



ifremer

Environnement –Ressources des Pertuis Charentais

RST/ ODE / LER / LERPC – juillet 2016

Patrick Soletchnik

Stéphane Robert

Eléments de connaissance sur la mortalité et la reproduction de la moule bleue (*Mytilus edulis*) sur la façade atlantique.



Eléments de connaissance sur la mortalité et la reproduction de la moule bleue (*Mytilus edulis*) sur la façade atlantique.

Remerciements

- Aux Directions Départementales des Territoires et de la Mer (DDTM₁₇ et DDTM₈₅) pour l'utilisation : des données de constats, des fiches déclaratives (DDTM₈₅),
- Au réseau national d'observation de la moule bleue en France : MYTILOBS
- Au réseau de surveillance sanitaire des coquillages : REPAMO <https://wwz.ifremer.fr/repamo/>
- Au projet de recherche MORBLEU sur les mortalités de moules

Résumé : Ce document s'inscrit dans le cadre de la problématique des mortalités de moules bleues sur les côtes françaises depuis l'hiver 2014. Il a été conçu comme une contribution aux projets Morbleu (projet de recherche) et Mytilobs (observatoire national sur les traits de vie de la moule).

D'un point de vue historique, depuis le début du 20^{ème} siècle, le principale « ennemi » de la moule reste la météo et en particulier, les tempêtes. Une seule crise de mortalité, majeure, est survenue en 1960-61 dans le pertuis Breton. Elle résulte d'une interaction entre le parasite *mytilicola intestinalis* et des conditions drastiques d'élevage sur bouchots dans la baie de l'Aiguillon. L'évaluation des mortalités de moules est difficile du fait des pratiques d'élevage et des pertes qui en résultent. Lorsque la crise survient en 2014, l'investigation scientifique s'appuie à la fois sur des déclarations (professionnels), des constats (DDTMs), des saisines (Repamo) et des mesures (réseau Mytilobs). L'intensité des mortalités, variable selon les sites et les années (2014 et 2015) est comparée à un référentiel de mortalités issu d'un réseau régional de suivi des mortalités de moules en paniers (Remoula, 2000-2010). En février 2014, les mortalités surviennent dans le pertuis Breton et s'étendent en quelques mois vers le sud (pertuis d'Antioche) et vers le Nord (Côte de Noirmoutier et Baie de Bourgneuf). Les simulations hydrodynamiques montrent la connectivité spatio-temporelle entre le site d'émergence des mortalités et les sites touchés quelques semaines plus tard. Alors qu'il existe plusieurs génomes de *Mytilus edulis* et des populations hybrides (entre *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis*) sur les côtes de la France, seul le génome *Mytilus edulis* de la côte atlantique semble au départ concerné par ces mortalités. La quasi simultanéité d'occurrence d'épisodes de mortalités de moules en Rade de Brest (en hiver 2014), et sur les gisements profonds de la côte Est du Cotentin (dès le printemps 2014) reste aujourd'hui une énigme scientifique. Lorsque les mortalités surviennent en 2014 et lors de leur reprise en 2015, les moules sont en période de reproduction. Ce rapport synthétise également des résultats acquis sur la reproduction de *Mytilus edulis* sur la côte atlantique (Arcachon et Pertuis Charentais).

Mots-clés : *Mytilus edulis*, moule, mortalité, Remoula, Mytilobs, élevage, bouchot, reproduction environnement.

SOMMAIRE

Historique sur les mortalités de moules	8
Les épisodes de mortalité de moules sur le littoral français depuis le début du 20ème siècle	8
Mesures de mortalités sur bouchots et en paniers.....	13
De quelle moule s'agit-il ?.....	18
Mortalités de moules en 2014-2015	20
Sources d'informations multiples avec leurs avantages et leurs défauts.....	20
Les mortalités.....	21
Avantages et inconvénients des différentes sources d'informations sur les mortalités.....	29
Résumé et hypothèses	29
Eléments de biologie : reproduction, captage de la moule bleue	35
Etudes de Lubet (1959).....	35
Dans les Pertuis Charentais.....	36
Maturation et pontes.....	36
Pêches de larves	37
Captage	38
Résumé et discussion.....	38
Discussion générale	41
Liste des figures et tableaux	45
Références bibliographiques.....	47
Annexes.....	53

HISTORIQUE SUR LES MORTALITES DE MOULES

LES EPISODES DE MORTALITE DE MOULES SUR LE LITORAL FRANÇAIS DEPUIS LE DEBUT DU 20EME SIECLE

Introduction

Sur les côtes françaises, les moules *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis* ne sont pas des espèces introduites, contrairement aux huîtres *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*. La transition entre la récolte des moules et leur élevage est récente. Si la pêche à pied sur les gisements littoraux n'a pas d'âge, la pêche sur les gisements profonds était déjà pratiquée à la drague, au moyen âge. La mytiliculture sous forme traditionnelle sur bouchots, existe depuis les 17-18^{ème} siècles dans le pertuis Breton (baie de l'Aiguillon). Elle s'est développée entre la fin du 19^{ème} siècle et la première moitié du 20^{ème}. Pour certaines régions, tel le Cotentin, la mytiliculture est une activité plus récente (2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle). Dans les années 90, une nouvelle forme de mytiliculture sur filières a permis aux professionnels de conquérir de nouveaux espaces d'élevage plus au large.

Le premier ennemi

« Le pire ennemi des moules c'est la nature » écrivait Lambert en 1935... Dès le début du 20^{ème} siècle les « ennemis » de la mytiliculture sont listés (Lambert et Faideau, 1929). Hormis les conditions climatiques extrêmes (violentes tempêtes, fortes gelées et fortes chaleurs) il s'agit essentiellement à cette époque de prédateurs (étoiles de mer, raie pastenague, oiseaux de mer) et de parasites¹ (Mahé, 1994). Plus tard durant la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle, apparaîtrons successivement les mortalités occasionnées par le développement du copépode parasite *Mytilicola intestinalis* (Brienne, 1960, 1962, 1964 ; Bateau, 1989 ; Basuyaux et al., 2011) et celles liées à la compétition du ver tubicole *Polydora ciliata* sur les pieux de bouchots (Ropert, 1999 ; Ropert et Olivési, 2002) (*Tableau 1, Tableau 2*).

Mortalités non expliquées

Des premières mortalités importantes et « non expliquées » sont signalées au tout début du 20^{ème} siècle (année 1901, 1902, 1908, 1915 et 1918) sur les gisements de Hollande (et rien par la suite jusqu'en 1935 au moins - Lambert, 1935). Enfin, des épisodes de mortalité de moules du genre *Mytilus* ont été documentés aux USA et au Canada ces 30 dernières années (Heritage, 1981 ; Foster et Arnold, 1982 ; Emmett et Baden, 1984 ; Mallet et al., 1987 ; Tracey, 1988 ; Eggermont et al., 2014) (*Tableau 1*).

Mortalités à *Mytilicola intestinalis* (*Tableau 1, Tableau 2*)

Ce parasite, décrit au début du 20^{ème} siècle par Pesta (Pesta, 1907 ; d'après Korringa et Lambert, 1951) serait d'origine Méditerranéenne et ne semble pas affecter l'espèce *Mytilus galloprovincialis*. Le copépode parasite aurait atteint les côtes allemandes en 1930, fixé sur la coque d'un bateau (Casper 1939 ; d'après Korringa et Lambert, 1951) puis les côtes anglaises en 1946 (Ellenby, 1947 ; d'après Korringa et Lambert, 1951) avant d'atteindre le littoral hollandais en 1949 où il sera responsable de fortes

¹ A cette époque, le copépode *Mytilicola intestinalis* n'est pas encore présent sur les côtes françaises

mortalités en 1950. Selon Korringa et Lambert (1951), « la prospérité » de la mytiliculture « zélandaise » a été interrompue par l'apparition de ce parasite. En France, jusqu'en 1951, le « cop rouge » reste confiné au nord de la baie de Vilaine (Bretagne, Cotentin, Calvados, Seine Maritime) (Lambert, 1951). Les départements de Vendée et de Charente maritime sont alors épargnés par le parasite. En 1960-1961 par contre, le parasite importé de l'embouchure de la Loire ou de la Vilaine via un transfert de cheptels est identifié en baie de l'Aiguillon (Brienne, 1962). Il est associé à des mortalités de moules de l'ordre de 80-90% qui vont s'étendre, en 1961, au sud de la Vendée (pointes de l'Aiguillon, d'Arçay, embouchure Lay) (Brienne, 1964). Les mortalités sont alors de 30 à 90% selon les sites (Mahé, 1994). La production passe de 7000-8000 tonnes (référence des années 1952-1956) à 3000 tonnes environ en 1960 (Mahé, 1994). Cette première crise majeure de la mytiliculture en Charente Maritime et Vendée forcera l'évolution de la mytiliculture traditionnelle (bouchots clayonnés) vers une mytiliculture plus moderne (restructurée, sans clayons, ...) au début des années 60. Plus récemment *Mytilicola intestinalis* est encore désigné comme un agent responsable de mortalités chroniques dans un certain nombre de secteurs mytilicoles (Rodriguez, 2013). En Charente-Maritime, dans le secteur du pertuis breton, il a été observé entre 1972 et 1990 à faible densité par moule (Dardignac, 2004). Ces dernières années, Robert le retrouve en plus forte abondance dans les bouchots (en particulier sur Yves) que sur les filières (Robert et Bédier, 2013). Une autre région mytilicole d'importance, la Baie du Mont Saint Michel² a connu de fortes mortalités liées à *Mytilicola intestinalis* en 1965, 1970 et en 1982 (Blateau et al., 1992, d'après Basuyaux et al., 2011). En 1983-1984 la trop forte densité de moules aurait favorisé le développement du parasite, entraînant mortalités et baisse conséquente de la production de 10 000 tonnes (1981) à 4 000 tonnes (1984) (secteur du Vivier/mer) (Gerla, 1990). Comme dans le cas de la crise mytilicole des années 61-62 dans la baie de l'Aiguillon la solution viendra également d'efforts de gestion. La baisse de la densité en élevage et la restructuration des parcs mytilicoles, entre 1985 et 1987, permettront de retrouver des niveaux corrects de production (Gérard, 2002). Cette restructuration, suivie d'une autre au début des années 2000, a permis de contenir les mortalités de moules (Mazurié et al., 2005).

Marteilia

En Loire Atlantique et Poitou-Charente, la mortalité de moules, rencontrée depuis 2 ans sur les sites mytilicoles n'est pas associée à la présence de *Marteilia* (Garcia et al., 2016). En 2015, les résultats de l'étude Mytilobs confirment ces résultats. Par ailleurs, d'autres parasites ont été observés chez la moule en France sans être associés à des mortalités dans les cheptels. On peut citer, le *Marteilia refringens* et le *Marteilia maurini* (Comps et al., 1975, et 1982) et le ver digène *Proctoeces maculatus* (Lebreton et Lubert, 1992).

Mortalités à *Polydora ciliata* (Tableau 1, Tableau 2)

Parfois, un compétiteur peut provoquer des mortalités importantes de moules ; Ainsi *Polydora ciliata* occasionna d'importants dommages en Hollande (Korringa, 1963). Après l'hiver rigoureux de 1962-1963, cet annélide polychète se reproduisit d'une façon extraordinaire et les larves, en quantités innombrables, se fixèrent sur les moulières. Les tubes de vase édifiés par ces animaux finirent par former une sorte de couverture

²Où la mytiliculture est née en 1954.

gênant l'alimentation des mollusques en entraînant de fortes mortalités (Ropert et Olivési, 2002). La même espèce : *Polydora ciliata*, compétiteur de la moule vis-à-vis du substrat (pieux), envahit en 1996 certains bouchots de Quend plage (Picardie, nord de la Baie de Somme). Des concentrations mesurées de 500000 polydores/m² formant des gangues de vase de 10-15 cm d'épaisseur entraînerent des mortalités de l'ordre de 80% (Ropert et Olivési, 2002). Ce même compétiteur sévit à nouveau au printemps 2001 sur la zone mytilicole de Quend-Plage (Nord de la Baie de Somme) (Ropert et Olivési, 2002).

Influence de l'hydroclimat sur la biologie de la moule (Tableau 1, Tableau 2)

La moule bleue (*Mytilus edulis*) présente une grande tolérance vis à vis des paramètres physico chimiques de l'eau de mer. Elle est euryhaline et peut vivre dans les eaux marines ou saumâtres de salinité aussi basse que 4. Elle ne se reproduit pas si la salinité est inférieure à 15. Sa croissance est réduite en dessous de 18. Havinga (1935, d'après Lambert, 1935), signale qu'au moment de la fermeture du Zuiderzee, les moules commencèrent à devenir moins nombreuses lorsque la salinité tomba au-dessous de 15 à 20. Toutes moururent lorsqu'elle atteignit 9. Pour Lubet (1959), les salinités les plus basses tolérées par *M. edulis* seraient de 7 à 10. Rappelons toutefois que Fischer (1948) et Verwey (1952) (d'après Lubet, 1959) ont observé des moules vivant entre 4 et 6 de salinité. Les moules bleues sont également eurythermes et supportent même des conditions glaciales pendant plusieurs mois. L'espèce est bien acclimatée pour une gamme de température variant entre 5 et 20°C. Une température au-delà de 27°C est reconnue comme létale. La température de 10°C semble correspondre à la température seuil au-delà de laquelle la ponte de *M. edulis* peut avoir lieu (Bouxin, 1954). L'environnement peut avoir un effet direct sur la production de moules; La pression peut être « physique » et se traduire par des pertes de cheptels (Dardignac, 1996 ; Robert et Le Moine, 2003). Ainsi les températures de l'air, un vent anormalement chaud et sec durant les étés 1989, 1990, 1991, sont responsables de la mortalité du naissain en périodes d'émersion alors que le naissain en zone subtidale est épargné (Dardignac et al., 1990 ; Dardignac et Prou, 1995 ; Dardignac, 1994, 1996, 2004). Au cours de la canicule de l'été 2003, une température extrême de l'eau de mer a entraîné des mortalités comprises entre 46 et 63% dans plusieurs secteurs des pertuis charentais (Antioche et Breton) (Robert et Le Moine, 2003). Dans d'autres situations les causes sont à rechercher dans le fonctionnement globale d'un écosystème conchylicole et les baisses de production peuvent être liées aux apports anthropiques (Dardignac et al., 1990 ; Dardignac 1996) avec notamment un manque de nutriment lié à un déficit des apports en eaux douce durant les années 2010 -2011 (Rodriguez, 2013).

En résumé

On peut classer ces mortalités en plusieurs catégories :

- ✚ des mortalités non expliquées sur les parcs de Hollande au tout début du 20^{ème} siècle.
- ✚ des mortalités à *Mytilicola intestinalis* à partir de l'Allemagne, de 1930 jusque dans les années 80 (Baie du Mont St Michel).
- ✚ des problèmes de compétition drastique liée au ver : *Polydora ciliata*. Compétition spatiale dont l'emprise sur les élevages peut induire des mortalités localement fortes. La présence de ce ver semble être passagère et ses effets limités dans le temps et dans l'espace.

- ✚ des mortalités induites par des conditions climatiques extrêmes. Bien que non répertoriées de façon systématique par les auteurs, ces derniers évoquent le climat comme principal responsable des mortalités mytilicoles depuis le début du 20ème siècle³.
- ✚ des mortalités d'origines infectieuses apparues en 2014 dans les pertuis Charentais semblent être une nouvelle cause de mortalité massive. Ces mortalités sont décrites comme liées à un ou des organismes pathogènes du groupe *Vibrio splendidus* (Travers et al., 2015) en interaction avec l'environnement.

³ Par exemple, la destruction des moulières très réputées d'Isigny (Calvados) au cours d'une terrible tempête en 1923, fut à l'origine de la mytiliculture en parcs à plat dans cette région de Basse Normandie (d'après Lambert et Faideau , 1929).

Tableau 1. Principaux épisodes de mortalités massives de moules rencontrés dans les régions mytilicoles Françaises

années	lieu	causes	référence auteurs	commentaires
1901, 1902, 1908, 1915, 1918	Hollande	mortalités non expliquées	Lambert, 1935	maladie redoutable et années noires
1949 (automne) - 1950 (printemps)	Hollande	<i>Mytilicola intestinalis (M.int.)</i>	Korringa et Lambert, 1951 ; Meyer et Mann, 1951	apparition du parasite en 1949 et invasion massive en 1950
1960-1962 1961-1962 (avril - mai)	baie de l'Aiguillon	<i>M.int</i> + pratiques culturale + état physiologique post ponte	Brienne, 1964 Marteil, 1976	50% de mortalité (perte de 3-4000 tonnes 30-90% de mortalités
1961-1962 (septembre)	baie de l'Aiguillon	<i>M.int</i> + pratiques culturelles + fortes températures	Marteil, 1976	30-90% de mortalités massives dans le pertuis breton (selon les sites)
1962-1963	Hollande	<i>Polydora ciliata</i> + hiver rigoureux	Korringa, 1963	compétiteur dont le développement a été brutal et intense
1970-1985 1981-1984	Baie du Mont St Michel	<i>Mytilicola intestinalis</i>	Gérard, 2002	production affectée environ 60% de baisse de production
années 80	Pertuis Breton / Esnandes	rejets anthropiques (?)	Dardignac, 1996	mortalité sur les moules adultes au printemps
1985	Picardie (baie de Somme)	hiver très rigoureux	Ropert et Olives, 2002	30 à 50% de mortalité (selon professionnels)
1989-91	pertuis Breton	conditions climatiques estivales fortes températures et vents	Dardignac, 1994	mortalité de naissain en émerision. Déficit de captage
1996	Baie de Somme/ Quend plage	hiver rigoureux & <i>Polydora ciliata</i>	Ropert et Olives, 2002	80% (perte ~800 tonnes)
2001 (printemps)	Baie de Somme/ Quend plage	Reprise du phénomène	Ropert et Olives, 2002	
2003	pertuis charentais (Breton et Antioche)	Fortes températures estivales	Robert et Le Moine, 2003	46 à 63% selon les secteurs
2014	pertuis Breton	organisme(s) pathogène(s) dont le groupe <i>Vibrio splendidus</i>	Bechemin et al., 2015	55 à 100% de mortalité selon les sites
2014	pertuis d'Antioche	idem	Bechemin et al., 2015	20 à 50% de mortalité selon les sites
2015	baie de Bourgneuf	idem		50 à 100% de mortalité sur les élevages
2015	baie de Bourgneuf	idem		95% à 100% de mortalité sur les gisements

Tableau 2. Mortalités de moules en Europe du Nord. Regroupement en « classes » (principales causes évoquées)

Principale cause évoquée	Dates	Ampleur des mortalités	Lieu
inexpliquée	Entre 1901 et 1918	très fortes	Hollande
Environnement			
apports fleuves ?	années 80		Pertuis Breton
hiver rigoureux	1985	30 à 50 %	Baie de Somme
température et vents	1989-91		Pertuis Breton
température	2003	~1500 à 2500 t	Pertuis Breton et Antioche
Parasites et organismes pathogènes			
<i>M. intestinalis</i>	De 1930 à 1985	30 à 90 %	France et Europe
	1960	~ 3000 t	Baie de l'Aiguillon
<i>Polydora ciliata</i> sp	1962-63		Hollande
	1996	~800 t	Baie de Somme (Quend-Plage)
	2000-2001		Baie de Somme (autres épisodes)
groupe <i>V. splendidus</i>	2014	~7000-9000 t	Charente maritime, Vendée,
	2015		Loire atlantique et autres régions
	(2016)	en cours	

*d'autres régions plus septentrionales sont « ponctuellement » touchées en 2015 du fait probable de transferts de cheptels.

MESURES DE MORTALITES SUR BOUCHOTS ET EN PANIERS

Il est très difficile de quantifier les mortalités de moules dans le cadre des pratiques mytilicoles (Annexe1) car les cultures ont lieu en « milieu ouvert », souvent sans protection ; le décrochage des moules peut survenir à différents stades de l'élevage et selon les conditions météorologiques; la disparition des coquilles est rapide chez la moule⁴. Les prédatons sont diverses, variables selon les sites et les années. Ainsi, dans le cadre des pratiques mytilicoles est-il difficile de dissocier de mortalités liées à des organismes pathogènes d'autres causes occasionnant des pertes de cheptels. La production annuelle est mesurée en termes de rendement (par pieu, par ha, par descente de filières) et les mortalités sont rarement prises en comptes. Seules des mortalités massives conduisent à s'intéresser aux mortalités en tant que telles ...

Sur les bouchots

Les mortalités par pathogène, les disparitions par décrochage ou prédation représentent les pertes d'élevage. Ces pertes sont particulièrement importantes dans les quatre premiers mois de vie de la moules. Les informations sur les pertes de moules sur pieux de bouchots proviennent essentiellement de deux secteurs mytilicoles : les pertuis charentais-vendéens et la baie du Mont Saint Michel (Tableau 3). Dans les pertuis charentais, les mesures des années 80 font état de pertes comprises entre 35 et 80%

⁴ Le carbonate de calcium de la coquille de moule est sous forme d'aragonite (orthorhombique), tandis que chez l'huître, il est sous forme de calcite (carbonate de calcium rhomboédrique) (Robert et Bédier, 2013)

(Dardignac, 1996). Avec des taux de mortalités journalières de 0,2 à 0,56% au cours de la première année et de 0,036 à 0,069% au-delà de un an, la perte serait d'environ 75% (Dardignac, 1996). Ce chiffre est proche de celui estimé par Boromthanasarat et Deslous-Paoli (1988). Aujourd'hui, la perte calculée entre la mise en place d'un boudin de naissain au cours de l'été (naissain de 1,5 à 2,0 cm de long sur cordes de coco⁵) et la pêche l'année suivante (été) serait d'environ 82% à 86% (Mille, com. pers ; études 2013-2014). Ces pertes sont en partie liées aux pratiques culturales et en partie à des mortalités (maladie, prédatations, ...). En lien avec les pratiques culturales, et après remembrement de la baie du Mont St Michel, les pertes au cours d'un cycle de grossissement peuvent varier de moins de 10% à 35% selon la charge initiale de 3500 ou 5500 moules par mètre de corde (*Tableau 3*) (Mazurié et al., 2005) .

Tableau 3. Mesures de mortalités sur pieux de bouchots mytilicoles dans Pertuis Breton (Dardignac 1996 ; Mille 2013) et dans la baie du Mont Saint Michel (Thomas 2004 ; Mazurié et al. 2005).

Date	durée/saison	lieu	pertes	références
1979-80	11 mois (juil-juin)	pertuis Breton	64-75 % de pertes	Dardignac, 1996
1985	4 mois (juil-nov)	pertuis Breton	35-80 % de pertes	Dardignac, 1996
1987	4 mois (juil-nov)	pertuis Breton	68-73 % de pertes	Dardignac, 1996
2004	12 mois	Baie du Mont St Michel	25 % de perte sur pieux (après restructuration)	Thomas , 2004 (d'après Mazurie et al., 2005)
mars 2004 - Janv. 2005	10 mois	Baie du Mont St Michel	si pieux à 5500 moules/m 35% de perte	Mazurié et al., 2005
mars 2004 - Janv. 2005	10 mois	Baie du Mont St Michel	si pieux à 3500 moules/m moins de 10%	Mazurié et al., 2005
mars 2004 - Janv. 2005	10 mois	Baie du Mont St Michel	environ 12% de mortalité chez les professionnels (1 an de suivi).	Mazurié et al., 2005
2013-2014	18 mois	Charente Maritime	82-86% de perte	D. Mille, com. Pers (CREAA)

Ainsi ces données de référence issues de deux régions mytilicoles montrent que la perte de moules, au cours d'un cycle d'élevage est comprise entre 25% et 85%. Elle dépend, en partie, du mode de gestion adopté par les professionnels. Ces pertes « numériques » sont en fait « sans conséquences » pour les professionnels si la croissance supplée la perte et que la production par pieu reste satisfaisante (rendement biologique). Sur le plan écosystémique, la compétition trophique en pure perte de 85% de moules en cours de croissance reste une incohérence biologique et signale une gestion à améliorer.

⁵ A partir du moment où le naissain est de couleur noire, il est susceptible de bien supporter le cycle d'élevage (résistance, accroche, ...)

Le suivi du captage sur cordes réalisé depuis 2006 par le CREAA⁶ a lieu aux Saumonards (au nord de Boyard) (Geay et Mille, 2007). Entre 2007 et 2012, la survie du naissain capté sur corde chute entre mai et (juin-juillet) d'environ 60000 à 30000⁷ ind/ml (perte de 50%). En 2013 et 2014 les pertes atteignent 80-90% durant la même période (d'après CREAA 2012, 2013).

En paniers (Annexe2)

Depuis les années 90, les scientifiques ont développé des structures expérimentales⁸ permettant d'enfermer des petites populations de moules dont l'effectif est suivi au cours d'un cycle d'élevage (Dardignac, 1996 ; Barillé, 1996 ; Robert et al., 2001; Mazurié et al., 2001 et 2005, Blin et al., 2004). Cette pratique sert encore aujourd'hui de support, au réseau Mytilobs à l'échelle de la France (Robert et Bedier, 2013) et au réseau Remoulnor de basse Normandie (Blin, 2010). L'utilisation des paniers permet l'estimation des mortalités. Il représente assez fidèlement la croissance des moules du pieu mais sous-estime la mortalité, en particulier celle liée aux prédateurs (Mazurie et al., 2001). Il sous-estime aussi les « pertes » liées à des conditions météorologiques difficiles (coup de vent, tempête, ...), à une surcharge en cheptels, etc. Sur un cycle d'élevage de 9 à 18 mois, les taux de mortalité obtenus à partir des paniers expérimentaux sont compris entre 5 et 100% (Tableau 4) ; La mortalité est de 100%, en 2014 dans le pertuis Breton. Elle atteint 83% sur certains sites de Basse Normandie où les prédateurs (bigorneaux perceurs) sont nombreux. En 2012, le réseau Mytilobs enregistre deux épisodes de mortalités estivales en Bretagne Sud (Pont Mahé : 51%) et en Bretagne Nord (Le Vivier : 29%) sans que les causes soient clairement identifiées (Robert et Bédier, 2012). hormis ces mortalités « extrêmes » en partie explicables, les taux de mortalité sont compris entre 5% et 25% (Tableau 4).

⁶ CREAA : Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole. Résultats présentés et synthèse réalisée à partir des bulletins 2011, 2012, 2013, 2014 et 2015 du CREAA : « Suivi de la Reproduction et du Captage de la moule *Mytilus edulis* en Charente maritime en 2011 » (idem 2012, 2013, 2014 et 2015).

⁷ Cette baisse de densité des moules s'explique probablement par la compétition naturelle qui s'opère sur les cordes au cours de la croissance.

⁸ Construites le plus souvent à partir de poches ostréicoles traditionnelles

Tableau 4. Mesures de mortalités en paniers sur des bouchots mytilicoles dans le Pertuis Breton (Dardignac, 1996) ; dans les Pertuis Charentais (Robert et al. 2001) ; dans la baie du Mont Saint Michel (Mazurié et al. 2001) ; sur le littoral Cotentin (Blin et al. 2004 ; Blin 2010) et sur les côtes de France (Robert et Bédier 2013 ; Robert et al., 2014).

période	Sites mytilicoles	nombre de sites	nombre et durée des cycles d'élevage	mortalité	Auteurs
1988 à 1994	bouchots du pertuis Breton	4	7 cycles de 9 mois	9 à 19%	Dardignac, 1996
2000 à 2001	bouchots de la Baie de Vilaine	4	1 cycle de 12 mois	15 à 25%	Mazurié et al., 2001
2000-2010	bouchots (5 sites) et filières (1 site) (REMOULA/ Charente Maritime)	6	6 cycles de 12 mois puis 6 cycles de 15 mois	2 à 15%; moy. 8,6%	Robert com.pers
2012	bouchots et filières des côtes Françaises (réseau MYTILOBS)	4	1 cycle de 9 mois (mars à décembre)	9%, 10% 29%, 51%	Robert et Bédier, 2013
2003-2004	bouchots de la côte du Cotentin (réseau REMOULNOR)	7	1 cycle de 12 mois	4 à 30%	Blin et al., 2004
2004-2007	bouchots de la côte du Cotentin (réseau REMOULNOR)	7	3 cycles de 12 mois	10 à 83%	Blin, 2010
2014	bouchots et filières de Charente Maritime (réseau MYTILOBS)	3	1 cycle de 18 mois	47 à 100%	Robert et al., 2014
2014	autres sites de bouchots du réseau MYTILOBS	2	1 cycle de 18 mois	~ 5%	Robert et al., 2014

Référentiel de mortalités

Le réseau régional REMOULA a permis en 11 années de mesures sur 8 sites mytilicoles des pertuis Charentais d'établir un référentiel de mortalités pour la moule bleue *Mytilus edulis*. La distribution de la série historique de mortalités (REMOULA) en « boîte à moustache, permet de distinguer une mortalité : (i) « habituelle » comprise dans les 3 premiers quartiles (inférieure à 22%) ; (ii) « inhabituelle » comprenant le quatrième quartile (25% des valeurs supérieures de la distribution entre 22% et 34%) et « exceptionnelles », au-delà de 34% (Figure 1).

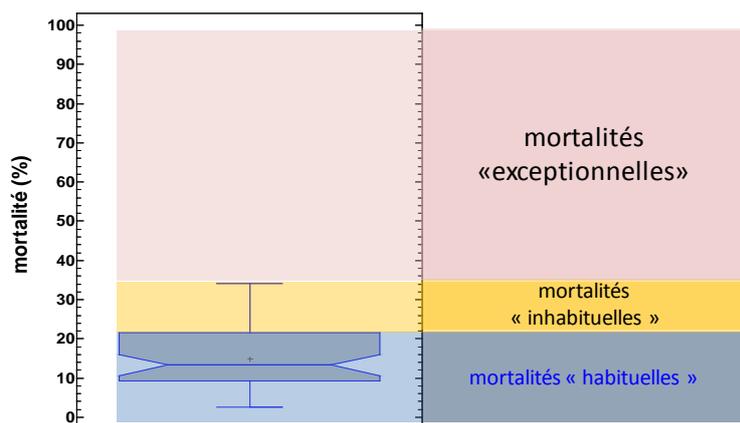


Figure 1. Référentiel de mortalités du réseau Remoula (2000-2011) (paniers).

Pour l'ensemble de ces valeurs du référentiel, la médiane des mortalités est de 13,3% et la moyenne 14,3%.

DE QUELLE MOULE S'AGIT-IL ?

La moule bleue du littoral Européen, des cotes d'Afrique du nord à la mer baltique, comprend 3 espèces : *Mytilus galloprovincialis*, *Mytilus trossulus* et *Mytilus edulis* (Figure 2). Il existerait 6 génomes⁹ et des populations hybrides (et capables de se reproduire dans certaines conditions) des deux espèces (*M. galloprovincialis* et *M. edulis*) (Bierne et al., 2003, 2006). Si *M. trossulus*, la plus septentrionale, est établie essentiellement en mer Baltique, les deux autres espèces (moules bleues) se retrouvent entre la mer du Nord-Manche (*M. edulis*), sur la cote atlantique française (*M. edulis* et *M. galloprovincialis*) et en mer Méditerranée (*M. galloprovincialis*) (Figure 2).



Figure 2. Présentation des trois espèces de moules : *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), *Mytilus trossulus* (Gould, 1850) et *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758) du littoral Européen (d'après Sflugier, 2005).

Sur le littoral Européen, il a été identifié six génomes de moules bleues à partir des 3 espèces (Bierne et al., 2003, 2006 b). Une caractérisation génétique géographique est apparue dans différentes régions de l'aire de répartition de ces trois espèces; On parle aujourd'hui d'une *Mytilus trossulus* de la baltique (Pologne, Pays Baltes, ...); de deux *M. edulis* (i) de la mer du Nord (Belgique, Hollande) et (ii) de la Vendée-Pertuis charentais; de trois *M. galloprovincialis* (i) de méditerranée-adriatique, (ii) de la cote atlantique au sud de l'Espagne (Espagne, Portugal) et (iii) de la Bretagne (nord et sud) (Figure 3). Ces différences génétiques entre populations se sont mises en place au fil des siècles du fait de l'isolement géographique entre *Mytilus edulis* de la Manche-Mer du Nord (Figure 4, G1) et la même espèce *M. edulis* de Vendée-Charente maritime (Figure 4, G3). Ainsi, aujourd'hui, en France, il existerait plus de proximité génétique entre les deux populations issues de deux espèces différentes (G1 et G2) qu'entre deux *M. edulis* (G1 et G3) géographiquement plus isolées¹⁰ (Bierne et al. 2003). Ces quatre populations : G1, G2, G3 et la *M. galloprovincialis* méditerranéenne, dont les génomes diffèrent dans une certaine proportion, possèdent de fait des caractéristiques biologiques et physiologiques également différentes. Mais chacune des deux espèces possède en petite quantité, des gènes de l'autre espèce. De ce fait, ces deux espèces de moules peuvent quelquefois se reproduire entre elles dans les secteurs où elles co-existent. Par la suite, des sous populations (HZ1, HZ2 et HZ3) sont apparues dans les secteurs géographiques de mitoyenneté des populations de moules (Figure 3). Elles sont situées : dans le sud du golfe de Gascogne (HZ₁), dans la région de la baie de Quiberon (HZ₂) et sur la côte ouest Cotentin le secteur de la baie du Mont-Saint-Michel (HZ₃).

⁹ En Europe où il n'y a pas de *M. trossulus*, il reste donc 5 génomes à partir des deux espèces *M. galloprovincialis* et *M. edulis*.

¹⁰ *M. galloprovincialis* de Bretagne affiche souvent 10% de plus d'allèles de *M. edulis* que *M. galloprovincialis* d'Espagne (Galice) (d'après Bierne et al., 2003)

Si les hybrides formés sont généralement moins vigoureux, ils parviennent parfois à se reproduire à nouveau, permettant des échanges de gènes entre les deux espèces. La représentation en « double mosaïque » est bien illustrée en baie de Quiberon où, selon les sites, le génome des hybrides représente entre ~5 à ~70% du génome de *M. galloprovincialis* (soit ~30 à ~95% du génome de *M. edulis*) (Figure 3), d'après Bierne et al., 2003). Cette différence de fond génétique entre les différents génomes est peut être un facteur à prendre en compte pour expliquer l'actuel barrière géographique de contamination vers la Bretagne sud (études en cours ; Bierne et al., MORBLEU).

Figure 3. Représentation de l'aire de répartition des deux espèces de moules (*M. edulis* et *M. galloprovincialis*) et leurs hybrides (HZ1, HZ2 et HZ3) le long des côtes européennes (d'après Bierne et al. 2003, 2006)

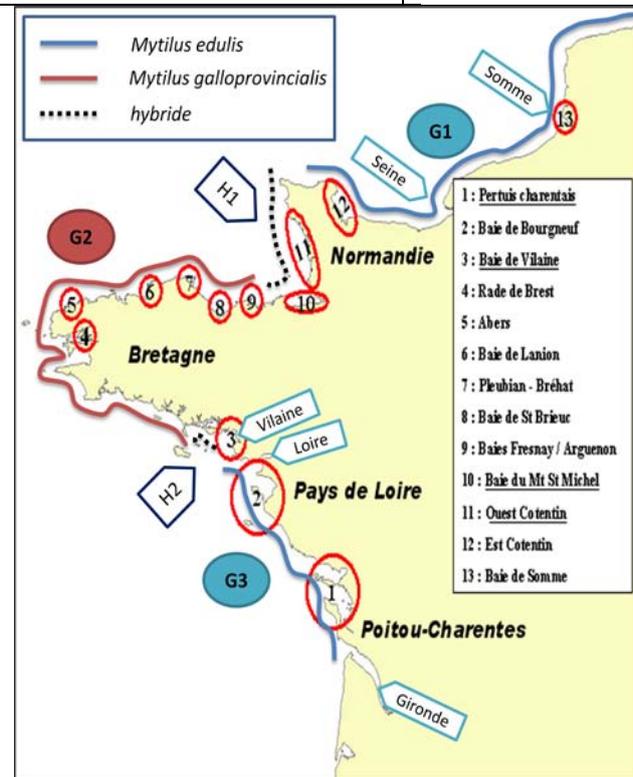
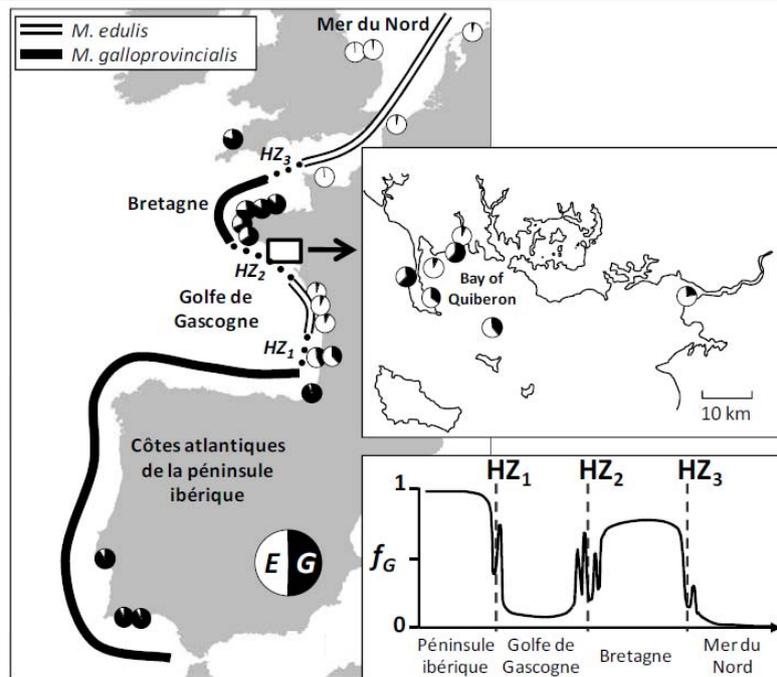


Figure 4. Représentation de l'aire de répartition des génomes (G1, G2, G3) de moules bleues et leurs hybrides (H1, H2) sur les côtes françaises (d'après Bierne et al. 2003)

MORTALITES DE MOULES EN 2014-2015

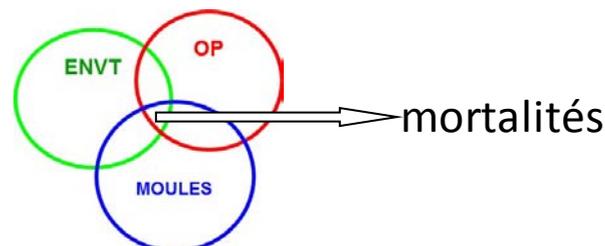
SOURCES D'INFORMATIONS MULTIPLES AVEC LEURS AVANTAGES ET LEURS DEFAUTS

En mytiliculture, les cheptels de moules subissent une sélection forte au stade « juvénile » et la mortalité est « importante » (Dare et Davies, 1975 ; Aguirre, 1979). En éclosion de mollusques, une survie de 5 à 50 % au stade larvaire est considérée comme largement supérieure à celle rencontrée dans le milieu naturel (Le Borgne, 1979). Toutefois les mortalités aux stades précoces de l'élevage sont souvent sans conséquence pour la production. Aujourd'hui, face à cette crise majeure de la mytiliculture contemporaine sur les côtes françaises, sans doute la plus importante depuis celle de 1960-62, des questions se posent :

- ✚ Que connaît-on des mortalités rencontrées en mytiliculture ?
- ✚ quelle est la nature des « pertes », des « mortalités » ?
- ✚ Quelles sont les mortalités « normales » d'un cycle d'élevage professionnel ?

Les pratiques mytilicoles qui visent à optimiser des rendements économiques de production ne s'intéressent pas au suivi des populations de moules, mais essentiellement à des biomasses ou des rendements (à l'hectare, par pieux, par descente de filière, ...). Les « pertes » de moules au cours d'un cycle d'élevage (Annexe 3) correspondent à la somme de l'échappement et des mortalités. Si l'échappement n'est pas synonyme de mortalité, il correspond toutefois à une perte pour la profession.

Alors que la maladie est une altération de l'état de santé d'un individu, la mortalité s'apprécie par référence à l'état d'une population et s'exprime en nombre ou en pourcentage d'individus disparus. Les grandes causes de mortalités ont été évoquées dans le chapitre précédent (météo, prédateurs, compétitions, parasites, virus-vibrio). Si dans certaines situations, une cause précise peut être tenue pour responsable des mortalités engendrées (tempête, canicule, dessalure extrême, toxicité ...), très souvent la mortalité résulte d'une interaction (plus ou moins complexe) entre l'hôte (la moule), l'organisme pathogène (ou un compétiteur) et l'environnement de l'élevage (dont les pratiques culturales) (d'après Sniesko, 1976).



Dans le cas de la mytiliculture (en particulier), l'organisme pathogène peut être étendu à « l'ennemi animal » (mono cellulaire ou pluri cellulaire, organisme pathogène, parasite, compétiteur ou prédateur). Chaque épisode de mortalité se présente donc comme une interaction spécifique qui doit être étudiée dans sa globalité, et au niveau de chaque « compartiments » (projet MORBLEU¹¹).

¹¹ Projet de recherche sur la mortalité des moules

Signaler, estimer, mesurer ?

Dans les écosystèmes estuarien, l'accès aux populations sauvages de coquillages et l'observation des mortalités est difficile (diversité des sites, zone subtidale et intertidale, marnage, météo, moyens d'accès, ...). La mortalité de coquillage peut facilement passer inaperçue. Quelle perception des mortalités de coquillages ?

-
- ✚ mortalité inaperçue
 - ✚ mortalité vue
 - mortalité signalée par les professionnels → fiches déclaratives
 - mortalité estimée/évaluée par les DDTMs¹² → constats
 - mortalité mesurée par l'IFREMER¹³ → réseaux¹⁴
-

En mytiliculture les professionnels, souvent présents sur les sites d'élevage, sont les premiers à voir la mortalité de coquillages. S'ils la jugent anormale, ils la signalent aux autorités maritimes (DDTMs) à travers des fiches déclaratives. Les services de la DDTM sont habilités à provoquer des saisines¹⁵ REPAMO¹⁶ (Ifremer) et à réaliser des constats de mortalités. Ces saisines conduisent à réaliser des analyses pour la recherche des organismes pathogènes connus dans les coquillages et peuvent parfois donner lieu à des mesures de mortalités. Par ailleurs l'observatoire de la mytiliculture (Mytilobs) qui suit les traits de vie de la moule sur la façade manche-atlantique réalise des mesures de mortalités (Figure 5).

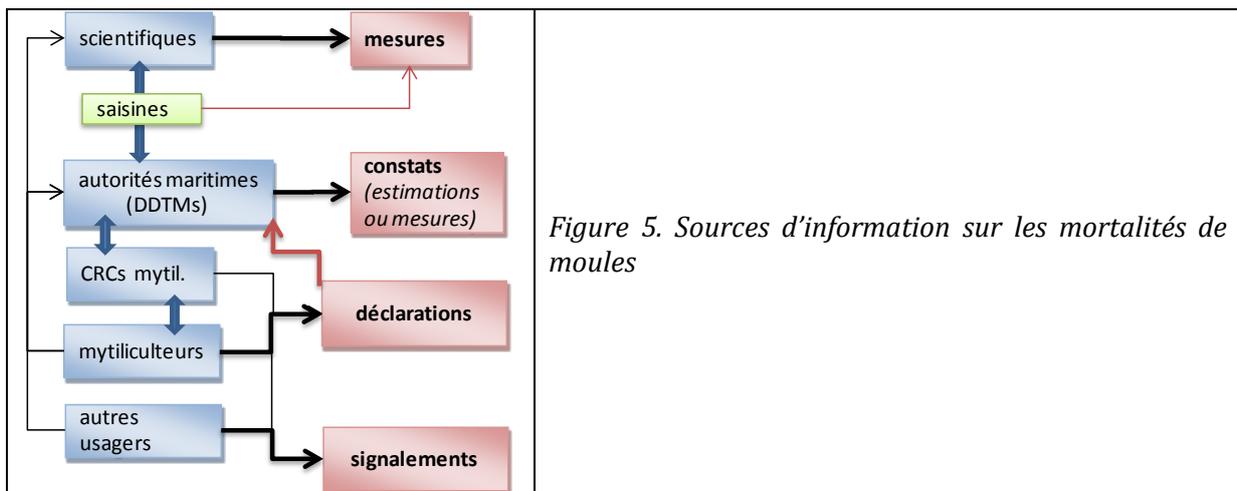


Figure 5. Sources d'information sur les mortalités de moules

C'est à partir de l'ensemble de ces sources d'informations (mesures, constats, déclarations et signalements¹⁷) qu'une synthèse est faite sur les mortalités 2014-2015. Quels sont les avantages et inconvénients de chacune de ces sources ?

LES MORTALITES

¹² Direction Départementale des Territoires et de la Mer.

¹³ et autres instituts scientifiques et techniques.

¹⁴ Mytilobs ; Repamo ; etc

¹⁵ Processus qui permet la recherche d'organismes pathogènes à déclaration obligatoire dans la population de coquillages touchée par les mortalités.

¹⁶ Service de l'IFREMER de surveillance des coquillages à maladies dont la déclaration est obligatoire.

¹⁷ Alors qu'une déclaration est officielle et rentre dans un cadre administratif précis, le signalement relève de sources diverses.

Déclarations

Les déclarations de mortalités « anormales » correspondent à des signalements officiels que font les professionnels aux autorités maritimes pour leur signaler des problèmes de production sur leurs exploitations. Les fiches déclaratives permettent d'obtenir des informations sur la date d'apparition des mortalités¹⁸ et sur l'intensité estimée au moment de ces déclarations.

Dates d'apparition des mortalités en 2015 (données fournies par la DDTM85) :

Sur la base des fiches déclaratives produites par les professionnels, les mortalités 2015 dans le pertuis Breton (PB) sont signalées entre 15 avril et le 22 mai (Tableau 5). Les mortalités sont classées selon 5 secteurs ; 3 sur la région Charente maritime-sud Vendée et 2 sur la région nord-Vendée. Pour les trois secteurs de Charente maritime-Vendée les déclarations ne sont pas simultanées ; elles commencent les 15 et 17 avril pour les secteurs des filières et les bouchots du nord-ouest du pertuis Breton (Ecluseaux et Roulières) et seulement en début mai pour les bouchots plus au sud-est (pointe de la Roche et Belle Henriette). Alors que les mortalités moyennes déclarées en avril-mai sur les filières et sur le secteur sud-est ne sont que de 13-14%, elles atteignent 24% sur le secteur nord-ouest. Les mortalités du secteur nord-ouest sont significativement supérieures (seuil de 1%) aux mortalités déclarées sur les filières du pertuis Breton (Kruskal-Wallis : $F=12,30$ et $p=0,0020$). Dans la zone Noirmoutier-Bourgneuf deux secteurs sont analysés : la côte ouest-de Noirmoutier (bouchots de la Frandière et de la Guerinière) et la baie de Bourgneuf (bouchots de maison Blanche et du Fiol). Dans ces secteurs les mortalités sont déclarées à partir du 15 mars. Elles sont respectivement de 53% et 60% pour les bouchots de la côte ouest de Noirmoutier et pour ceux de l'intérieur de la baie. Les deux médianes ne sont pas significativement différentes (Kruskal-Wallis : $F=0,53$ et $p=0,4779$).

Tableau 5. Périodes de déclarations des mortalités (par secteurs géographiques). Début des déclarations comme indicateur des dates d'apparition des mortalités.

Secteurs	Période de déclarations	Nombre de déclarations	Mortalité moyenne déclarée (%)	Différences significatives
Filières du Pertuis Breton	15 avril – 18 mai	10	13,8	*
Nord-ouest du Pertuis Breton	17 avril – 6 mai	14	23,9	**
Sud-est du Pertuis Breton	4 mai – 22 mai	3	13,3	*
Côte ouest de Noirmoutier	15 mars – 15 avril	8	53,2	***
Baie de Bourgneuf	15 mars – 18 avril	7	60,0	***

¹⁸ Sachant que cette mortalité est susceptible d'évoluer dans le temps

Sur la base des déclarations faites par les professionnels à la DDTM85 : En 2015 les premières mortalités sont déjà déclarées dans le nord de la Vendée (Noirmoutier-Bourgneuf) vers mi-mars. Les mortalités réapparaissent ensuite au nord-ouest du pertuis Breton (bouchots et filières) vers mi-avril avant de toucher le nord-est du pertuis Breton en début mai seulement. L'intensité estimée des mortalités (bouchots et filières) est alors de 53-60% dans le nord-Vendée contre 13-24% seulement dans le pertuis Breton. La mortalité 2015 apparait de façon plus précoce et plus intense dans la baie de Bourgneuf, et un mois après, avec moins d'intensité, dans le pertuis Breton. Comme en 2014, on note une progression de l'épidémie de l'ouest vers l'est du pertuis Breton.

Constats, mesures, signalements et saisines

Les DDTMs effectuent des « constats réguliers » pour fixer les conditions d'exploitation de gisements (moules, coquilles St. Jacques, etc.) et des « constats irréguliers » en cas d'évènements anormaux comme les mortalités massives de moules. En 2014 et 2015, des constats ont été réalisés par les autorités maritimes des départements de Charente maritime et de Vendée (DDTM₁₇ et DDTM₈₅). Ces constats ont eu lieu avec les CRC, les professionnels, et les scientifiques de l'IFREMER (Tableau 7). Les mesures de mortalités en paniers sont effectuées par le réseau Mytilobs qui comprend 6 sites en 2014 et 8 en 2015, dont 3 (en 2014) et 5 (en 2015) dans les pertuis Breton et d'Antioche. Les résultats de mortalités du réseau Mytilobs sont présentés en détail dans le rapport Mytilobs 2014 (Robert et al., 2015) et Mytilobs 2015 (Robert et al., sous presse). Par ailleurs, des signalements (sources diverses) apportent des informations complémentaires sur les mortalités 2014 et 2015 (Tableau 6). Trente saisines ont été réalisées en 2014 et 2015 en lien avec les mortalités de moules (Annexe 4) (d'après données REPAMO, Lupo et al., 2016) :

- ✚ 5 en Bretagne (Finistère) dont 4 en rade de Brest
- ✚ 3 en Normandie (Cotentin – Calvados)
- ✚ 2 en Loire Atlantique (La plaine sur mer)
- ✚ 11 dans le Nord Vendée (Noirmoutier et Baie de Bourgneuf)
- ✚ 8 en Charente maritime – sud Vendée (pertuis Breton et d'Antioche)
- ✚ 1 en côte d'Armor (Lannion)

Le Tableau 6 présente de façon chronologique les principaux, constats et signalements en lien avec les mortalités de moules. Ces données sont complétées par les mesures du réseau Mytilobs (Robert et al., 2015 et 2015). En février 2014 des mortalités anormales de moules sauvages captées sur tables ostréicoles sont signalées par un professionnel de la Fosse de Loix (Nord-Est de l'île de Ré, pertuis Breton) (5 février). En mars 2014 les moules du pertuis Breton subissent un épisode de mortalités massives qui touche l'ensemble du pertuis en quelques semaines (Béchemin et al., 2014, 2015) (constats). Ces mortalités sont apparues en fin d'hiver (mi-mars) sur les filières du pertuis Breton (21%) et sur les bouchots de l'Aiguillon (8%) (mesures Mytilobs). A cette période aucun autre secteur n'est touché (mesures Mytilobs) et les mortalités sont inférieures à 5% dans le pertuis d'Antioche (Yves et Boyard : constats et mesures Mytilobs). Les mortalités atteindront des valeurs proches de 100% sur les sites Aiguillon et Filière au cours du mois d'avril (mesures Mytilobs). Au cours du printemps également, des mortalités apparaissent dans le sud (pertuis d'Antioche) où les taux atteignent 20-50 % (constats, mesures Mytilobs) et plus au nord également sur la côte ouest de Noirmoutier

(sites de La Tresson et La Frandière touchés à environ 70% (signalement puis constats) (Tableau 7, Tableau 8). Ailleurs en France les mortalités restent inférieures à 5% (mesures). Au cours de l'été aucune mortalité particulière n'est signalée. Au cours de l'automne 2014, des mortalités sont signalées par les professionnels et la DDTM₈₅ à la fois sur des gisements naturels de la baie de Bourgneuf et sur les bouchots à l'Ouest (Maison Blanche) et à l'Est (Le Fiol) de la Baie de Bourgneuf (signalements). Le 8 janvier des mortalités de moules sont déclarées en baie de Bourgneuf (20 à 50%) sur des gisements sauvage : secteur de la Table, du Goëlan, de la Passe des Portes et de Vendette, (signalement) et sur le banc du Dormiont (constat). Le 12 janvier 2015, des mortalités de moules sauvages sont à nouveau constatées à la Fosse de Loix (Ile de Ré) (signalement) (sur le même site qu'en février 2014). Durant l'hiver 2015 les mortalités de moules atteignent 30 à 90% sur les principaux gisements naturels et sites d'élevage de la région de Bourgneuf-Noirmoutier alors que la mortalité reste inférieure à 10% dans les pertuis charentais (constats et mesures). Au cours du printemps 2015 la mortalité s'accroît encore dans la région de Bourgneuf pour atteindre 100% sur certains sites mytilicoles (valeurs comprises entre 20 et 100%) (constats et mesures Mytilobs) (Tableau 7, Tableau 8). Une mortalité de 20-30% est par ailleurs observée sur les filières de Chatellaillon (signalement). A la fin juin, les mortalités de 30% sur les Filières du pertuis Breton, 20% sur les bouchots de l'Aiguillon et des Roulières, 12% sur Boyard et 5% sur Yves, sont bien inférieures à ce qu'elles étaient en 2014 (mesures Mytilobs). En décembre 2015, les mortalités sont de 22% et 15% respectivement sur les bouchots d'Aiguillon et de Boyard. Elles atteignent 50% sur le site des Filières. Sur les autres sites du réseau Mytilobs la mortalité cumulée (cycle de 15 mois) est de 15%, 9% et 20% respectivement pour les sites de Pont Mahé (baie de Vilaine), du Vivier (baie du Mont St Michel) et d'Agon (Ouest Cotentin) ; sachant que la mortalité sur ce dernier site est régulièrement amplifiée par la prédation liée aux bigorneaux perceurs (mesures Mytilobs). Sur le site de Loix en Ré (site d'origine des premières mortalités de moules 2014), la mortalité atteint 55% (mesures Morbleu). C'est la plus forte mortalité observée en 2015 dans les pertuis Charentais (Breton et Antioche). L'été et l'automne 2015 semblent marqués (signalements et constats) par la persistance de mortalités chroniques sur plusieurs sites mytilicoles et par l'apparition de mortalités dans d'autres secteurs (octobre en particulier) tels que La Plaine sur mer (bouchots), les Iles Chausey (sites de filières) et Lannion (site de filières) (signalements et constats). Alors qu'un 3^{ème} signalement de mortalités de moules sauvages sur tables ostréicoles de la Fosse de Loix est fait le 11 décembre 2015 (annonciateur des mortalités 2016 ?), un début de mortalité est également enregistré (constat, mesures Mytilobs) le 15 décembre sur Filière (10%) pertuis Breton.

Au regard des « normes » produites par le réseau Remoula, seules les mortalités supérieures à 22% sont classées comme « inhabituelles » (Robert et al., 2016). Dès le mois de juin, les sites du pertuis Breton sont en situation de mortalité « anormale » et le pertuis d'Antioche ne l'est pas. Le site du Vivier l'est également, à cause des bigorneaux perceurs. Quasiment tous les sites mytilicoles et gisements du nord-Vendée peuvent être classés en mortalité « exceptionnelle » en 2015.

Tableau 6. Chronologie des principaux constats et signalements de mortalités de moules (et de coquilles saint Jacques) (gisements et élevages) (S) indique une saisine Repamo (DDTM → Ifremer)

date	Constats et signalements de mortalités	Sources
5 fév. 2014	1 ^{er} signalement de mortalités anormales de moules sauvages sur tables ostréicoles de la Fosse de Loix (Charente maritimes / pertuis Breton-PB)	Professionnels → DDTM
18 février 2014	Signalement de mortalités (50%) sur un secteur de bouchot, dans le fond de la rade de Brest (têtes de pieux)	CRC PL
9-12 mars 2014	Signalements de mortalités massives sur le site des filières du PB et dans les bouchots du nord-ouest du PB	Professionnels → DDTM
mars 2014	Extension des mortalités à tout le PB (signalements)	Professionnels → DDTM
mars 2014	Signalement d'un pic de mortalités de coquilles Saint Jacques et pétoncles de l'ordre de 30 à 40% dans le pertuis Breton et autour de l'île de Ré	→ journaux
mars 2014	Signalement que le pertuis d'Antioche n'est pas touché	→ journaux
29 mars 2014	Signalement de mortalités de moules sur des filières en rade de Brest (S7)	?
avril 2014	Signalement de mortalités sur les bouchots de la côte Ouest de Noirmoutier	Ifremer
17 avril 2014	Constats de mortalités dans le Pertuis Breton (filières & bouchots du nord-ouest du pertuis)	DDTM85/Ifremer (SR, JG)
avril – mai 2014	Signalement de mortalités sur les gisements intertidaux de St Gilles Croix de Vie (30 ^{aine} de km au sud de Noirmoutier) (S ?)	particuliers → DDTM
(1 ?) mai 2014	Signalement de mortalités sur le secteur de Paillard (gisement intertidal) de la côte Ouest de Noirmoutier (S10-11)	particuliers → DDTM
14 mai 2014	Signalement de mortalités sur le gisement en eau profonde de Barfleur (nord-est Cotentin) (pas de mortalité lors des constats de mars 2014 – visites de gisements)	CRC Basse Normandie
16-18 juin 2014	Signalement de mortalités sur la moulière intertidale d'Englesquevilles la percée (proche de Grandcamp) (Normandie / Calvados) (S12)	Ifremer
12 aout	Signalement de mortalités de moules sur le gisement en eau profonde de Grandcamp (sud-est Cotentin) (S13)	Profession
Septembre-octobre	Signalements de mortalité sur les moules de bouchots de Maison Blanche (baie de Bourgneuf) (S14)	
5-25 nov. 2014	Trait de chalut à perche de 1,2 mile sur moulière située entre l'embouchure de la Charente et Boyard → 960 kg de moules ; meilleurs résultats depuis 2007 (mesures)	Ifremer
14 déc 2014	Signalement de coquilles vides de moules en grande quantité sur la plage des Grenettes (Sainte Marie de Ré – sud-est de l'île) (1cm à 2-3 cm)	Ifremer
déc. 2014	Signalement de faibles mortalités de moules dans le secteur du Fiol (Nord de la Baie de Bourgneuf)	Ifremer
8 janv. 2015	Signalement de mortalité en baie de Bourgneuf (secteur de la Table, du Goëlan, de la Passe des Portes et de Vendette) estimation 50% (S15)	Profession
8 janvier 2015	Constat de mortalité en baie de Bourgneuf banc du Dormion estimation 20-30% prélèvement analyse.	DDTM
12 janv 2015	2 ^{ème} signalement de mortalités de moules sauvages sur tables ostréicoles de la pointe de Groin (Fosse de Loix en Ré) (épisode 2015)	Profession → DDTM
16 janv. 2015	Signalement qu'il n'y a plus de moules sur les gisements du	Profession

	pertuis d'Antioche	
14,15 et 28 janv. 2015	Visite de gisements de moules dans le pertuis d'Antioche (Lamouroux, Juliard et Barrat) ; très peu de moules (constats)	DDTM17
janvier 2015	Signalement de mortalités sur les gisements naturels de moules de Paillard sur la cote ouest du Cotentin.	?
20 Janv. 2015	Très peu de moules vivantes sur Rivedoux (île de Ré) « en comparaison avec l'année dernière » (signalement)	Ifremer
Janvier 2015	Signalement de mortalités de moules sur Pen Bé (nord de la Loire et sud de la Vilaine) (bouchots ?)	Ifremer
Janvier - mars 2015	Signalements de cheptels au « comportement anormal » (fatigue physio, décrochement) dans les pertuis charentais	Profession
20 mars 2015	1 ^{er} Signalement de mortalité de Coquilles Saint Jacques dans le pertuis Breton [auparavant pas d'observation car les professionnels pêchaient la pibale (SR)]	Profession
mars 2015	Constats de mortalité (++) sur les 4 gisements profonds de la cote est-Cotentin (Barfleur, Reville, Ravenoville et GrandCamp)	CRC Basse Normandie
Avril 2015	Séries de saisines dans le nord-Vendée (S15 à S20)	DDTM → Ifremer
22 juin 2015	Signalement de mortalités sur les gisements profonds de l'est-Cotentin (S24)	
2 avril 2015	1 ^{er} constats de mortalités de coquilles Saint Jacques, en 2015, dans le pertuis Breton (5 sites → 5 à 56% de mortalité)	DDTM17/ Ifremer
avril 2015	Signalement de mortalités sur les Roulières (nord-ouest du PB)	Profession
10 avril 2015	2 ^{ème} constats de mortalités de coquilles Saint Jacques dans le pertuis Breton (10 sites → 15 à 73% de mortalité)	DDTM17/ Ifremer
21-23 avril 2015	Constats de mortalités dans le nord-Vendée (Bourgneuf et Noirmoutier)	DDTM85
13-17 juillet 2015	Signalement de mortalités sur les filières de Trévors (Finistère Nord)	Profession
17 sept. 2015	Signalement de mortalité chronique à la Plaine sur mer et en Vendée	Profession
12 oct. 2015	1 ^{er} Signalement de mortalités de naissain 2015 dans le pertuis Breton et en Baie de Bourgneuf	Ifremer
13 oct. 2015	Signalement de mortalités en baie des Veys (Normandie/Calvados)	Ifremer
13 oct. 2015	Signalement de mortalité sur les filières de Chausey (Normandie / ouest Cotentin)	Profession
oct. 2015	Signalement de reprise de la mortalité en baie de Bourgneuf	SMEL
28 oct. 2015	Signalement de mortalité sur les filières de Lannion (Bretagne / côtes d'Armor)	Profession
28 oct. 2015	Signalement de recrudescence de mortalité à la Plaine sur mer (Pays de Loire /Loire Atlantique) (S28)	Profession
30 nov. 2015	Constats de mortalités dans le Pertuis Breton (filières) & bouchots au nord-ouest du pertuis Breton	DDTM85/Ifremer
Nov. déc. 2015	Signalements de recrudescence des mortalités de moules	Profession
11 déc. 2015	Saisines sur du naissain 2015 dans le nord Vendée (S27, S30)	DDTM → Ifremer
Oct-déc. 2015	Signalements de mortalités anormales sur les filières du pertuis Breton	Profession
14 déc. 2015	Signalements de mortalités anormales sur les filières du pertuis Breton	Profession
29 déc. 2015	Signalement de mortalités anormales sur le Fiol (nord baie de Bourgneuf)	Profession

Tableau 7. Estimations de mortalités issues des constats réalisés par les DDTMs (avec professionnels et Ifremer) (les sites sont classés géographiquement du sud vers le nord)

DDTM	secteurs	sites	2014		2015			
			mars-14	avr-14	mai-14	janv-15	avr-15	oct-15
17	Antioche	Boyard	< 5					
17	Antioche	Saumonard-filières						
17	Antioche	Yves						
17	Antioche	Aix						
17	Antioche	Chatellaillon						
17	Pertuis Breton	Marsilly-Esnandes						
85	Pertuis Breton	Aiguillon	15	65		0		
85	Pertuis Breton	Pertuis Breton	75	100		0	8,3	15
85	Pertuis Breton	Pointe de la Roche	30	90		0		3
85	Pertuis Breton	Pas de Tranchais	35	90		0		8
85	Pertuis Breton	Belle-Henriette	45	100		0		30
85	Pertuis Breton	Ecluseaux	75	100		0	7,5	30
85	Pertuis Breton	Roulières	55	100		0		30
85	Les Conches	Ile d' Yeu		10-15		0		25
85	ouest-noirmoutier	Frandièrre			50	0	95 (1 an) 92 (2 ans)	88 (1 an) 100 (2 ans)
85	ouest-noirmoutier	La Tresson			15	0	45 (1 an) 60 (2 ans)	45 (1 an) 60 (2 ans)
85	baie de Bourgneuf	gisements			0	1 an 2 ans	70	70
85	baie de Bourgneuf	Maison Blanche			0	65 (1 an) 25 (2 ans)	100 (1 an) 90 (2 ans)	100 (1 an) 90 (2 ans)
85	baie de Bourgneuf	Fiol-Northe			0	1 an 2 ans	80 (1 an) 70 (2 ans)	80 (1 an) 70 (2 ans)
44		La Plaine/mer			0	0	15	50

	filières
	gisements
	bouchots

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIFFERENTES SOURCES D'INFORMATIONS SUR LES MORTALITES

Face aux difficultés de mesurer des effectifs dans les élevages professionnels et du fait des pratiques culturelles propres à la filière moule, les scientifiques ont mis en place depuis les années 1990 des « paniers » permettant des mesures de mortalités sur les sites mytilicoles (Annexe2). Les réseaux ont comme principal objectif de comparer les traits de vie des moules à partir d'un même lot distribué sur le littoral français. Précurseur du réseau Mytilobs (réseau national), le réseau régional des pertuis Charentais, Remoula (2000-2011) a permis d'établir une base de connaissance sur les mortalités : « normales », « moins fréquentes » et « anormales » qui servent directement l'expertise des mortalités 2014-2015. Trimestriel, avec un échantillonnage de fin d'hiver, durant le mois de mars (2014), le réseau sous estimait les mortalités massives en mars 2014 dans le pertuis Breton. A la fin du printemps, puis en fin d'année, les résultats entre constats et réseau étaient parfaitement cohérents et complémentaires. En 2014 et 2015, le réseau Mytilobs a largement contribué à l'expertise sur les mortalités (Robert et al., 2015 ; Robert et al., sous presse). A l'inverse des constats qui permettent une quantification spatiale des sites impactés par les mortalités, le réseau Mytilobs en assurant une observation de veille a permis, en 2015 par exemple, de mesurer l'évolution de mortalités chroniques sur les filières du Pertuis Breton, passant de 30% (au printemps) à plus de 50% en fin d'année 2015.

Les constats réalisés par les DDTMs apportent une estimation quantitative des mortalités. Ces données n'ont pas la précision des mesures des réseaux, en raison des contraintes techniques propres à la filière moule, déjà évoquées précédemment. Toutefois ces constats ponctuels, conduits sur 2-3 jours et 2-3 fois au cours des années 2014 et 2015 concernent une grande partie des secteurs impactés par les mortalités.

Les signalements sont riches en informations. Ils relèvent de sources diverses. Leur prise en compte demande une validation de l'origine et souvent un travail d'enquête. Ils sont uniquement limités par l'effort d'investigation consenti. Ils sont essentiels à l'enquête scientifique. Ainsi par exemple : (i) les trois signalements d'un professionnel ostréiculteur, relayés par la DDTM, concernant les mortalités de moules sauvages « annonciatrices » des mortalités massives sur les élevages ; (ii) la concomitance entre les mortalités de coquilles Saint Jacques et les mortalités de moules ; (iii) etc

Ces trois sources d'informations : mesures, constats et signalements sont parfaitement complémentaires. Elles contribuent toutes trois à l'investigation pour une analyse scientifique et technique du phénomène de mortalités de moules depuis 2014.

RESUME ET HYPOTHESES

Les pratiques de la mytiliculture ne permettent pas un suivi des effectifs de moules en élevage. La pratique est orientée vers la croissance et la production. Les pertes de naissains sur cordes, entre le printemps et l'été, sont comprises entre 50% et 90% (avant mise sur bouchots). Puis les pertes peuvent encore concerner 25 à 85% des cheptels au cours de l'élevage sur bouchots. Les pertes maximales relèvent à la fois des

pratiques culturelles, des conditions météorologiques, de la prédation, de la compétition spatiale et d'éventuelles maladies. Une bonne gestion du DPM¹⁹ et des élevages, en limitant la compétition intra et inter espèces, et la prédation, peut réduire les pertes en deçà de 25% au cours d'un cycle.

L'apparition, en 2014, de mortalités « massives » dans le pertuis Breton (60 à 100%) suivi quelques semaines plus tard de mortalités de dans le pertuis d'Antioche (20 à 50%), a conduit à s'interroger sur le caractère « exceptionnel » ou « inhabituel » des mortalités. La disponibilité d'une base historique régionale (pertuis charentais) (Remoula 2000-2010) (Robert et al., 2001) de données sur les mortalités de moules a permis de proposer un référentiel de qualification des mortalités à l'issue d'un cycle d'élevage :



Les mortalités sont estimées grâce aux constats des DDTMs sur les sites sinistrés par les mortalités. Elles sont mesurées de façon régulière et saisonnière dans le réseau Mytilobs, y compris dans des régions non sinistrées. En 2014, les mortalités sont « exceptionnelles » ou « inhabituelles²⁰ » sur les principaux²¹ sites mytilicoles des pertuis charentais. Les mortalités « exceptionnelles » sont comprises entre 60 et 100% dans le pertuis Breton. Elles atteindront également 70% sur la côte ouest de Noirmoutier et entre 17% et 47% dans le sud du pertuis d'Antioche (Robert et al., 2015). En automne 2014, des mortalités sont signalées dans la baie de Bourgneuf sur les bouchots. En 2015, le seuil de mortalités « exceptionnelles », franchi dès le mois de janvier dans le nord de la Vendée (Noirmoutier et Bourgneuf), atteindra 100% sur certains sites. Ce seuil est atteint fin avril sur les sites Filière et Roulières (pertuis Breton). Les mortalités sont « inhabituelles » vers mi-mai sur les bouchots d'Aiguillon (pertuis Breton). Des mortalités, « inhabituelles » en avril, puis « exceptionnelles » lors des constats (DDTM) d'octobre, touchent les élevages de la Plaine sur mer (Loire Atlantique). Au cours de l'été-automne 2015 une mortalité chronique est signalée sur plusieurs sites du pertuis Breton et de la Baie de Bourgneuf. En automne 2015, des mortalités de naissain sont signalées pour la première fois. Sur les autres sites (baie de Vilaine et Mont St Michel) les mortalités de l'ordre de 5% en 2014 atteignent 15-20% en 2015

¹⁹ Domaine Public Maritime

²⁰ Pas de secteurs mytilicoles où la mortalité est inférieure à 22%

²¹ Pas d'infos sur les petits secteurs du sud du bassin de Marennes-Oléron (Saint Froult, ...)

Tableau 9. Chronologie des mortalités (%) par secteurs mytilicoles (Mytilobes et constats DDTMs) entre 2014 et 2015 dans les principaux secteurs mytilicoles concernés.

Région	secteur	Hiver 2014	Printemps-été 2014	Automne 2014	Hiver 2015	printemps 2015	automne 2015
Poitou-Charente	Pertuis Breton	65-100	70-100		5-10	10-30	chronique
	Pertuis d'Antioche	< 5	20-50		5-10	5-15	RAS
	Noirmoutier (côte O)	< 5	~70		30-50	20-100	RAS
Pays de Loire	Baie de Bourgneuf : bouchots	< 5		signalées	30-90	30-100	chronique
	Baie de Bourgneuf : gisements	< 5		signalées	50	95-100	
	Ile d'Yeu					20-30	chronique
Autres régions		< 5				5-10	mortalités+

Hypothèse sur les mortalités 2014-2015

L'expertise 2014 a montré que le groupe *Splendidus* (*vibrio*) serait impliqué dans les épisodes de mortalités massives de moules en 2014 (pertuis Breton) (Travers et al., 2015). En 2014 également, des études hydrodynamiques (connectivité des masses d'eau) ont montré la cohérence entre la diffusion de traceurs et l'extension spatio-temporelle des mortalités dans le pertuis Breton (Baud et al., 2014 ; Béchemin et al., 2015), puis dans le pertuis d'Antioche et vers le nord-Vendée : Noirmoutier, Bourgneuf, La Plaine sur mer, l'île d'Yeu ; autant de secteurs mytilicoles touchés par les mortalités (Le Moine, com. pers). D'autre part, au cours de l'année 2015, l'apparition des mortalités de moules dans un certain nombre de sites : Le Trevors, (Finistère Nord), Lannion (Côte d'Armor), etc, relèverait de transferts de cheptels en lien avec les pratiques culturelles (Figure 6). Si ces deux « mécanismes » de contamination (via l'hydrodynamique et le transfert de cheptels) sont à même d'expliquer bon nombre d'observations (signalements, déclarations, constats, mesures ...) de ces deux années, d'autres résultats, observations et signalements, permettent d'avancer l'hypothèse d'une « contamination » plus large que celle envisagée dans l'expertise 2014. Cette hypothèse est la suivante : les mortalités massives de « moules » (2014-2015) relèveraient d'un même « type » de mortalité (ou tout du moins, auraient une base déterministe commune). Les principales concomitances, chronologiques et factuelles, issues du Tableau 6 et résumées dans le Tableau 10, supportent l'hypothèse proposée ci-dessus :

Concomitance de mortalités « inter-espèce » (moules et coquilles Saint Jacques -CSI) deux années de suite : La mortalité apparaît 3 fois dans le pertuis Breton, au niveau de la pointe de Groin, Fosse de Loix (nord-est de l'île de Ré) (sur moules sauvages), « annonciatrice » des mortalités massives sur les moules d'élevage (au moins en février

2014 et janvier 2015). Des mortalités importantes de coquilles Saint Jacques (CSJ) ont lieu également en mars²² 2014 et 2015 dans le pertuis Breton.

Concomitance spatiale de mortalités de moules dans 3 régions de France: Des mortalités massives ont lieu : (i) en mars 2014 dans le pertuis Breton ; (ii) en février 2014 en rade de Brest en (cultures) ; (iii) en avril (probablement²³) 2014 en sur les gisements profonds de Barfleur (est Cotentin).

Hypothèse : Si les 3 évènements de mortalité (2^{ème} concomitance) relèvent d'un même processus, d'une même cause infectieuse (?) ils ne peuvent être expliqués par un transfert hydrodynamique ou lié aux pratiques culturales (transfert de cheptels) en raison de leur quasi simultanéité. Il faut alors conclure à un certain synchronisme des mortalités en lien avec un même processus (infectieux) au cours de l'hiver 2014. D'autres observations faites au cours de ces 2 années d'étude confortent cette hypothèse épidémiologique : (i) la mortalité « vient du large » et « vient du Nord » (au niveau du pertuis Breton) ; (ii) les fleuves et les fonds d'estuaires constituent plutôt des zones protégées ; (iii) les moules sauvages « du large » sont d'abord touchées avant les cultures sur bouchots (plus protégées dans les estuaires) ; (iiii) les filières sont plus touchées que les bouchots (elles sont aussi le plus « au large »)...

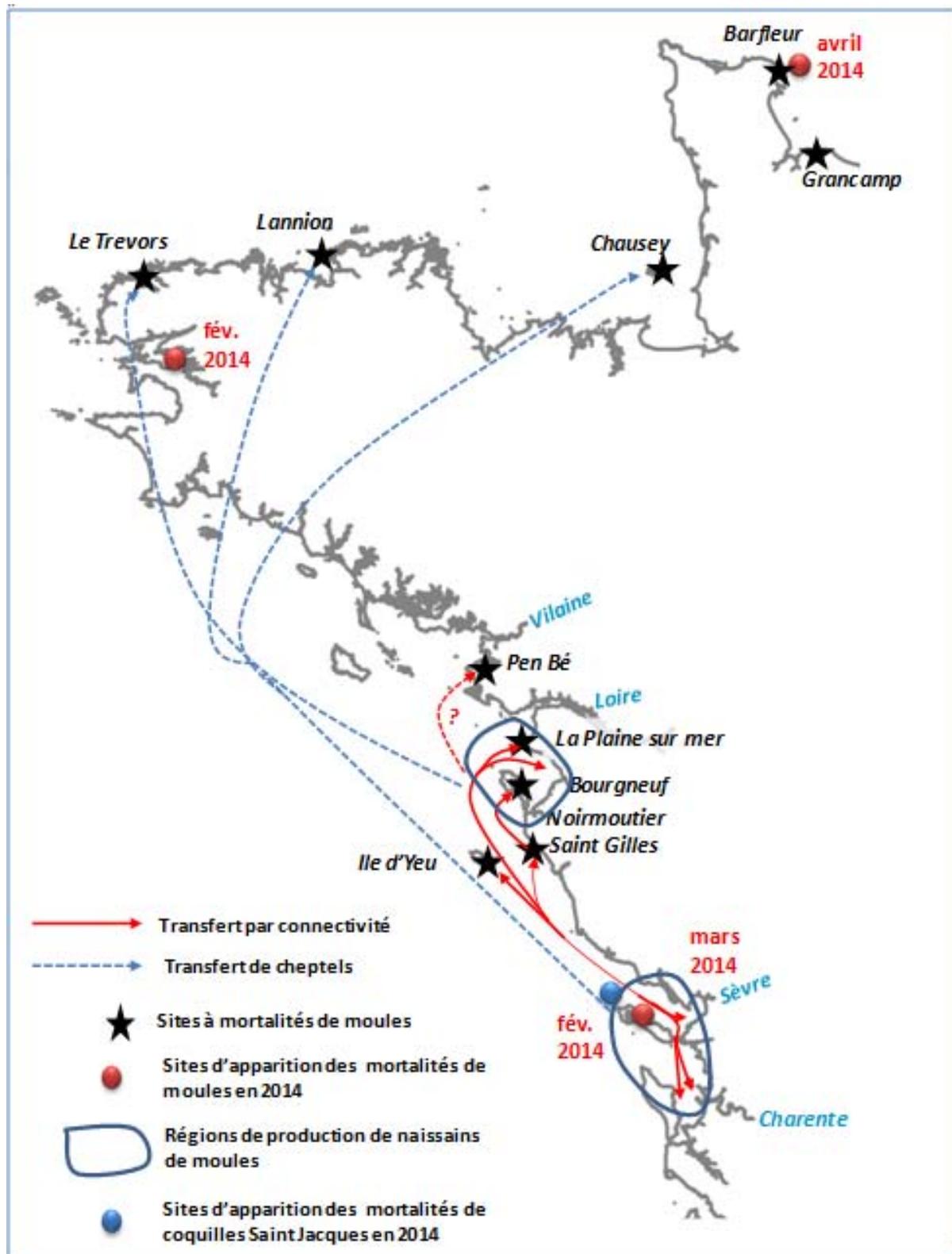
²² Sachant que les professionnels ne commencent la pêche qu'à cette saison, il est évidemment possible que les mortalités de CSJ aient commencé plus tôt durant l'hiver

²³ La mortalité n'était pas visible en mars 2014, mais l'était à mi-mai 2014

Tableau 10. Résumé des principaux évènements de mortalité (E1-E15) survenu sur les côtes françaises entre 2014 et 2015

Réf	Période	Mortalité	Structure	Lieu dit	Zone	Départements
E1	Février 2014	Moules sauvages	Tables ostréicoles	Fosse de Loix (Ile Ré)	Pertuis Breton	Charente M.- Vendée
E2	Février 2014	Moules d'élevage (40%)	bouchots	Le Faou - Priolody	Rade de Brest	Finistère
E3	Mars 2014	Moules d'élevage (65-100%)	Filières & bouchots		Pertuis Breton	Charente M.- Vendée
E4	Mars 2014	Coquilles St Jacques (30-40%)	Gisements	Autour de l'île de Ré	Pertuis Breton	Charente M.- Vendée
R5	Mars 2014	CSJ pas de mortalité	Gisements		Pertuis d'Antioche	Charente M.- Vendée
R6	Avril	Moules d'élevage (20-50)	Bouchots		Pertuis d'Antioche	Charente M.- Vendée
R7	(Mars) Avril (mai) 2014	Moules sauvages (mor +)	Gisements profonds	Barfleur	Est-Cotentin	Cotentin
R8	Printemps 2014	Moules (élevages et sauvages)	Bouchots et gisements		Ouest Noirmoutier	Vendée
R9	Juin-août 2014	Moules sauvages	Gisements profonds et littoral	Grandcamp et environ	Est-Cotentin	Calvados
R10	Automne 2014	Moules d'élevages (mort +)	Bouchots	Maison Blanche (& Le Fiol)	Baie de Bourgneuf	Vendée
R11	Janvier 2015	Moules sauvages	Tables ostréicoles	Fosse de Loix (Ile Ré)	Pertuis Breton	Charente M.- Vendée
R12	Janvier 2015	Moules (élevages et sauvages)	Gisements et bouchots		Baie de Bourgneuf	Vendée
R13	Mars 2015	Coquilles St Jacques (5-56%)	Gisements	Autour de l'île de Ré	Pertuis Breton	Charente M.- Vendée
R13	Mars 2015	Moules (mor ++)	Gisements	Barfleur et 3 autres sites	Est-Cotentin	Cotentin
R14	Avril – mai 2015	Moules	Filières & bouchots		Pertuis Breton	Charente M.- Vendée
R15	Décembre 2015	Moules sauvages	Tables ostréicoles	Fosse de Loix (Ile Ré)	Pertuis Breton	Charente M.- Vendée

Figure 6. Apparition et extension des secteurs avec mortalités « anormales » de moules, en lien avec l'hydrodynamique et le transfert de cheptels (captage, gisements).



ELEMENTS DE BIOLOGIE : REPRODUCTION, CAPTAGE DE LA MOULE BLEUE

Les résultats présentés ici proviennent soit de moules: (i) sauvages (gisements intertidaux ou subtidaux ou captées sur des bouées) (Lubet, 1959) ; (ii) d'élevage sur bouchots (Boromthanasarat 1986 ; Randriananja 2006 ; Picoron 2007) ; (iii) de filières (Randriananja 2006 ; Picoron 2007).

Origine des données

- ✚ Les Travaux de biologie de Lubet (1959) dans le bassin d'Arcachon (années 50).
- ✚ La thèse de Boromthanasarat (1986) dans les années 80 (pertuis d'Antioche) et observations de Dardignac (2004) (années 90 dans le pertuis Breton).
- ✚ Des études spécifiques en lien avec le réseau régional REMOULA : Stéphane Robert et al., 2011, 2004, 2007....
- ✚ Des suivis de pêches de larves et des captages de naissain réalisés par le CREEA depuis 2006 dans le cadre du réseau de surveillance de l'Ifremer (VELYGER).

Le Tableau 11 synthétise les résultats des études sur la reproduction de *Mytilus edulis*, (Arcachon et Pertuis Charentais) en 1955-58 (Lubet 1959), en 1983-84 (Boromthanasarat 1986) en 2003-2005 (Randriananja 2006 ; Picoron 2007 ; Robert et al., 2007) et en 2006-2015 (CREEA). Ces études se succèdent dans le temps sans chevauchement de période. Quelques années sans captage (Dardignac, 2004 ; 1989-1991) viennent s'intercaler dans la chronologie des études (Tableau 11)

Tableau 11. Travaux en lien ou contenant des informations sur la reproduction de la moule *Mytilus edulis* sur la façade atlantique sud (Arcachon : bassin d'Arcachon ; BMO : bassin de Marennes Oléron ; PB : pertuis Breton ; PC : pertuis charentais).

		1955	56	57	58	...	83	84	...	89	90	91	92	93	94	...	99	2000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Lubet (1959)	Arcachon	+	+	+	+																														
Boromthanasarat (1986)	BMO						+	+																											
Dardignac (2004)	PB																																		
Robert (REMOULA)	PC																																		
Picoron, Randriananja (2006-07)	PC																																		
CREEA (suivi larve et captage)	BMO																																		
Robert (MYTILOBS)	Atlantique																																		

ETUDES DE LUBET (1959)

Période de reproduction

La reproduction de *Mytilus edulis* se déroule pendant les mois d'hiver lorsque la température des eaux est suffisamment élevée. On constate des pontes hivernales (janvier, février, mars) lorsque la température des eaux dépasse 9° C. Dans les zones plus nordiques (Hollande, Danemark, Ecosse), les moules ne pondent pas en hiver et le cycle sexuel se décale vers les mois d'été. Le cycle de reproduction des moules en zones subtidales (équivalent filière avec 100% d'immersion) présente une phase de repos sexuel (phase 0) plus réduite et une saison de ponte souvent plus longue (avec en particulier des pontes dites « de la Saint Michel » en septembre, dans les pertuis charentais) que celle des gisements de moules en zone intertidale (équivalent bouchot ~ 70% d'immersion) (Lubet 1959).

Température et reproduction

La gamétogénèse ne débute que lorsque la température de l'eau dépasse 7-8°C (Chipperfield 1953) et la vitellogénèse vers 9-10°C (Marteil, 1976). Les seuils thermiques « bas » varient avec la salinité ; de 7,5 à 9°C pour des salinités comprises entre 20-27 ; de 10-11 °C pour des salinités de 29-31. Les conditions hydrologiques de l'année 2014, de températures hivernales exceptionnellement élevées et d'apports conséquents en eau douce, ont favorisé la maturation des moules à plusieurs niveaux : initiation de la gamétogénèse, vitesse de maturation, facilité de ponte, vitesse de vie larvaire, ...

Fréquence de pontes

La ponte est partielle ou totale pour un individu donné ; si la ponte est partielle, la moule est prête à pondre à nouveau au bout de 15 jours ; si la ponte est totale, elle pondra à nouveau au bout d'un mois (Bouxin, 1954 ; Lubet, 1959). Mais comme la ponte est également « partielle ou totale » au sein d'une population de moules, en conditions favorables de température et de ressource trophique (souvent au printemps), les pontes se succèdent sur une base de 15 jours. Cette périodicité (15 jours à 1 mois) est à relier avec le cycle lunaire et les vives eaux en particulier qui induisent les stimuli nécessaires aux déclenchements des pontes.

DANS LES PERTUIS CHARENTAIS

MATURATION ET PONTES

Dans les Pertuis Charentais, la saison de ponte des moules sur bouchots, étudiée depuis les années 80, s'étend sur la période hiver-printemps, du mois de janvier aux mois de mai-(juin). Les études menées entre 2003 et 2005 montrent des stades de maturation avancée sur les moules de filières au cours de l'été. L'effort de reproduction est effectivement plus important pour les moules de filières (immersion permanente) et conditions marines que pour celles en zone intertidale et plus euryhaline. La structure d'élevage (bouchot ou filière), par ses spécificités : ~ 70% d'immersion (bouchots) et 100% d'immersion (filières), influence la reproduction des moules (Garen et al., 2004 ; Robert et al., 2007). Boromthararat (1986) montre que la reproduction des moules de bouchots dans le bassin de Marennes (St Froult et Boyard) s'étale de janvier et mai (juin) (étude réalisée entre 1983 et 1984). Dans le cadre du réseau REMOULA, Randriananja (2006) et Picoron (2007) réaliseront des études sur la maturation comparée des moules de filières (filière du PB) et bouchots (Aiguillon) dans le Pertuis Breton entre 2003 et 2005. Leurs résultats montrent que la période de maturation avancée et de ponte a lieu essentiellement au printemps pour les moules de bouchots (juin 2003 & mai 2004) et sur une période plus longue englobant des mois d'hiver ou d'été, pour les moules de Filière (mai-août 2003 et février & avril - juillet 2004). Ce résultat confirme bien les travaux de Lubet (1959) sur les moules d'Arcachon. Les résultats de Randriananja (2006) et Picoron (2007) montrent qu'une interaction existe entre le type d'élevage (bouchot/filière) et les conditions hydroclimatiques annuelles

(2003/2004/2005) avec en particulier : un hiver 2005 au cours duquel les profils de maturation sont semblables pour les deux techniques d'élevage ; 2003 où l'effort de reproduction est plus réduit sur les bouchots ; 2004 avec un décalage des pics de maturation selon les techniques d'élevage.

Tableau 12. Stade de maturation sexuelle avancée (somme des stades III A, B et C, d'après Lubet, 1959 – couleur bleue). Le mois est pris en compte comme représentatif d'un stade de maturation avancée si plus de 50% des moules échantillonnées est au stade III. Les zones grisées hachurées ne sont pas renseignées

auteurs	sites	élevage	année	mois												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Lubet (1959)	Bouée Pilat	sauvage	1956	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			1957	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	jetée Moulleau	gisement	1956	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			1957	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tès - Eyrac	gisement	1956	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			1957	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Boromothanarat (1986)	Boyard	bouchots	1983	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			1984	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	St. Froult		1983	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			1984	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Picoron (2007)	Aiguillon	bouchots	2003	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Randriananja (2006)			2004	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2005			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Picoron (2007)	Filières W	filières	2003	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Randriananja (2006)			2004	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2005			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

PECHES DE LARVES

Les pêches de larves de moules sont réalisées depuis 2006 par le CREEA²⁴ (www.creea.fr) entre mi-mars et fin juillet, sur le site de Boyard (secteur de bouchots de l'Ouest du bassin de Marennes-Oléron) (Geay et Mille, 2007). La période de pêche (mars-juillet) ne couvre que partiellement la période de reproduction des moules, globalement comprise entre janvier et juin (hiver et printemps) (Robert et al., 2007). Les pêches de larves réalisées seulement entre mars et juillet ne permettent pas de repérer les pontes hivernales de moules. Certaines années (2007 ou 2013 et 2014), la présence de larves « grosses » (16 à 21 jours ; Geay et Mille 2007) dès début mars, mettent en évidence des pontes hivernales (février).

Comme pour l'huître (Bernard, 2011) il existe une forte variabilité interannuelle des paramètres de pontes des moules. En moyenne depuis 10 ans (2006-2015), les pêches de jeunes larves sur Boyard fait apparaître six pontes entre mars et mai, avec une plus

²⁴ CREEA : Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole. Résultats présentés et synthèse réalisée à partir des bulletins 2011, 2012, 2013, 2014 et 2015 du CREEA : « Suivi de la Reproduction et du Captage de la moule *Mytilus edulis* en Charente maritime en 2011 » (idem 2012, 2013 et 2014).

forte intensité des pontes en mai (quantité de larves). Des pics de captures de jeunes larves ont systématiquement lieu en mai, principal mois de pontes des moules dans le bassin de Marennes Oléron. Mais les pontes peuvent être centrées sur un seul pic (mai 2009, avril 2015) ou étalées sur plusieurs pontes de mars à juin comme en 2012 et 2014. Ces observations confirment la forte variabilité interannuelle du cycle de ponte des moules ; l'identification d'années à pontes « massives » ou « fractionnées ». Ainsi, 2014 et 2015 présentent des profils de ponte très différents et révèlent ainsi des schémas reproductifs contrastés (CREAA, 2014 et 2015). Alors que 2014 montre de nombreuses pontes successives entre février et juillet, le profil reproducteur en 2015 est caractérisé par une ponte principale au cours de la deuxième semaine d'avril. Cette ponte principale est précoce, survenu un mois plus tôt environ que d'habitude et donne lieu à un captage important début en juin (CREAA, 2015). 2013 et 2014 correspondent à deux années où la ponte principale est plutôt centrée sur avril (au lieu de mai). 2013 et 2014 correspondent aux deux années de plus mauvais captage depuis 10 ans (CREAA 2006-2015), caractérisée par une forte mortalité estivale. L'abondance du captage est redevenue « normale » en 2015.

CAPTAGE

L'année 2013 est caractérisée (i) par la précocité du pic de captage en avril (au lieu de mai les autres années) ; (ii) par une mortalité particulière du nouvelain au cours du printemps 2013 (dont les densités, en juillet, sont 2 fois plus faibles en 2013 / 2011 et 2012). La précocité du pic de captage en avril se reproduira en 2014. Entre 2007 et 2012, la survie du naissain capté sur corde (qualifié par le nombre d'individu par mètre linéaire : ind/ml) chute entre les mois de mai et juin-juillet de ~60.000 à ~30.000²⁵ ind/ml. En 2013, la densité chute de 56.000 à 10.000 ind/ml et en 2014, de 93.000 à 8.000 ind/ml. Les années 2013 et 2014 signent les plus mauvais captages sur 9 années de mesures. L'année 2015, avec 20.000 naissains par mètre linéaire de corde (au mois de mai) se situe au-dessus de la moyenne interannuelle 2007-2014 (CREAA, 2015). Cependant ce constat de « perte » de moules en densité par mètre linéaire n'a jamais été étudié. On ignore donc si les moules se décrochent par manque de place sur les cordes, à cause de la compétition trophique, du fait de mortalités ou à cause d'une mauvaise qualité environnementale.

RESUME ET DISCUSSION

Les moules ont un mode de reproduction gonochorique. Le nombre de pontes et la durée de la saison de ponte sont fonction de la température et donc de la latitude à laquelle vivent les moules. Des seuils thermiques « hauts » (20-22°C) et « bas » (8-10°C) semblent contrôler le processus de maturation et de ponte de la moule. Ces seuils sont modulés par la salinité (en particulier) ; Ainsi le seuil « bas » de température serait de 8-

²⁵ Cette baisse de densité des moules s'explique probablement par la compétition naturelle qui s'opère sur les cordes au cours de la croissance.

9°C pour une salinité de 20-27, et de 10-11°C pour des conditions de salinité plus marines (29-31). Les fréquences de pontes sont variables d'une année à l'autre. Selon les conditions environnementales, seule une proportion / ou la totalité de la population de moules émet ses gamètes ; la ponte est partielle ou totale. En cas de re-maturation, la durée sera d'environ 15 jours si la ponte précédente a été partielle et d'environ 1 mois en cas d'une ponte totale. En immersion totale (filières, bancs naturels) et en conditions plutôt marines, des pontes dites de la « Saint Michel » ont parfois lieu à la fin du mois de septembre.²⁶

Dans les pertuis charentais, mai est bien le principal mois des pontes. Toutefois, les conditions hydro-biologiques du printemps (et de mai en particulier) présentent de plus en plus de variabilité interannuelle (Soletchnik, com. pers) qui se répercute en particulier sur la phase larvaire et le captage des huîtres (Bernard, 2012) et des moules. Les suivis réalisés tant sur les pêches de larves que sur le captage des moules depuis 2006 dans les pertuis charentais (CREAA) laissent supposer des profils de pontes contrastés selon les années, et probablement accentués par le réchauffement climatique. Que s'est-il passé au cours des années 2013 et 2014 qui ressortent bien comme deux années atypiques parmi les résultats de captages du CREAA ? Ces profils pourraient-ils être liés à des conditions environnementales spécifiques ? Ainsi, les années 1989, 1990 et 1991 de fortes mortalités de naissains dans le pertuis Breton ont pu être associées à des conditions climatiques exceptionnelles (vents chauds durant trois étés consécutifs, Dardignac et Prou 1995 ; Dardignac 2004). En été 2003, les conditions climatiques caniculaires (températures de l'eau de mer atteignant les 27°C) ont entraîné une perte exceptionnelle des moules sur pieu (décrochage et/ou mortalité) de l'ordre de 48% (Robert et Le Moine, 2003). Aujourd'hui, dans les pertuis charentais, grâce aux 10 années d'acquisition de données sur les larves et le naissain (CREAA), on constate que 2013 comme 2014 sont caractérisés tout à la fois par des pontes précoces (pic en avril au lieu de mai) et par de très faibles taux de survie des naissains de 20% et 10% en 2013 - 2014 au lieu des 50% habituellement²⁷. L'évolution du captage est estimée entre le 15 mars et 15 juillet. Il oppose le nombre maximal de naissain capté dans un moment de cette période et la dernière numération de juillet. Ces résultats de l'année 2013 peuvent révéler un environnement de qualité moindre ou une fragilisation des nouvelains (sur le site de captage des Saumonards) au cours du printemps 2013. Peuvent ils être rapprochés de l'épisode de mortalité massive des moules de l'hiver 2014 dans le pertuis Breton ? En 2014 dans le pertuis Breton, comme au cours de l'hiver-printemps 2015 dans la baie de Bourgneuf, les mortalités touchent les moules pendant la période de reproduction, épargnant les nouvelains de l'année²⁸. Déjà en 1990 et 1991 Dardignac (2004) constate que les mortalités des moules de 2 ans sont supérieures à celles de 1 an au moment « critique de la ponte » entre le 15 mars et le 15 mai. Ces résultats sont en accord avec ceux de Freeman et Dickie (1979), Worrall et Widdows (1984), Emmett et al. (1987) (d'après Dardignac, 2004) pour lesquels la mortalité augmente généralement avec la taille des moules. Avec la taille, l'effort de reproduction augmente et la résistance diminue (Bayne et al., 1983). Les capacités de défense immunitaire baissent également chez l'huître. Selon Mallet et al. (1990) d'autres facteurs doivent également intervenir

²⁶ Ce qui montre bien la forte plasticité de la moule vis-à-vis de sa stratégie de reproduction

²⁷ Avec toutefois les réserves émises d'une perte potentielle d'effectif, plus importante, liée à la précocité même du captage (plus de temps sur les cordes → plus de croissance → plus de décrochage ! ...

²⁸ Ce qui ne semble plus être le cas, partout (?) au cours du deuxième semestre de l'année 2015 (résultats et informations à préciser).

pour expliquer cette différence. Parmi ceux-ci, la fragilisation des moules au moment de la reproduction et (ou) l'ouverture d'une fenêtre d'infestation par d'éventuels organismes pathogènes opportunistes ou virulent est proposé comme hypothèse de travail (Lambert et al., in Samain, 2007 ; Nicolas et al., in Samain, 2007 d'après Robert et al., 2015). L'observation d'un captage pléthorique en 2014 et le constat de l'absence de mortalités des naissains durant leur développement entre mai et décembre, confortent l'hypothèse de l'implication de la maturation et de la ponte dans le processus ayant conduit aux mortalités massives de l'hiver 2014. Les moules seraient mortes après avoir pondu...

Aujourd'hui, en lien avec le réchauffement climatique, des hivers « doux » à indice NAO+ positifs, sont de plus en plus fréquents et l'eau de mer sur certains sites, peut ne pas descendre en dessous de 10°C, favorisant ainsi la maturation précoce des moules... Ces conditions se rencontrent alors préférentiellement dans des secteurs de forte influence marine tel que le site Filière du Pertuis Breton en hiver 2014 par exemple. Les hivers 2001, 2007 et 2014 ont également les mêmes caractéristiques (Bechemin et al., 2014, 2015).

Les premiers essais de filières en immersion constante datent de 1957-59 dans le Pertuis Breton (Brienne, 1960). Toutefois, et malgré de bonnes performances zootechniques pour les moules, les recommandations ne sont pas favorables, dues en particulier à la compétition avec l'ostréiculture. Dès la fin des années 80, les mytiliculteurs du Pertuis Breton, visent une extension de leur zone de production vers le large, sous forme de filières, à l'instar des collègues de Bretagne, d'Espagne, d'Irlande ou du Danemark (Robert et al., 2004). Entre 1987 et 1989, des premiers essais de culture en eau profonde sont réalisés, et dès 1991, des premières filières professionnelles sont mises en place dans le Pertuis Breton (Robert et al., 2004). Alors que le stock de moules en élevage avait fortement diminué entre 1989 et 1991 du fait d'une très forte mortalité de naissains sur les bouchots, au cours de 3 été caniculaires successifs (1989-1991), il augmente en 1992 grâce aux filières (et malgré le mauvais captage de 1991) (Dardignac et Prou, 1995). Simultanément, l'irrégularité du captage est résolue, dès 1991, avec le développement d'un captage par « longues lignes ».

DISCUSSION GENERALE

Réchauffement climatique

Dans le contexte du réchauffement climatique, les deux dernières décennies n'ont jamais été aussi chaudes depuis le début du 20^{ème} siècle (Figure 7). Ce résultat se confirme au niveau de l'eau de mer dans le pertuis d'Antioche où le site de Boyard sert de référence historique de mesure depuis 1977 (Figure 8). Le réchauffement est marqué à partir des années 90 (Figure 7, Figure 8).

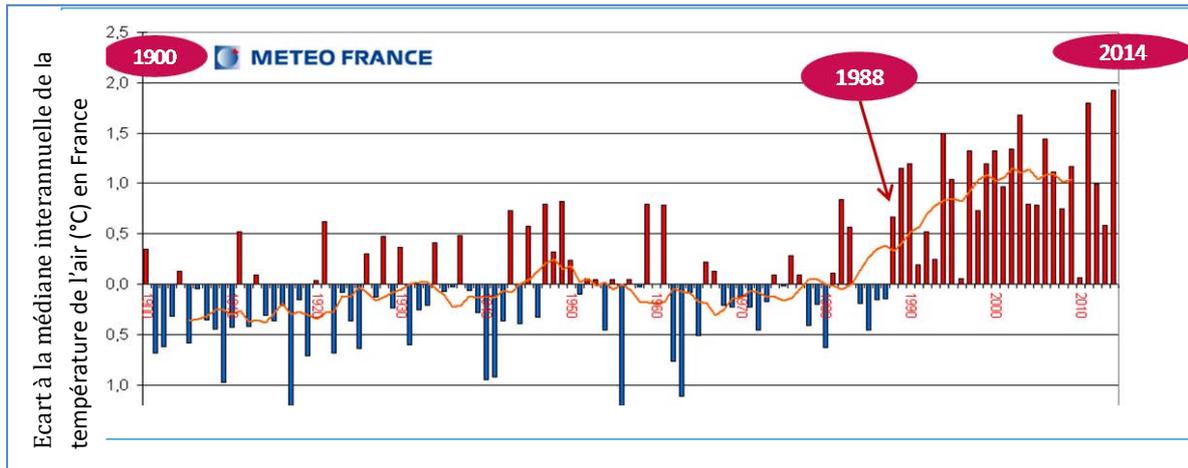


Figure 7. Ecart à la médiane interannuelle de la température de l'air (°C) en France entre 1900 et 2014 (d'après MétéoFrance)

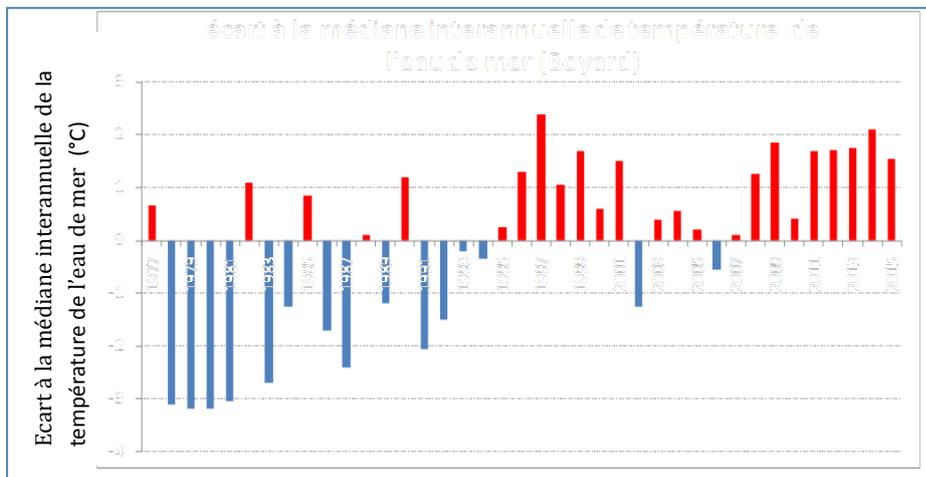


Figure 8. Ecart à la médiane interannuelle de la température de l'eau de mer (°C) depuis 1977 sur le site de Boyard (Pertuis d'Antioche) (Bases hydrologiques Razlec et Réphy)

Interaction, connectivité et transfert de cheptels

Les mortalités de moules entrent dans le cadre d'une interaction avec un (des) organisme(s) pathogène(s). Aujourd'hui, même si l'agent infectieux n'est pas encore clairement identifié au sein du groupe complexe des Splendidus (vibrionaceae), il n'en

demeure pas moins évident que les mortalités se développent selon un processus infectieux²⁹ dont la connectivité hydrodynamique a permis d'expliquer l'expansion dans les pertuis charentais, et entre les pertuis charentais et le nord de la Vendée (Noirmoutier, Bourgneuf). L'autre condition favorable à la propagation de la maladie est le transfert des cheptels. En 2015, plusieurs exemples en attestent. Le transfert de demi-élevage³⁰ (en particulier) du nord de la Vendée vers des sites de Bretagne nord a donné lieu à des mortalités importantes sans signalement de contamination d'élevage situé à proximité, à partir des cheptels transférés. Entre mars 2014 et début 2016, le « phénomène » de mortalités s'est propagé vers le nord à partir du pertuis Breton. Le bilan de cette propagation n'est pas aisé à établir aujourd'hui car des mortalités de moules ont touché à la fois des élevages sur filières et bouchots de la rade de Brest, mais également les gisements profonds de la cote Est –Cotentin au cours du premier semestre 2014 (et probablement avant pour la rade de Brest). S'agit-il d'une même maladie ou de concomitances troublantes ? L'état des connaissances ne permet pas pour l'instant de répondre à cette question, pourtant essentielle, et donc de savoir si nous sommes face à une ou plusieurs maladies potentielles de la moule bleue. D'autre part, la difficulté de cette reconnaissance est doublée de la complexité génétique des populations (naturelles) de moule (« fond génétique ») géographiquement réparties sur le pourtour de la façade atlantique. En effet, plusieurs génomes issus des deux espèces : *Mytilus edulis* et *M. galloprovincialis* se succèdent, se côtoient et parfois s'hybrident. Le fond génétique propre aux diverses populations pourrait leur conférer une capacité de défense immunitaire différente face aux maladies³¹. Des études sont en cours (Morbleu). Dès à présent un premier élément de réponse a été obtenu sur le site de Lannion (Cote d'Armor, Bretagne Nord) où un professionnel, au cours de l'été 2015 a enregistré des mortalités sur des filières avec *Mytilus edulis* quand celles avec *Mytilus galloprovincialis* étaient épargnées. De la même manière peut-on se demander si les limites géographiques actuelles d'apparition des mortalités ne seraient pas liées à la présence naturelle de ces différents génomes et aux zones d'hybridation naturelles des populations que sont la baie de Quiberon (sud Bretagne) et la baie du Mont Saint Michel (limite Bretagne Nord et Cotentin) (sites Mytilobs). Quoiqu'il en soit, les pratiques culturelles de transfert de naissain (via des cordes coco) des régions productrices de naissains du sud de la Loire (Vilaine) vers les régions productrices du nord de la France ont conduit à propager la « cause infectieuse » vers des zones mytilicoles plus septentrionales. Cette « cause infectieuse » est-elle à même de s'installer au sein des populations de moules dans ces régions ? Rien n'est moins sûr à l'heure actuelle puisque hormis les cas de mortalités sur des lots de demi élevage transférés à partir de sites fortement touchés par la maladie, celle-ci semble se maintenir encore aujourd'hui au sud de la Vilaine.

²⁹Propagation de la mortalité via la transmission d'organismes pathogènes d'un individu à l'autre au sein d'une population et de populations en populations lorsque les conditions de connectivité hydrodynamique ou le transfert de cheptels le permettent

³⁰ Moules de 1 à 2 cm issus souvent des gisements naturel, et mis en élevage par les mytiliculteurs jusqu'à taille commercialisable

³¹ D'après les travaux de Bierne et al., la population *M. edulis* du nord de la France serait « assez éloignée » génétiquement de la population de *M. edulis* touchée par l'épidémie de 2014

La cause infectieuse viendrait du large !

La « cause infectieuse » viendrait du large ! L'agent pathogène pourrait-il avoir d'autres hôtes ? Trois fois de suite sur le littoral charentais, l'apparition des mortalités a eu lieu sur des moules sauvages (février 2014, janvier et décembre 2015) sur un site d'influence océanique (au nord de l'île de Ré) avant de toucher les élevages mytilicoles. Dans le même secteur, des mortalités de Coquilles Saint Jacques ont été signalés par deux fois. En 2015, comme en 2014, les sites les plus océaniques de Filière et Roulières (bouchots) ont été les premiers touchés par les mortalités et de façon plus intense que d'autres sites de bouchots (ou de filières) situés plus à l'intérieur des pertuis (Breton et Antioche). En 2014 comme en 2015 également, les mortalités ont été supérieures dans le pertuis Breton et moindre sur celui d'Antioche.

En résumé donc, les mortalités semblent d'abord toucher des moules sauvages (dont les densités ne sont pas forcément très élevées) avant d'atteindre les moules d'élevage. Les mortalités sont plus fortes : (i) dans le pertuis Breton que dans le pertuis d'Antioche, (ii) si l'influence est océanique (plutôt que terrigène), (iii) si l'élevage a lieu sur filières (plus que sur bouchots). Les questions sont donc : Pourquoi le site du Nord ouest du pertuis Breton présente-t-il une plus grande sensibilité ? Est-ce que l'agent pathogène ne serait pas transporté sur le littoral par des apports océaniques ? De quelle nature serait le support ? Matériel détritique ou vivant, transporté par les courants (voir projet Morbleu), ou d'autres mollusques servent-ils d'hôte ? Le même organisme pathogène aurait-il d'autres cibles parmi les mollusques, cibles susceptible de servir de foyers infectieux (relais ?) en secteur subtidal ? (ce qui pourrait expliquer l'apparition de la mortalité « en provenance du large »).

Relation avec la maturation ?

Déjà en 2014, les mortalités sont clairement apparues entre janvier et juin, période de reproduction de la moule bleue dans les pertuis charentais. Comme pour l'huître, le profil reproducteur de la moule est soumis chaque année à une variabilité hydro-climatique de plus en plus forte. Les variables forçantes, déterminantes pour la reproduction sont : la température, la salinité et la ressource trophique. Comme pour l'huître donc, le « pattern » de reproduction varie d'une année à l'autre. 2013, 2014 sont deux années de captage faible (en nombre) et « précoce » (centrée sur avril). Le nouvelain 2013, qui a subi les pertes en 2014, pouvait-il être de moindre qualité et présenter une fragilité ? D'autre part, les pics de mortalités, en mars et mai 2014, respectivement pour les pertuis Breton et d'Antioche, et ceux d'avril et mai 2015 dans le pertuis Breton, ont bien lieu durant la période de reproduction, et à une température supérieure à 10°C. L'étude Mytilobs 2015, confirme et précise ce résultat en montrant que sur les deux sites touchés par des mortalités « exceptionnelles » en 2015 (Filière et Roulières), les mortalités surviennent alors que les moules sont au stade de gamétogénèse (constitution des réserves lipidiques dans les gamètes à partir des réserves de glycogène). Cette période d'intense activité métabolique est connue pour être forte consommatrice d'énergie. Par ailleurs et pour la première fois, du nouvelain de l'année a été touché par des mortalités sur divers sites de France en 2015. Tout porte à croire que les températures élevées au cours de l'automne 2015 aient pu conduire ce

nouvelain à engager une maturation précoce. Les études à venir confirmeront ou infirmeront cette hypothèse.

Ainsi, la « précocité » caractérise bien ces 3 dernières années de pontes de la moule dans les pertuis charentais ; précocité de captage dès le mois d'avril en 2013 et 2014 (avec de fortes pertes de naissain sur corde durant l'été) et précocité de ponte principale en avril au lieu de mai pour l'année 2015. Dans quelle mesure la température est-elle impliquée ? En effet, si les températures de ces deux dernières années (les automnes-hivers 2014-2015 et 2015-2016) sont bien au dessus des normales saisonnières l'automne-hiver 2013-2014 est lui en deçà des médianes interannuelles de mortalités.

De plus, les pertes de naissain sur cordes de coco durant les tous premiers mois de captage ont été respectivement 2,5 et 5 fois plus fortes respectivement en 2013 et 2014 que durant les autres années d'observation (d'après données CREAA www.creaa.fr). Cette plus faible survie est-elle du : (i) à une présence plus longue du naissain sur les cordes de captage ? (ii) à une sélection précoce plus forte en lien avec un problème environnemental non identifié ? (iii) à une maladie ?

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures

<i>Figure 1. Référentiel de mortalités du réseau Remoula (2000-2011) (paniers).....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 2. Présentation des trois espèces de moules : Mytilus galloprovincialis (Lamarck, 1819), Mytilus trossulus (Gould, 1850) et Mytilus edulis (Linnaeus, 1758) du littoral Européen (d'après Sflugier, 2005).</i>	<i>18</i>
<i>Figure 3. Représentation de l'aire de répartition des deux espèces de moules (M. edulis et M. galloprovincialis) et leurs hybrides (HZ1, HZ2 et HZ3) le long des côtes européennes (d'après Bierne et al. 2003, 2006)</i>	<i>19</i>
<i>Figure 4. Représentation de l'aire de répartition des génomes (G1, G2, G3) de moules bleues et leurs hybrides (H1, H2) sur les côtes françaises (d'après Bierne et al. 2003).....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 5. Sources d'information sur les mortalités de moules.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 6. Apparition et extension des secteurs avec mortalités « anormales » de moules, en lien avec l'hydrodynamique et le transfert de cheptels (captage, gisements).....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 7. Ecart à la médiane interannuelle de la température de l'air (°C) en France entre 1900 et 2014 (d'après MétéoFrance).....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 8. Ecart à la médiane interannuelle de la température de l'eau de mer (°C) depuis 1977 sur le site de Boyard (Pertuis d'Antioche) (Bases hydrologiques Razlec et Réphy)</i>	<i>41</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Principaux épisodes de mortalités massives de moules rencontrés dans les régions mytilicoles Françaises</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 2. Mortalités de moules en Europe du Nord. Regroupement en « classes » (principales causes évoquées)</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 3. Mesures de mortalités sur pieux de bouchots mytilicoles dans Pertuis Breton (Dardignac 1996 ; Mille 2013) et dans la baie du Mont Saint Michel (Thomas 2004 ; Mazurié et al. 2005).</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 4. Mesures de mortalités en paniers sur des bouchots mytilicoles dans le Pertuis Breton (Dardignac, 1996) ; dans les Pertuis Charentais (Robert et al. 2001) ; dans la baie du Mont Saint Michel (Mazurié et al. 2001) ; sur le littoral Cotentin (Blin et al. 2004 ; Blin 2010) et sur les côtes de France (Robert et Bédier 2013 ; Robert et al., 2014).....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 5. Périodes de déclarations des mortalités (par secteurs géographiques). Début des déclarations comme indicateur des dates d'apparition des mortalités.</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 6. Chronologie des principaux constats et signalements de mortalités de moules (et de coquilles saint Jacques) (gisements et élevages) (S) indique une saisine Repamo (DDTM → Ifremer)</i>	<i>25</i>

<i>Tableau 7. Estimations de mortalités issues des constats réalisés par les DDTMs (avec professionnels et Ifremer) (les sites sont classés géographiquement du sud vers le nord)</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 8. Evolution chronologique des mortalités dans les différentes régions de France ; Echelle semi quantitative de mortalité de 0 à 4 : 0 = pas de mortalités ; 1 si mortalité <25% ; 2 si 25%< mortalité<50% ; 3 si 50%< mortalité<75% et 4 si mortalité supérieure à 75%. (S) = « signalements » de mortalités et saisines. (carrés bleus).....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 9. Chronologie des mortalités (%) par secteurs mytilicoles (Mytilobas et constats DDTMs) entre 2014 et 2015 dans les principaux secteurs mytilicoles concernés.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 10. Résumé des principaux événements de mortalité (E1-E15) survenu sur les côtes françaises entre 2014 et 2015</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 11. Travaux en lien ou contenant des informations sur la reproduction de la moule Mytilus edulis sur la façade atlantique sud (Arcachon : bassin d’Arcachon ; BMO : bassin de Marennes Oléron ; PB : pertuis Breton ; PC : pertuis charentais.</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 12. Stade de maturation sexuelle avancée (somme des stades III A, B et C, d’après Lubet, 1959 – couleur bleue). Le mois est pris en compte comme représentatif d’un stade de maturation avancée si plus de 50% des moules échantillonnées est au stade III. Les zones grisées hachurées ne sont pas renseignées</i>	<i>37</i>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguirre M.P., 1979. Biología del mejillon *M. edulis* de cultivo de la ria de Vigo. Boletín Instituto español de oceanografía T. 5, 276, 107-159.
- Barillé A.L., 1996. Contribution à l'étude des potentialités conchylicoles du Pertuis Breton, Thèse Université d'Aix-Marseille II, 312 pp.
- Basuyaux O., Forêt M., Chataigner C., 2011. Etude de la cartographie de *Mytilicola intestinalis* sur les côtes du département de la Manche. Rapport SMEL/CE, 37 pp.
- Bayne B.L., Salkeld P.N., Worrall C.M., 1983. Reproductive effort and value in different populations of the marine mussels, *Mytilus edulis*. Oecologia 59, 18-26.
- Bechemin C., Soletchnik P., Polsenaere P., Le Moine O., Pernet F., Protat M., Fuhrmann M., Quere C., Goultquer S., Corporeau C., Renault T., Lapegue S., Travers M.A., Morga B., Garriques M., Garcia C., Haffner P., Dubreuil C., Faury N., Baillon L., Baud J.P., 2015. Episodes de mortalité massive de moules bleues observés en 2014 dans les Pertuis charentais. Bulletin Epidémiologie, Santé animale et alimentation 67, 6-9.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00312/42343/>
- Bechemin C., Soletchnik P., Polsenaere P., Le Moine O., Pernet F., Protat M., Fuhrmann M., Quere C., Goultquer S., Corporeau C., Renault T., Lapegue S., Travers M.A., Morga B., Garriques M., Garcia C., Haffner P., Dubreuil C., Faury N., Baillon L., Baud J.P., 2014. Surmortalités de la moule bleue *Mytilus edulis* dans les Pertuis Charentais (mars 2014).
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00229/34022/>
- Bernard I., 2011. Écologie de la reproduction de l'huître creuse, *Crassostrea gigas* sur les côtes atlantiques françaises. PHD Université de La Rochelle, Poitou-Charentes, La Rochelle.
- Bierne, N., Borsa P., Daguin C., Jollivet D., Viard F., Bonhomme F. and David P., 2003. Introgression patterns in the mosaic hybrid zone between *Mytilus edulis* and *mytilus galloprovincialis*. Molecular ecology 12, 447-461.
- Bierne, N., Bonhomme F., Boudry P., Szulkin M. and David P., 2006. Fitness landscapes support the dominance theory of post-zygotic isolation in the mussels *Mytilus edulis* and *mytilus galloprovincialis*. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences 273, 1253-1260.
- Blateau D., 1989. Expériences de traitement des moules (*M. edulis*) de bouchots de la baie du mont Saint-Michel parasitées par du *Mytilicola intestinalis* – Septembre 1987 et 1988. Rapport IFREMER. 16pp.
- Blin J.L., 2010. Suivi de la production mytilicole Bas-Normande. Résultats 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007. Rapport SMEL, 54 pp.
- Blin J.L., Pien S., Richard O., 2004. Suivi sur pieux de la production mytilicole Bas-Normande. Résultats préliminaires d'un suivi de productivité standard. Rapport SMEL, 36 pp.
- Boromthanarat S., 1986, Les bouchots à *Mytilus edulis* dans l'écosystème estuarien du bassin de Marennes Oléron. Aspects biologique et bioénergétique. Thèse de 3^{ème} cycle de l'université d'Aix Marseille II, 142 pp.

- Boromthanarat S. et J.M. Deslous-Paoli 1988. Production of *Mytilus edulis* reared on bouchots in the bay of Marennes-Oléron: comparaison between two methods of culture. *Aquaculture* 72, 255-263.
- Bouxin H., 1954. Observations sur le frai de *Mytilus edulis* Var. *galloprovincialis* (Lmk). Dates précises de frai. Facteurs provoquant l'émission de produits génitaux. International Council for the Exploration of the Sea.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00004/11489/>
- Brienne H., 1960. Essai de culture de moules sur cordes dans le pertuis breton. *Science et Pêche* 83-84, 1-4. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/7189/>
- Brienne H., 1960. *Mytilicola intestinalis* (Steuer) dans les moules de la baie de l'Aiguillon. *Science et Pêche* 87, 1-6. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/7185/>
- Brienne H., 1962. Evolution de l'infestation des moules de la baie de l'Aiguillon par *Mytilicola intestinalis* (Steuer) au cours de l'année 1962. *Science et Pêche* 106, 1-5.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/7053/>
- Brienne H., 1964. Observations sur l'infestation des moules du pertuis breton par *Mytilicola intestinalis* (Steuer). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 28, 205-230. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/4029/>
- Chipperfield P.N.J., 1953. Observations on the breeding and settlement of *Mytilus edulis* in British waters. *J. mar. biol. Assoc. U.K.* 32, 449-476.
- Comps M., Grizel H., Papayanni Y., 1982. Infection parasitaire causée par *Marteilia maurini* sp. n. chez la moule *Mytilus galloprovincialis*. CIEM Conseil International pour l'Exploration de la mer. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3226/>
- Comps M., Grizel H., Tige G., Duthoit J.L., 1975. Parasites nouveaux de la glande digestive des mollusques marins *Mytilus edulis* L. et *Cardium edule* L. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances De l'Academie Des Sciences Série D*, 281, 179-181.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/5914/>
- CREAA (Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole), 2012, Suivi de la Reproduction et du Captage de la moule *Mytilus edulis* en Charente maritime en 2012.
<http://creaa.pagesperso-orange.fr/doc/>
- CREAA (Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole), 2013, Suivi de la Reproduction et du Captage de la moule *Mytilus edulis* en Charente maritime en 2013.
<http://creaa.pagesperso-orange.fr/doc/>
- CREAA (Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole), 2015, Suivi de la Reproduction et du Captage de la moule *Mytilus edulis* en Charente maritime en 2015.
<http://creaa.pagesperso-orange.fr/doc/>
- Dardignac M.J., Bodoy A., Garnier J., Heurtebise S., Legrand J., 1990. Etude de la mortalité des moules dans le Pertuis Breton en 1989.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00048/15902/>
- Dardignac M.J., 1994. Estimation des biomasses de moules (*Mytilus edulis*) en élevage dans les bouchots du Pertuis Breton. Evolution entre 1988 et 1993.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00081/19192/>
- Dardignac M.J. et J. Prou 1995. A propos des problèmes de captage de naissains de moules (*Mytilus edulis*) dans le Pertuis Breton de 1989 à 1991, Observations préliminaires. *Haliotis* 24, 13 - 31.

- Dardignac M.J., 1996. La mytiliculture dans le Pertuis Breton. Synthèse des travaux réalisés en 1980 à 1992. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00045/15581/>
- Dardignac, M. J., 2004. La mytiliculture dans le " Pertuis Breton": synthèse des travaux réalisés de 1980 à 1992. In Annales de la Société des sciences naturelles de la Charente-Maritime (pp. 3-79). Société des sciences naturelles de la Charente-Maritime. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1911/>
- Dare P.J. and G. Davies 1975. Experimental suspended culture of mussels (*Mytilus edulis*) in Wales using spat transplanted from a distant settlement ground. *Aquaculture* 6, 257 - 274.
- Eggermont, M., Tamanji, A., Nevejan, N., Bossier, P., Sorgeloos, P., Defoirdt, T., 2014. Stimulation of heterotrophic bacteria associated with wild-caught blue mussel (*mytilus edulis*) adults results in mass mortality. *Aquaculture* 431, 136-138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.014>
- Emmett B. T. et Baden R. L., 1984. The relationship between summer mortality in cultured blue mussels *mytilus edulis* and the annual cycling of energy storage products. *Journal of Shellfish Research*, 4, 110. <http://search.proquest.com/docview/14809055?accountid=27530>
- Foster, C. A. et Arnold T. W., 1982. An orthonectid parasite in a new host, *mytilus edulis*, and its relationship to seasonal mussel mortalities in south puget sound, washington. *Journal of Shellfish Research* 2, 118-119. <http://search.proquest.com/docview/14200032?accountid=27530>
- Garcia C., A. Osta-Amigo, C. François, I. Arzul, M.A. Travers, B. Morga, C. Lupo, S. Robert, L. Canier, B. Chollet, C. Dubreuil, L. Baillon, Y. Godfrin, D. Tourbiez, P. Haffner, L. Déchamps, 2016. 17th International Conference on Diseases of Fish and Shellfish annual meeting 22 mars au 26 mars 2016.
- Garen P., Robert S. et S. Bougrier 2004. Comparison of growth of mussel, *Mytilus edulis*, on longline, pole and bottom culture sites in the Pertuis Breton, France. *Aquaculture* 232, 511-524. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/581/>
- Geay A., et Mille D., 2007. Suivi de la reproduction de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en Charente maritime, saison 2007, rapport CREAA, 78 pp.
- Gérard D., 2002. Estimation du stock de moules sur bouchots en baie du Mont Saint-Michel. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/5304/>
- Gerla D. 1990. Exemple de gestion d'un bassin mytilicole. La Baie du Mont St-Michel. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00071/18209/>
- Heritage G.D., 1981. Blue mussel (*mytilus edulis*) culture in south coastal british columbia. *Journal of Shellfish Research* 1, 132-133. <http://search.proquest.com/docview/13737552?accountid=27530>
- Korringa P. et L. Lambert 1951. Quelques observations sur la fréquence de *Mytilicola intestinalis* (steuer) (Copepoda parasita) dans les moules du littoral méditerranéen français. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 17, 15-29. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6748/>
- Lambert L. 1935. La culture de la moule en Hollande. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 8, 431-480. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/5724/>

- Lambert L., 1951. Le Cop rouge (*Mytilicola intestinalis*) (steuer) sur les côtes de France. Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes 17, 51-56.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6751/>
- Lambert L. et Faideau 1929. Ostréculture et mytiliculture sur le littoral centre ouest. Ed. J. Foucher, La Rochelle. 45pp.
- Le Borgne Y., 1979. Techniques de reproduction contrôlée des mollusques bivalves pour les élevages extensifs ou le repeuplement : rôle des écloséries-nurseries. Journées d'étude "Aquaculture extensive et repeuplement" - Brest, 29-31 mai 1979.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6042/>
- Lebreton J., Lubert P., 1992. Résultats d'une intervention sur une parasitose a *Proctoeces maculatus* (Trematoda, Digenea) affectant la mytiliculture de l'ouest Cotentin. Les Mollusques Marins: Biologie et Aquaculture, Brest (France), 9 Nov 1990.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/922/>
- Lubet P., 1959. Recherche sur le cycle sexuel et l'émission de gamète chez les mytilidés. Thèse 159 pp.
- Lupo C. et J. Prou 2015. Comment améliorer la précocité de l'alerte en conchyliculture ? Exemple des mortalités de moules en 2014 dans les Pertuis Charentais. Bulletin Epidémiologique 69, 11-14. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00270/38091/>
- Lupo Coralie, Osta Amigo Axel, Fleury Elodie, Robert Stephane, Garcia Celine, Arzul Isabelle, Baillon Laury, Bechemin Christian, Canier Lydie, Chollet Bruno, Dechamps Lucie, Dubreuil Christine, Faury Nicole, Francois Cyrille, Godfrin Yoann, Lapegue Sylvie, Morga Benjamin, Travers Marie-Agnes, Tourbiez Delphine, Masson Jean-Claude, Verin Françoise, Cordier Remy, Gangnery Aline, Louis Wilfried, Mary Charlotte, Normand Julien, Penot Julia, Cheve Julien, Dagault Françoise, Le Jolivet Aurore, Le Gal Dominique, Lebrun Luc, Bellec Gwenael, Bouget Jean-Francois, Cochenec-Laureau Nathalie, Palvadeau Hubert, Grizon James, Chabirand Jean-Michel, Pepin Jean-Francois, Seugnet Jean-Luc, D'Amico Florence, Maurer Daniele, Le Gall Patrik, Mortreux Serge, Baldi Yoann, Orsoni Valerie, Bouchoucha Marc, Le Roy Valerian, Pouvreau Stephane, Queau Isabelle, Lamoureux Alice (2016). Bilan 2015 du dispositif national de surveillance de la santé des mollusques marins.
- Mahé J.L., 1994. Moules et mytiliculture en baie de l'Aiguillon, Ed. Rumeur des Ages, 135 pp.
- Mallet A. L., Carver C., Coffen S. S., et Freeman K. R., 1987. Mortality variations in natural populations of the blue mussel, *mytilus edulis*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 44, 1589-1594.
<http://search.proquest.com/docview/14886820?accountid=27530>
- Mallet A.L, Carver C.E.A, et K.R, Freeman 1990, Summer mortality of the blue mussel in Eastern Canada: spatial, temporal, stock and age variation. Marine Ecology Progress Ser. 67, 35-41.
- Marteil L., 1976, La conchyliculture française. 2^{ème} partie. Biologie de l'huître et de la moule. Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes 40, 149-346.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1796/>
- Mazurie J., Bouget J.F., Claude S., Fleury P.G., Langlade A., 2001. Comparaison des performances d'élevage de moules en 4 sites mytilicoles de la baie de Vilaine, de février 2000 à février 2001. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6373/>

- Mazurie J., Bouget J.F., Thomas Y., 2005. Croissance et production mytilicole en Baie du Mont Saint-Michel, après restructuration : compte-rendu final de l'étude sur 15 pieux entre avril 2004 et janvier 2005.
- Meyer P. F., Mann H., 1951. Recherches allemandes relatives au "Mytilicola", copépoïde parasite de la moule, existant dans les watten allemandes 1950/51. Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes 17, 63-75.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6753/>
- Picoron N., 2007. Suivi de la gamétogénèse de la moule bleue *Mytilus edulis* sur deux sites d'élevage du pertuis Breton (Aiguillon et Filières) pendant une année de canicule (2003). Comparaison avec une année normale (2004). Rapport Ifremer 2007, 38 p.
- Randriananja G., 2006. Evolution de la maturation de *Mytilus edulis* sur deux sites d'élevage du pertuis Breton : bouchots et filières. REMOULA 2004-2005. Rapport Ifremer 2006, 44 p.
- Robert S., Geairon P., Guilpain P., Razet D., Faury N., Seugnet J.L., Grizon J., Soletchnik P., Le Moine O., Gouletquer P., 2001. REMOULA 2000 - Réseau de croissance moule des Pertuis Charentais - Mars 2000 - Février 2001.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00031/14243/>
- Robert S., Le Moine O., 2003. Expertise des élevages de moules après la canicule estivale.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00074/18511/>
- Robert S., Prou J., Le Moine O., Taillade S., 2004. L'élevage conchylicole sur filière : revue bibliographique. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00074/18510/>
- Robert S., Soletchnik P., Le Moine O., et Zanker S., 2007. Bilan d'étude sur la croissance de la moule (*Mytilus edulis*) sur bouchots et filières dans les Pertuis Charentais entre 2000 et 2005 (Réseau REMOULA). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00084/19487/>
- Robert S., Bedier E., 2013. Réseau national d'observation de la moule bleue *Mytilus edulis* MYTILOBS. Campagne 2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00166/27720/>
- Robert S., Bouget J.F., Fleury E., Chauvin J., Gagnery A., Normand J., Blin J. L., Cheve J., Dagault F., Gerla D., Lejolviv A., Penot J., Chabirand J.M., Genauzeau S., Geairon P., Grizon J., Le Moine O., Schmitt A., Seugnet J.L., Soletchnik P., 2015. Réseau national d'observation de la moule bleue *Mytilus edulis*, MYTILOBS, Campagne 2014-2.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00270/38086/>
- Rodriguez J., 2013. Performances d'élevage de la moule (*Mytilus edulis*) en Manche/Atlantique. Recensement et interprétation. 1 : Synthèse et rapport.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00142/25341/>
- Roport M., 1999. Caractérisation et déterminisme du développement d'une population de l'annélide tubicole *Lanice conchilega* (Pallas, 1766) (Polychète Terebellidae) associé à la conchyliculture en Baie des Veys (Baie de Seine Occidentale). Thesis, Muséum National d'Histoire Naturelle. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3/>
- Roport M., Olivési R., 2002. Etat de l'activité mytilicole sur le secteur de Quend-Palge (Picardie) - Première approche des problèmes de mortalités printanières de moules associées au développement saisonnier de "vase" sur les bouchots.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00082/19361/>.
- Soletchnik P., Robert S., Le Moine O., 2013. Suivi expérimental de la croissance de la moule, *Mytilus edulis*, sur les bouchots des Pertuis Charentais entre 2000 et 2010. Etude

des performances de croissance en liens avec l'environnement des élevages.

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00120/23097/>

Sfugier K., 2005. The blue mussel, irreplaceable filter feeder and geneticist's favourite, edukacja srodowiskowa 1.

Thomas Y., 2004. Etude de la croissance de *Crassostrea gigas* et *Mytilus edulis* en Baie du Mont Saint Michel et dynamique de la population de moules exploitées sur bouchots. DEA d'exploitation durable des écosystèmes littoraux, Univ. La Rochelle. 52 pp.

Tracey G. A., 1988. Feeding reduction, reproductive failure, and mortality in *mytilus edulis* during the 1985 "brown tide" in narragansett bay, rhode island. Marine Ecology Progress Series. Oldendorf 50, 73-81.

<http://search.proquest.com/docview/15277016?accountid=27530>

Travers M.A., Morga B., Garcia C., Garrigues M., Baillon L., Renault T., Dubreuil C., Bechemin C., Pernet F., Corporeau C., 2015. Mortalités de moules bleues. Journée de restitution convention 2014 Ifremer/DPMA. 20 mai 2015, Nantes.

ANNEXES

<i>Annexe1. Pratiques culturelles moules de bouchots et moules de cordes</i>	54
<i>Annexe2. Paniers mis en œuvre pour le suivi de la mortalité des moules sur sites mytilicoles (1) dans Pertuis Breton (Dardignac, 1996) ; (2) dans les Pertuis Charentais (Robert et al., 2001) ; dans la baie du Mont Saint Michel (Mazurié et al., 2001) et sur les cotes du Cotentin (Blin et al., 2004).</i>	58
<i>Annexe 3. Cycle d'élevage en Charente-Maritime (d'après http://www.durivaud.com/index.html)</i>	59
<i>Annexe4. Caractérisation des saisines réalisées en 2014 et 2015, en lien avec les mortalités de moules (Ifremer-LGP2M)</i>	60

Annexe1.Pratiques culturelles moules de bouchots et moules de cordes³²

La reproduction des moules est centrée sur la fin de l'hiver et le début du printemps dans nos régions « reproductrices » et le **captage** a lieu en général au printemps Loire Atlantique, Vendée et Charente Maritime.

Captage sur des pieux de bouchots



Captage sur des cordes de coco tendues horizontalement ou verticalement (intertidal)



Sur des cordes coco tendues verticalement sur des structures métalliques ou en bois fixées sur les filières (subtidal)



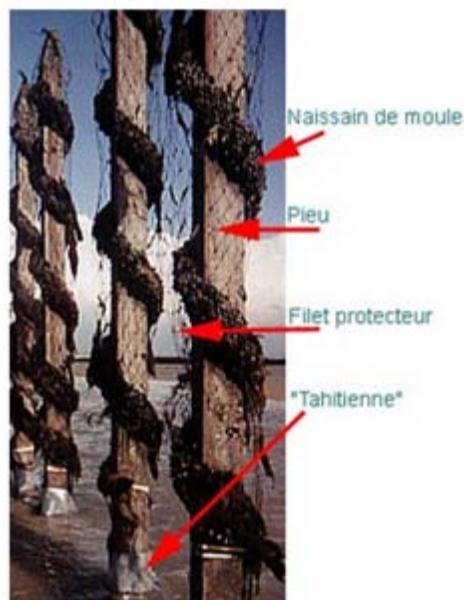
³² D'une façon générale, les professionnels distinguent les moules de bouchots « traditionnelles » des moules de cordes (de filières ou méditerranéenne ?)

Transfert et mise en place du naissain : Le naissain produit est utilisé pour le grossissement en bouchots et filières. Soit il reste dans le département de production, soit il est **transféré au printemps** vers d'autres départements producteurs de moules (Morbihan, **Finistère**, **Côtes d'Armor**, Ile et Vilaine ?, **Manche** ? Calvados, Seine maritime, **Somme** et **Nord**)

Corde de coco en « pré-grossissement » durant l'été sur des « **chantiers** » à proximité des zones de productions



Moule de bouchot : mise en place en juin (environ) des cordes de naissain. Un filet protecteur entour le **pieu de bouchot** (catinage) afin de maintenir en place les moules lors de leur croissance.



Moule de cordes (ou de filières) : mise en place vers mai-juin des cordes de naissains sur les descentes de filières.



D'après <http://www.moules-la-charron.com/metier/metier.html>

Grossissement et gestion des élevages

Le grossissement sur les structures a lieu jusqu'à la « cueillette » des moules pour commercialisation, en mai juin³³ (moules de filières), et entre juillet-mars (moules de bouchots). Selon les conditions hydroclimatiques (température, richesse en phytoplancton, ...), la croissance est plus ou moins rapide.

Une, 2 à 3 « pelisses » parfois sont dégagées manuellement, au cours de l'été, des bouchots et des descentes, afin de permettre la croissance des moules située en dessous. Cette pelisse, boudinée, sera remise en élevage sur bouchots ou descentes de filières.

Récupération d'une pelisse de moules sur un pieu de bouchots



d'après <http://www.genealogie.com/>

boudinage de naissain prégrossis



Mise en place des boudins sur les pieux



Photo S. Robert

³³ La croissance des moules de filière, toujours immergée, est plus rapide (environ 12 mois) que celle de la moule de bouchots (14 à 18 mois au total)

La cueillette. Après au moins un an de croissance, les moules sont cueillies sur les bouchots et filières. Après cueillette, les moules sont calibrées et conditionnées pour commercialisation. Les moules, trop petites « hors norme » sont jetées **ou remises en boudins ????**

cueilleuse hydraulique en action



Vue de détail



Conditionnement pour commercialisation



Source : <http://www.coquillages-de-bretagne.com/catalog/metier3.php>

Annexe2. Paniers mis en œuvre pour le suivi de la mortalité des moules sur sites mytilicoles (1) dans Pertuis Breton (Dardignac, 1996) ; (2) dans les Pertuis Charentais (Robert et al., 2001) ; dans la baie du Mont Saint Michel (Mazurié et al., 2001) et sur les cotes du Cotentin(Blin et al., 2004).



Photo Dardignac, 1996



Photo Robert, 2002



Photo Mazurié et al., 2009



photo Blin et al., 2010

Annexe 3. Cycle d'élevage en Charente-Maritime (d'après <http://www.durivaud.com/index.html>)

Pratiques culturelles en mytiliculture

Janvier	Fin de la récolte des moules de bouchots
Février	Pose de cordes pour le captage de naissain lors de la grande marée
Mars	Pose de cordes pour le captage de naissain lors de la grande marée / remplacement des pieux
Avril	Pose de corde de captage de naissain lors de la grande marée / catinage sur les pieux pour éviter la perte de paquets de jeunes moules
Mai	Reproduction des moules / début de la récolte des moules de cordes
Juin	Début de la récolte des bouchots / pose des cordes de naissains sur les pieux vides
Juillet	Récoltes des bouchots / ensemencement (suite ?)
Aout	Récolte des bouchots, les cordes posées ont recouvert les pieux. On retire les « pelisses » de naissain pour ne laisser sur le pieu qu'une couche de jeunes moules. L'excédent est mis dans un filet tube « boudin », qui est enroulé sur d'autres pieux vides
Septembre	
Octobre	
Novembre	
Décembre	Récolte des moules / début du remplacement des pieux usés

d'après <http://www.durivaud.com/index.html>

Annexe4. Caractérisation des saisines réalisées en 2014 et 2015, en lien avec les mortalités de moules (d'après données REPAMO)

date mortalité observée	date prélèvement	site	lieu dit	Elevage	age	mort. estimée	mort. Calculée
18/02/2014	19/02/2014	Brest - Aulne	Le Faou - Prioldy	bouchots	Inférieur à 1 an	40	
	17/03/2014	Pertuis Breton Nord	Les Ecluseaux		De 1 à 2 ans	40	32
	19/03/2014	Pertuis d'Antioche	Baie d'Yves	filieres	Supérieur à 2 ans	20	
	20/03/2014	Pertuis Breton Nord		bouchots_filieres	Supérieur à 2 ans		27
	27/03/2014	Pertuis Breton Sud	L'Eperon	bouchots	De 1 à 2 ans	20	16
	27/03/2014	Pertuis Breton Sud	Esnandes- Marsilly-Carrelère	bouchots	De 1 à 2 ans	20	20
29/03/2014	30/04/2014	Brest - Aulne	Daoulas - Pointe du Château	filieres	Supérieur à 2 ans	20	
09/05/2014	09/05/2014	Pertuis d'Antioche	Les Saumonards	filieres	De 1 à 2 ans	10	
15/05/2014	19/05/2014	Pertuis d'Antioche	Baie d'Yves	bouchots	Supérieur à 2 ans		32
01/05/2015	21/05/2014	Vendée Nord	Paillard	bouchots	De 1 à 2 ans	15	
	21/05/2014	Vendée Nord	Paillard	bouchots	Supérieur à 2 ans	15	
16/06/2014	18/06/2014	Courseulles - Port en Bessin		gisement	Supérieur à 2 ans		59
15/07/2014	20/08/2014	Baie des Veys	Grandcamp - Maisy	gisement	Inférieur à 1 an	45	
01/05/2015	20/11/2014	Baie de Bourgneuf	Maison Blanche	bouchots	Supérieur à 2 ans		
05/01/2015	12/01/2015	Baie de Bourgneuf	Bourgneuf - gisement	gisement	Supérieur à 2 ans	25	
	01/04/2015	Baie de Bourgneuf	Coupelasse - Fiol	bouchots	Supérieur à 2 ans	40	
	01/04/2015	Baie de Bourgneuf	Maison Blanche	bouchots	De 1 à 2 ans	40	
01/01/2015	08/04/2015	Vendée Nord	La Frandière	bouchots	Supérieur à 2 ans	50	
	14/04/2015	Olonne		filieres	Supérieur à 2 ans	25	
	20/04/2015	Baie de Bourgneuf	Bourgneuf - gisement	gisement	Mélange		
01/05/2015	04/05/2015	Brest - Aulne	Baie de Daoulas	filieres	De 1 à 2 ans	40	25
	04/05/2015	Estuaire de la Loire - Sud	La Plaine sur Mer		Mélange	20	15
	18/05/2015	Pertuis Breton Nord	Les Roulières	site Mytilobs	De 1 à 2 ans		
	22/06/2015	Ravenoville - Saint Vaast	Barfleur Gisement	gisement	Mélange		
01/07/2015	17/07/2015	Aber Benoît	Le Trevors	gisement	Indéterminée		
21/10/2015	26/10/2015	Lannion - Locquirec	Ile Grande	filieres	De 1 à 2 ans		
	28/10/2015	Baie de Bourgneuf	Maison Blanche		Inférieur à 1 an		
	28/10/2015	Estuaire de la Loire - Sud	La Plaine sur Mer		Indéterminée		
	16/11/2015	Brest - Aulne	Le Faou - Prioldy		Inférieur à 1 an		
	01/12/2015	Baie de Bourgneuf	Coupelasse - Fiol		Inférieur à 1 an		

