montrent que :

- les périodes de mortalité s'observent après une hausse subite et importante de température
- on observe une présence importante de deux pathogènes : OshV-1 (herpès virus) et *Vibrio splendidus*
- les autres bactéries recherchées (*Vibrio aestuarius* et *Vibrio harveyi*) n'ont jamais été décelées
- la bactérie *Vibrio splendidus* a été décelée tout l'été
- le virus OshV-1 a été détecté durant les périodes de mortalité
- la non-détection de OshV-1 correspond à une période d'arrêt des mortalités

Un document de synthèse sera prochainement transmis à la profession.

Rappel sur les fiches de mortalité

Poursuivez l'envoi de vos déclarations de mortalités auprès des Affaires Maritimes.

En privilégiant la mise en relation des différents organismes, la cellule de veille installée en mars 2009 vous proposera un état des connaissances sur les mortalités au début de l'année prochaine.

Figure 11. Flash Info Maline : Bulletin d'information à l'intention des professionnels de la conchyliculture

Dans le cadre du projet « durabilité de la pêche et de la conchyliculture » (DDPC) par la Région Poitou-Charentes (CPER 2007-2012), chacune des études a donné lieu à des communications (posters, colloques, rapports) transmis à la Région à l'issue de chaque année du contrat, et dont certains ont également été incorporés dans la base

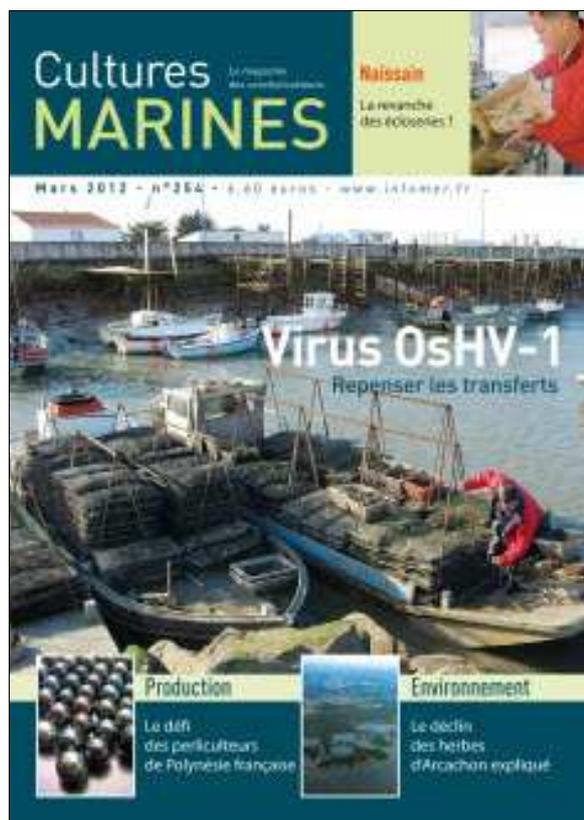
bibliographique de référence de l'Ifremer (Archimer), consultables sur le WEB par un large publique.

6.2. A L'ECHELLE NATIONALE

A l'échelle nationale, l'ampleur de la crise est telle (en 2008), qu'elle justifie, dès 2009, la mise en place de mesures exceptionnelles afin d'étudier, informer et communiquer sur cette problématique. Sous l'égide de l'Ifremer et avec le soutien de la DGAL, un comité d'experts est mis en place (cellule de crise) et un projet « Surmortalités » est créé la même année, afin de coordonner les actions de recherches des différents acteurs (Ifremer, instituts techniques essentiellement). Dans le cadre du projet (Ifremer) « Surmortalités » quatre rencontres d'échange et d'information ont eu lieu à Nantes entre scientifiques et représentants de la profession (novembre 2008, décembre 2009, décembre 2010 et novembre 2011). Cette dernière a donné lieu à une restitution des résultats les plus marquants et les plus solides auprès de l'administration et des professionnels à Paris en janvier 2012 (<http://archimer.ifremer.fr/doc/00084/19574/17196.pdf>). Des séminaires dédiés à la problématique se sont tenus en 2009 et 2010, ouverts à l'ensemble des partenaires impliqués (professionnels, Instituts techniques, Autorités). Ils ont donné lieu en tout à 66 communications scientifiques orales (génétique, épidémiologie, pathologie, pratiques culturelles,...) correspondant à une communication large sur les connaissances acquises (Cochennec-Laureau *et al.*, 2010 ; Cochennec-Laureau *et al.*, 2011). Les présentations et les résumés de ces travaux ont été synthétisés et mis en ligne en accès libre sur la base Archimer de l'Ifremer (<http://archimer.ifremer.fr/>).

D'autres formes de communication ont été effectuées à l'échelle nationale : communication directe de données et résultats d'analyses (LGP) des pathologistes et des généticiens vers : le CNC, la DGAL. Les nombreux bulletins de surveillance du REPAMO, et du REMORA – RESCO, transmis aux partenaires institutionnels et aux tutelles correspondent également à des formes de communication et d'information. La communication des résultats est également faite sur les sites Ifremer dédiés ou non à cette problématique.

Enfin, d'autres acteurs ont été amenés à communiquer par voie de presse sur la crise de surmortalité des huîtres (ex : couverture de la revue Culture Marines N°254, mars 2012, ci après).



7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans le contexte des évènements de surmortalité des naissains d'huître creuse survenus à partir de l'année 2008, le projet « Développement Durable de la Pêche et de la Conchyliculture dans les Pertuis Charentais » (DDPC-CPER) a accompagné et financé des études sur ce thème. La présente synthèse résume les principaux résultats et connaissances acquises par l'Ifremer au cours des années 2007-2012. Les données présentées sont principalement issues des travaux des laboratoires Ifremer de la Tremblade (le LERPC, Laboratoire Environnement Ressources des Pertuis Charentais et le LGP, Laboratoire de Génétique et Pathologie) et des observatoires conchylicoles de l'Ifremer et du CREA. L'analyse de ces données renforce la connaissance et l'identification des causes et des facteurs associés à cette « crise » ostréicole. Contrairement aux conclusions du projet MOREST qui a établi le caractère multifactoriel des mortalités d'huîtres creuses adultes, il a pu être établi à partir de 2008 qu'une maladie émergente infectieuse liée à un variant de l'herpès virus de l'huître non décrit jusqu'alors, le virus OshV-1 μ var (Segarra *et al.*, 2010) apparaissait comme l'agent causal majeur pour expliquer

le phénomène des surmortalités de naissain en France, en plus de *Vibrions* pathogènes déjà connus. Ainsi, les travaux présentés ont contribué à la caractérisation des interactions en jeu dans les épidémies répétées sur les naissains entre 2008 et 2012. Ces études ont permis de définir : i) les populations affectées (espèce sensible : *C. gigas* ; stades d'élevage affectés : naissain, origine : captage naturel ou éclosion, sites touchés,...), ii) les agents pathogènes majeurs associés (virus et *Vibrions*) et iii) les paramètres environnementaux qui conditionnent l'expression des mortalités de naissain (saison, température, hydrodynamisme...). De plus, les études développées au cours du CPER (2007-2013) ont contribué à montrer que la qualité du naissain était essentielle à sa survie et que des naissains issus d'un captage précoce étaient plus à même de résister à l'épidémie (CAPRETAR, CINDIMOR). Ainsi, 42% de mortalité a été obtenu pour un lot de captage précoce versus 80% sur le lot de captage tardif (CAPRETAR). Des pratiques culturelles qui privilégient un temps d'émersion plus important des cheptels, permettent un gain de survie appréciable la première année (EXOS, EVIVAS). De fait, 57% de mortalité a été obtenu pour un lot à 50% d'émersion versus 72% sur ce même lot à 0% d'émersion (EVIVAS). Ces résultats vont dans le même sens d'une diminution du risque (ou de la vitesse ?) de contamination en réduisant la durée de contact de l'huître avec l'eau de mer, vecteur de propagation du virus. En effet, une relation existe bien entre la connectivité des stocks d'élevage et sauvages, et le niveau de contamination virale de ces derniers dans les pertuis charentais (SPAC). Enfin, les conditions d'expression de la maladie et de sa transmission ont été étudiées (EVIVAS, CINDIMOR). L'hypothèse d'un facteur « lambda » impliqué dans l'expression de l'organisme pathogène en lien avec l'épidémie et les mortalités est proposée (EVIVAS). Les taux de mortalité varient selon les conditions de transmission (isolement hydrodynamique en claire) et la qualité de naissain (CINDIMOR). Enfin, l'investigation réalisée sur la présence du virus dans l'écosystème estuarien du Bassin de Marennes-Oléron (CIDAGINF, SPAC) montre bien que l'ADN viral d'OSHV-1 est présent dans l'eau (CIDAGINF), dans des espèces sessiles de proximité des élevages (CIDAGINF), sur les stocks d'huîtres sauvages (SPAC), et que le taux d'anomalie chromosomique des huîtres sauvages est variable selon leur positionnement géographique dans les pertuis charentais (CARTAMO). Il est ainsi montré que les performances de survie des lots de naissains mis sur estran ou en conditions contrôlées peuvent présenter de forts écarts selon les conditions de « sélections » des lots

(variabilité de réponse des familles face à la sélection naturelle du milieu), leur historique (précoce, tardif, endurcissement, présélection naturelle) et leur environnement (effet isolement, effet température, effet temps d'émersion...).

Cependant, pour l'heure, il n'existe pas de solution « miracle » pour éradiquer le virus et cette maladie émergente (forme variant μ Var) constitue un défi sérieux pour l'élevage de *C. gigas*. Durement touchée, la filière professionnelle ostréicole et celle de la Charente maritime, en particulier, qui a connu les pertes les plus importantes ont pu bénéficier des fonds d'aides publiques mis en place dès 2008 (source DPMA). Face à cette maladie, à la crise de surmortalité de naissain et à ses conséquences sur la production des huîtres d'élevage, le développement durable de la filière ostréicole est apparu fragilisé et des pistes de sortie de « crise » ont été investiguées.

Une des premières pistes envisagées a été de rechercher dans des populations d'huîtres hors d'Europe des lots qui présenteraient une « résistance » particulière à la maladie et si tel était le cas, de procéder à une importation en vue d'un repeuplement à partir de nouvelles générations. A la demande du CNC, une étude a été réalisée dans ce sens à partir d'huîtres transférées du Japon mais les résultats des tests en pathologie n'ont pas permis de donner suite à cette piste. Au-delà de ce type d'approche, des améliorations pour limiter les risques liés aux infections sont à développer aux travers de pratiques culturelles adaptées et d'une surveillance accrue (chapitre 5). Pour pallier le manque de naissain à court terme, un « réensemencement de sauvegarde ou plan de sauvegarde » à partir de naissains de l'Ifremer, triploïdes à survie améliorée (R), a été réalisé (2010 à 2013, encart-5). Ces Plans de sauvegarde de l'huître creuse utilisent des animaux « améliorés » par la sélection pour le caractère « survie aux mortalités estivales ». Le testage des performances biologiques (survie et rendement) a été réalisé sur estran. Les résultats du Plan de Sauvegarde II montrent sans ambiguïté que des améliorations notables pour la survie peuvent être obtenues au travers de la sélection. De plus, ce caractère est efficacement transmis aux individus triploïdes (3nR) qui s'avèrent plus résistants que tous les autres groupes avec un gain de survie allant jusqu'à 40% (Chavanne *et al.*, 2013). Par ailleurs, faisant suite aux travaux de l'Ifremer (Dégremont, 2011 et 2013b),

l'association « Sélection française de conchyliculture » et l'écloserie Genocéan (Grainocéan) vont proposer du naissain sélectionné vis à vis de sa résistance aux mortalités. L'objectif à long terme est de faire du repeuplement dirigé, afin d'introduire dans le milieu des géniteurs « plus résistants » qui à leur tour devraient produire des naissains « plus résistants ». Sur ce même thème, en réponse à l'appel à projet lancé par le MAAPRAT, le CNC a en charge le développement d'un projet de sélection nommé SCORE/RESOR, « Sélection Collective de l'huître creuse, *C. gigas*, à des fins de captage orienté » à destination des bassins de captages des pertuis charentais et d'Arcachon et dont les premiers naissains ont été mis en eau en juillet 2013. Afin de compléter ces pistes de « sortie de crise » en cours ou à venir, des scientifiques de différents organismes ont développé récemment des programmes de recherche en lien avec la problématique de la santé des élevages de mollusques (projet européen Bivalife : <http://www.bivalife.eu/>) et leur durabilité dans le contexte d'un environnement changeant (projet ANR Gigassat : <http://www.gigassat.org/>).



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aleman, N., Quiroga, M., Lopez-Pena, M., Vazquez, S., Guerriero, F., Nieto, J., 2003. L particle production during primary replication of pseudorabies virus in the nasal mucosa of swine. *Journal of Virology* 77, 5657-5667.
- Agut H., (2000). Le cytomégalo virus accusé de transport illicite ? *Virologie*. Sept. – Oct. 2000. Vol. 4, N°5.
- Arzul I., Renault T., Lipart C. & Davison A.J. (2001) Evidence for inter species transmission of oyster herpesvirus in marines bivalves. *J. Gen. Virol.*, 82, 865–870.
- Bédier E (2010) Observatoire national Conchylicole. Rapport 2009, Ifremer, La Trinité.
- Benabdelmouna Abdellah, Guyader Tanguy, Ledu Christophe, Laporte Philippe, Degremont Lionel (2011a). Etude de la CINétique et Diffusion de la MORTalité (CINDIMOR) chez les naissains de l'huître creuse *C. gigas*. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00063/17405/>
- Benabdelmouna Abdellah, Hemissi Issam, Bodin Stéphane, Robert Stéphane, Ledu Christophe, Laporte Philippe (2011b). CAPRETAR : Etude comparative des caractéristiques cytogénétiques et des performances de survie de naissains sauvages issus du CAPtage PREcoce ou TARdif. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00062/17283/>
- Benabdelmouna Abdellah, Hemissi Issam (2011c). CARTAMO : CARTographie des Anomalies génomiques dans les gisements naturels d'huîtres creuses du bassin de Marennes-Oléron. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00062/17281/>
- Benabdelmouna A., Ollier S., Maurouard E., D'Amico F., Seugnet J.L., Grizon J. (2012). Niveau de ploïdie des naissains d'huître creuse captés dans les bassins de Marennes-Oléron, Baie de Bourgneuf et Arcachon. Réseau Biovigilance, campagne 2011. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00107/21837/>
- Blin J.L., (2009a). Suivi dynamique des mortalités de naissains d'huître et des pathogènes associés. SMEL/ CE - prod / 2009 – 04.
- Blin J.L., (2009b). Impact des densités par poche et des niveaux bathymétriques d'élevage sur la survie des juvéniles d'huître *Crassostrea gigas* au cours des mortalités estivales. SMEL/ CE - prod / 2009 – 03. http://www.smel.fr/iso_album/densites_et_niveaux_bathymetriques_d_elevage_09.pdf
- Bodoy A., Garnier J., Razet D., Geairon P. (1990) Mass mortalities of oysters (*Crassostrea gigas*) during spring 1988 in the Bay of Marennes-Oléron, related to environmental conditions. ICES CM 1990/K: 11 18 p.
- Bouquet A.L., Mille D., (2010). Recherche de moyens de sauvegarde du naissain. Premiers éléments : Résultats obtenus en 2009, CREEA.
- Chavanne Hervé, Maurouard Elise, Yonneau Caroline, Heroin Debora, Ledu Christophe, Degremont Lionel, Benabdelmouna Abdellah (2013). Plan de sauvegarde 2011 : synthèse de résultats 2011-2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00143/25412/>
- Cochennec-Laureau Nathalie, Baud Jean-Pierre, Bedier Edouard, Boudry Pierre, Huvet Arnaud, Nicolas Jean-Louis, Pepin Jean-Francois, Petton Bruno (2010). Bilan des « Journées Surmortalité des huîtres creuses, *C. gigas* » du Programme P7 « Aquaculture Durable » des 8 et 9 décembre 2009. « Journées Surmortalité des huîtres creuses du Programme P7 » 2009. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/7393/>
- Cochennec-Laureau N. et Baud J.P. (2011). Bilan des surmortalités des huîtres creuses *C. gigas* depuis 2008. Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation, 42, 1-5.
- Cochennec-Laureau Nathalie, Baud Jean-Pierre, Pepin Jean-François, Benabdelmouna Abdellah, Soletchnik Patrick, Lupo Coralie, Garcia Céline, Arzul Isabelle, Boudry Pierre, Huvet Arnaud, Pernet Fabrice, Bachere Evelyne, Bedier Edouard, Petton Bruno, Gaussem Florian, Stanisiere Jean-Yves, Degremont Lionel (2011). Les surmortalités des naissains d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas* : acquis des recherches en 2010. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00033/14423/>

- Comps Michel, Gras Paul (1973). Evolution de la mortalité des huîtres portugaises *C. angulata* dans le bassin de Marennes. CIEM Conseil International pour l'Exploration de la Mer. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/5927/>
- Comps Michel (1978). Evolution des recherches et études récentes en pathologie des huîtres. *Oceanologica Acta*, 1(2), 255-262. Open Access version: <http://archimer.ifremer.fr/doc/00015/12631/>
- Comps Michel (1983). Les infections virales associées aux épizooties des huîtres du genre *Crassostrea*. Rapport et Procès Verbaux du CIEM, 182, 137-139. Open Access version <http://archimer.ifremer.fr/doc/00015/12659/>
- Comps Michel, Bonami Jean-Robert, Vago Constantin, Campillo Albert (1991). Une virose de l'huître portugaise (*Crassostrea angulata* LMK). *Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris*, 282 (22), 139-142. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6084/>
- CREAA et SRC-PC (2007) Les mortalités d'huîtres sur parc en 2007 : Analyse et bilan des déclarations fournies par les professionnels. 1-8. <http://creaa.pagesperso-orange.fr/>
- CREAA (2007). Observatoire des croissances et survies des huîtres à Marennes-Oléron : Bilan 2007. 1-2. <http://creaa.pagesperso-orange.fr/>
- Davison, A.J., Trus, B.L., Cheng, N., Steven, A.C., Watson, M.S., Cunningham, C., Deuff, R.-M.L., Renault, T., 2005. A novel class of herpesvirus with bivalve hosts. *Journal of General Virology* 86 (1), 41–53.
- De Decker S., Saulnier D. (2011). Vibriosis induced by experimental cohabitation in *Crassostrea gigas*: Evidence of early infection and down-expression of immune-related genes. *Fish & Shellfish Immunology*, 30(2), 691-699. Publisher's official version : <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2010.12.017>
- Degremont Lionel, Bedier Edouard, Boudry Pierre (2010). Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*C. gigas*). II. Response to selection for survival and its influence on growth and yield. *Aquaculture*, 299(1-4), 21-29. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6950/>
- Degremont Lionel, Bordeyne Francois, Yonneau Caroline, Maurouard Elise, Nourry Max (2011). Evaluation de la survie du naissain de captage naturel chez l'huître creuse *C. gigas* en fonction de la période des pontes à partir de lots sélectionnés pour les caractères de survie et efforts de reproduction (SERRER). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00065/17643/>
- Degremont L. (2011). Evidence of herpesvirus (OsHV-1) resistance in naissain *C. gigas* selected for high resistance to the summer mortality phenomenon. *Aquaculture*, 317(1-4), 94-98. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00033/14472/>
- Degremont Lionel, Guyader Tanguy, Tourbiez Delphine, Pepin Jean-Francois (2013a). Is horizontal transmission of the Ostreid herpesvirus OsHV-1 in *C. gigas* affected by unselected or selected survival status in adults to naissains? *Aquaculture*, 408-409, 51-57. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00142/25310/>
- Degremont Lionel (2013b). Size and genotype affect resistance to mortality caused by OsHV-1 in *C. gigas*. *Aquaculture*, 416-417, 129-134: <http://archimer.ifremer.fr/doc/00157/26799/>
- EFSA Panel on Animal Health and Welfare (2010). Scientific Opinion on the increased mortality events in Pacific oyster *C. gigas*. *EFSA Journal* 2010; 8 (11): 1–60, 1894. doi:10.2903/j.efsa.2010.1894.
- EURL-Mollusc (2011). Technical Report from the EU Reference Laboratory for Molluscs Diseases – 2011.p87. www.eurl-mollusc.eu
- Fleury Pierre-Gildas, Claude Serge, Bouget Jean-Francois, Langlade Aime, Le Coguic Yvette (2000). Réseau d'évaluation de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises (REMORA) ; résultats des stations de BRETAGNE (Année 1999). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00113/22388/>
- Fleury Elodie, Jolivel Aude (2012). RESCO : analyses statistiques des données de 2009 à 2011. 28ème Salon National de la Conchyliculture, 11-12 septembre 2012, Vannes. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00122/23340/>
- Fleury Elodie, Bedier Edouard (2013). RESCO - REseau d'Observations Conchylicoles : Campagne 2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00142/25346/>

- Francois Cyrille, Garcia Céline, Arzul Isabelle, Chollet Bruno, Ferrand Sylvie, Joly Jean-Pierre, Miossec Laurence, Robert Maeva, Cuvelier Nicolas, Le Gagneur Eric, Ropert Michel, Mouillard Gilbert, Gerla Daniel, Annezo Jean-Pierre, Le Gal Dominique, Langlade Aime, Bedier Edouard, Nourry Max, Martin Jean-Louis, Chabirand Jean-Michel, Fillon Alain, Robert Stéphane, Courtois Olivier, D'Amico Florence, Rumebe Myriam, Pichot Yves, Le Gall Patrick, Bouchoucha Marc, Baldi Yoann, Ravel Christophe (2008). **Bilan 2007 du réseau REPAMO** - Réseau national de surveillance de la santé des mollusques marins. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00086/19708/>
- François Cyrille, Garcia Céline, Arzul Isabelle, Joly Jean-Pierre, Miossec Laurence, Chollet Bruno, Ferrand Sylvie, Robert Maeva, Tourbiez Delphine, Omnes Emmanuelle, Cobret Laetitia, Faury Nicole, Haffner Philippe, Saulnier Denis, Pepin Jean-François, Renault Tristan, Antajan Elvire, Rauflet Fabienne, Ropert Michel, Mouillard Gilbert, Gerla Daniel, Annezo Jean-Pierre, Le Gal Dominique, Langlade Aime, Bedier Edouard, Nourry Max, Chabirand Jean-Michel, Fillon Alain, Robert Stéphane, Courtois Olivier (2009). **Bilan 2008 du réseau REPAMO** - Réseau national de surveillance de la santé des mollusques marins. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00086/19709/>
- François Cyrille, Joly Jean-Pierre, Garcia Céline, Miossec Laurence, Saulnier Denis, Pepin Jean-François, Arzul Isabelle, Omnes Emmanuelle, Tourbiez Delphine, Faury Nicole, Haffner Philippe, Chollet Bruno, Robert Maeva, Cobret Laetitia, Renault Tristan, Rauflet Fabienne, Le Gagneur Eric, Ropert Michel, Mouillard Gilbert, Gerla Daniel, Annezo Jean-Pierre, Le Gal Dominique, Langlade Aime, Bedier Edouard, Breerette Stéphane, Chabirand Jean-Michel, Grizon James, Robert Stéphane, Courtois Olivier, Rumebe Myriam (2010). **Bilan 2009 du réseau REPAMO - Réseau national de surveillance de la santé des mollusques marins.** <http://archimer.ifremer.fr/doc/00086/19711/>
- Gaussem F., J-Y. Stanisière, J. Mazurié, D. Chudeau, Cochennec-Laureau (2011). Etude de la sensibilité de *C. gigas* à OsHV1 en rivière de Pénerf. In Ifremer 2011. Journées d'échanges et d'information « Surmortalités des huîtres creuses : Actions 2011 et bilan depuis 2008 », 29 et 30 novembre 2011, Centre Ifremer Atlantique, Nantes. p19.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00077/18830/>
- Gaussem Florian, Thebault Anne, Mazurie Joseph, Stanisiere Jean-Yves, Cuzzucoli Diane, Cochennec-Laureau Nathalie (2012). Etude épidémiologique et écopathologique dans le cadre des mortalités de naissains d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas*. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00119/22996/>
- Garcia Celine, Thebault Anne, Degremont Lionel, Arzul Isabelle, Miossec Laurence, Robert Maeva, Chollet Bruno, François Cyrille, Joly Jean-Pierre, Ferrand Sylvie, Kerdudou Nolwenn, Renault Tristan (2011). Ostreid herpesvirus 1 detection and relationship with *C. gigas* spat mortality in France between 1998 and 2006. *Veterinary Research*, 42 (73), 11 p. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00040/15110/>
- Garnier Matthieu, Labreuche Yannick, Garcia Céline, Robert Maeva, Nicolas Jean-Louis (2007). Evidence for the involvement of pathogenic bacteria in summer mortalities of the Pacific oyster *C. gigas*. *Microbial Ecology*, 53(2), 187-196.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2406/>
- Grizel Henri, Heral Maurice (1991). Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). *Journal du Conseil - Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 47, 399-403. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2760/>
- Guichard Benjamin, François Cyrille, Joly Jean-Pierre, Céline Garcia, Miossec Laurence, Denis Saulnier, Jean-François Pépin, Isabelle Arzul, Emmanuel Omnes, Delphine Tourbiez, Nicole Faury, Philippe Haffner, Bruno Chollet, Maeva Robert, Laetitia Cobret, Tristan Renault. (2011). **Bilan 2010 du réseau Repamo.** p22.
- Ifremer (2011). Surmortalités des huîtres creuses : actions 2011 et bilan depuis 2008 (Journées d'échanges et d'information, Nantes, Novembre 2011). Journées d'échanges et d'information « Surmortalités des huîtres creuses : Actions 2011 et bilan depuis 2008 », Mardi 29 et mercredi 30 novembre 2011, Centre Ifremer Atlantique, Nantes. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00077/18830/>
- Jolivel Aude, Fleury Elodie (2012). Analyse statistique des données de mortalité d'huîtres acquises par l'Observatoire National Conchylicole (RESCO). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00130/24095/>
- Le Deuff RM, Nicolas JL, Renault T, Cochennec N (1994) Experimental transmission of herpes-like virus to axenic larvae of Pacific oyster, *C. gigas*. *Bull Eur Assoc*

Fish Pathol 142(2):69–72.

- Le Roux, F., and Austin, B. (2006) *Vibrio splendidus*, In F. L. Thompson, B. Austin, and J. Swings (ed.), *The Vibrios*. ASM Press, Washington, DC. Chapter 21p. 285-296.
- Lupo C., Osta Amigo A., Mandard Y. V., Peroz C., Arzul I., Francois C., Garcia C., Renault T. (2012). Sensitivity of mortality reporting by the French oyster farmers. Poster, 13th Conference of the International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics (ISVEE XIII), 20-24 august 2012 , Maastricht - The Netherlands. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00102/21343/>
- Martenot C., Oden E., Travaille E., Malas J.P. & Houssin M. (2011). Detection of different variants of Ostreid Herpesvirus 1 in the Pacific oyster *C. gigas*. *Virus Res.*, 160, 25-31.
- Maurice J.T. (2010). Suivi fin des agents infectieux de l'huître *C. gigas* dans le bassin Marennes-Oléron. Rapport de stage pour le diplôme MASTER 2 AIEL, Université de La Rochelle , CREA. p57
- Mille Dominique, Le Moine Olivier (2011). Adaptabilité des activités conchylicoles aux notifications de leur environnement : Scénarii et solutions. Le cas du bassin de Marennes-Oléron. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00061/17257/>
- Mille Dominique. Bulletin final 2012 de l'Observatoire Ostréicole du Littoral Charentais (2013). CREA.7pp
- Miossec Laurence, Allain Gwenhael, Arzul Isabelle, François Cyrille, Garcia Céline, Cameron Angus (2009). Etude épidémiologique descriptive des mortalités exceptionnelles d'huîtres creuses enregistrées sur le littoral français en 2008. Journées Scientifiques AEEMA-AESA. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6771/>
- OIE, 2008. Suspected Herpesvirus OshV-1 Frequently Associated with *Vibrio splendidus*, France. http://www.oie.int/wahis_2/public%5C.%5Ctemp%5Creports/en_fup_000007315_20080909_182416.pdf http://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review?page_refer=MapEventSummary&reportid=7503 accessed (06.09.2013).
- OIE, (2013). Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals 2013. Chapter2.4.9. Infection with ostreid herpesvirus 1 microvariant. <http://www.oie.int/fr/normes-internationales/manuel-aquatique/acces-en-ligne/> accessed (06.09.2013).
- OSTREA, site Web d'information ostréicole ; <http://www.ostrea.org/>
- Parache A. (1989). Growth performance of oyster *Crassostrea angulata* and *C. gigas* reared in Arcachon Bay between 1950 and 1986: first results. *Haliotis*, 19 (1989), pp. 227–236.
- Pepin J.-F., Riou A. & Renault T. (2008) Rapid and sensitive detection of ostreid herpesvirus 1 in oyster samples by real-time PCR. *Journal of Virological Methods* 149, 269–76.
- Pepin J.F., Segarra, A., Faury, N., Schikorski, D., Cobret, L., Renault, T., (2009a). Summer mortality in 2008 and Ostreid Herpes virus investigations. In: Report of the Annual Meeting and Seventh Combined Technical Workshop Meeting of the National Reference Laboratories for Mollusc Diseases. La Tremblade 16–19 March 2009.
- Pepin J.F., A. Segarra, N. Faury, B. Morga, T. Renault (2009b). Summer oyster mortalities in 2008 and characterization of a new genotype in isolates of ostreid herpesvirus. EAFP (Ed.), 14th International Conference of the European Association of Fish Pathology, Diseases of Fish and Shellfish, 14th to 17th September 2009, Prague, Czech Republic. Prague (*Book of Abstracts*) p129.
- Pepin Jean-François, Soletchnik Patrick, Lupo Coralie, Geairon Philippe, Seugnet Jean-Luc, Robert Stéphane, Bernard Ismaël, Le Moine Olivier (2011a). Situation of wild beds of *C. gigas* regarding OshV-1 μ var: spatiotemporal description of contamination in Pacific oyster wild beds in Marennes Oleron Bay. 15th International European Association of Fish Pathologists conference, Split, Croatia, 12-16th September 2011. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00105/21673/>
- Pepin J.F., S. Trancart , T. Renault, A. Osta Amigo, B. Petton (2011b). Essais pour évaluer l'efficacité des rayonnements UV dans l'inactivation du pouvoir infectieux du virus OshV-1 μ var au travers d'infections expérimentales de l'huître creuse *C. gigas*. In Ifremer 2011. Journées d'échanges et d'information « Surmortalités des huîtres creuses :

Actions 2011 et bilan depuis 2008 », 29 et 30 novembre 2011, Centre Ifremer Atlantique, Nantes. p25.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00077/18830/>

- Pernet, F., Barret, J., Le Gall, P., Corporeau, C., Dégremont, L., Lagarde, F., Pépin, J.F., Keck, N., (2012). Mass mortalities of Pacific oysters *C. gigas* reflect infectious diseases and vary with farming practices in the Mediterranean Thau lagoon, France. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 215-237.
- Petton Bruno, Pernet Fabrice, Robert Rene, Boudry Pierre (2013). Temperature influence on pathogen transmission and subsequent mortalities in naissain Pacific oysters *C. gigas*. *Aquaculture Environment Interactions*, 3(3), 257-273.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00148/25891/>
- Pichot Y. et Barret J., (2007). Mortalités anormales d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* dans les étangs de Thau, d'Ingril et de Leucate – Printemps 2007. Rapport LER-LR / DIDAM 34-30. 24 p.
- Renault T, Le Deuff RM, Cochennec N, Maffart P. (1994). Herpesviruses associated with mortalities among Pacific oyster, *C. gigas*, in France. Comparative study. *Rev Med Vet* 1994 ; 145 : 735-42.
- Renault T, Moreau P, Faury N, Pepin J-F, Segarra A, Webb S. (2012). Analysis of Clinical Ostreid Herpesvirus 1 (Malacoherpesviridae) Specimens by Sequencing Amplified Fragments from Three Virus Genome Areas. *J Virol*, 86:5942–5947.
- Samain, J.F., Degremont, L., Soletchnik, P., Haure, J., Bedier, E., Ropert, M., Moal, J., Huvet, A., Bacca, H., Van Wormhoudt, A., Delaporte, M., Costil, K., Pouvreau, S., Lambert, C., Boulo, V., Soudant, P., Nicolas, J.L., Le Roux, F., Renault, T., Gagnaire, B., Geret, F., Boutet, I., Burgeot, T., Boudry, P., (2007). Genetically based resistance to summer mortality in the Pacific oyster (*C. gigas*) and its relationship with physiological, immunological characteristics and infection processes. *Aquaculture* 268, 227-243.
- Samain J.F. & McCombie H., (2008). Summer Mortality of Pacific oyster *C. gigas*, The Morest project. Eds Quae, Versailles, France.
- Saulnier Denis, De Decker Sophie, Haffner Philippe, Cobret Laetitia, Robert Maeva, Garcia Celine (2010). A Large-Scale Epidemiological Study to Identify Bacteria Pathogenic to Pacific Oyster *Crassostrea gigas* and Correlation Between Virulence and Metalloprotease-like Activity. *Microbial Ecology*, 59(4), 787-798.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6974/>
- Saulnier Denis, Pepin Jean-François, Guesdon Stéphane, Degremont Lionel, Faury Nicole, Haffner Philippe, Renault Tristan, Travers Marie-Agnes, Tourbiez Delphine, Geairon Philippe, Le Moine Olivier, Seugnet Jean-Luc, Soletchnik Patrick (2011). Mortalités massives de l'huître creuse - Rapport final du programme de recherche sur l'étude de la cinétique de détection d'agents infectieux associés à des épisodes de mortalités de naissains d'huîtres creuses *C. gigas* sur un site ostréicole de Marennes-Oléron (CIDAGINF 2009-2010).
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00058/16920/>
- Sauvage C, Pépin JF, Lapègue S, Boudry P, Renault T (2009). Ostreid herpes virus 1 infection in families of the Pacific oyster, *C. gigas*, during a summer mortality outbreak: difference in viral DNA detection and quantification using real-time PCR. *Virus Res* 142: 181-187.
- Segarra Amélie, Pepin Jean-François, Arzul Isabelle, Morga Benjamin, Faury Nicole, Renault Tristan (2010). Detection and description of a particular Ostreid herpesvirus 1 genotype associated with massive mortality outbreaks of Pacific oysters, *Crassostrea gigas*, in France in 2008. *Virus Research*, 153(1), 92-99. Open Access version :
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00011/12260/>
- Schikorski D., Renault T., Saulnier D., Faury N., Moreau P., Pepin J-F. (2011a). Experimental infection of Pacific oyster *C. gigas* spat by ostreid herpesvirus 1: demonstration of oyster spat susceptibility. *Veterinary Research*, 42, 1-13.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00037/14795/>
- Schikorski D., Faury N., Pepin J-F, Saulnier D., Tourbiez D., Renault T. (2011b). Experimental ostreid herpesvirus 1 infection of the Pacific oyster *C. gigas*: Kinetics of virus DNA detection by q-PCR in seawater and in oyster samples. *Virus Research*, 155(1), 28-34. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00025/13607/>

- Soletchnik Patrick, Le Moine Olivier, Faury Nicole, Razet Daniel, Geairon Philippe, Gouletquer Philippe (1999). Mortalité de l'huître *C. gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron: étude de la variabilité spatiale de son environnement et de sa biologie par un système d'informations géographiques (SIG). *Aquatic Living Resources*, 12(2), 131-143. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/862/>
- Soletchnik Patrick (2001). Impact du changement climatique sur un écosystème estuarien : le Bassin de Marennes-Oléron / Impact of the climatic change on an estuarian ecosystem : the Marennes-Oléron Bay. Lettre pigb-pmrc France, (12), 37-41. Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00090/20101/>
- Soletchnik, P., Ropert, M., Mazurie, J., Gildas Fleury, P., Le Coz, F., (2007). Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databases along the coasts of France. *Aquaculture* 271, 384-400.
- Soletchnik Patrick, Mazurie Joseph, Allain Gwenhael, Bedier Edouard, Benabdelmouna Abdellah, Blin Jean-Louis, Bouquet Anne-Lise, Cochet Hélène, Degremont Lionel, Gaussem Florian, Gervasoni Erika, Glize Philippe, Petton Bruno, Roussel Pierre-Yves, Pernet Fabrice (2011). Les pratiques culturelles peuvent-elles permettre de réduire la surmortalité du naissain d'huîtres creuses? Récapitulatif des essais d'élevage et expérimentations zootechniques menés sur le territoire français entre 2008 et 2010. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14280/>
- Soletchnik Patrick, Geairon Philippe, Le Moine Olivier, Robert Stéphane (2012a). Effets de facteurs environnementaux (émersion, ressource alimentaire, ...) sur la survie de naissains d'huîtres creuses dans les pertuis charentais. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00084/19478/>
- Soletchnik Patrick, Geairon Philippe, Le Moine Olivier, Robert Stéphane (2012b). Estimation des stocks sauvages d'huîtres creuses dans les pertuis charentais en 2010. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00084/19485/>
- Soletchnik Patrick, Le Moine Olivier, Robert Stéphane (2013a). Les mortalités d'huîtres creuses (*C. gigas*) dans les Pertuis Charentais. Résultats de l'année 2008. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00154/26502/>
- Soletchnik Patrick (2013b). Mortalités exceptionnelles d'huîtres creuses dans les Pertuis Charentais. Synthèse des résultats 2008-2009. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00154/26501/>



Liste des contributeurs aux études de la synthèse :

François C., Garcia C., Joly J. P., Miossec L., Chollet B., Ferrand S., Robert M., Tourbiez D., Omnes E., Cobret L., Faury N., Haffner P., Saulnier D., Arzul I., Renault T., Schikorski D., Antajan E., Rauflet F., Le Gagneur E., Ropert M., Mouillard G., Gerla D., Annezo J. P., Le Gal D., Langlade A., Bédier E., Fleury E., Bouget J-F., Nourry M., Chabirand J. M., Fillon A., Robert S., Courtois O., D'Amico F., Rumebe M., Pichot Y., Le Gall P., Bouchoucha M., Baldi Y., Ravel C., Masson J. C. & A. G. Martin, Degremont L., Ledu C., Soussi N., Aubert M., Couraleau Y., Seugnet J.L., Bernard I., , C. Lupo., P. Geairon, O. Le Moine, J. Grizon, P. Guilpain, S. Guesdon, Prou J., Gaignon J-L., Taillade S., Betto V., Tricoire J., Rivet F., Lapèque S., Cornette F., Benabdelmouna A., Segarra A., Morga B., Béchemin C.

Remerciements :

Les auteurs et le Laboratoire Ifremer, Environnement Ressources des Pertuis Charentais (LERPC), expriment ici leurs remerciements à l'égard : de la Région Poitou-Charentes qui par son aide et son soutien financier a contribué aux connaissances générées par les études réalisées dans le cadre du projet DDPC-CPER-PC ; du CREEA ; du CRC Poitou-Charentes ; du CNC ; de la DDTM de Charente maritime ; du LGP ; des collaborateurs des réseaux Ifremer, REPAMO, RESCO, Velyger.
