



ifremer

Département Ressource Biologique et environnement Laboratoire
Environnement –Ressources des Pertuis Charentais
Laboratoire Environnement Ressources Morbihan-Pays de Loire
Laboratoire Environnement Ressources de Normandie
Laboratoire Environnement Ressources Bretagne Nord
Synergie MER et Littorale (SMEL)

RST/ ODE / RBE / UL /LER / LERPC / LERMPL / LERN / LERBN– mars 2016

S. Robert, J-F. Bouget, R. Gabellec, W. Louis, J. Normand, J.L. Blin, J. Cheve, F. Dagault, D. Gerla, A. Le Jolivet, J. Penot, J-M. Chabirand, S. Genauzeau, P. Geairon, J. Grizon, S. Guesdon, O. Le Moine, J.F. Pepin, A. Schmitt-Gallotti, J.L. Seugnet, A. Brunet, **P. Soletchnik**

Réseau national d'observation de la moule bleue *Mytilus edulis*
MYTILOBS / Campagne 2015



Convention DPMA 2015- IFREMER n° 14/1211577/F

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Sylvie LAPEGUE Version du document :		date de publication : Mars 2016 nombre de pages : 87p. bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : Français	
Titre de l'article : Réseau national d'observation de la moule bleue <i>Mytilus edulis</i> , MYTILOBS, Campagne 2015			
Contrat n°		Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/>	Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>
Auteurs principaux : Stéphane ROBERT & Patrick SOLETCHNIK		Organisme / Direction / Service, laboratoire : IFREMER/ODE/RBE/UL/LER-PC/LER-N/LER-MPL	
Contributeurs : J-F. Bouget, R. Gabellec (1) W. Louis, J. Normand, (2) J.L. Blin (3) J. Cheve, F. Dagault, D. Gerla, A. Lejolivet, J. Penot, (4) J-M. Chabirand, S. Genauzeau, P. Geairon, J. Grizon, S. Guesdon, O. Le Moine, J.F. Pepin, A. Schmitt-Gallotti, J.L. Seugnet, A. Brunet (5)		Organisme / Direction / Service, laboratoire (1) IFREMER/ODE/UL/LER-MPL (2) IFREMER/ODE/UL/LER-N (3) Synergie mer et littorale (SMEL) (4) IFREMER/ODE/UL/LER-FBN (5) IFREMER/ODE/UL/LER-PC	
Convention : Convention DPMA 2015/ n° 14/1211577/F Département de rattachement : Ressources Biologiques et Environnement (RBE) Projet : Projet PJ0701 Observations, analyse et prévision des performances conchylocoles Action : A070113			

Résumé : Le réseau national Mytilobs est implanté dans les principales régions mytilicoles du littoral atlantique : Normandie, Bretagne Nord, Bretagne Sud, Pays de Loire et Poitou-Charentes. Les sites d'Agon (Ouest Cotentin), du Vivier (baie du Mont Saint-Michel), de Pont Mahé (baie de Vilaine), de l'Aiguillon et des Roulières (pertuis Breton), d'Yves et de Boyard (pertuis d'Antioche) représentent l'élevage sur bouchot du Nord au Sud. Le site Filière (pertuis Breton) représente l'élevage sur corde, en pleine eau. La mise à l'eau des cheptels sur l'ensemble des sites du réseau, en septembre 2014, s'est faite à partir d'un même lot de moules calibrées (25,54 +/- 0,7mm), captées sur corde dans la baie d'Yves. Les prélèvements trimestriels de la campagne 2015 (septembre 2014 - décembre 2015) sont renforcés par un suivi mensuel entre octobre et juillet. Les mesures de biométrie et les comptages de mortalité sont effectués à chaque sortie. Les points Roulières et Boyard renforcent l'expertise du « phénomène mortalité » apparu en 2014. Des prélèvements histologiques (n=1300) et en cryologie (n=1200) ont renforcé un travail de collaboration établi avec le projet Morbleu. La campagne Mytilobs 2015 est marquée par la forte croissance en longueur des moules durant l'automne 2014. Par contre, la croissance des moules sur Filière est exceptionnellement faible au cours des printemps et automne 2015 avec respectivement -60% et -53% (références réseau REMOULA 2000-2010). Ces faibles performances sur Filière peuvent être reliées aux deux pics de mortalité des printemps et automne 2015 sur ce site. L'évolution du poids sec au travers l'indice scientifique de Walne et Mann révèle une ponte importante sur le site Filière en juin 2015, mais également sur Pont Mahé et le Vivier. Les indices de qualité requis pour la commercialisation des moules sont atteints en juin (STG) dans les principales régions de France suivi par Mytilobs et en juillet sur le Vivier (Label Rouge baie du Mont Saint Michel). Le suivi environnemental indique que les apports des fleuves n'ont pas le caractère exceptionnel de l'hiver 2014, mais la salinité confirme la typologie des sites : euryhalins (Baie de Vilaine, pertuis charentais) et océaniques (Agon et Vivier). En fin d'hiver, la température enregistre un retard de 3 semaines pour atteindre 10°C, température référence au-dessous de laquelle les mortalités (2014 et 2015) ne sont pas apparues. Comme au cours de la campagne Mytilobs 2014, deux familles d'algues phytoplanctoniques : les Diatomophyceae et les Dinophyceae représentent près de 99% de l'effectif dénombré. Parmi les 5 saisons étudiées, les automnes 2014 et 2015 sont les périodes de l'année où les concentrations algales disponibles sont environ 10 fois plus faibles que durant les autres périodes. Un référentiel sur les mortalités de la moule bleue a été établi à partir des données de mortalité du réseau REMOULA (2000-2010). Entre 0% et 22%, les mortalités sont classées comme « habituelles » ; entre 22% et 34% elles deviennent « inhabituelles » ; supérieures à 34%, elles sont dites « exceptionnelles ». Seules les mortalités de moules sur les sites Filière (51%) et Roulières (38%) du pertuis Breton sont classées comme « exceptionnelles » en 2015. En 2014 les mortalités de la plupart des sites mytilicoles des pertuis charentais étaient « exceptionnelles ». Les mortalités sont « inhabituelles » sur les sites de Boyard (23%) et d'Aiguillon (22%) et « habituelles » sur Agon (corrigé de la prédation par les perceurs) (20%), Pont Mahé (18%), Yves (14%), Le Vivier (9%). En 2015, des analyses histologiques ont été réalisées entre février et juillet pour : l'étude de maturation sexuelle, la recherche de parasites et l'identification de granulomes inflammatoires sur des sites contrastés en mortalités (Filière, Roulières, Yves, Pont Mahé et Vivier). Outre l'absence de *Marteilia refringens*, la présence de *Mytilicola intestinalis* est confirmée sur tous les sites notamment Yves (50%) et Le Vivier (70%). L'étude des stades de maturation des moules sur les différents sites du réseau montre que la maturation sexuelle a bien lieu entre mars et juin 2015. En 2015 les mortalités les plus fortes apparaissent sur Filière et Roulières en avril et en mai alors que les moules sont en gamétogénèse active, avant la période de ponte principale. Une observation centrée sur la période février-juillet a mis en évidence la présence de granulomes inflammatoires. Dans le cas des pertuis charentais (Filière et Roulières) cette présence concorde avec le phénomène de mortalités « exceptionnelles » de moules pour lequel des bactéries pathogènes du groupe Splendidus semblent bien impliquées.

Mots-clés : *Mytilus edulis*, Moule, réseau, élevage, bouchot, mortalité, croissance, température, phytoplancton, , biométrie, environnement.

Réseau national d'observation de la moule bleue *Mytilus edulis*, MYTILOBS

Campagne 2015

Les données présentées dans ce document ont été obtenues grâce aux équipes appartenant aux laboratoires et unités suivants :

Unité Littorale des Laboratoires Environnement Littoral et Ressources Aquacoles (ODE-UL)

Laboratoire Environnement-Ressources Finistère Bretagne Nord

J. Cheve, D Gerla, J. Penot, F. Dagault, A. Lejolvivet

Laboratoire Environnement-Ressources Morbihan Pays de Loire

J-F. Bouget, J. Chauvin, R. Gabellec, S. Le Manach, M. Retho, N. Cochenec

Laboratoire Environnement-Ressources Pertuis Charentais

J-M. Chabirand, S. Guesdon, S. Genauzeau, J. Grizon, S. Guesdon, O. Le Moine, A. Schmitt-Gallotti, J.L. Seugnet, P. Soletchnik, S. Robert¹

Avec la collaboration de :

Synergie Mer et Littoral, SMEL, Centre expérimental Zone conchylicole, 50560 Blainville sur mer

J.L. Blin.

AEL Plancton, Kergouriou, 56700 Sainte Hélène - aelplancton56@orange.fr

A. Piraud

HISTALIM rue Emile Baudot - Le Millénaire 34000 Montpellier

C. Haond

Avec la participation professionnelle de :

Pierre Monbrun (SARL Monbrun) route des Landelles Village Gruchy 50560 Blainville sur mer (Site d'Agon)

Salardaine Gilles, La Vivière BP 21 - Le Port Est - 35960 Le Vivier/Mer (site Vivier)

Porcher Jean-Pierre et Christophe (EARL), route de Bel Air 56760 Pénestin (site Pont Mahé)

Durivaud Benoît entreprise DURIVAUD SARL 2 ter rue des Maurines 17230 Charron (fourniture naissain)

Hurtaud Laurent 19 lot Clos des Hautes Groies 17230 Charron (site Aiguillon)

Marionneau Yannick entreprise Marionneau-Dupuy, 2 rue Bas de la Roche 17230 Charron (site d'Yves)

Vérine Lionel et Michael SARL père et fils 65 rue des Groies 17230 Charron (site Filière)

¹ Coordinateur du réseau, Laboratoire Environnement-Ressources-Poitou-Charentes, Station IFREMER de La Tremblade, Avenue de Mus de Loup, 17390 La Tremblade

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	7
INTRODUCTION.....	10
MATERIEL ET METHODE	14
Méthodologie.....	14
Sites d'étude.....	15
Calendrier d'échantillonnage.....	16
Mesures biologiques.....	17
Caractérisation environnementale.....	18
Suivi phytoplanctonique	18
Suivi histologique	19
Cryopréservation d'échantillons	20
RESULTATS	22
Biométrie.....	22
Mortalités	27
Qualification des mortalités de moules.....	27
Référentiel sur les mortalités.....	27
Effet site et effet année.....	27
Mortalités saisonnières.....	28
Les mortalités de moules en 2015 (et 2014).....	29
Suivi environnemental.....	33
Température et salinité au cours de la campagne Mytilobs 2015	33
Conditions de température et de salinité durant les périodes de mortalités.....	37
Ressource trophique	38
Maturation sexuelle et mortalités.....	43
Surveillance panifiée de MYTILOBS-2.....	45
Recherche de parasites.....	46
Agents pathogènes.....	46
Mytilicola intestinalis.....	46
Granulomes inflammatoires.....	48
DISCUSSION autour des mortalités « exceptionnelles » de moules en 2014 et 2015	52

CONCLUSION	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	68
Listes des Figures et Tableaux.....	72
ANNEXES	76

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Pratiques mytilicoles : L'élevage des moules sur bouchots s'étend sur une période moyenne de 12 à 18 mois selon les sites et les techniques de production. Trois phases caractérisent l'élevage : le captage, la production de nouvelain² et le grossissement. Le captage du naissain s'effectue sur corde de coco, directement sur pieux d'élevage ou sur descente (cordage plombé) de filière. Le captage n'est pas régulier mais reste suffisant pour l'ensemble des secteurs d'élevage. Les secteurs d'élevage qui ne disposent pas de captage régulier et suffisant : Bretagne Nord, Normandie, Pas de Calais, sont approvisionnées par des naissains originaires des Pertuis Charentais, Pays de Loire et Bretagne Sud qui sont des zones de captage régulier. Pour éviter les ralentissements de croissance par surcharge de biomasse, les naissains sont dédoublés. Le produit (nouvelain) ainsi obtenu sert à garnir de nouveaux supports. Par la suite, les moules en pleine croissance sont maintenues sur les pieux au moyen de filets de renfort (catinage). Le capelage de ces filets permet de maintenir le produit en place jusqu'à la pêche finale réalisée à l'aide d'une pêcheuse hydraulique.

La gestion de ces cheptels diffère selon les régions en fonction de l'environnement, du système d'élevage et de la qualité des produits. Dans une année calendaire, l'hiver (janvier – mars) est une saison sans commercialisation de moules sur la côte atlantique ; la maturation et la qualité du produit (indice de chair) ne permettent pas de mise sur le marché avant la ponte et l'engraissement printanier. Ainsi les premières moules mises en vente proviennent des filières des pertuis Charentais vers la mi-mai. Dans la même région, il faudra attendre la mi-juin pour que les moules de bouchots puissent être mises en vente. Il en est de même dans les Pays de Loire et en Bretagne Sud. En Bretagne Nord et en Normandie, la mise sur le marché a généralement lieu entre la fin juin et la mi-juillet.

Le réseau Mytilobs a été créé pour répondre aux interrogations des professionnels de la mytiliculture, de l'administration et des scientifiques sur les mauvais résultats de croissance et de qualité obtenus dans certaines zones de productions en 2010 et 2011. Il a été décidé de mettre en place en 2012 un réseau national d'observation de la moule bleue *Mytilus edulis* : Mytilobs, sur le littoral atlantique (Robert et Bedier, 2013). En 2013, la prise en compte des pratiques culturelles régionales a conduit à modifier le protocole de suivi mis en place en 2012. Les modifications concernent en particulier l'origine des moules (captage sur corde pré grossi sur bouchot), la taille des moules (entre 20 et 30 mm) et la date de mise à l'eau (septembre au lieu de décembre). Ces modifications permettent de se rapprocher des pratiques d'élevage professionnelles sur la côte atlantique. L'enregistrement de mortalités très importantes dans les pertuis charentais en 2014 (50 à 100%) (Béchemin et al., 2014) a conduit à renforcer l'observation du réseau en 2015 ; deux sites complémentaires ont été ajoutés : Roulières dans le pertuis Breton et Boyard dans le pertuis d'Antioche. Afin de préciser les résultats, et en particulier la cinétique des mortalités, un suivi mensuel a été instauré en 2015, complémentaire du suivi trimestriel réalisé les autres années.

Le réseau est implanté dans les principales régions de France, productrices de moules bleues sur le littoral atlantique (Figure 1) : la Normandie avec 28% de la production nationale (16000 t, Agreste 2014), site d'Agon sur la côte Ouest Cotentin (11), la Bretagne Nord 27% de la production nationale (21300 t, Agreste 2014), site du Vivier en baie du Mont Saint Michel (10), la Bretagne Sud sur le site de Pont Mahé en baie de Vilaine(3), les Pays de Loire, sur les sites de l'Aiguillon et des Roulières dans le Pertuis Breton, et le Poitou-Charentes (1) sur les sites d'Yves et de Boyard dans le Pertuis d'Antioche. Ces trois dernières régions représentent 29% de la production nationale (21900 t, Agreste 2014). La région Nord pas de Calais en baie de Somme (13) avec moins de 2% de la production nationale n'est pas retenue. Pour aider à l'interprétation et l'analyse des résultats, des données environnementales hydrobiologiques (température, salinité et phytoplancton) sont mesurées sur les sites ateliers du réseau.

² Nouvelain : terme mytilicole, identifie le naissain de moule de taille non commerciale.

Si l'élevage de moules *M. edulis* sur bouchot représente environ 90% de la production nationale (55000 t, Agreste 2014), la production sur filière peut être estimée en 2012 à 5000 t en Atlantique (environ 550 filières). Dans le réseau, le site « Filière » du Pertuis Breton (Pays de Loire et Poitou-Charentes), principal secteur atlantique de ce type d'élevage, permettra de suivre cette technique d'élevage apparu sur nos côtes dans les années 1990.

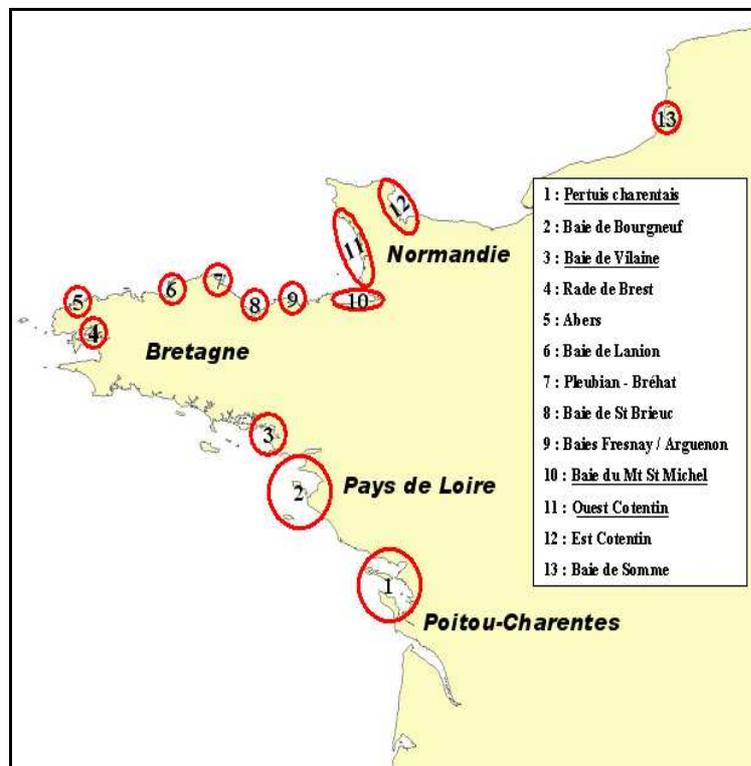


Figure 1. Principaux secteurs d'élevage de la moule bleue (*Mytilus edulis*) sur la côte atlantique.

Le Mytilobs s'appuie sur les méthodes développées au travers du Réseau régional de suivi de croissance de la Moule dans les pertuis charentais REMOULA (Robert et al., 2001 ; 2007) mis en place en 2000. Ce réseau a développé un suivi saisonnier (trimestriel) et un suivi mensuel plus précis. Le suivi saisonnier du réseau Mytilobs, mis en place en 2014, est renforcé par un suivi mensuel entre octobre et janvier dans les pertuis charentais et entre février et septembre sur l'ensemble des sites. Chaque campagne est réalisée avec des moules de même origine (captage sur corde prégrossi sur bouchot dans les pertuis Charentais) et les résultats obtenus en terme de croissance, d'indice de qualité et de mortalité permettront d'établir un référentiel inter-annuel et inter-sites. Le réseau, affranchi des pratiques culturelles spécifiques par un conditionnement en panier, va refléter essentiellement les caractéristiques des masses d'eau locales estimées au travers des mesures physico-chimiques (température, salinité) et biologiques (phytoplancton). La période suivie correspond à la phase de production qui inclut la vente du produit. A terme, la mise en place d'une base de données pérenne (Quadrige2) facilitera l'expertise en matière de performances biologiques et zootechniques, notamment en cas d'anomalies biologiques. Plus généralement, elle constituera un élément d'évaluation de l'état de santé des écosystèmes et pourra aider à orienter les stratégies de production.

Au sein d'IFREMER ce sont les Laboratoires Environnement Ressources de : Port en Bessin (LER-N) assisté par le SMEL de Blainville, de Dinard (LER-BN), de La Trinité (LER-MPL) et de La Tremblade / l'Houmeau (LER-PC), qui sont impliqués dans le suivi Mytilobs.

Objectif spécifique de l'année 2015

En 2015, des prélèvements a priori, ont été réalisés comme action de soutien à la recherche sur le projet Morbleu (recherche sur la mortalité des moules bleues dans les pertuis charentais). Les fixations en histologie et les prélèvements cryopréservés pourront permettre des analyses ciblées selon les événements de mortalité. En histologie il peut s'agir d'une recherche bactérienne sur coupes. A partir des individus cryopréservés ce peut être la qualification d'un état physiologique ou une approche en transcriptomique globale, certains mois, sur des sites choisis à partir des événements de mortalités.

Matériel et Méthodes

MATERIEL ET METHODE

METHODOLOGIE

Le suivi trimestriel, basé sur l'intégration saisonnière de la croissance, a été en partie mensualisé pour améliorer la compréhension du phénomène de mortalité apparu dans les pertuis charentais en 2014. Les moules (*M. edulis*) issues d'un captage sur cordes proviennent des pertuis charentais, prégrossies sur pieux de bouchot, elles sont calibrées entre 20 et 30 mm. Elles sont réparties en paniers plastiques grillagés (maille carrée de 10 mm) à raison de 120 moules par panier. La période du suivi débute en septembre de l'année de captage et se poursuit jusqu'au mois de décembre de l'année suivante, sur une période de 15 mois. Entre septembre et mars les moules sont positionnées dans des filets de contention (maille de 7 mm) à l'intérieur des paniers. Ces paniers seront maintenus sur les pieux d'élevage ou les descentes de filières à l'aide de bracelets de caoutchouc munis de crochets (Figure 2). Le suivi intègre les principales saisons de la vie biologique de la moule, de la croissance automnale à la maturation hivernale puis la croissance printanière, principale période de conditionnement de la taille marchande du produit, suivie de l'engraissement estival et automnal, les deux périodes principales de vente. Chaque site d'élevage est équipé de 7 paniers trimestriels et de 5 à 8 paniers pour l'observation complémentaire mensuelle. Un panier sera prélevé lors de chaque sortie, pour réaliser les mesures de biométrie. La mortalité est constatée sur un certain nombre des paniers encore en élevage. Les paniers supplémentaires pallient les pertes possibles et permettent d'assurer les prélèvements du suivi pathologique. Pour limiter les bio-salissures, les paniers qui restent en place sont remplacés tous les trimestres. L'importance des salissures est estimée par la pesée du panier échantillonné. Sur les sites de captage, les moules mises en élevage sont débarrassées des naissains du captage de l'année. La campagne Mytilobs 2015 présente les données acquises entre septembre 2014 et décembre 2015.



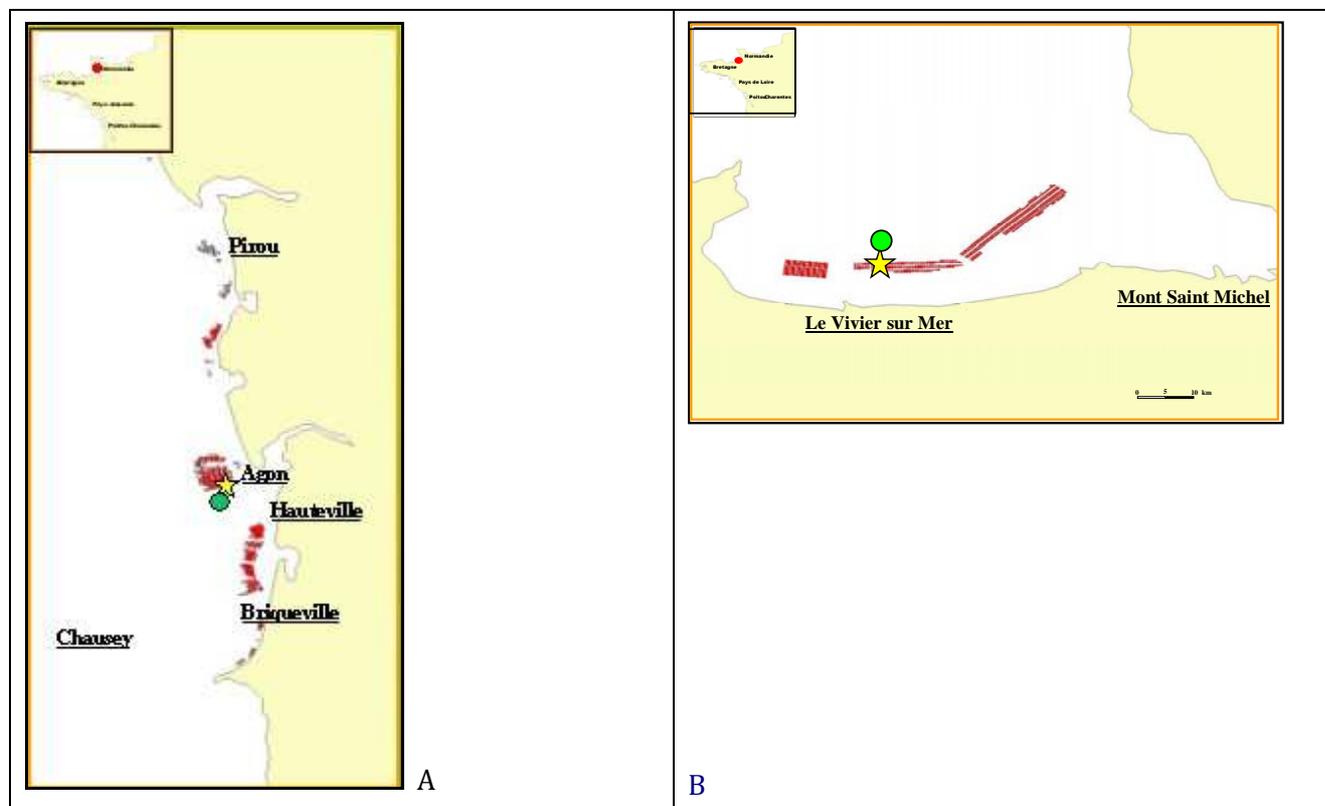
Pour ce suivi, les moules sont issues du captage 2014 et proviennent des bouchots de la baie d'Yves. Calibrées en un lot homogène en septembre 2014, elles ont été stockées dans un bassin de la station IFREMER de La Tremblade jusqu'à leur mise à l'eau sur les différents sites d'élevage du littoral Atlantique mi-septembre 2014 (semaine 38). La biométrie initiale (18 septembre 2014) donne une longueur moyenne de 25,54 +/- 0,69 mm, un poids moyen de 1,57 +/- 0,27 g, un indice de Walne et Mann de 145,54.

Figure 2. Pieu de bouchot avec paniers de suivi (Pont -Mahé, baie de Vilaine).

SITES D'ETUDE

Cinq régions mytilicoles font partie du réseau. Chaque région est identifiée par un site : Agon, sur la côte Ouest Cotentin, en Normandie (Figure 3 A) ; Le Vivier sur Mer, en baie du Mont Saint-Michel en Bretagne Nord (Figure 3 B); Pont Mahé, en baie de Vilaine, en Bretagne Sud (Figure 3 C); Aiguillon, Roulières, Filière, dans le Pertuis Breton en Pays de Loire (Figure 3 D); Yves, et Boyard dans le Pertuis d'Antioche en Poitou-Charentes (Figure 3 D). Les points Roulières et Boyard renforcent la représentation des Pertuis Charentais dans l'expertise du phénomène des mortalités apparu en 2014. Toutes les implantations sont situées dans des zones d'élevage sur bouchot sur l'estran, exception faite du point Filière, élevage suspendue, situé en pleine mer.

Dans chaque région le site d'élevage aménagé est identifié (étoile jaune) sur le secteur retenu. Ce site est associé à un point de prélèvement phytoplanctonique (rond vert). Dans les sites retenus, les pieux supports ont été choisis dans les concessions d'élevage sur bouchot situées du côté large plutôt que du côté terre. Ainsi, les relevés environnementaux et les performances d'élevage seront moins influencés par les stocks et les densités locales. Les paniers sont positionnés au niveau d'exondation voisin d'une marée de coefficient 75.



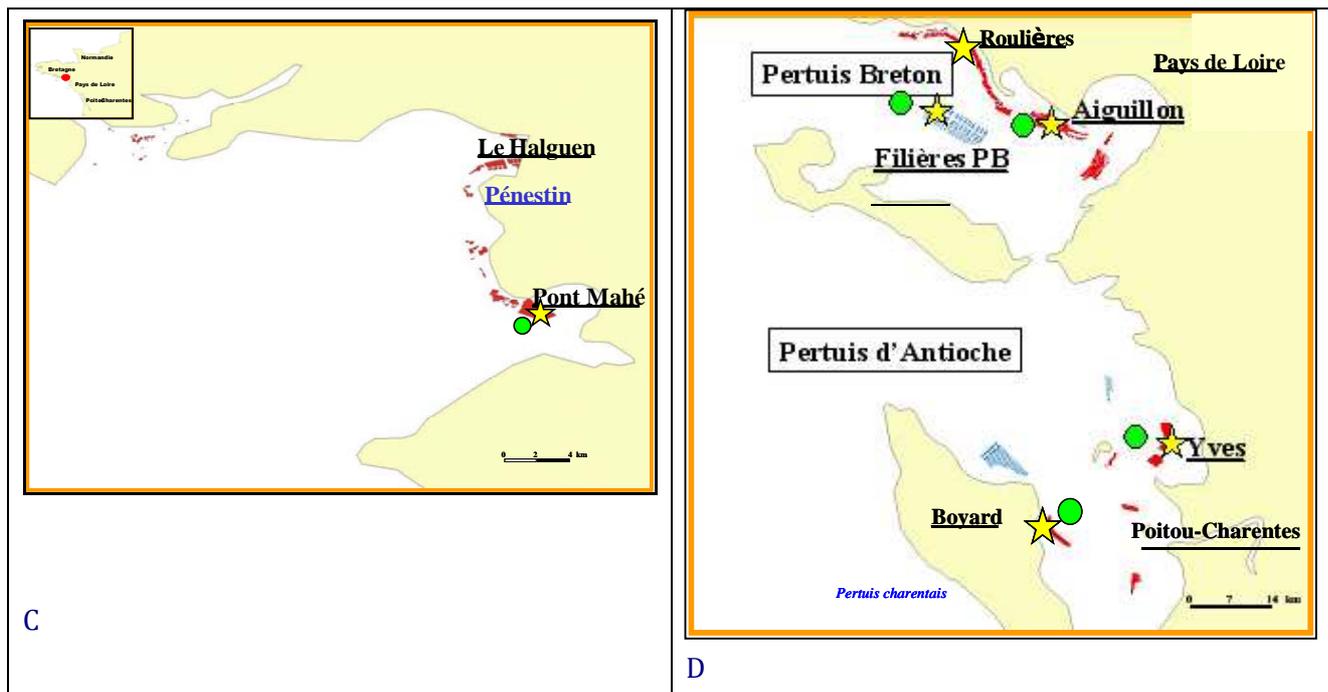


Figure 3. Présentation des sites (étoile) du réseau Mytilobs et du point de suivi phytoplanctonique (rond vert). (A) Agon, Ouest Cotentin (Normandie) ; (B) Vivier sur Mer, baie du Mont Saint-Michel (Bretagne Nord); (C) Pont Mahé, baie de Vilaine (Bretagne Sud); (D) Roulières, Aiguillon, Filière, pertuis Breton (Pays de Loire) – Boyard, Yves, pertuis d'Antioche (Poitou-Charentes).

CALENDRIER D'ECHANTILLONNAGE

C'est en septembre 2014 (semaine 38) qu'a eu lieu la mise à l'eau (ME) de la campagne 2015. Les prélèvements trimestriels sont situés en décembre 2014 (T1), mars 2015 (T2), juin (T3), septembre (T4) et décembre (RF) autour des coefficients de grande marée (Tableau 1). Les prélèvements mensuels complémentaires ont eu lieu en octobre, novembre 2014 et janvier 2015 dans les pertuis charentais et en février, avril, mai, juillet 2015, sur l'ensemble des sites (Tableau 1), selon la disponibilité des paniers présents. Chaque site est équipé d'une sonde STPS (NKE). Les sondes sont renouvelées et calibrées trimestriellement. Les prélèvements phytoplanctoniques sont bimensuels. Pendant la campagne 2015, les fixations histologiques et les prélèvements pour cryopréservation ont été réalisés selon le calendrier présenté Tableau 1 et annexes 1 et 2.

Tableau1. Planning des actions Mytilobs en 2015.

Tâches	2014				2015												
	ME	oct	nov	déc	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	
Planning Mytilobs 2015																	
Sorties Aiguillon, Roulières		mois	mois	Tri	mois	mois	Tri	mois	mois	Tri	mois		Tri				Tri
Filière, Yves, Boyard		mois	mois	Tri	mois	mois	Tri	mois	mois	Tri	mois		Tri				Tri
Sorties Agon, Le Vivier, Pont Mahé				Tri		mois	Tri	mois	mois	Tri	mois		Tri				Tri
Suivi continu paramètres physiques sondes STPS																	
Suivi Phytoplancton bi-mensuel																	
Fixation Histologique																	
Cryo conservation																	

MESURES BIOLOGIQUES

L'unité de prélèvement sur le terrain est le panier d'élevage. Pour chaque site et chaque prélèvement, la biométrie est réalisée individuellement sur 30 moules, sauf pour le poids total. Les mesures sont effectuées après le nettoyage des coquillages.

Mesures

La longueur individuelle est mesurée au pied à coulisse 1/10^{ème} de mm.

La largeur et l'épaisseur ne sont mesurées que sur l'échantillon de départ et sur le prélèvement final.

Le gain de longueur saisonnier (automne, hiver, printemps, été, automne) acquis entre deux prélèvements est représenté en cumulé sur chaque site.

Poids total

Le poids total, est effectué globalement sur 3 fois 30 moules préalablement hydratées dans l'eau de mer, essuyées rapidement (tissus éponge absorbant). La pesée est réalisée au 100^{ème} de gramme. Cette donnée est utilisée dans l'établissement d'indices de qualité à vocation commerciale.

Poids sec

Le poids sec de chair individuel est réalisé après congélation et lyophilisation ou à l'étuve sèche à 60°C pendant 48h. Il est pesé au 1/100^{ème} de gramme.

Le poids sec de coquille individuelle s'obtient après séchage à l'étuve 24 h (50°C) : pesée au 1/100^{ème} de gramme.

Ces données sont utilisées dans l'établissement des indices.

Indices de condition

L'indice de Laurence et Scott (Lawrence et Scott, 1982) est l'indice de condition référent utilisé pour les certifications professionnelles. Il utilise le poids sec de chair (moins sujet aux variations), rapporté au poids intervalvaire : 1000* poids de chair sèche/ (poids entier - poids de coquille). Le projet Qualité des Mollusques (Grizel et al., 1998) réalisé en 1998 a servi de base à l'établissement de ces différents indices. Ce travail référence un indice de Laurence et Scott de 80 pour un produit maigre, et de 120 pour un produit de qualité supérieure.

L'indice STG³ (CERTIS, 2013) (Spécialité Traditionnelle Garantie) concerne les moules de bouchots. Cet indice mis en œuvre en 2013 a été établi par le Groupement des mytiliculteurs sur bouchots (GMB) et l'organisme certificateur CERTIS, (mise aux normes -ISO 9000 : 2000). L'indice de Laurence et Scott minimum retenue pour la mise sur le marché est de 100.

L'AOP moule de bouchot de la baie du Mont Saint-Michel⁽⁴⁾ fait référence à un indice de Lawrence et Scott de 120.

Le Label Rouge moules de Filière élevées en pleine mer (INAO, 2014) a été établi en 2014 auprès de l'INAO. L'indice de référence des moules de cordes est de 160.

L'indice de Walne et Mann (Walne et Mann, 1975) est réalisé à partir des poids secs de coquille et de chair. L'indice de Walne et Mann est un indice de référence souvent choisi par les scientifiques, car calculé à partir de deux variables indépendantes et précisément mesurées (poids secs de chair et de coquilles) : 1000* poids de chair sèche / poids de coquille sèche.

L'indice moyen est de 182 pour le littoral français (Grizel et al., 1998).

³ Commission Nationale des Labels et Certifications (CLNC), 18 avril 2013.

⁴ Décret n° 2011-640 du 8 juin 2011 relatif à l'appellation d'origine contrôlée «Moules de bouchot de la baie du Mont-Saint-Michel

Mortalité

L'estimation de la mortalité est une information difficilement accessible aux professionnels, compte tenu de leur système de production sur bouchots ou sur filières. Les moules sont comptées précisément à la mise à l'eau dans les paniers. La mortalité est estimée par comptage des moules vivantes restantes. En effet, à l'inverse des cultures d'huîtres, la fragilité de la coquille des moules, en carbonate de calcium⁵, ne permet pas sa conservation sur le long terme. Sur chaque site le comptage est effectué sur l'ensemble des paniers présents au moment de l'échantillonnage pour le suivi trimestriel et mensuel complémentaire. Entre octobre et avril seul la panier (suivi mensuel complémentaire) prélevée a été comptée.

CARACTERISATION ENVIRONNEMENTALE

Mesures à "haute fréquence" de la température et de la salinité

La température, la salinité et la pression sont acquises par des capteurs spécifiques et enregistrées à « hautes fréquences », avec lecture différée (sonde TPS, NKE). Le pas de temps est de 15 minutes et la précision de la mesure est de +/- 0,1°C pour la température dans la gamme 5°C à + 25°C et de +/-0,2 pour la salinité dans la gamme 2 à 35.

Les mesures présentées correspondent à la moyenne journalière de la phase immersion du coquillage. La mesure de salinité, très influencée par les salissures, doit être corrigée des valeurs aberrantes, ce qui peut fractionner les informations présentées. Les valeurs discrètes obtenues deux fois par mois sur le point de prélèvements phytoplanctoniques, proche du site d'élevage permettent un calage relatif des valeurs manquantes de l'enregistrement continu.

SUIVI PHYTOPLANCTONIQUE

Le comptage et l'identification des principaux taxons du phytoplancton sont effectués à partir d'un échantillonnage bimensuel réalisé autour de la pleine mer (+/- 2H). Les algues identifiées sont répertoriées en classe, ordre, famille, genre ou espèce. Pour chaque site, la numération de la flore totale est déclinée autour des trois classes les plus représentées que sont les *Diatomophyceae* (actuels *Bacillariophyceae*), les *Dynophyceae* et les *Euglenophyceae*. La bancarisation de ces données devrait permettre de préciser l'influence des différents taxons de microalgues sur la croissance des moules, en fonction du nombre de cellules (Bogolino, 2008) ou de leur volume (Soletchnik et al., 2013). L'identification des algues est réalisée au travers du réseau REPHY (IFREMER) ou sous-traitée auprès d'AEL Plancton. Les sites suivis dans le cadre du REPHY sont les sites de Filière West (pertuis Breton), et de Boyard (pertuis d'Antioche), le site l'Eperon (pertuis Breton) n'est plus suivi régulièrement en 2015. Les sites excentrés des points REPHY sont sous-traitée auprès d'AEL-Plancton. Il s'agit des sites de la côte Ouest Cotentin (Agon), du Mont Saint Michel (Vivier), de la baie de Vilaine (Pont Mahé) et du Pertuis d'Antioche (Yves). Les prélèvements ont débuté dans chaque région dès la mise à l'eau en septembre 2014.

La ressource trophique est mesurée grâce aux comptages et détermination des taxons phytoplanctoniques sur les sites d'études, selon le protocole mis en œuvre dans le Réseau national REPHY de l'IFREMER (<http://wwz.ifremer.fr/lerpc/Activites-et-Missions/Surveillance/REPHY>) et appliqué également par le bureau d'étude AEL, sous-traitant des échantillons d'eau de mer sur 4 sites sur 6. L'examen au microscope des flores phytoplanctoniques deux fois par mois permet de quantifier les espèces de micro algues potentiellement disponibles pour la nourriture des moules.

⁵ 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)

SUIVI HISTOLOGIQUE

Les prélèvements histologiques ont été effectués tout au long des suivis mensuels et trimestriels. Ils sont organisés dans un but conservatoire. Les échantillons sont constitués de 15 individus par site et par prélèvement (Annexe 1). Les moules sont décoquillées, fixées dans un mélange « eau de mer-formol 10% » pendant 24 à 48h puis conservées dans l'alcool 70°. Elles sont ensuite préparées pour une inclusion en paraffine. Les coupes obtenues, de 2 à 3 µm d'épaisseur, sont soumises à une coloration hématoxyline éosine (HE) améliorée. L'exploitation de tous les échantillons n'a pas été possible à ce jour. Les observations prévues sont de deux ordres : i) le suivi de l'évolution de la maturation, ii) une recherche histopathologique.

L'étude histologique est très générale. Elle ne se concentre pas sur des animaux moribonds mais sur les animaux vivants disponibles, pris au hasard dans le panier du suivi. Cette remarque est importante car l'analyse histopathologique déployée dans le cadre du réseau REPAMO a besoin d'animaux moribonds pour faciliter l'étude des lésions associées ou la mise en évidence d'agents pathogènes recherchés. Cette étude en histopathologie doit permettre un constat temporel et spatial de l'état physiologique des moules déployées en 2015 sur la côte atlantique, dans le cadre de MYTILOBS.

L'étude de la maturation est réalisée selon le protocole décrit dans les études de Randriananja (2006) et Picoron (2007), effectué dans le cadre du réseau REMOULA. Le Tableau 2 décrit les stades de maturation référencés d'après Lubet (1959) et Suarez (2005).

Tableau 2. Stades de maturation de la moule (d'après Lubet, 1959 et Suarez, 2005. Les analyses sont faites par le laboratoire HISTALIM). Stades simplifiés : G1 et G2.

stade	Observations	classement
0	Pas de tissus gonadique, follicules vides. Tissu de réserves	groupe 1 (G1)
1	Beaucoup de gonies, sexe encore difficilement identifiable. Tissus de réserves.	
2	Identification du sexe possible et présence de toutes les cellules germinales. Tissus de réserves.	
3 A1	Présence de toutes les cellules germinales et diminution des tissus de réserve.	groupe 2 (G2)
3 A2	Présence de toutes les cellules germinales et absence de tissus de réserve.	
3B	Prédominance des cellules matures. Pas de tissus de réserves sauf au stade 3B final.	
3C	Il reste des cellules matures et on observe une nouvelle génération de gonies. Réapparition de tissu de réserve.	
3D	Les follicules ne contiennent que des restes de gamètes matures. Réapparition de tissu de réserve.	

L'analyse histopathologique réalisé dans ce travail permet d'identifier la présence de parasites et d'anomalies tissulaires : infiltrations hémocytaires, granulomes inflammatoires (détection : « faible », « moyenne » et « forte »). La caractérisation de cellules de réserves : cellules digestives (cellule adipo-granuleuse) à granules éosinophiles ou acidophiles a également été effectuée. La présence de cellules de réserves a été classifiée selon un gradient croissant de 0 (pas de cellule) à 3 selon le nombre de cellules visibles.

CRYOPRESERVATION D'ECHANTILLONS

La cryopréservation a été réalisée sur un ensemble de prélèvements (81) entre les mois de décembre 2014 et décembre 2015 (Annexe 2). 30 individus sont décoquillés à chaque prélèvement. Ils sont plongés vivants dans l'azote liquide et disposés individuellement dans une nacelle en aluminium. Les nacelles sont pliées et mises en sachets identifiés. Le nom du site (Aiguillon, Roulières, Filière, Yves, Boyard, Vivier, Pont Mahé, Agon), le mois et la date du prélèvement sont précisés. Les prélèvements suivent les plannings établis, mensuels et ou trimestriels. Les prélèvements mensuels débutent en décembre 2014 dans les pertuis charentais et en février 2015 en Normandie, Bretagne Nord et Sud.

Lorsque les mortalités sont devenues exceptionnelles dans les pertuis charentais le projet Morbleu a pu disposer de prélèvements réalisés dans le cadre de Mytilobs. Les prélèvements retenus proviennent de deux sites contrastés : Filière (58% de mortalité finale) et Yves (15%). Les échantillons du site Filière, sont ceux des mois de février (1% de mortalité mensuelle), mars (2%) avril (9%) et mai (17%). Yves a servi de référence témoin en avril (0% de mortalité). Les échantillons seront analysés par une approche transcriptomique globale (RNA-seq).

RESULTATS

RESULTATS

Les résultats sont présentés par saison (longueur, mortalité) ou mois (poids sec, indices de qualité, mortalité).

BIOMETRIE

Longueur : Le gain de croissance en automne 2014 (septembre – décembre) est compris entre 5,5 et 10 mm, deux à trois fois plus importante que le gain de l'automne 2013 sur les bouchots (Figure 4). Plus forte sur le site immergé Filière (10 mm) la croissance est cependant proche de celle enregistrée en 2013 (7,9 mm). L'hiver 2015 (décembre – mars) est marqué par une absence de croissance remarquable sur l'ensemble des sites bouchot de la côte atlantique. Contrairement à l'hiver 2014 aucune région (Normandie, Bretagne Nord et Sud, Pays de Loire et Poitou-Charentes) et environnement (estuarien ou océanique) n'est épargnée. C'est la deuxième année consécutive où les croissances bouchots ne sont pas importantes dans les pertuis charentais. Par contre, le site Filière (pertuis Breton), en immersion permanente, enregistre une croissance de 5,3 mm, proche de moyenne de référence (5,7 mm) du réseau REMOULA (2000-2010). Au printemps (mars-juin) la croissance en longueur est comprise entre 3,4 et 8,2 mm sur les bouchots. Le site de Pont Mahé enregistre la plus forte croissance en longueur (8,2 mm) et le Vivier la plus faible (3,4 mm). Mais le gain de longueur enregistré sur Filière (P. Breton), de 2,4 mm seulement, est plus faible que toutes les croissances enregistrées sur bouchot. Cette croissance anormale ne représente que 40% de la référence moyenne (6,2 mm) du réseau REMOULA (2000-2010). En été (juin-septembre), les résultats sont très variables avec des écarts de croissance importants entre les sites du Vivier (7,2 mm) et d'Yves (1,4 mm). La comparaison avec les références réseau REMOULA (2000-2010) sur les mêmes emplacements (Yves et Filière) situe l'année 2015 dans une année moyenne : Yves 1,4 mm (2015) versus 1,4 mm (2014) et Filière 3,2 mm (2015) versus 3,9 mm (2014). Enfin, l'automne 2015 est caractérisé par une croissance nulle (Yves, Pont Mahé, Le Vivier) ou réduite aux environs de 2 mm (Aiguillon, Filière, Agon) (Figure 4). Le site Filière enregistre de nouveau un niveau de croissance faible anormale (1,9 mm) qui représente 47% de la moyenne REMOULA (2000-2010) obtenu sur ce point.

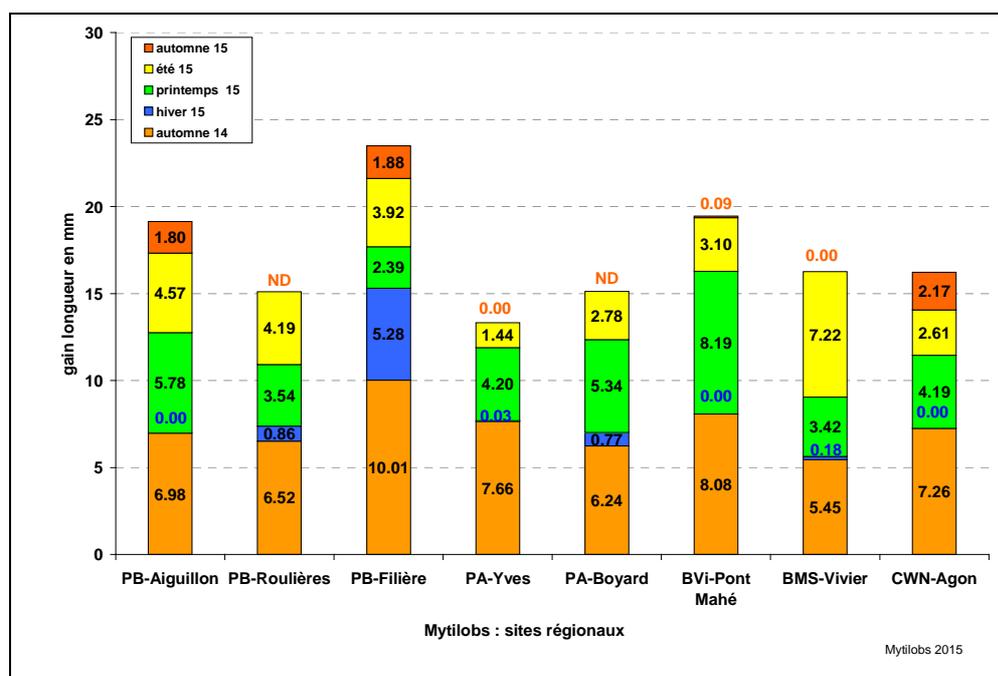


Figure 4. Gain saisonnier de croissance en longueur sur les sites d'élevage de Mytilobus.

La croissance en longueur est saisonnière. L'année 2014 se caractérise par une très belle croissance automnale, alors que la croissance de l'automne 2015 est très faible. Les conditions spécifiques de l'élevage sur Filières, permet sur ce site une croissance hivernale de plus de 5 mm alors qu'elle est quasi nulle sur les sites de bouchots. La croissance, au cours du printemps et de l'automne 2015 est anormalement réduite sur Filière (-60% et -53% respectivement pour les deux saisons) notamment au printemps où de fortes mortalités, déjà inhabituelles à cette date (31%) et sur ce site, durent trois mois. Les performances de croissance sont contrastées en été 2015, avec une croissance de 7,2 mm sur le site du Vivier.

Poids sec de chair

L'évolution mensuelle du poids sec de chair reste marquée par les saisons (Figure 5 A et B). Un léger gain de poids apparaît en automne sur tous les sites, plus particulièrement sur Filière (+ 0,14g) et Yves (+0,12g). L'amaigrissement hivernal est de -11% sur Roulières, -34% sur Yves et -18% sur Boyard entre les mois de décembre et mars. Sur Filière l'amaigrissement entre décembre et février est seulement de -6%. Pont Mahé (Baie de Vilaine) présente une évolution semblable à celle des zones estuariennes des pertuis charentais. A partir du mois de mars les poids secs augmentent. Les profils d'évolution du poids sec de chair dans le pertuis Breton (Aiguillon, Roulières) et dans le pertuis d'Antioche (Yves, Boyard) sont proches (Figure 5A). La croissance est différente mais continue dans les deux pertuis, du mois de mars jusqu'en septembre (Aiguillon 0,10g - 0,61g, Yves 0,11g - 0,33g). Suit un amaigrissement bien visible sur Aiguillon (-15%) et Yves (-23%). Même si la quantité de chair n'est pas la même en baie du Mont St Michel (Le Vivier) et en baie de Vilaine (Pont Mahé), l'évolution des courbes de poids est voisine (Figure 5B). Un gain de poids sec est enregistré entre mars et mai à Pont-Mahé (+0,39g) et au Vivier (+0,20g), suivi d'un arrêt en juin et d'une augmentation du poids secs jusqu'en septembre (Pont-Mahé +0,35g et Le Vivier +0,37g). Le site normand d'Agon (Ouest Cotentin) enregistre une croissance printanière de +0.17g en mars et +0,35g en avril, interrompue entre avril et juillet. La croissance reprend jusqu'au mois de décembre (+0,58g) (Figure 5B). Le site Filière (Figure 5A) développe un profil proche de celui du site Aiguillon avec un poids sec de chair toujours supérieur sauf au mois de juin où un amaigrissement important, certainement lié à une ponte massive, est enregistré (-32%) suivi d'une prise de poids spectaculaire entre juin (0,34g) et juillet (0,81g). Ce phénomène n'est pas inhabituel. Il est précisé par l'analyse de l'indice de Walne et Mann (voir prochain paragraphe).

Le poids sec de chair a faiblement augmenté en automne, décréu en hiver et repris en croissance au printemps et en été. Une ponte importante sur Filière est observée en juin par une perte de poids importante (-32%)

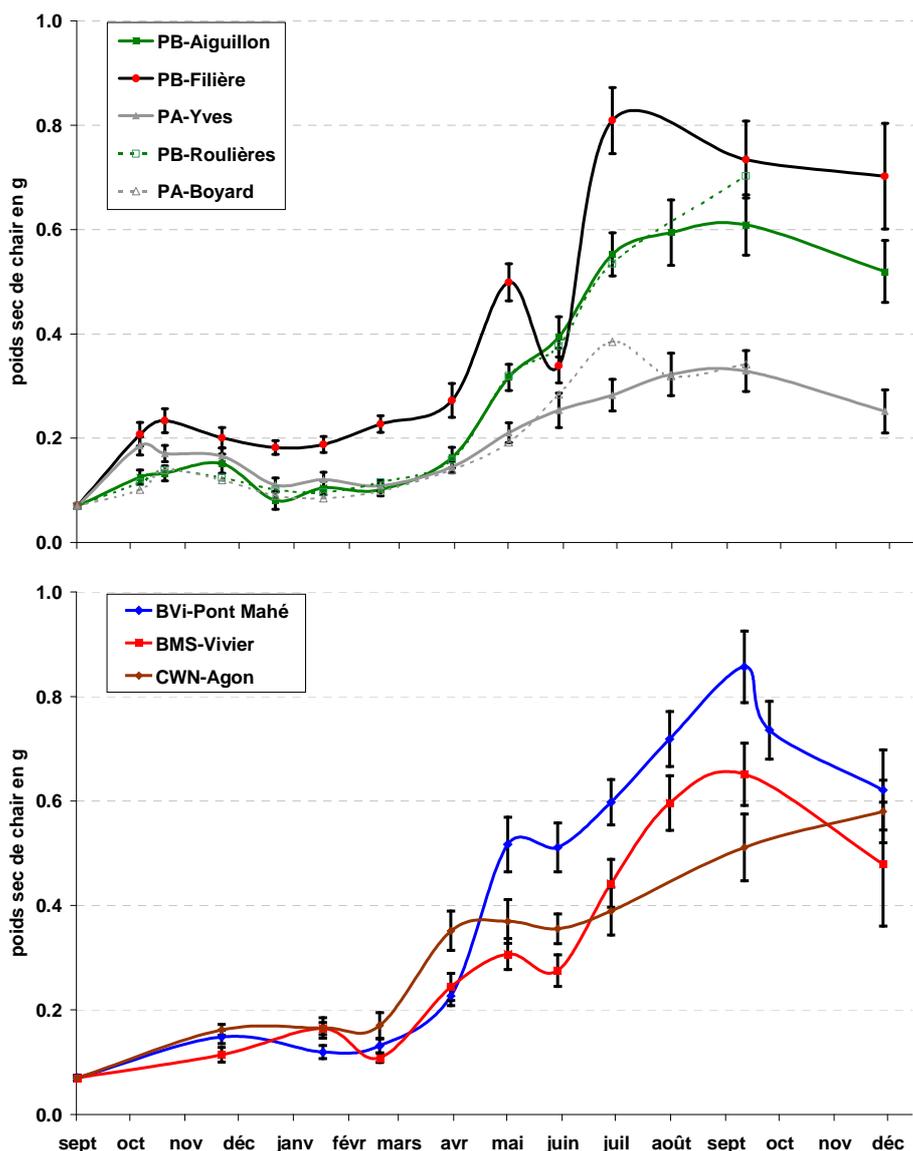


Figure 5. Evolution mensuelle du poids sec de chair de la moule bleue (*Mytilus edulis*) sur cinq régions du littoral atlantique ; en Pays de Loire-Poitou-Charentes (haut) et en Normandie, Bretagne (bas).

Indices de remplissage

L'indice de Lawrence et Scott⁶ (Lawrence et. Scott, 1982) prend toute son importance au mois de juin lors de la vente de la production de moules. Il est cadré par les références 100, 120 et 160 (Figure 6, lignes grise, rouge et bleue). Ces valeurs correspondent à : (1) l'indice STG de qualité minimum de mise sur le marché des moules de bouchot (100), (2) de la référence minimale de l'AOP moule de bouchot de la baie du Mont Saint-Michel (120) et (3) de la référence INAO des moules de cordes de filières (160). L'indice 100 est atteint à la mi-avril sur les bouchots Normand d'Agon (109) et à mi-mai en Bretagne Sud sur Pont Mahé (123) et Pays de Loire sur Aiguillon (120). En juillet seulement l'indice atteint une valeur de 105 sur Yves (Figure 6). En baie du Mont St Michel, Le Vivier est proche de sa référence AOP 120 à mi-juillet (117). Filière dans le Pertuis Breton n'atteint pas sa référence Label Rouge (LR-160) en 2015.

⁶ Pour éviter de surcharger la Figure l'indice de Lawrence et Scott n'est présenté que sur les sites d'Agon, du Vivier, de Pont Mahé, de l'Aiguillon, d'Yves et de Filière.

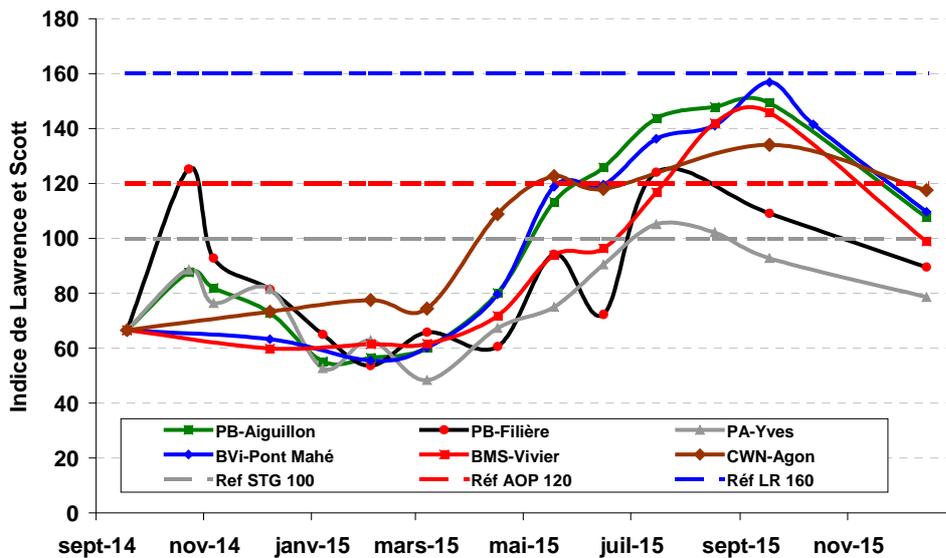


Figure 6. Evolution mensuelle de l'indice de Lawrence et Scott ($1000 \times \text{poids de chair sèche} / (\text{poids entier} - \text{poids de coquille})$).

Pour la commercialisation des moules, l'indice STG (100) est atteint, sur bouchot, au mois de juin en Normandie (Agon), Bretagne Sud (Pont Mahé) et Pays de Loire (Aiguillon). L'AOP baie du Mont St Michel est opérationnelle à mi juillet (Vivier). Par contre, le Label Rouge moules de Filière n'est pas atteint dans le pertuis Breton en 2015.

L'indice de Walne et Mann

L'indice de Walne et Mann, indice de « qualité physiologique » de l'animal peut permettre de caractériser les pontes, associées à des pertes de poids sec. (Figure 7A et B). En Pays de Loire-Poitou-Charentes, les cinétiques de l'indice de Walne et Mann sont proches, dans le pertuis Breton (Aiguillon et Roulières), et dans le pertuis d'Antioche (Yves et Boyard). Avec l'engraissement automnal en octobre-novembre, l'indice augmente entre 18% et 38%. En hiver (de décembre à mars), l'indice diminue de -17% à -35% et souligne un amaigrissement hivernal toutefois moins marqué qu'en 2014. La valeur la plus faible de l'indice (92,6), enregistrée en janvier sur Aiguillon, est supérieure à la valeur de 78,3 enregistrée en mars 2014. Le suivi mensuel Normand et Breton n'a débuté qu'en février pour les trois autres régions. Comme en 2014, Pont Mahé (baie de Vilaine) enregistre un amaigrissement de -20% en période hivernale (décembre à mars) semblable à ceux enregistrés dans les sites estuariens des pertuis charentais. Les sites océaniques du Vivier (décembre, 120 et mars, 123) et d'Agon (140-147), ont un indice stable en hiver. A partir du mois de mars l'indice augmente (prise de masse viscérale en période de ponte) plus ou moins selon les sites avec des périodes de ralentissement. Une forte baisse de l'indice est visible en juin sur les sites de Filière (-33%), d'Agon (-12%) et de Pont Mahé (-8%). Cette baisse est moins marquée sur Yves et Le Vivier (-3%). A cette saison la perte de poids est probablement liée à une forte ponte. De telles diminutions brutales d'indice ont été observées dans les relevés mensuels du réseaux REMOULA (2000-2011), sur les suivis mensuels de Filière les mois de mars 2009 (-11%), avril 2011 (-42%), mai 2009 (-13%), juin 2001 (-8%), 2006 (-22%), août⁷ 2001 (-21%), 2006 (-13%), mais également sur Aiguillon en avril 2011 (-4%) et juin 2000 (-10%). En décembre, l'indice de Walne et Mann a diminué sur tous les sites, de -8% sur Agon à -32% sur Pont Mahé.

⁷ Le captage tardif, connu dans les pertuis charentais sous le nom de captage de la St Michel (fin septembre), provient de pontes estivales tardives (août septembre) mises en évidence dans le suivi de maturation 2003-2004 du réseau REMOULA, (Robert, 2007).

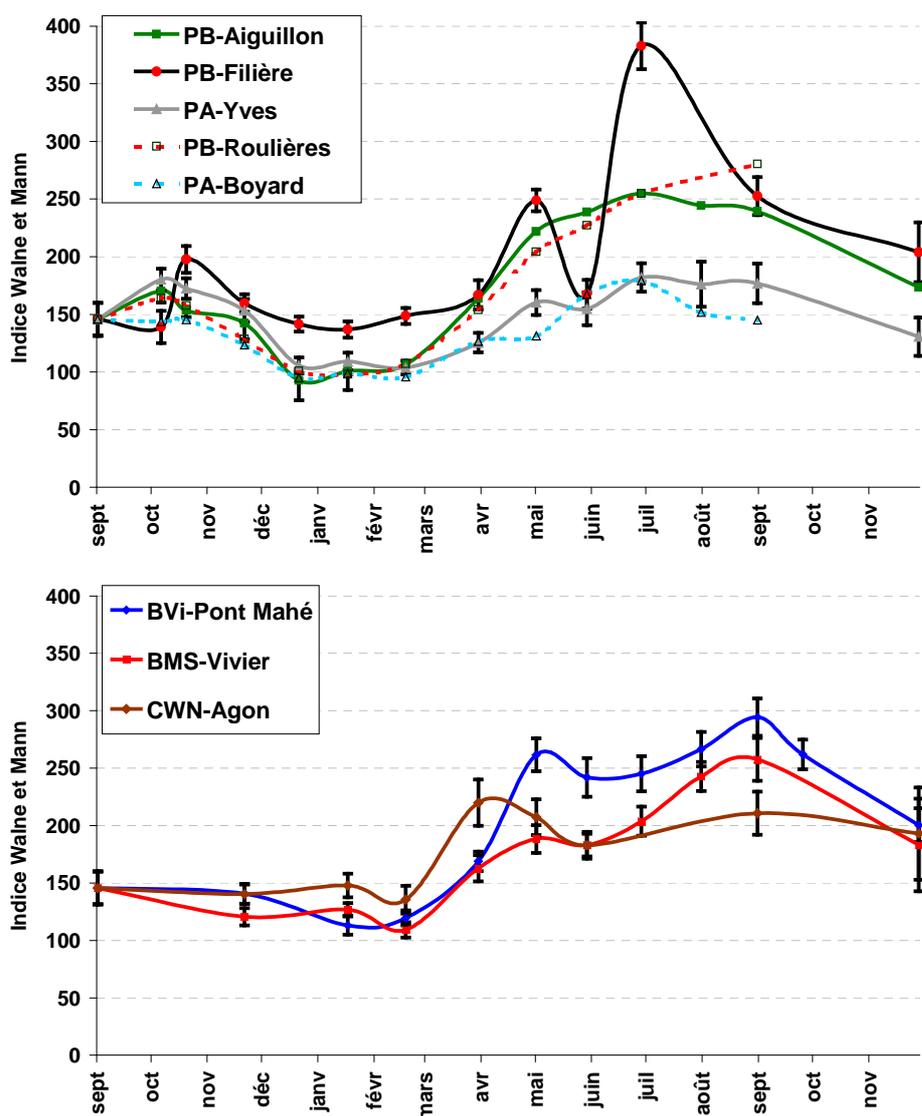


Figure 7. Evolution de l'indice de Walne et Mann ($1000 \times$ poids de chair sèche / poids de coquille sèche) sur cinq régions du littoral atlantique : en Pays de Loire-Poitou-Charentes (haut) et en Normandie, Bretagne (bas).

En juin 2015, une forte diminution de l'indice de Walne et Mann traduit une ponte importante sur le site Filière (-32%). La ponte semble plus réduite (-12%) à Agon (ouest Cotentin). Ces pertes de poids révèlent des pontes comme le montre le réseau REMOULA (2000-2011) sur les sites des pertuis charentais.

MORTALITES

QUALIFICATION DES MORTALITES DE MOULES

Le réseau Remoula (2000-2010 2011) avec un ensemble de 71 cycles d'élevage sur 8 sites mytilicoles : Aiguillon (AIG), Boyard (BOY), Chatellaillon (CHA), Filière (FIL), Malconche (MAL), Marsilly (MAR), Roulières (ROU) et Yves (YVE) permet d'établir un référentiel sur les mortalités de moules dans les pertuis charentais (Breton et Antioche) sur une période qui s'étale entre le 7^{ème} et le 15^{ème} mois d'élevage (Figure 8). Référentiel historique de 11 années de mesures sur 11 sites mytilicoles, il peut être étendu à l'échelle nationale afin de jauger les mortalités 2014 et 2015 sur les différents sites mytilicoles du littoral français.

REFERENTIEL SUR LES MORTALITES

Distribution des mortalités en « boîte à moustache »

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 8).

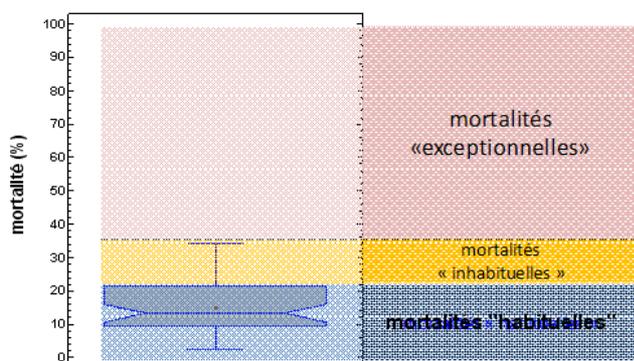


Figure 8. Référentiel de mortalités du réseau Remoula (2000-2010 2011) (paniers).

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

*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*. Les mortalités « habituelles » seraient inférieures à 22% et les mortalités exceptionnelles supérieures à 34% au cours d'une période d'élevage comprise entre le 7^{ème} et 15^{ème} mois d'élevage.*

EFFET SITE ET EFFET ANNEE

Effet « sites » ?

En enlevant les sites Chatellaillon et Malconche (représentés seulement par 3 années sur la série), le test de Kruskal Wallis appliqué à l'ensemble des sites ne fait pas apparaître de différences significatives (Figure 9) % ($F= 1,50$ et $p = 0,2051$). Même pour Boyard et Roulières dont les médianes sont les plus extrêmes (12,9% et 15%), la différence entre les séries n'est pas significative (KW : $F=4,19$ et $p=0,054$).

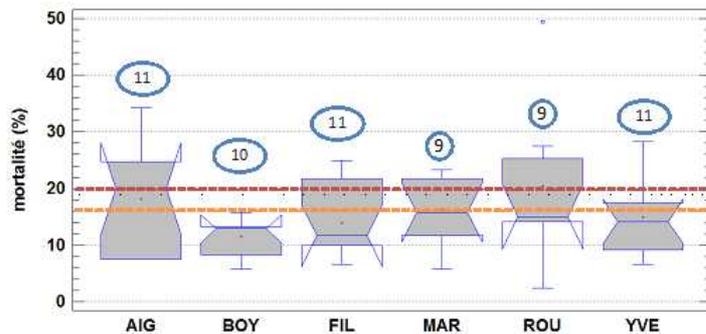


Figure 9. Comparaison des mortalités de fin de cycle selon les SITES. 61 résultats sur 6 sites et 10 années de mesures (l'année 2000 représentée par 2 valeurs seulement, est enlevée de l'analyse, ainsi que les sites de Malconche et Chatellaillon représentés seulement par 3 années).

Effet « années » ?

L'effet « année » est significatif au seuil de 1% (test de Kruskal Wallis : $F= 2,76$ et $p = 0,0095$) ; Quatre années : 2007, 2008, 2009 et 2010 sont des années de « faibles » mortalités (< 16%) ; Une année : 2002 (5 résultats) est une année de « forte » mortalité (> 20%) ; Les 5 autres années ont des distributions (« boîtes à moustaches ») qui recouvrent partiellement la zone 16-20% de mortalité. Toutefois, un test de KW spécifique à ces années 2001, 2003, 2004, 2005 et 2011 ne met pas en évidence de différence significative selon les sites.

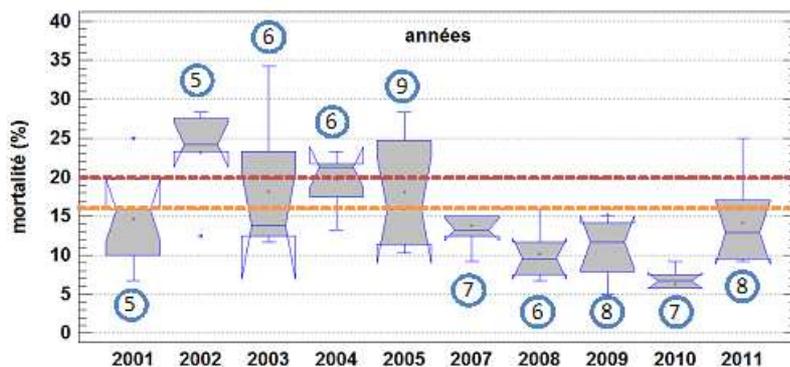
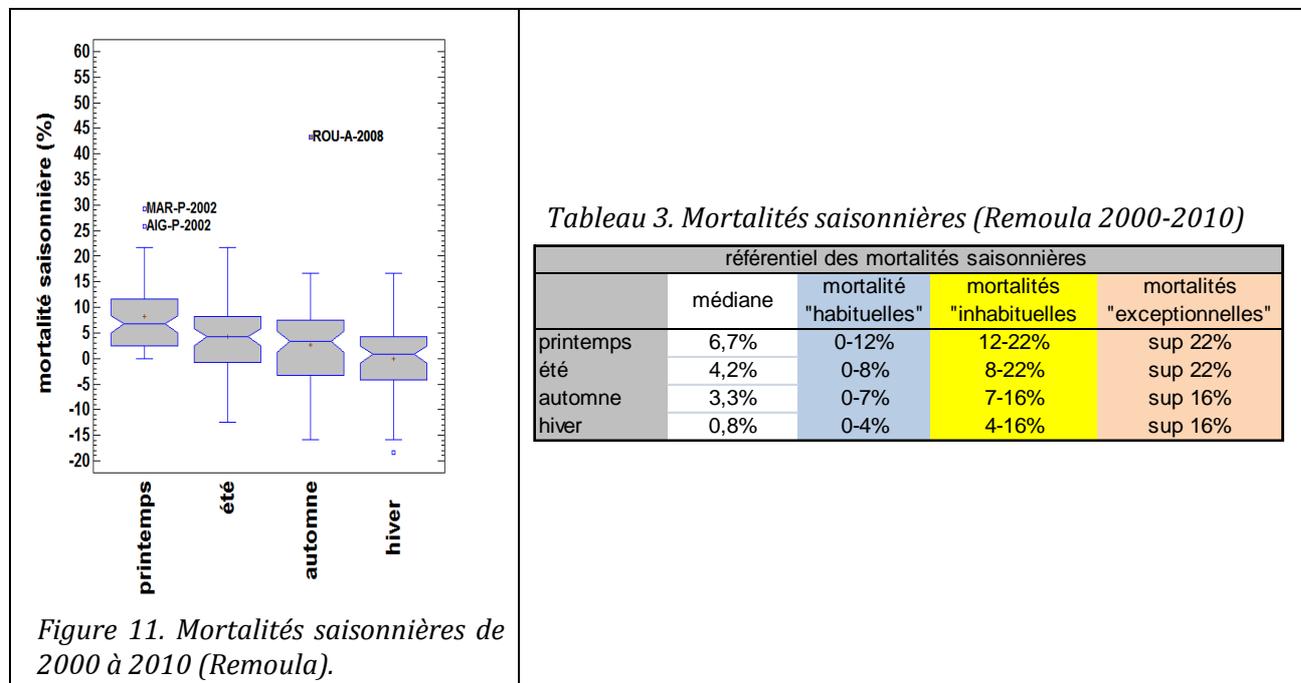


Figure 10. Comparaison des mortalités de fin de cycle selon les années. 67 résultats sur 11 sites et 10 années de mesures (l'année 2000 représentée par 2 valeurs seulement, est enlevée de l'analyse).

Les mortalités (base référentiel) ne sont pas différentes selon les sites, mais le sont selon les années. Les mortalités de l'année 2002 (23-28%) sont de type « inhabituelles » alors que les mortalités « habituelles » de 2007, 2008, 2009 et 2010 inférieures à 16% sont significativement plus faibles que les autres années.

MORTALITES SAISONNIERES

Les mortalités saisonnières ont des médianes de 6,7%, 4,2%, 3,3 et 0,8% respectivement pour le printemps, l'été, l'automne et l'hiver (Figure 11, Tableau 3). Le taux de mortalité printanière est supérieur aux taux de mortalités de l'été-automne (pas différentes sur le plan statistique), eux même supérieurs au taux de mortalité hivernale.



Les mortalités de moules, faibles en hiver (médiane à 0,8%) sont plus fortes au printemps (médiane à 6,7%) et à un niveau intermédiaire en été-automne (médianes de 4,2% et 3,3% respectivement)

LES MORTALITES DE MOULES EN 2015 (ET 2014)

Sur la base du « référentiel mortalités » (Remoula, 2000-2010)(Figure 2), celles-ci sont classées en 3 catégories: « exceptionnelles » (couleur orangée), « inhabituelles » (jaune) et « habituelles » (verte) (Tableau 4). Dans les pertuis charentais (Breton et Antioche) les mortalités sont « exceptionnelles » en 2014. En 2015, elles demeurent « exceptionnelles » sur les Filière (avec une diminution d'intensité de 100% à 54%), « inhabituelles » sur l'Aiguillon et « habituelles » sur Yves, montrant bien l'atténuation du phénomène de mortalité entre 2014 et 2015 dans les pertuis Charentais.

Par ailleurs, les mortalités sur les deux sites expérimentaux complémentaires (mis en place par le réseau Mytilobs afin d'affiner l'observation des mortalités) sont « exceptionnelles » sur le site des Roulières et « inhabituelles » sur le site de Boyard (Tableau 4).

Tableau 4. Mortalités de moules sur les sites Mytilobs en 2014 et 2015. Les couleurs caractérisent la mortalité ; « exceptionnelle » (orange), inhabituelle (jaune) et « habituelle » (verte).

Site	mortalité cumulée(%)	qualification des mortalités	mortal.> 20%	mortalité cumulée (%) et (IC)	qualification des mortalités	mortal.> 20%
Filières (FIL)	100	Excep.	mars-Q1	51 (42-59)	Excep.	mi-mai
Aiguillon (AIG)	100	Excep.	avril-Q1	22 (20-24)	Habit.-inhab.	fin juillet
Yves (YVE)	68	Excep.	mai-Q1	14 (12-16)	Habit.	
Roulières (ROU)	Pas de données			38 (32-44)	Excep.	fin mai
Boyard (BOY)	Pas de données			24 (22-26)	Inhab.	mi-juin
Pont Mahé (PMA)	10	Habit.		18 (16-20)	Habit.	
Le Vivier (LVI)	18	Habit.		9 (0-15)	Habit.	
	2014	2014	2014	2015	2015	2015

Les mortalités printanières sont comprises entre 2% (Le Vivier) et 34% (Filière) (Figure 12). C'est durant cette saison que les mortalités sont maximales (Figure 11). Sur les sites Filière, Roulières, Agon (corrigé), la mortalité estivale est supérieure à 10%. Les mortalités automnales sont inférieures à 5% pour l'ensemble des sites. La mortalité de l'hiver 2015 est la plus élevée (7%) sur les Roulières. La prééminence temporelle (hivernale) des mortalités sur le site des Roulières apparaît sur la représentation de l'évolution des taux de mortalités saisonnières des sites du réseau Mytilobs (Figure 12). Les mortalités sur le site d'Agon sont présentées en « brut » et « corrigées » de la partie prédation (*Nucella lapilus*). Cette prédation est habituelle sur ce site particulier de la cote ouest Cotentin, mais les attaques les plus importantes ont lieu au printemps (14%). En 15 mois, 22% de la mortalité provient des attaques de perceurs. La mortalité « corrigée » déduit les coquilles percées.

Les mortalités mensuelles sont représentées dans la région Pays de Loire-Poitou-Charente (Figure 14) et les autres régions de France (Figure 13). Aucune mortalité supérieure à 5 % n'a été observée entre septembre 2014 et mars 2015. En avril 2015, la mortalité Filière (+9%) précède un pic principal concomitant en mai sur tous les sites. Il s'enregistre à des niveaux différents : Filière (17%), Roulières (12%), Boyard (10%), Aiguillon (7%), Agon (6%), Pont-Mahé (4%), Yves (4%). Deux autres « pics » moins prononcés, regroupent : (1) Roulières, Boyard, Agon en juillet et (2) Filière, Roulière, Agon, Yves en octobre. Seul le site du Vivier ou la mortalité reste faible (9%) ne suit pas la même évolution.

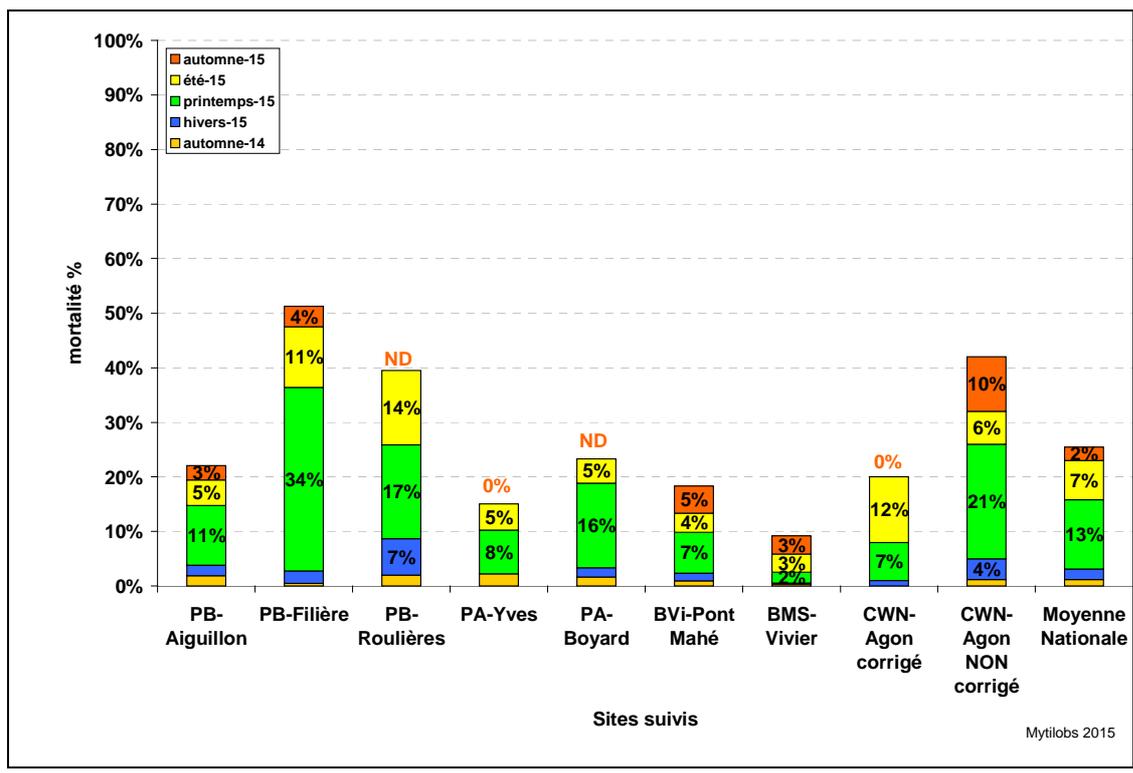


Figure 12. Mortalité saisonnière de la moule (*Mytilus edulis*) sur cinq régions du littoral atlantique en 2015.

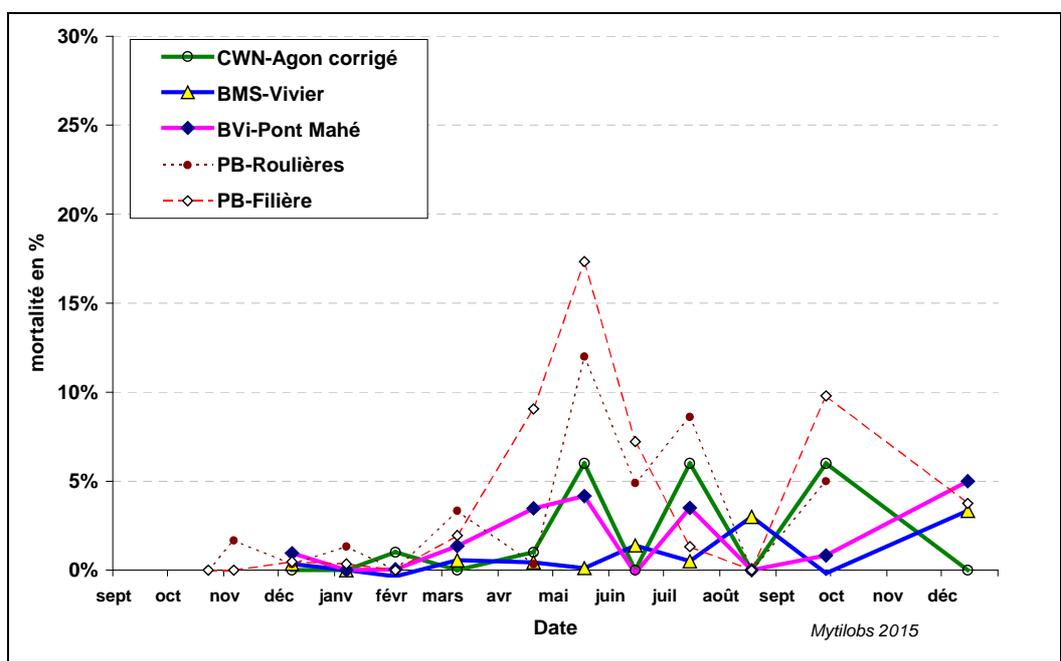


Figure 13. Évolution des taux de mortalités mensuels sur la Normandie (Agon), la Bretagne Nord (Vivier) la Bretagne Sud (Pont Mahé).

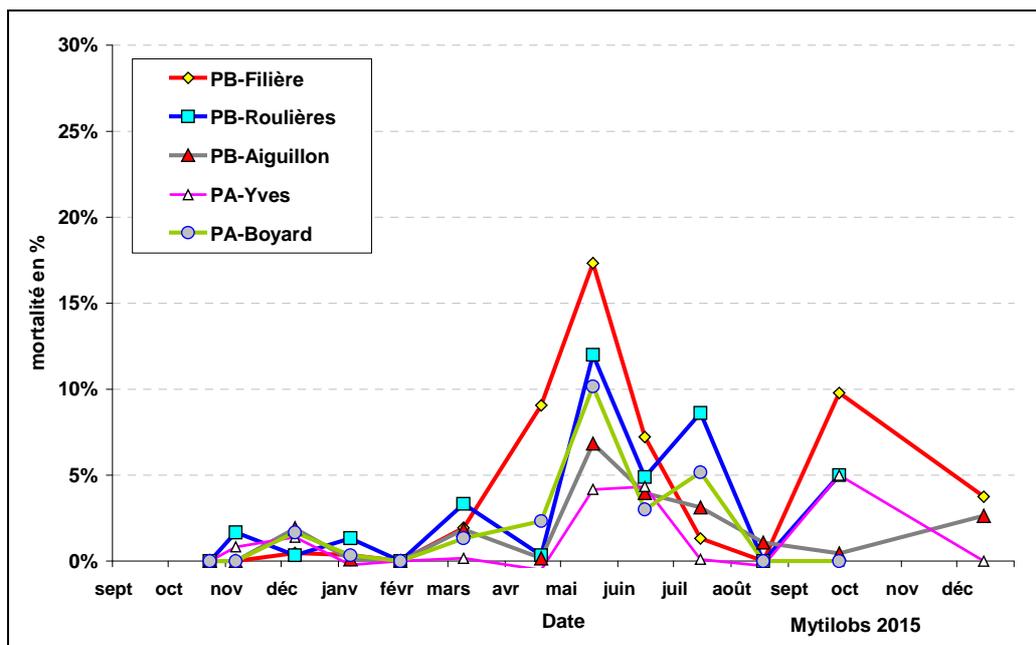


Figure 14. Evolution des taux de mortalités mensuels sur les Pays de Loire (Aiguillon, Roulières, Filière) et Poitou-Charentes (Yves, Boyard).

Les mortalités en 2014 sur Aiguillon (100%), Filière (100%), Yves (67%) et Agon (52%) ainsi que celle de 2015 sur Filière (51%), Roulières (38%) et Agon (42%) sont classée en mortalité « exceptionnelles » par rapport à ce référentiel REMOULA (2000-2010) (Figure 15). La mortalité sur Agon en 2014 est due pour l'essentiel aux bigorneaux perceurs alors que les autres mortalités relèvent du phénomène de mortalités massives de moules en lien avec un processus infectieux (vibrio dépendant).

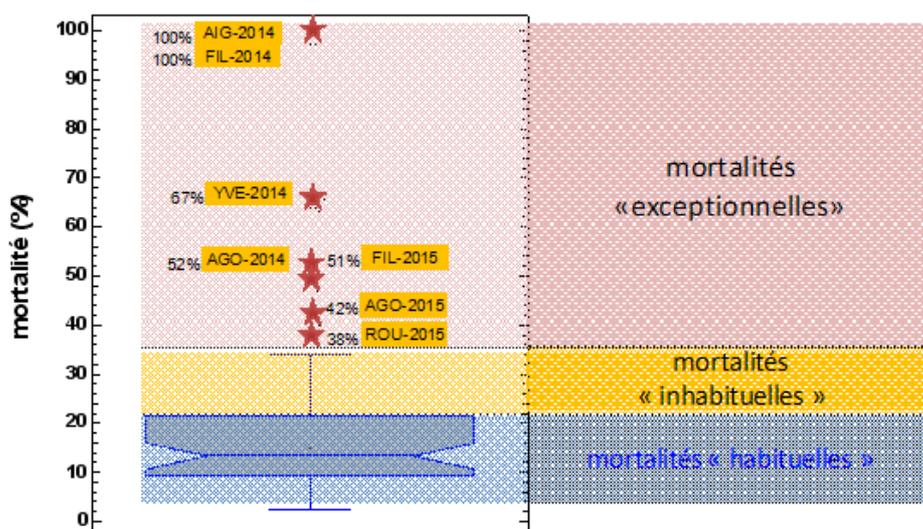


Figure 15. Mortalités 2014 et 2015 dans le Référentiel du réseau Remoula.

En 2015, en raison des mortalités massives survenues en 2014, plusieurs comptages (jusqu'à 7) ont été réalisés à un pas de temps mensuel sur l'ensemble des sites du réseau, et deux sites complémentaires (Roulières et Yves) ont été rajoutés dans les pertuis charentais pour compléter l'information (8 sites au total). Les cinétiques de mortalité sont présentées (Annexe 3). Les mortalités se répartissent en 5 groupes (contraste statistique). La mortalité cumulée sur le site Filière du pertuis Breton atteint 51% et commence dès le mois de mars (Tableau 4, Annexe 4). Le site des Roulières, dans le Pertuis Breton également, est le deuxième site le plus impacté par les mortalités (38%). Un troisième groupe est formé par Boyard, Aiguillon et Pont Mahé (baie de Vilaine) (18-22% de mortalité). Yves et Le Vivier occupent le 4^{ème} et 5^{ème} rang des mortalités les plus faibles (14% et 4% respectivement).

En 2015, l'intensité des mortalités de moules diminue globalement dans les pertuis charentais pour l'ensemble des sites du réseau Mytilobis (Filière, Aiguillon et Yves). En 2015, comme en 2014, l'intensité des mortalités demeure « exceptionnelle » au nord-est du pertuis Breton (sites Filière et Roulières), alors que la mortalité est « juste » « inhabituelle » ou « habituelle » sur les autres sites (Aiguillon, Boyard et Yves). La mortalité plus forte sur les filières signale une nouvelle fois la singularité de ce type d'élevage et (certainement) sa plus grande vulnérabilité face à l'épizootie rencontrée en 2014 et 2015.

Sur les autres sites du réseau Mytilobis (Baie de Vilaine et baie du Mont Saint Michel), la mortalité est « habituelle » à la fois en 2014 et en 2015. Sur Agon, la mortalité « exceptionnelle » en 2015 est liée en partie à la prédation des bigorneaux perceurs qui représente 22% de la mortalité cumulée (42%).

SUIVI ENVIRONNEMENTAL

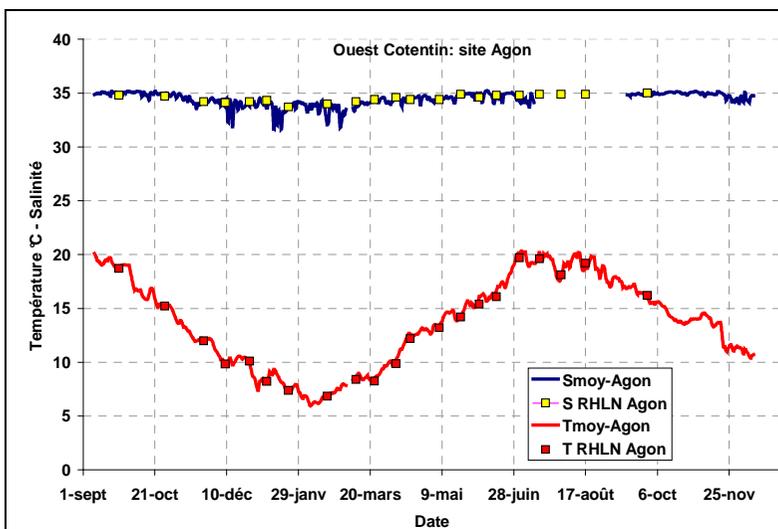
TEMPERATURE ET SALINITE AU COURS DE LA CAMPAGNE MYTILOBS 2015

Température et salinité sont mesurées aux moyens de sondes multiparamètres TPS (température, pression et salinité) immergées sur les sites de l'étude (voir matériel et méthode). Les données enregistrées sont ensuite qualifiées (Annexe 5). Les températures et les salinités sont enregistrées sur chaque site entre septembre 2014 et décembre 2015 (Figure 16).

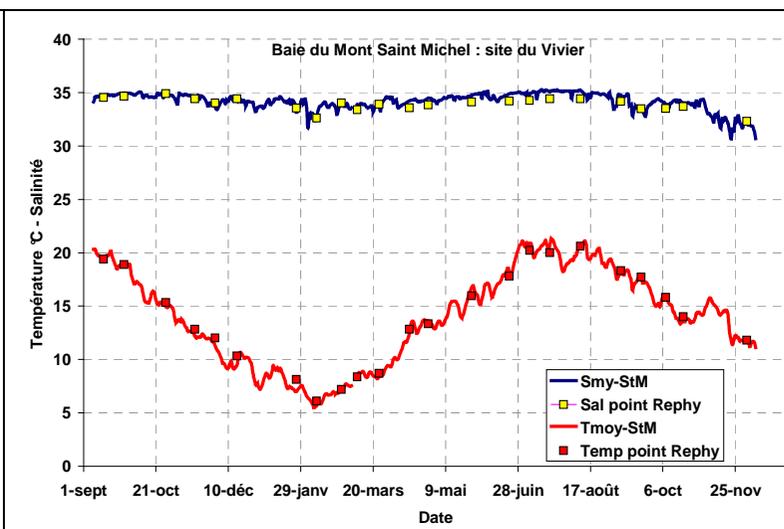
Les sites ont des caractéristiques hydrologiques déjà décrites dans les précédents rapports (Robert et al., 2015). Les deux sites d'Agon et du Vivier sont les plus marins avec des salinités comprises entre 32 et 35. Le site de Pont-Mahé, en baie de Vilaine reste le plus euryhalin avec des salinités fluctuant entre 21-22 et 35 selon les saisons et les débits de la Vilaine (Figure 16 ; Annexe 6). Durant la campagne Mytilobis 2014-2015, la température de l'eau de mer est comprise entre 5°C (début février sur Boyard) et près de 23°C sur Yves en juillet (Figure 16 ; Annexe 6).

Une année 2015 globalement plus fraîche que l'année 2014 (-0,5°C sur bouchots et -1,2°C sur filières, entre les deux mois d'octobre). Avec des périodes assez semblables sur tous les sites. L'automne 2015 a été plus chaud entre le 15 novembre et le 30 décembre avec des écarts 2°C et jusqu'à 5,9°C sur Yves en décembre. Un hiver plus froid entre le 28 décembre et le 10 mars (-1,2°C sur bouchots et -1°C sur filières). Les températures ont atteint les 10°C environ 3 semaines plus tard qu'en 2014. L'écart est identifié entre le 21 février et le 13 mars sur Filière et Aiguillon mais entre le 15 mars et 6 avril sur Le Vivier et Agon. Le printemps et l'été des deux années ne sont pas très différents. L'automne est plus froid (-2 à -4°C) avec cependant un arrêt de la chute des températures et une stabilisation entre 14°C et 15°C, sur une période d'environ un mois à partir du 20 octobre.

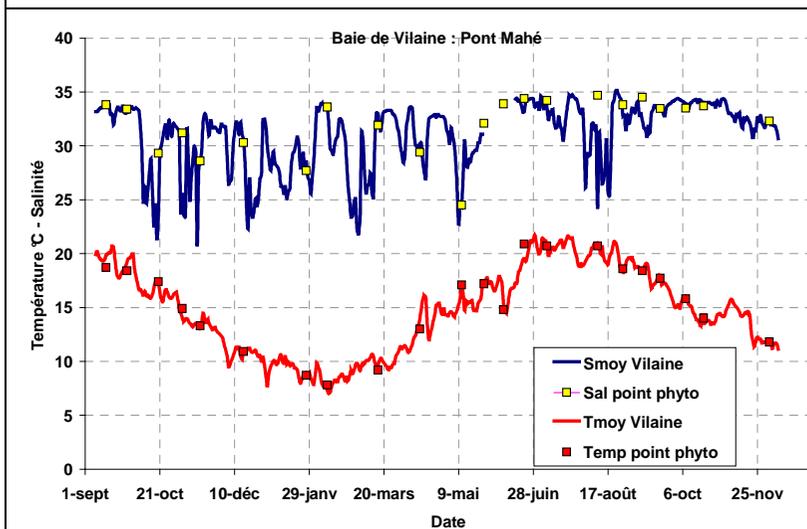
Globalement, les baisses de salinité sont moins importantes qu'en 2014 sur tous les sites. Pont Mahé reste marquée par des apports d'eau douce importants. La salinité varie tout au long de l'année entre 35 et 21, sans atteindre la valeur 10 de février 2014. Les périodes de dessalure sont proches mais moins marquées sur Filière, Aiguillon et Yves où les plus basses valeurs sont aussi largement en deçà des valeurs atteintes en 2014. Filière 29 versus 25,7. Aiguillon 23,5 versus 17,1 et Yves 25,6 versus 20,1.



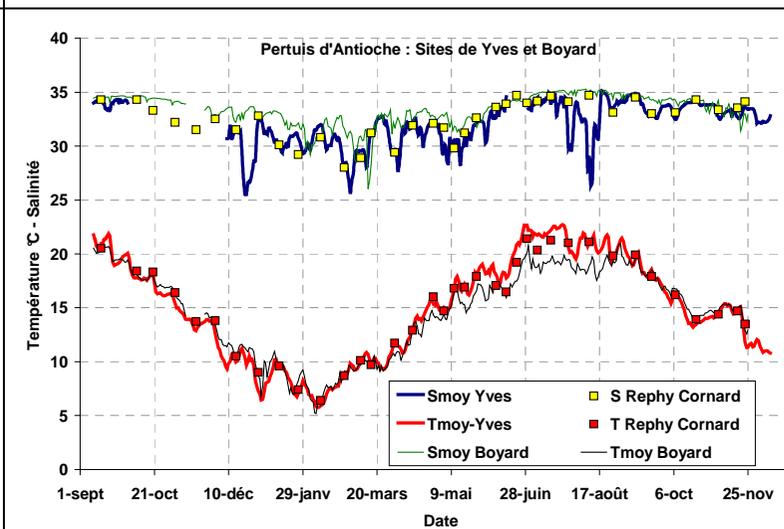
Ouest Cotentin : site d'Agon



Baie du Mont Saint Michel : site du Vivier



Baie de Vilaine : site de Pont Mahé



Pertuis d'Antioche : site d'Yves (bleu-rouge) et Boyard (vert-noir)

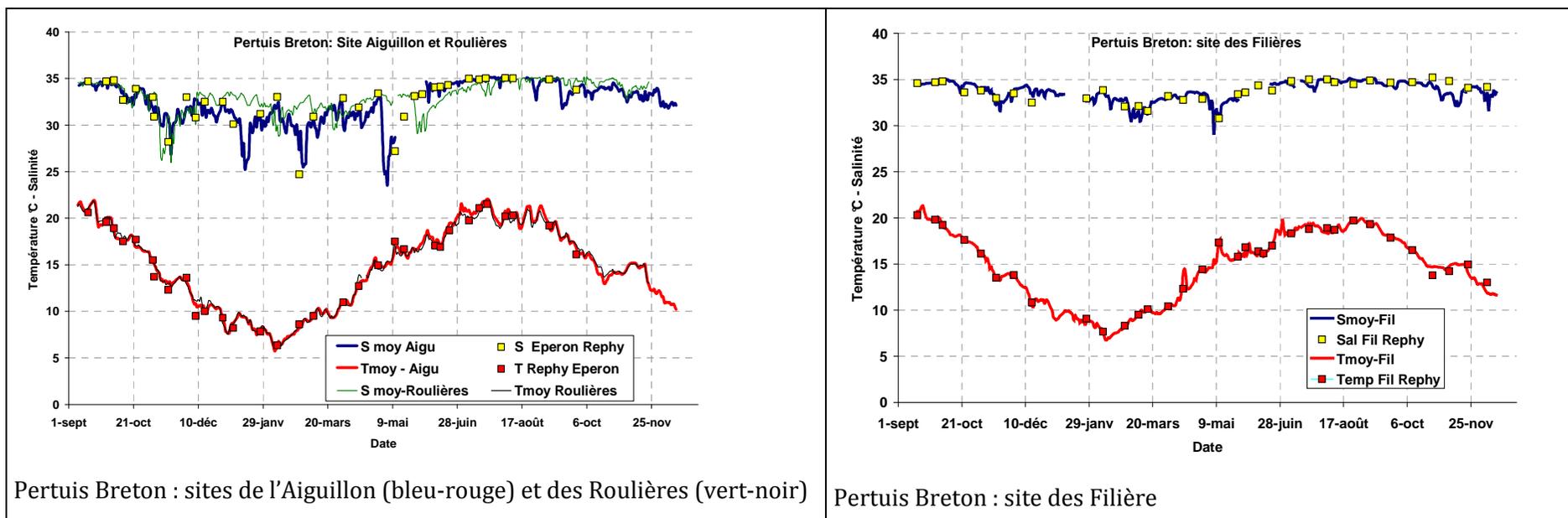


Figure 16. Evolution de la température et de la salinité sur les sites Mytilobis du littoral atlantique. Les mesures de salinité (carré jaune) et de température (carré rouge) sont effectuées sur les mêmes sites dans le cadre du réseau REPHY. Campagne 2015.

CONDITIONS DE TEMPERATURE ET DE SALINITE DURANT LES PERIODES DE MORTALITES

Les conditions de température et de salinité des élevages au cours des mortalités « inhabituelles » et « exceptionnelles » 2014 et 2015 sont très variables (Figure 17 ; Tableau 5). Les mortalités « exceptionnelles » sont apparues entre les mois de mars et mai, à des températures comprises entre 10°C (mars 2014 sur les filières) et 18°C (mai 2015 sur les Roulières), et des salinités comprises entre 28-29 (mars 2014 sur le site Filière) et supérieures à 33 (avril 2015 sur le site des filières). Le niveau de mortalités « inhabituelles » identifié au cours de l'été sur le site de l'Aiguillon à des températures de 19 et 21°C et une salinité de 35, proche de la salinité océanique (Tableau 5) correspond aux mortalités cumulées entre mai et juillet.

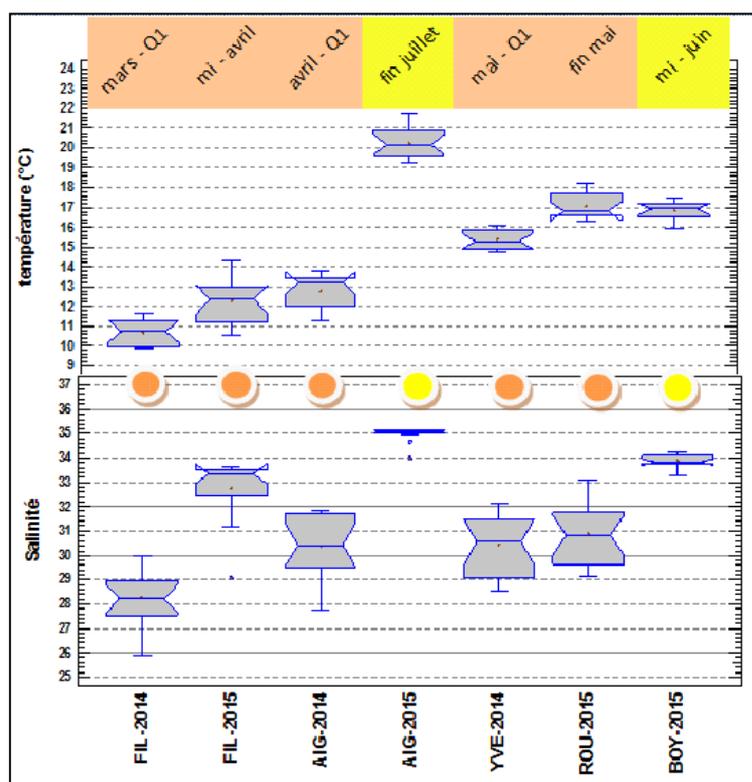


Figure 17. Température et salinité de l'eau de mer durant la période de mortalités « inhabituelles » et « exceptionnelles » (période de franchissement des 20% de mortalités) sur les sites Mytilob en 2014 et 2015 (Filière : FIL ; Aiguillon : AIG ; Yves : YVE ; Roulières : ROU ; Boyard : BOY).

Tableau 5. Caractéristiques des paramètres température (haut) et salinité (bas) lors du « passage » d'une mortalité « habituelle » à une mortalité « inhabituelle » ou « exceptionnelle » sur les sites Mytilob en 2014 et 2015 (au delà de 20% de mortalité)

température							
site	nombre	Médiane	Minimum	Maximum	Etendue	1 ^{er} quartile	3 ^{ème} quartile
FIL-2014	15	10,74	9,85	11,68	1,824	9,91	11,30
FIL-2015	15	12,36	10,52	14,30	3,77	11,22	13,02
AIG-2014	15	13,20	11,27	13,75	2,48	12,01	13,44
AIG-2015	15	20,18	19,23	21,76	2,53	19,66	20,91
YVE-2014	15	15,32	14,72	16,08	1,36	14,92	15,88
ROU-2015	15	16,81	16,31	18,21	1,90	16,6	17,74
BOY-2015	15	16,94	15,95	17,48	1,53	16,52	17,22
salinité							
site	nombre	Médiane	Minimum	Maximum	Etendue	1 ^{er} quartile	3 ^{ème} quartile
FIL-2014	15	28,21	25,89	29,99	4,10	27,53	28,97

FIL-2015	15	33,35	29,07	33,63	4,56	32,45	33,50
AIG-2014	15	30,43	27,78	31,86	4,08	29,47	31,73
AIG-2015	15	35,07	34,00	35,14	1,14	35,00	35,12
YVE-2014	15	30,56	28,54	32,14	3,60	29,06	31,50
ROU-2015	15	30,84	29,11	33,10	3,99	29,64	31,75
BOY-2015	15	33,83	33,31	34,25	0,94	33,76	34,10

En 2015, la température de l'eau de mer sur les sites d'élevage, est globalement plus fraîche qu'au cours de l'année 2014 (-0,5°C sur bouchot, -1,2°C sur filières). Les températures hivernales sont plus basses qu'en 2014 (-1,2°C). Les printemps et été 2014 et 2015 sont à peu près équivalents. L'automne 2015 est plus froid qu'en 2014 avec toutefois un arrêt de la baisse des températures suivies d'un plateau à 14-15°C, à partir du 20 octobre sur un mois.

Des mortalités « exceptionnelles » et « inhabituelles » de moules surviennent en 2014 et 2015 dans des conditions environnementales de températures comprises entre 10 et 21°C et des conditions de salinité entre 26 et 35. Si température et salinité ne semblent pas être des paramètres de première importance dans le processus conduisant aux mortalités de moules, les mortalités (2014 et 2015) ne sont pas apparues à une température inférieure à 10°C.

RESSOURCE TROPHIQUE

Analyse quantitative du phytoplancton

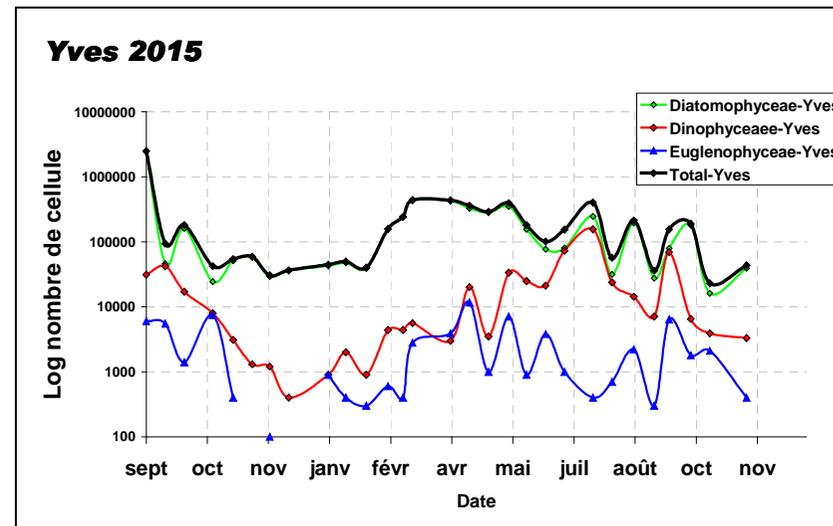
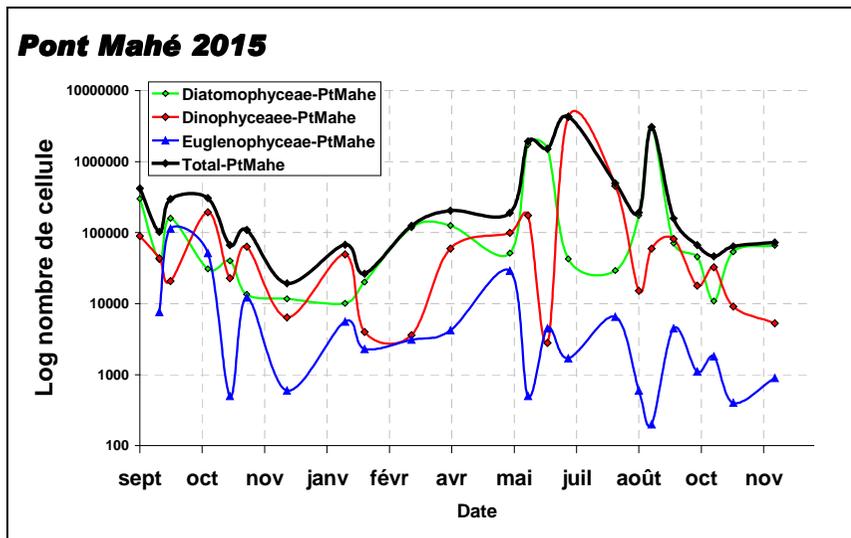
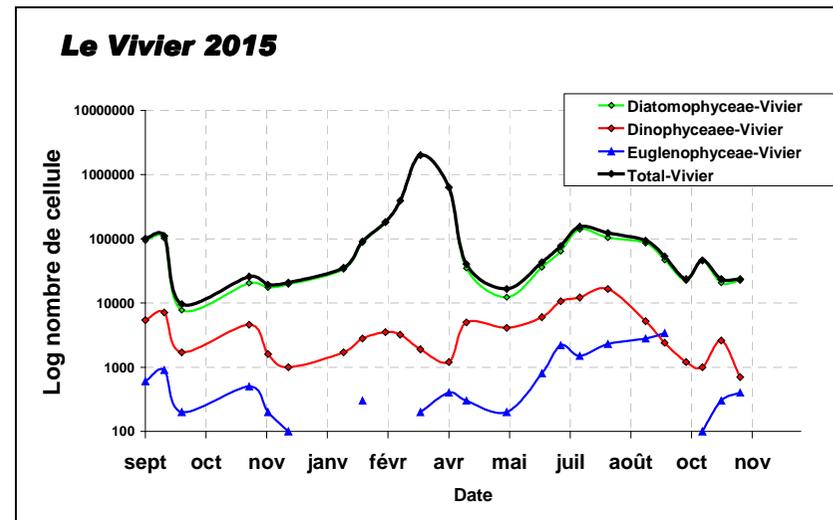
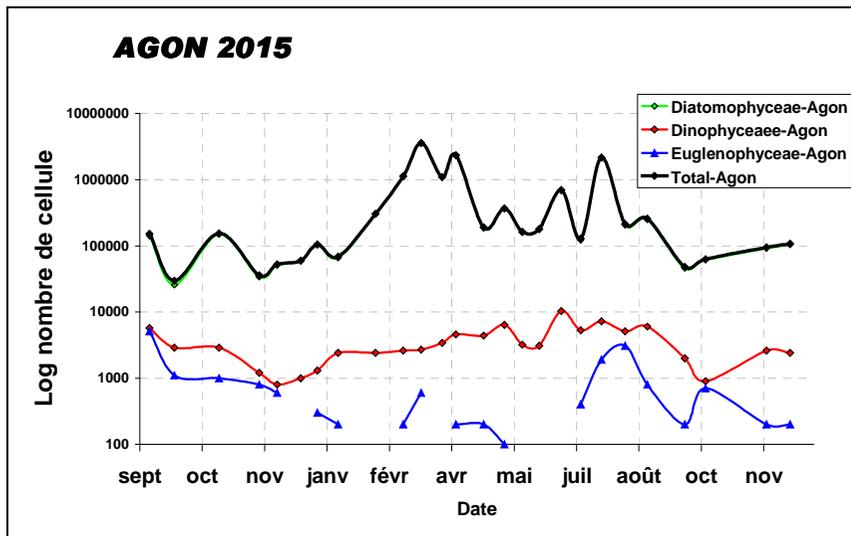
Les 7 sites du réseau Mytilobis ont été échantillonnés environ 25 fois (chaque site) entre septembre 2014 et décembre 2015. C'est entre 3 et 7 échantillonnages qui sont réalisés chaque saison (de l'été 2014 à l'automne 2015) sur chacun des sites du réseau Mytilobis (Tableau 6, Annexe 8). Les classes d'algues les plus représentées sont respectivement les Diatomophyceae (actuels Bacillariophyceae), les Dinophyceae et les Euglenophyceae, dans des proportions respectives de 85,6%, 13,3% et 0,7% (Figure 18).

En hiver les concentrations sont très différentes d'une région à l'autre avec des concentrations élevées sur Filière (5 300 000), Agon (5 170 000), Vivier (2 700 000), Yves (975 000) ou basse Boyard et Pont Mahé (220 000). Cette saison est caractérisée par une absence de croissance en longueur et un relatif amaigrissement sur l'ensemble des sites bouchots.

Au printemps les flores disponibles ont été importantes sur tous les sites : Agon ($4,3 \times 10^6$), Pont Mahé ($3,8 \times 10^6$), Boyard (2×10^6), Yves ($1,8 \times 10^6$), Filière ($0,74 \times 10^6$), Vivier ($0,73 \times 10^6$). Agon malgré une disposition régulière en phytoplancton n'a pas la meilleure croissance. Ce site est perturbé par la présence de perceurs.

En été l'interprétation devient plus difficile et le classement des niveaux de flore avec les croissances est plus complexe. Le site Vivier (+7,22mm) avec 500 000 cellules phytoplanctoniques enregistre une croissance 2,3 fois plus importante que celles de Pont Mahé (3,10 mm) qui a eu une disponibilité en algues 18 fois supérieures ($8,8 \times 10^6$ cellules).

En automne 2015, la disponibilité en algue est réduite. Les comptages disponibles sont tous en dessous de 300 000 cellules pour la saison. Seul Agon, avec peut être une moins forte « pression » de la part des prédateurs, enregistre une croissance en longueur (2,17 mm) qui n'apparaît pas durant cette saison sur les autres sites de bouchot. Les perceurs ont été recherchés et éliminés des pieux d'élevage lors du prélèvement de juin 2015. Alors que les perceurs sont responsables de 100 à 70% de la mortalité entre l'automne 2014 et le printemps 2015, l'impact de la prédation tombe à des valeurs d'environ 50% au cours de l'automne 2015.



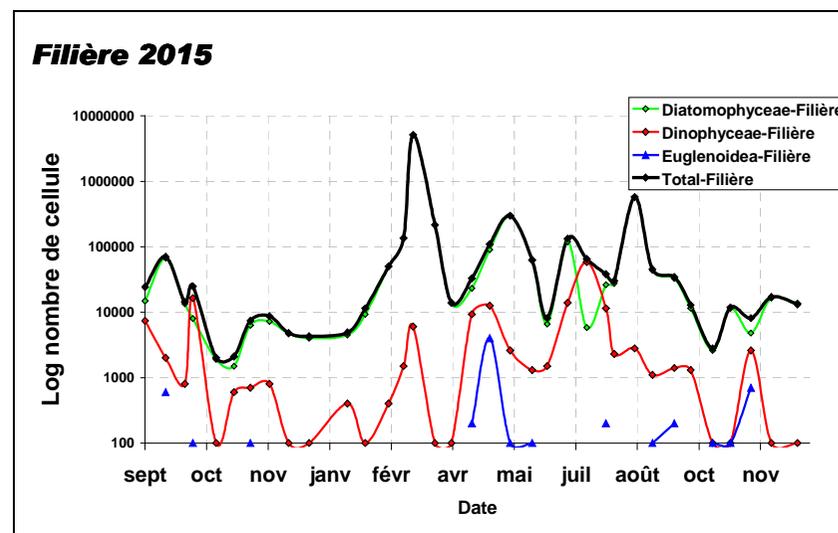
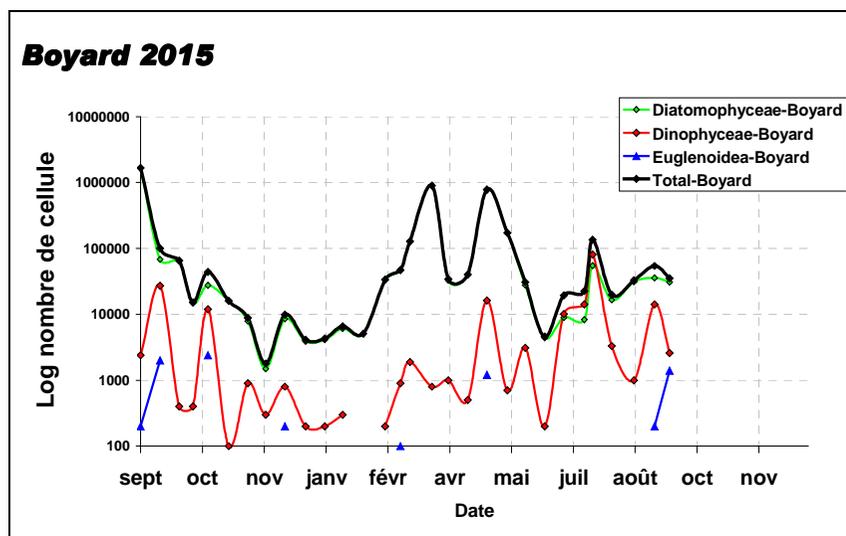


Figure 18. Evolution de la flore phytoplanctonique totale, Diatomophyceae, Dinophyceae, Euglénohycae (log du nombre de cellules) sur les sites de cinq régions du littoral atlantique : Agon (ouest Cotentin) ; Le Vivier (baie du Mont St Michel) ; Pont Mahé (baie de Vilaine) ; Yves et Boyard (Pertuis d'Antioche) et Filière (Pertuis Breton) (réseau Mytilobs 2015)

Tableau 6. Echantillonnage et effectif saisonniers de phytoplancton sur chaque site au cours de la campagne Mytilobs 2015.

saisons	Agon	Boyard	Filière W	Le Vivier	Pont Mahé	Yves
nombre d'échantillons						
automne-2014	4	7	7	3	4	5
hiver-2015	5	6	5	5	3	6
printemps-2015	6	7	7	4	4	6
été-2015	6	7	7	5	5	6
automne-2015	3	0	6	4	4	3
numération moyenne de phytoplancton						
automne-2014	7,6E+04	1,4E+04	7,7E+03	2,2E+04	1,2E+05	4,5E+04
hiver-2015	1,0E+06	3,8E+04	1,1E+06	5,4E+05	7,3E+04	1,6E+05
printemps-2015	7,2E+05	2,8E+05	1,1E+05	1,8E+05	9,6E+05	2,9E+05
été-2015	5,8E+05	4,6E+04	1,3E+05	1,0E+05	1,6E+06	1,7E+05
automne-2015	8,8E+04	ND	1,1E+04	2,9E+04	6,2E+04	8,5E+04

Le cumul du phytoplancton saisonnier moyen (entre l'automne 2014 et l'automne 2015) est effectué sur les sites 6 sites du réseau Mytilobs : Filière W (pertuis Breton), Yves et Boyard (pertuis d'Antioche), Pont Mahé (baie de Vilaine), Vivier (baie du Mont St Michel) et Agon (Ouest Cotentin) (Figure 19 ; Figure 20). Pont Mahé et Agon semblent être les sites les plus riches en phytoplancton avec un « cumul saisonnier » compris entre 2,6-3,1.10⁶ cellules phytoplanctoniques ; puis viennent les sites d'Yves et de filières avec des valeurs de 1,3-1,6. 10⁶ cellules et enfin, Boyard et Vivier avec les valeurs justes inférieures à 10⁶ cellules phytoplanctoniques (Figure 20).

Le phytoplancton se retrouve en fortes concentrations en hiver (Agon, Filière, le Vivier), au printemps (Agon, Pont-Mahé) et en été (Agon, Boyard, Pont-Mahé et Yves) (Figure 19).

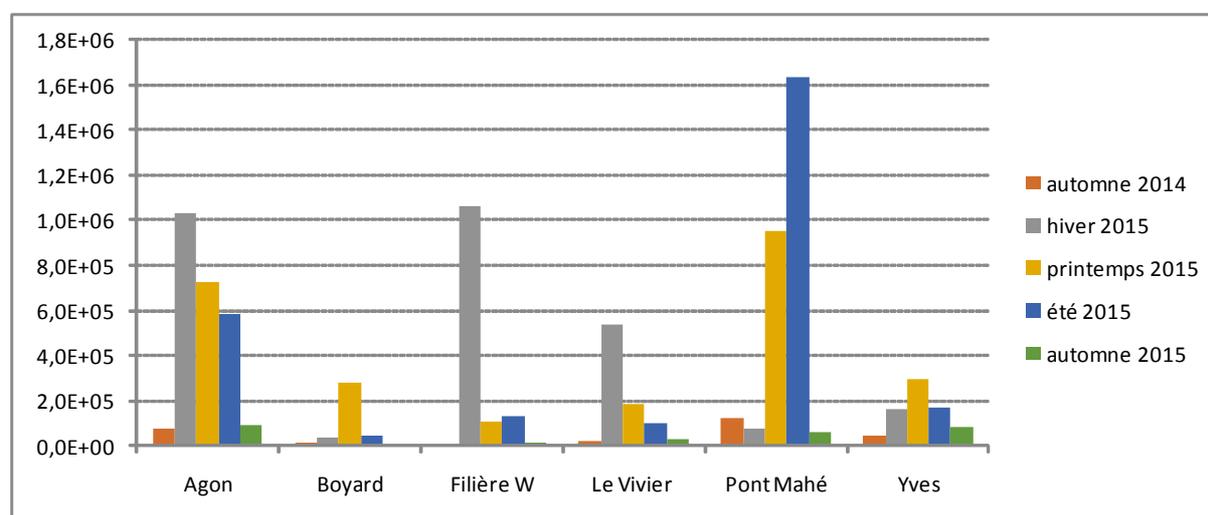


Figure 19. Abondance moyenne saisonnière de phytoplancton sur les sites du réseau Mytilobs.

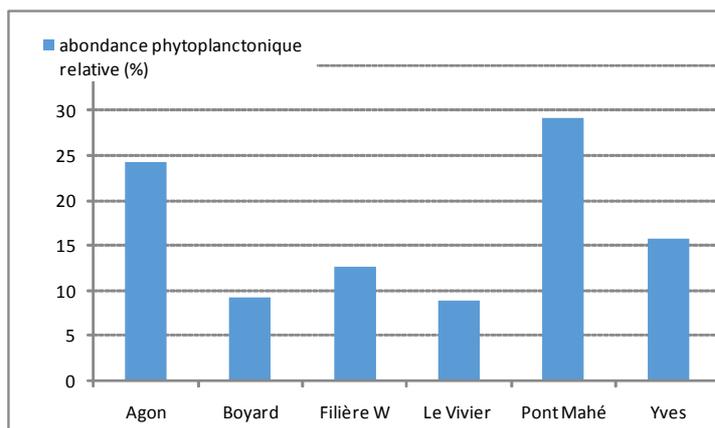


Figure 20. abondance relative moyenne de phytoplancton sur les sites Mytilobs entre l'automne 2014 et l'automne 2015.

Diatomophyceae et Dinophyceae

La distribution spatiale et temporelle des Diatomophyceae (~85% du phytoplancton compté) est peu différente de celle du phytoplancton (Figure 19). Les fortes concentrations se retrouvent en hiver, printemps et sur Boyard et Yves en été 2014. Des valeurs fortes de Dinophyceae apparaissent en été 2015 sur le site de Pont-Mahé. D'une façon générale, les Dinophyceae se retrouvent en plus forte concentration sur les principaux sites durant l'été, et en plus forte concentration sur les sites estuariens (baie de Vilaine, pertuis charentais) durant l'été (Figure 18).

L'automne 2014 et 2015 sont des saisons où les concentrations algales disponibles sont plutôt faibles comparées aux trois autres saisons, au cours de la campagne Mytilobs 2015 (Figure 21).

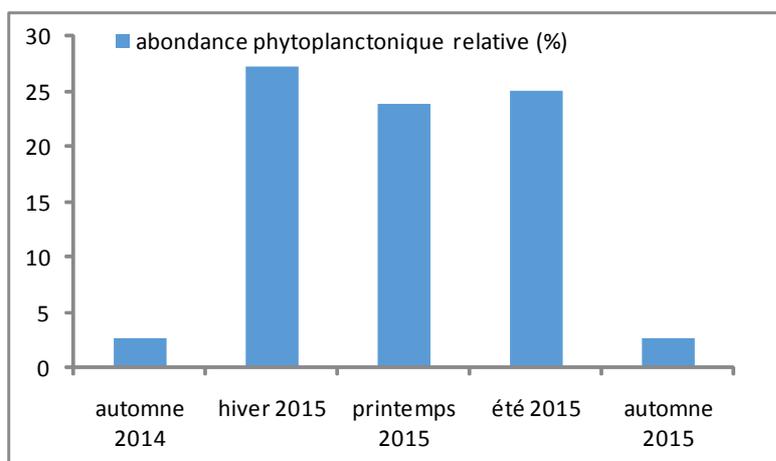


Figure 21. abondance relative moyenne de phytoplancton entre l'automne 2014 et l'automne 2015 (tous sites confondus).

En automne 2014, les sites de Boyard et de Filière sont plus pauvres en phytoplancton que les autres sites du réseau (Annexe 8). En Hiver 2015, c'est le Vivier et Agon. Au printemps et été 2015, Pont-Mahé et Agon présentent plus de phytoplancton (Yves, seulement au printemps) (Annexe 8).

Comme au cours de la campagne Mytilobs 2014, parmi 12 grandes familles d'algues phytoplanctoniques, les Diatomophyceae (actuels Bacillariophyceae), les Dinophyceae et les Euglenophyceae représentent plus de 99% de l'effectif, dans des proportions respectives de 85,6%, 13,3% et 0,7% pour ces trois familles.

La présence plus importante des Dinophyceae, au cours de l'été, se confirme en 2015 notamment sur l'ensemble des sites estuariens, avec une présence très marquée en baie de Vilaine (Pont-Mahé).

L'abondance de la ressource trophique semble bien contrastée selon les sites. Ceux ci peuvent être classés en 3 groupes d'importance décroissante de phytoplancton mesuré : (1) Pont Mahé et d'Agon; (2) Filière et Yves et (3) Boyard et Le Vivier.

Parmi les 5 saisons étudiées entre l'automne 2014 et l'automne 2015, les automnes 2014 et 2015 sont les périodes de l'année où les concentrations algales disponibles sont environ 10 fois plus faibles que durant les autres périodes.

La croissance « printanière » sur les différents sites semble bien « corrélée » à la présence de ressource trophique, à l'exception du site Filière.

MATURATION SEXUELLE ET MORTALITES

Les prélèvements histologiques réalisés dans un but conservatoire ont été exploités à posteriori sur une période précise. La première série d'observations vise à encadrer la phase de mortalité sur des sites contrastés, dans différentes régions. Les sites choisis sont : (i) issus d'un même environnement (pertuis charentais) avec des mortalités contrastées : Filière (51%), Roulières (38%), versus Yves (15%) ; (ii) éloignés et caractérisés par un environnement estuarien : Pont Mahé en baie de Vilaine (18%) ou océanique : Le Vivier en baie du Mont St Michel (9%). La période d'étude débute avant les mortalités enregistrées en 2015 dans le réseau Mytilobs (février) et se termine (selon la disponibilité en échantillons) en juillet (Roulières-ROU, Yves-YVE, Pont Mahé-PMA) ou en juin (Filière-FIL, Le Vivier-LVI). Les objectifs sont de deux ordres : (1) suivre l'évolution de la maturation, (2) mener une recherche en histopathologie. La détermination des stades sexuels est réalisée mensuellement sur une quinzaine de moules.

L'étude de la gamétogenèse devrait permettre de confirmer (ou d'infirmer) l'hypothèse émise en 2014 (Robert et al., 2015) d'un lien possible entre la période des principales mortalités et la maturation.

Une échelle de maturité sexuelle composée de 8 stades sexuels (d'après Lubet, 1959 et Suarez, 2005) (Tableau 2) permet de présenter l'évolution spatiale et temporelle de la maturation des moules selon les sites du réseau (Figure 22). Par soucis de simplification, les stades 0, 1 et 2 de « repos sexuel », ne sont pas présentés (Figure 22).

Les stades de maturation sexuelle avancée (stade 3 A1, A2 et 3B) se rencontrent principalement en février, mars, avril et mai dans les pertuis Breton (Filière et Roulière) et d'Antioche (Yves). En juin le stade de post ponte 3C (40 à 50% de présence) marque la fin de la période de ponte. Durant la période février-mars, la représentation des stades de maturation (stade 3 A1, A2 et B) est plus équilibrée sur les sites de Pont-Mahé et du Vivier. L'équilibre se maintient en avril sur Le Vivier. Cette même situation se retrouve en mai sur le site Filière avec toutefois une faible présence du stade post ponte (3D), annonciateur de la fin de la période de ponte. Pour l'ensemble des sites, et à partir d'une classification simplifiée en deux classes (G1, hors période de ponte et G2, maturation avancée et saison de ponte), la période de maturation avancée ponte apparaît nettement centrée sur la période de 4 mois entre mars et juin 2015 (Figure 23).

Les pics de mortalité des moules sur les sites Filière et Roulières (Figure 13) apparaissent pendant des stades de maturation sexuelle avancée (flèches oranges, Figure 22). L'apparition marquée du premier pic de mortalité sur Filière et sur Roulières, respectivement en avril et mai (Figure 14) est associé à une plus forte représentation des stades 3A1 et 3A2 qui sont les stades de gamétogenèse d'utilisation (intensive) des tissus de réserve, et en particulier du glycogène.

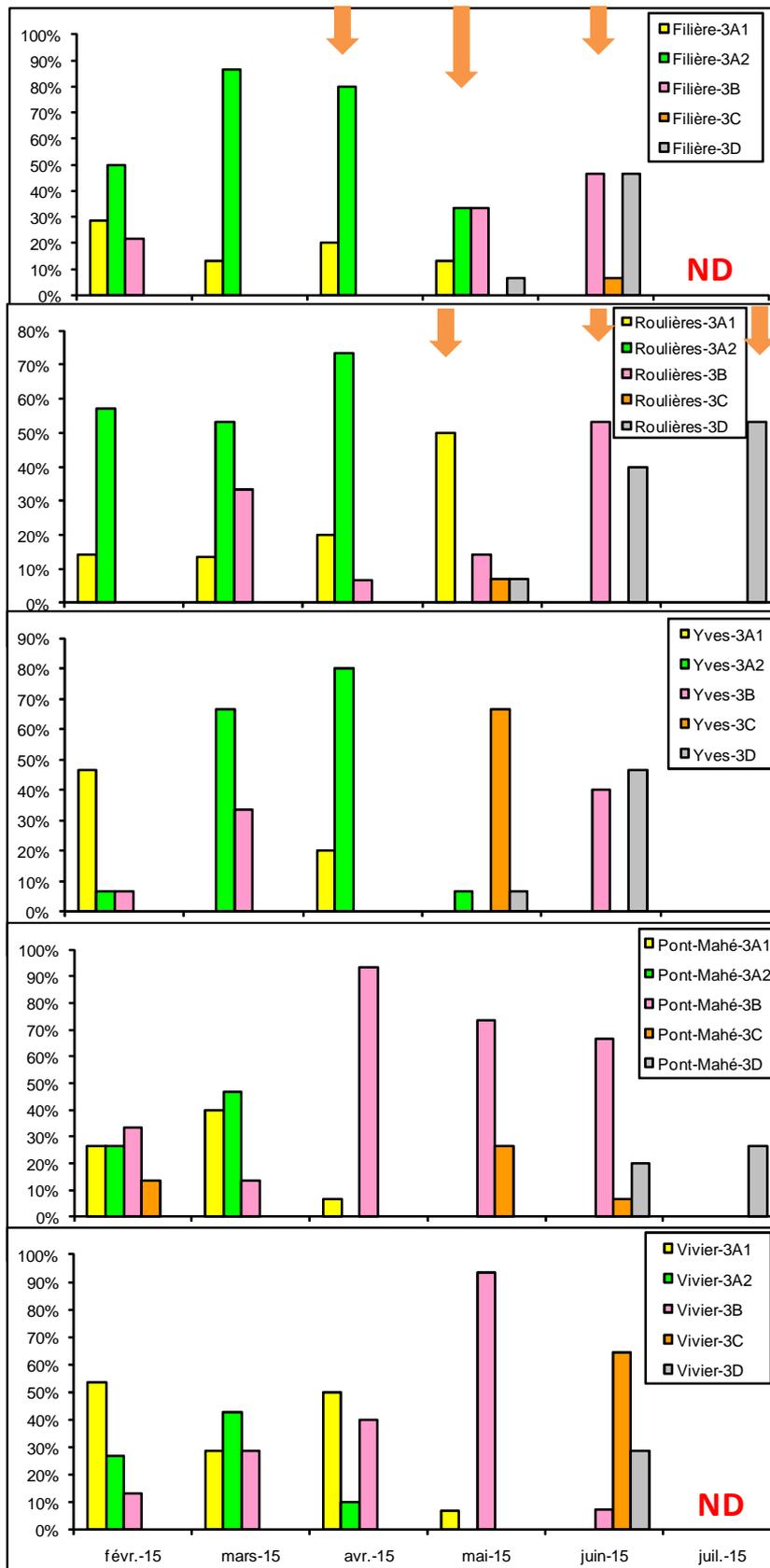


Figure 22. Stades de maturation sexuelle de la mise en place de la gamétogenèse (3A1) à la maturation sexuelle avancée (3B) au stade 3C de post ponte et 3D de reconstitution de réserves.

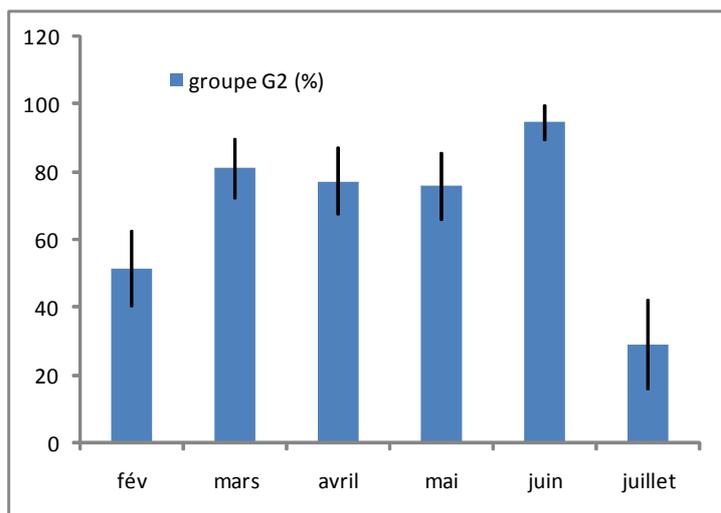


Figure 23. Période de reproduction de la moule, (d'après la classification de Lubet, 1959 et Suarez, 2005); le stade G2 représente la période de maturation avancée et de ponte.

Les stades de maturité sexuelle de la moule, mesurés d'après les échelles de Lubet (1959) et Suarez (2005) montrent que gamétogénèse et ponte ont lieu entre mars et juin 2015. Les profils de maturation, homogènes sur les trois sites des pertuis charentais (Yves, Filière et Roulières) sont sensiblement décalés sur les deux autres sites étudiés (Pont-Mahé et Le Vivier). En période de ponte, la prédominance des stades de gamétogénèse active (3A1, 3A2 utilisation des réserves) dans les pertuis charentais, et celle du stade 3B (gonades en pleine maturité) sur les sites de Pont-Mahé et du Vivier, soulève des questions sur les conditions (ou le déterminisme) de ponte en Baie de Vilaine et en Baie du Mont Saint Michel.

Les premières mortalités 2015 sur les sites Filière et Roulières apparaissent respectivement en avril et mai, période au cours de laquelle les moules sont en gamétogénèse active⁸. Ces premiers résultats obtenus grâce au réseau, montrent que la phase critique d'apparition des mortalités (premier pic) aurait lieu avant la ponte.

SURVEILLANCE PANIFIÉE DE MYTILOBS-2

L'année 2015 a vu la mise en place d'une surveillance planifiée dans le cadre de l'évolution de REPAMO (REseau de Pathologie des MOLLusques). Ce réseau de surveillance de la santé des mollusques marins du littoral français utilise une population de moules déployées sur les 8 sites ateliers du réseau Mytilobs comme animaux sentinelles référents pour la caractérisation des mortalités des environnements régionaux (Contrat DGAL, MYTILOBS-2). Dans ce cadre, le développement des mortalités au cours de l'année 2015 a identifié deux sites. Ces deux sites sont situés dans le pertuis Breton. Il s'agit de Filière (9% de mortalité instantanée, prélevée en avril) et de Roulières (12% de mortalité instantanée, prélevé en mai). Le constat d'une hausse de mortalité mensuelle supérieure à 8% avec des moules moribondes dans les poches a déclenché ces prélèvements pour analyse.

Les analyses diagnostiques ont été réalisées par des laboratoires certifiés. Alors qu'aucun agent réglementé n'a été identifié (Martelia, OsHV1), des bactéries du groupe Splendidus ont été détectées

⁸ Stades de transformation des sucres en lipides de constitution des gamètes

dans les 2 échantillons de moules prélevés et analysés. En complément de la référence établie par le réseau Mytilobs, des prélèvements et des analyses complémentaires, sur les zones non couvertes par le réseau, ont été réalisés en s'appuyant sur les déclarations de mortalités de mollusques par les conchyliculteurs et pêcheurs à pied professionnels auprès des Directions départementales des territoires et de la mer (DDTM). Quinze (15) lots complémentaires ont été prélevés 10 en Vendée, Pays de Loire (dont 6 en baie de Bourgneuf), 4 en Bretagne Nord et 1 en Normandie (Bilan 2015 de la surveillance des mollusques marins, Lupo, 2016). Les analyses réalisées sur ces prélèvements confirment la présence de bactéries vibrionacées du groupe *Splendidus*. La présence associée de *Martelia refringens* est spécifiquement observée en Bretagne (rade de Brest, Trévors) sur des moules d'élevage et en Normandie (Est Cotentin sur un gisement sauvage).

RECHERCHE DE PARASITES

La recherche histopathologique est principalement orientée vers la recherche de *Martelia refringens*. D'autres parasites peuvent être détectés, c'est le cas notamment de *Mytilicola intestinalis*. La période d'étude s'étend de février à juillet pour Roulières, Yves et Pont Mahé. Faute de disponibilité en matériel, elle s'arrête en juin pour Filière et Vivier.

AGENTS PATHOGENES

La recherche de parasites a été réalisée sur les sites : Filière, Yves, Roulières, Le Vivier et Pont Mahé durant 6 mois entre février et juillet 2015. *Martelia* n'a pas été observée dans les 420 échantillons analysés (15 individus par mois d'observation complet). La présence d'autres parasites a été détectée à un niveau faible. Il s'agit de Rickettsie-like observée (Annexe 9, photo 1) en avril (1 individu) sur le site de Yves ; de Ciliophora observés (Annexe 9, photo 2) en mai et en avril sur le site de Yves et de un Paravortex (Annexe 9, photo 3).

MYTILICOLA INTESTINALIS

Mytilicola intestinalis est présent⁹ sur l'ensemble des sites analysés (Figure 25) et dans des proportions variant de 10 à 70% selon les sites ; de 10% à 30% sur les sites Filière, Roulières et Pont-Mahé et de ~ 50%, ~70% sur Yves et Le Vivier (Figure 24). Yves et du Vivier se distinguent par des taux de présence de *Mytilicola intestinalis* supérieurs par rapport aux autres sites (Filière, Roulière et Pont-Mahé). Ces deux sites présentent une évolution semblable de la prévalence du parasite avec une diminution de la prévalence en avril. (Figure 25).

Saisonnalité : La présence du parasite atteint 90% sur les moules analysées sur Yves en mars et juillet, et 70% sur Le Vivier en mars et juin. L'absence de détection sur Yves en avril est « surprenante ». Les niveaux de prévalence sont inférieurs à 33% sur les trois autres sites étudiés (Roulière, Pont Mahé, Filière).

⁹ La méthodologie mise en œuvre permet de révéler la présence (prévalence) du parasite dans la moule, mais non de le quantifier.

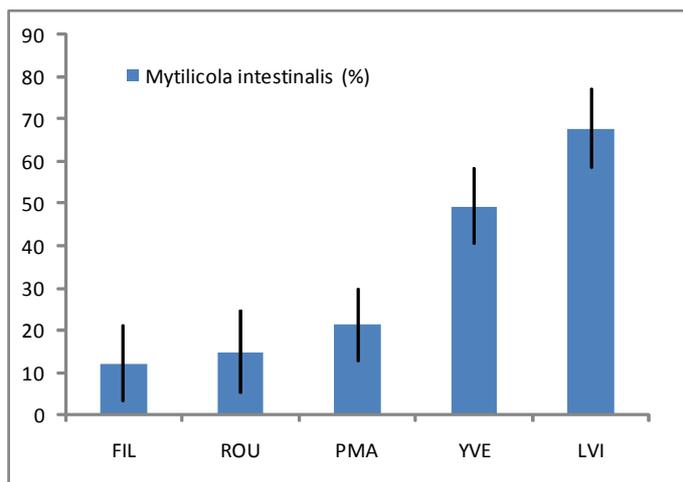


Figure 24. Représentation de *Mytilicola intestinalis* sur les différents sites du réseau Mytilobs.

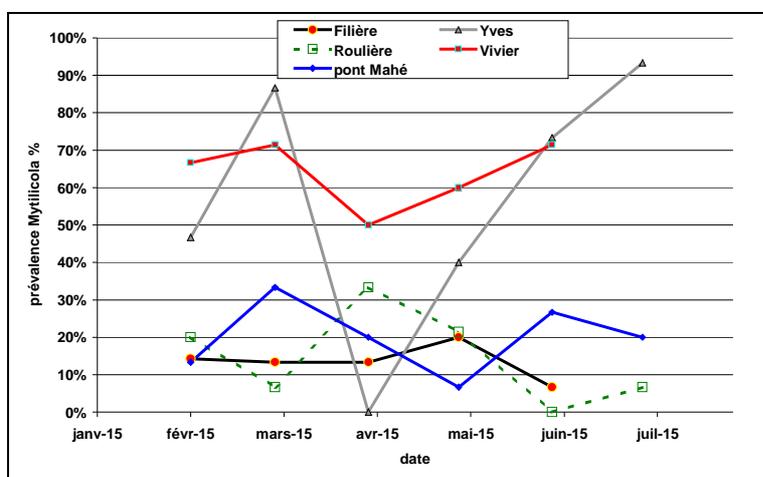


Figure 25: Présence de *Mytilicola intestinalis* sur les sites Mytilobs de Filière, Roulières, Yves, Pont Mahé et Le Vivier entre février et juillet 2015.

Globalement, une seule différence significative apparaît entre mars et avril 2015 (Figure 26). La présence des parasites dans les populations de moules n'est pas différentes par ailleurs entre les autres périodes d'analyse.

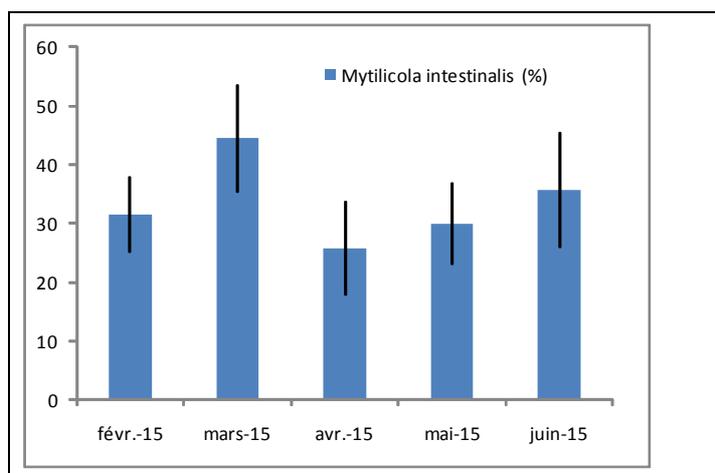


Figure 26. Représentation de *Mytilicola intestinalis* entre février et juin 2015.

En 2015, au cours des analyses d'histopathologie, *Marteilia refringens* n'est pas identifié dans les analyses. Le copépode parasite *Mytilicola intestinalis* a une forte présence (50-70%) sur les sites d'Yves et du Vivier et est peu retrouvé (10-20%) sur les autres sites de l'étude.

GRANULOMES INFLAMMATOIRES

Les granulomes inflammatoires sont des amas localisés d'hémocytes avec parfois une partie centrale plus ou moins nécrosés (Figure 27). Les granulomes inflammatoires sont relativement fréquents chez la moule *Mytilus edulis* lors de recherches associées à des mortalités, notamment dans le cadre de REPAMO (Garcia C., Chollet B., com. pers). Ces formations granuleuses sont souvent observées au niveau de la masse viscérale mais peuvent être localisées dans les différentes parties de l'animal. Les granulomes révèlent une réaction inflammatoire chronique provoquée par des agents infectieux (bactéries, virus, parasites) ou non infectieux (particules allergènes, substance toxique). Cette étude pris en charge par le réseau Mytilobs, dans le cadre de la problématique des mortalités de moules constituerait la première étude spatiale et saisonnière de présence de granulomes dans des moules d'élevage.

La recherche de granulomes inflammatoires fait partie des observations réalisées en histopathologie. Les analyses ont été réalisées sur 5 sites du réseau Mytilobs : Filière (FIL) ; Roulière (ROU), Yves (YVE) ; Le Vivier (LVI) et Pont Mahé (PMA). Les prélèvements sont mensuels entre février et juillet selon la disponibilité en échantillon. Les sites Filière et Le Vivier n'ont pas été échantillonnés en juillet.

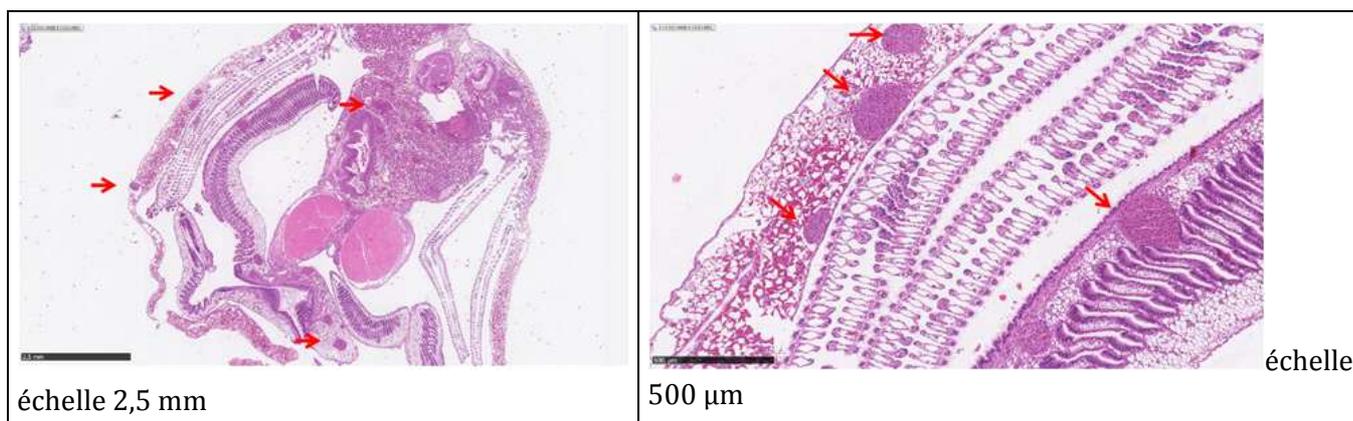


Figure 27. Granulomes inflammatoires dans la masse viscérale, les palpes labiaux et le manteau. Coupe histologique de moules (Yves, juillet 2015). Photos Histalim, C. Haond.

Les granulomes ne sont pas observés en février mars sur tous les sites étudiés à l'exception du Vivier (Figure 28). Par la suite le niveau de prévalence mensuelle de granulome ((Figure 28) sur les sites ayant subi une mortalité importante fin juillet Filière (38%), Roulières (33%) est supérieur en avril, mai, juin, juillet, au niveau enregistré sur Yves (10%), dans les pertuis charentais. Cette différence de présence plus importante de granulomes, ne s'identifie significativement que dans les moules du site Filière par rapport aux bouchots d'Yve. Les 3 autres sites (LVI, ROU et PMA) présentent une situation « intermédiaire » (Figure 29)

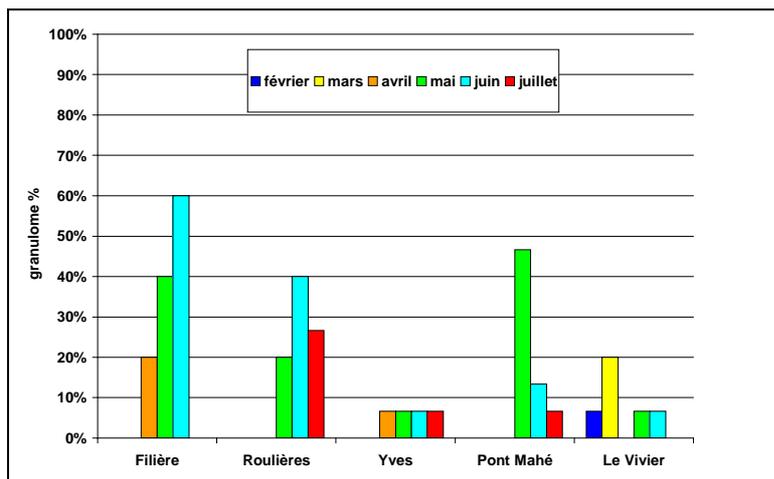


Figure 28 Evolution saisonnière de la présence de granulomes dans les moules sur les différents sites du réseau Mytilobs.

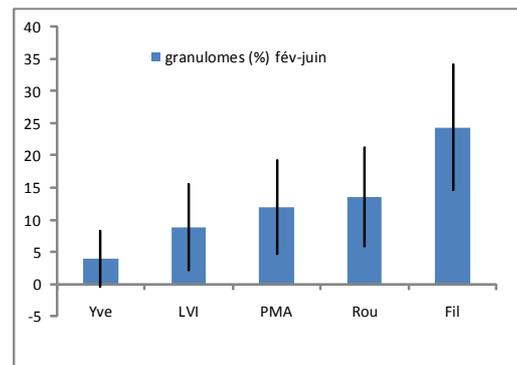


Figure 29. Présence de granulomes dans les moules sur différents sites d'élevage.

D'un point de vue saisonnier, la présence de granulomes est significativement plus forte en mai-juin par rapport aux mois de février, mars et avril (Figure 30). Toutefois, cette saisonnalité n'apparaît pas sur tous les sites. Elle est surtout évidente pour le site Filière et Roulière et Pont-Mahé (Figure 30).

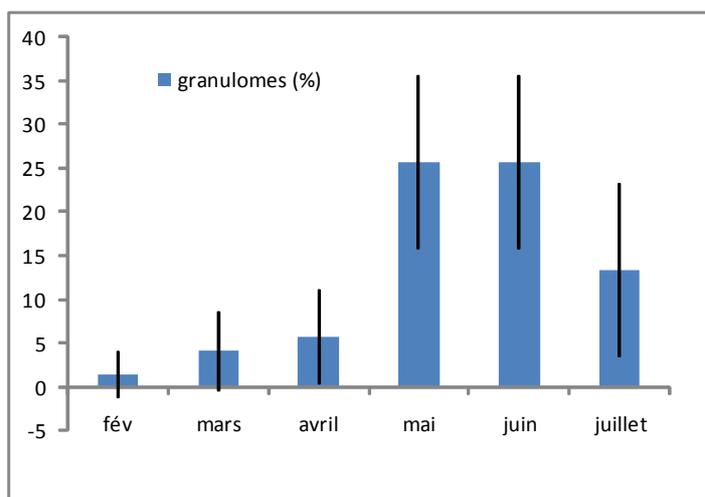


Figure 30. Présence de granulomes dans les moules entre février et juillet.

Une analyse statistique prenant en compte l'ensemble des sites pour les différents mois de l'étude montre que la présence de granulomes est significativement plus élevée (test de Kruskal Wallis ; $t = 5,79$ et $p = 0,016$) pour les moules dont la mortalité instantanée (site-mois) est supérieure à 2% que pour celles pour lesquelles la mortalité instantanée est inférieure à 2% (Figure 31). Pour la première classe de mortalité instantanée inférieure à 2%, la médiane est à 0% de granulomes et la valeur maximale à 14% ; pour la deuxième classe, la médiane est à 21,1% de granulomes avec une valeur maximale de 60% de granulomes (Figure 31).

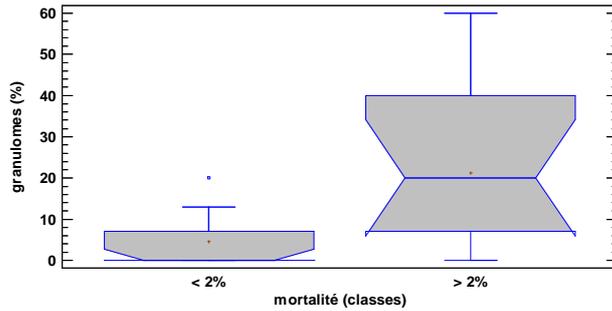


Figure 31. Présence de granulomes dans les moules selon deux classes de mortalité « instantanée » : inférieure (< 2%) et supérieure à 2% (> 2%).

Entre février et juillet 2015, la présence de granulomes est significativement plus élevée (16 à 35%) en mai et en juin par rapport aux autres mois de l'étude (moins de 10%)

La présence de granulomes est significativement plus élevée sur le site des filières (15 à 35%) que sur le site des bouchots d'Yves (moins de 8%). Les autres sites occupent une place intermédiaire en termes de prévalence.

La présence de granulome est significativement plus élevée (seuil de 5%) pour les moules dont la mortalité instantanée (site-mois) est supérieure à 2% que pour celles pour lesquelles la mortalité instantanée est inférieure à 2%.

DISCUSSION

DISCUSSION AUTOUR DES MORTALITES « EXCEPTIONNELLES » DE MOULES EN 2014 ET 2015

Dans le monde animal, et chez les mollusques marins en particulier, d'après le concept de Snieszko (1974), la mortalité résulte d'une interaction (souvent complexe) entre l'animal (moule), l'environnement et l'organisme pathogène. Dans le cas des mortalités « exceptionnelles » de moules rencontrées à partir de l'hiver 2014, dans plusieurs régions de France, les chercheurs sont sur la piste de bactérie(s) pathogène(s) du groupe *Splendidus* impliquées dans le phénomène (Travers et al., 2014 ; Bechemin et al., 2014). Le réseau Mytilobs, en place depuis 2012 (Robert et Bédier, 2013), grâce à son emprise géographique des côtes du Cotentin au pertuis d'Antioche permet de comparer l'environnement physico-chimique (température et salinité) des élevages dans plusieurs régions mytilicoles françaises selon deux modes de pratiques culturales (bouchots et filières) (*ce qui diversifie encore les conditions de vie des moules du réseau d'observation*). Le réseau permet par ailleurs l'étude des traits de vie de la moule (croissance, indices de qualité, mortalité), apportant ainsi de nombreuses informations sur l'état « physiologique » des moules. En 2015, le réseau Mytilobs apporte son soutien à la mytiliculture et à la recherche sur les mortalités de moules selon deux modalités : (1) en intensifiant son échantillonnage sur les traits de vie de la moule (plus de sites étudiés et à plus forte fréquence) et (2) en épaulant la recherche sur les mortalités (projet Mobleu) via des actions spécifiques (étude de la maturation sexuelle, recherche d'agents pathogènes, indicateurs physiologiques, ...). Ce sont les résultats des actions « institutionnelles » et de « soutien » du réseau Mytilobs qui sont discutés ci-dessous.

De quelle mortalité s'agit-il ?

L'apparition, en 2014, de mortalités « massives » dans le pertuis Breton (60 à 100%) suivi quelques semaines plus tard de mortalités de « moindre importance » (20 à 50%) dans le pertuis d'Antioche, a conduit à s'interroger sur le caractère « exceptionnel » ou « normal » 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. Ce référentiel propose un classement en mortalité : « habituelles », « inhabituelles » et « exceptionnelles » (taux de mortalité à l'issue d'un cycle d'élevage).



Selon ce classement, les mortalités en 2014 sur Aiguillon (100%), Filière (100%), Yves (68%) et Agon (42%) ainsi que celle de 2015 sur Filière (51%) et Roulières (38%) sont classées « exceptionnelles ». En 2015, les mortalités de moules à Boyard et Aiguillon, de respectivement 24 et 22%, sont classées comme inhabituelles. Exception faite de d'Agon dont la mortalité double du fait de la prédation par les bigorneaux perceur, la mortalité a bien diminuée entre 2014 et 2015 sur les sites atteints par l'épidémie. Les mortalités de 2008 et 2009 sur les sites de Roulières demandent à être expliquées (Figure 32). Sur 81 résultats de mortalité de fin de cycles d'élevage, seules 9 valeurs sont classées « exceptionnelles » (Figure 32).

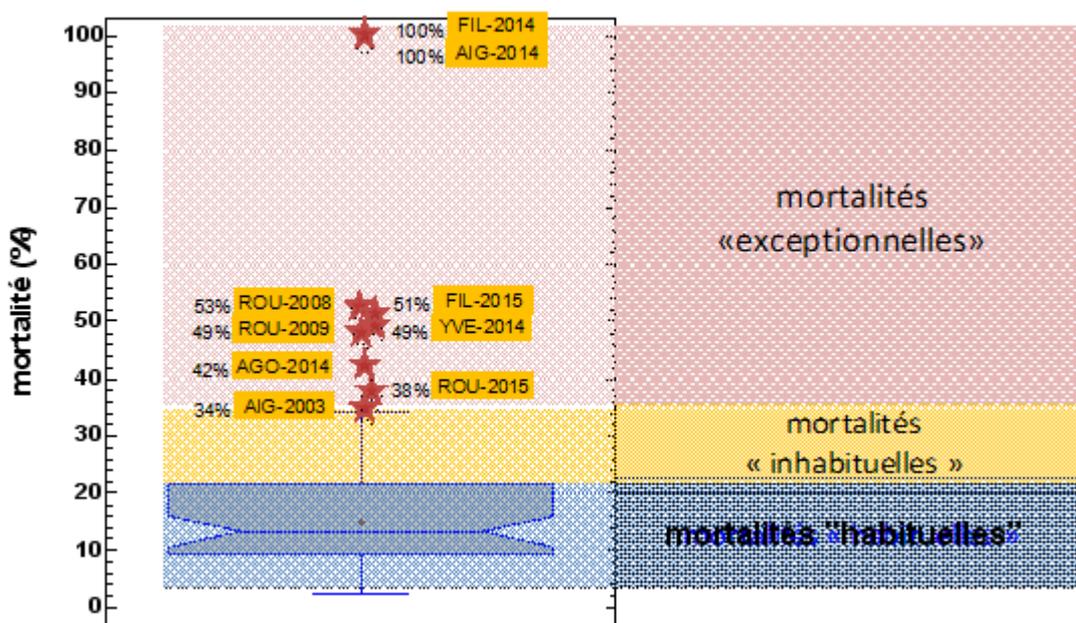


Figure 32. Mortalités 2014 et 2015 dans le Référentiel du réseau Remoula (avec les mortalités exceptionnelles de la période 2000-2010).

Anomalie de croissance sur le site Filière en 2015

En 2015, deux contreperformances de croissance sont notées au printemps et en automne sur le site Filière. Ce manque de croissance printanière, en longueur de coquille, entre mars et juin est inhabituel (- 50% par rapport à la moyenne de la série historique Remoula 200-2010). Le caractère exceptionnel de cette observation est renforcé par les bonnes performances obtenues sur les autres sites régionaux sur lesquels les moules ont une croissance comprise entre 3,42 mm et 8,19 mm, sur bouchots. Ce résultat est d'autant plus surprenant que les moules sur filières, en immersion permanente, bénéficient d'un accès à la ressource alimentaire plus importante qui favorise la croissance (Garen et al., 2004 ; Robert et al., 2007). Le faible gain de croissance sur Filière ne peut donc être expliqué par des conditions hydroclimatiques défavorables (qui concerneraient toute la région). Cette faible croissance traduit en fait la faible qualité sanitaire d'une population de moules affectée par une épidémie « vibrio-dépendante » durant le printemps 2015, entraînant la perte de 51% de la population. Comme en 2014, les filières (immersion permanente) semblent plus sensibles à l'impact de l'épidémie que les bouchots. Comme en 2014, le site Filière, au Nord - Ouest du pertuis Breton est le site mytilicole régional le plus touché par les mortalités dans les pertuis charentais.

Mortalité et reproduction ?

Sur la façade atlantique, une étude de référence sur la reproduction de la moule bleue *Mytilus edulis*, sur estran et en immersion complète a été réalisée entre 1955 et 1958 dans le bassin d'Arcachon (Lubet 1959). Dans les pertuis charentais, des études sur la maturation sexuelle concernent les moules de bouchots (Bormothanarat 1986 ; Randriananja 2006 ; Picoron 2007) et les moules de filières (Randriananja 2006 ; Picoron 2007). Le Tableau 7 présente la chronologie des études sur la reproduction de *Mytilus edulis*, (Arcachon et Pertuis Charentais) : en 1955-58 (Lubet 1959), en 1983-84 (Boromthanarat 1986), en 2003-2005 (Randriananja 2006, Picoron 2007, Robert et al., 2007) et en 2006-2015 (les campagnes annuelles de pêches de larves du CREA¹⁰).

¹⁰ Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole

Tableau 8. 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	bouchots	1983	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			1984	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Picoron (2007)	Aiguillon	bouchots	2003	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Randriananja (2006)			2004	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2005			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Picoron (2007)	Filières W	filières	2003	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Randriananja (2006)			2004	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2005			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Entre 2014 et 2015, les pêches de larves présentent des profils très différents et révèlent ainsi des schémas reproductifs contrastés entre ces deux années (Figure 33). 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 (Figure 33, bas). 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).

Les **pêches de larves** de moules sont réalisées depuis 2006 par le CREAA¹¹, 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). Elles permettent d'évaluer les périodes de pontes (par identification de larves « petites » âgées de 1 à 4-5 jours). Le suivi du captage sur cordes a lieu aux Saumonards (au nord de Boyard) (Geay et Mille, 2007). Les pêches de larves réalisées seulement entre mars et juillet ne permettent pas de repérer les pontes hivernales de moules alors que la saison de reproduction couvre une période de janvier à juin (Robert et al., 2007). Toutefois, certaines années (2007 ou 2013 et 2014) la présence de larves « grosses » dès début mars mettent en évidence des pontes hivernales (février).

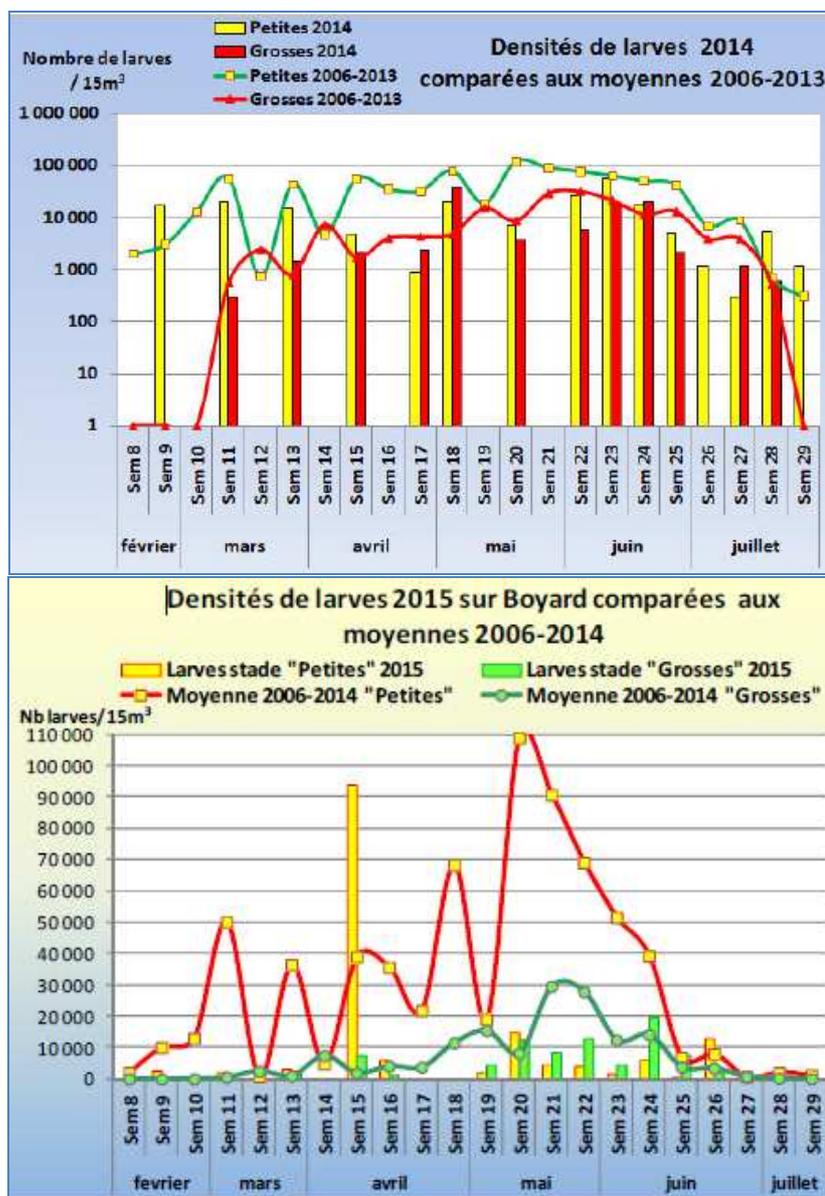


Figure 33. Abondance de larves dans les pertuis charentais en 2014 (haut) et 2015 (bas) (CREAA, 2014 et 2015).

¹¹ 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).

Si, comme le montre ces résultats sur la relation mortalité-maturation, les mortalités de moules en 2014 ont eu lieu durant la période de maturation avancée, on peut se demander quel a été le scénario reproductif en 2014. En effet, soit le captage pléthorique de 2014 s'est réalisé avec des pontes précoces antérieures au mois de mars (60 à 100% des moules sont mortes en mars dans le pertuis Breton), soit le captage provient de larves émises à partir des moules du pertuis d'Antioche où la mortalité a eu lieu plus tardivement (mai 2014) et avec une intensité moindre (17% à 47%) (Bechemin et al., 2014 ; Robert et al., 2015). L'hypothèse d'un transfert hydrodynamique de larves du pertuis d'Antioche vers le pertuis Breton est tout à fait plausible (Bernard 2011 ; Polsenaere et al., 2015). Des conditions trophiques favorables pour le naissain capté, du fait d'une biomasse en moule bien réduite sur les sites mytilicoles, a pu contribuer au captage conséquent de l'année 2014.

Recherche d'organismes pathogènes

Pour la recherche d'éventuels organismes pathogènes connus, le projet Mytilobs a fait analyser plusieurs séries chronologiques de prélèvements de moules sur plusieurs sites du réseau. La recherche des agents pathogènes en histopathologie a permis de constater l'absence du *Marteilia refringens* (parasite à déclaration obligatoire) dans les échantillons de moules entre février et juillet 2015. Ce constat est d'importance, en particulier pour le site du Vivier, situé en Bretagne Nord dans l'aire d'expression géographique de ce parasite (Ifremer, REPAMO, Garcia et al., 2016). Aucune mortalité n'est constatée sur ce site alors que des mortalités sont signalées à Ravenonville (Est Cotentin), en Bretagne Nord, et en Manche (Garcia et al., 2016). La présence de bactéries du groupe *Splendidus* est toujours associée à celle du parasite *Marteilia refringens* sur ces sites (dans 75% des cas). 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). Les résultats de cette étude Mytilobs 2015 confirme ces résultats.

En 2015, deux prélèvements caractérisent l'apparition de mortalités soudaines et permettent de disposer d'animaux moribonds en quantité suffisante pour réaliser des analyses bactériennes, virales et histologiques. Ces deux sites sont situés dans le pertuis Breton. Il s'agit du site Filière, prélevé en avril et du site Roulières, prélevé en mai. Sur ces deux sites, aucun parasite à déclaration obligatoire n'a été diagnostiqué. Les analyses bactériennes ont mis en évidence la présence de bactérie vibrionacée appartenant au Groupe *Splendidus*.

Présence de granulomes au sein des populations de moules

Avec la recherche de parasites, les coupes histologiques de moules révèlent la présence de granulomes dans des proportions variables, selon les sites et les saisons, dans les tissus des individus analysés. Chez les bivalves, la présence de granulome inflammatoire est un symptôme qui peut avoir des causes différentes. Auffret (1988) identifie la présence de granulomes sur *M. edulis*, en lien avec une pollution chronique. Morton (1974) l'associe à une infection bactérienne sur *Dreissena polymorpha*, moule zébrée envahissante et Comps (1999) le décrit dans une infection de type viral sur *Pinctada Margaritifera* huître perlière du pacifique. La lutte contre les infestations parasitaires (protiste) est également citée chez *Mercenaria mercenaria* (palourde américaine) (Smolowitz 1998). L'étude des granulomes dans Mytilobs 2015 est une première approche pour tenter de préciser le lien entre les mortalités d'origine bactérienne (caractérisées dans Mytilobs-2) et la prévalence de granulomes inflammatoires dans des séries de prélèvements de moules traités en histopathologie et provenant des sites Mytilobs.

L'évolution des numérations de granulomes est présentée avec la cinétique des mortalités mensuelles sur des sites géographiques du réseau (Figure 34). Dans le pertuis Breton les deux sites impactés par les mortalités Filière et Roulières évoluent de la même façon et la présence de

granulomes (>20%) est concordante avec l'expression de mortalités marquées (>5%) et continues sur trois mois. Dans l'environnement proche du pertuis d'Antioche, le site d'Yves où les mortalités sont faibles (<5%) est souligné par un faible niveau de granulomes (< 10%). Globalement, dans le cadre de cette étude, la présence de granulomes dans les populations de moules est dépendante de l'intensité des mortalités. Ainsi une différence significative existe entre les populations à moins de 2% de mortalité mensuelle et celles à plus de 2% qui présentent plus de granulomes. Toutefois, la présence de granulomes en mai sur les moules de la baie de Vilaine ou en mars sur le site du Vivier montre bien que cette réponse inflammatoire n'est pas spécifique au processus infectieux impliqué dans les mortalités de moules en 2014 et 2015.

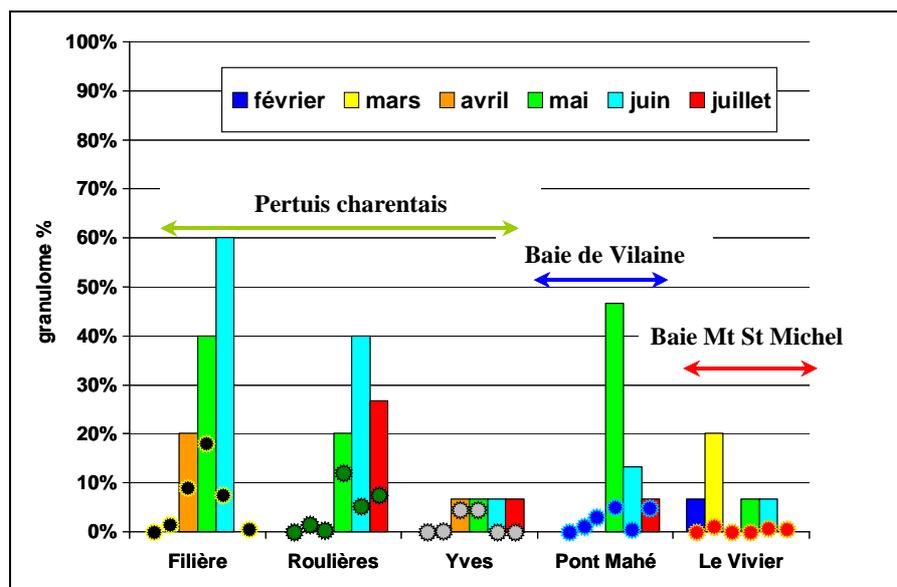


Figure 34. Evolution des numérations de granulomes entre février et juillet (barres d'histogrammes) (%) en lien avec la mortalité mensuelle (cercles de couleur) sur cinq sites Mytilob.

Les mortalités de moules, environnement et pratiques culturelles

Lors de l'apparition des mortalités « exceptionnelles » de moules en 2014, une première expertise a révélé que des conditions environnementales très particulières de dessalure (apports considérables d'eau douce par les fleuves) mais surtout de turbidités, concernaient bien toute la façade atlantique (Gohin et al., 2015). Cette caractérisation environnementale de grande emprise géographique n'est donc pas suffisante pour expliquer l'apparition de mortalités massives de moules en 2014 dans le nord-ouest du pertuis Breton. D'autres causes (non identifiées) ont dû interagir pour provoquer cette émergence (ou réémergence ?) d'un organisme pathogène virulent (groupe *Splendidus*-Travers et al., 2015), au sein d'une certaine population de moules, et en un lieu donné.

Les mortalités exceptionnelles de 2014 et 2015 semblent s'être déroulées dans une large gamme de salinité et de température. En effet, alors que toute la façade atlantique française est marquée par de fortes dessalures en hiver 2014, ce n'est plus du tout le cas en hiver 2015 lorsque des mortalités massives touchent la baie de Bourgneuf et Noirmoutier. Entre 2014 et 2015, les premiers pics de mortalités surviennent en hiver à des températures comprises entre 10 et 13,5°C. Les pics de mortalités suivants, sur les sites de Roulières et Filière, surviennent à des températures bien plus élevées, comprises entre 13 et 21°C.

L'analyse des mortalités issues de la série historique des élevages dans les pertuis charentais (Remoula, 2000-2010 ; Robert et al., 2002, 2007) montre que l'effet « année » prévaut devant l'effet « site ». Ce résultat tend à montrer l'impact de l'environnement hydroclimatique sur les traits de vie des moules. Cet effet est prépondérant devant la variabilité environnementale des sites mytilicoles, pourtant contrastés en termes d'influence estuarienne, mais qui restent connectés sur le plan hydrodynamique (Bernard, 2011 ; Polsenaere et al., 2015). En élargissant la fenêtre d'observation à la façade atlantique, durant la période 2008-2011, Rodriguez (2013) montre qu'un déficit trophique, en lien avec la faiblesse des apports des fleuves en 2010-2011, est bien responsable des baisses de production significatives sur de nombreux sites mytilicoles. Au-delà de ces tendances, des effets liés aux sites apparaissent alors sur la moule (Rodriguez, 2013 ; Robert et al., 2015) mais également sur l'huître (Soletchnik et al. 2007).

En 2014 et 2015, les sites Filière (élevage sur filières) et Roulières (bouchots) tous deux situés au nord-ouest du pertuis d'Antioche et de forte influence océanique sont bien les deux sites des pertuis charentais les plus touchés par des mortalités « exceptionnelles » de moules. Quelles sont les causes de cette plus grande sensibilité des élevages de moules sur ce site géographique ? Existe-il des causes environnementales spécifiques ? Même si l'intensité des mortalités est plus réduite en 2015 (38% sur Roulières et 51% sur Filière), par rapport à 2014 (100 % de mortalités sur Filière), il semble que la mortalité soit plus élevée sur les élevages sur filières (immersion permanente) par rapport aux élevages sur bouchots (immersion réduite à 2/3, 3/4 du temps selon les coefficients de marée). Cette plus grande sensibilité aux maladies (épidémies) des mollusques en immersion permanente a par ailleurs été mise en évidence dans d'autres études telle la maladie virale à OshV-1 des jeunes huîtres depuis 2008 (Soletchnik et al., 2011). Cette virulence, accentuée par l'immersion permanente (la densité et le confinement) est apparue également lors des mortalités de moules sur les gisements profonds et important de la baie de Bourgneuf. Cette singularité de l'élevage a déjà été pointée du doigt en 2014 comme un facteur probable aggravant les conséquences de l'épidémie lorsqu'elle se déclare au sein d'une population de moules (Bechemin et al., 2014 ; Robert et al., 2015).

A l'échelle nationale, les événements les plus marquants de l'année 2015 sont bien les mortalités exceptionnelles rencontrées dans le nord de la Vendée (secteur Noirmoutier et baie de Bourgneuf). A partir de janvier 2015, pendant l'hiver, les mortalités de moules des gisements et élevages sur bouchots de la baie de Bourgneuf, ont atteint en intensité la violence de l'épidémie rencontrée en mars 2014 dans le pertuis Breton à partir du secteur Filière. Là encore, la densité des gisements et l'immersion permanente ont dû favoriser le déclenchement de l'épidémie. Une estimation réalisée en 1987 (Baud, 1989) identifie à 26 000 tonnes (+/- 12 000) les stocks de moules dans cette baie. L'expertise 2014 a montré que le groupe *Splendidus* (vibrio) est 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 en conditions météorologiques réelles et l'extension spatio-temporelle des mortalités dans le pertuis Breton (Bechemin et al., 2014), puis dans le pertuis d'Antioche et vers le nord-Vendée (côte de Noirmoutier et Bourgneuf) au cours de l'année 2014 (Le Moine, étude en cours ; rapport Morbleu 2015) (Figure 35). Par contre, au cours de l'année 2015, l'apparition des mortalités de moules dans un certain nombre de sites : Aber Benoît, Ile du Trevors, (Finistère Nord), Lannion (Côte d'Armor), Chausey (ouest-Cotentin), etc., relèverait de transferts de cheptels en lien avec les pratiques culturelles (Figure 36).

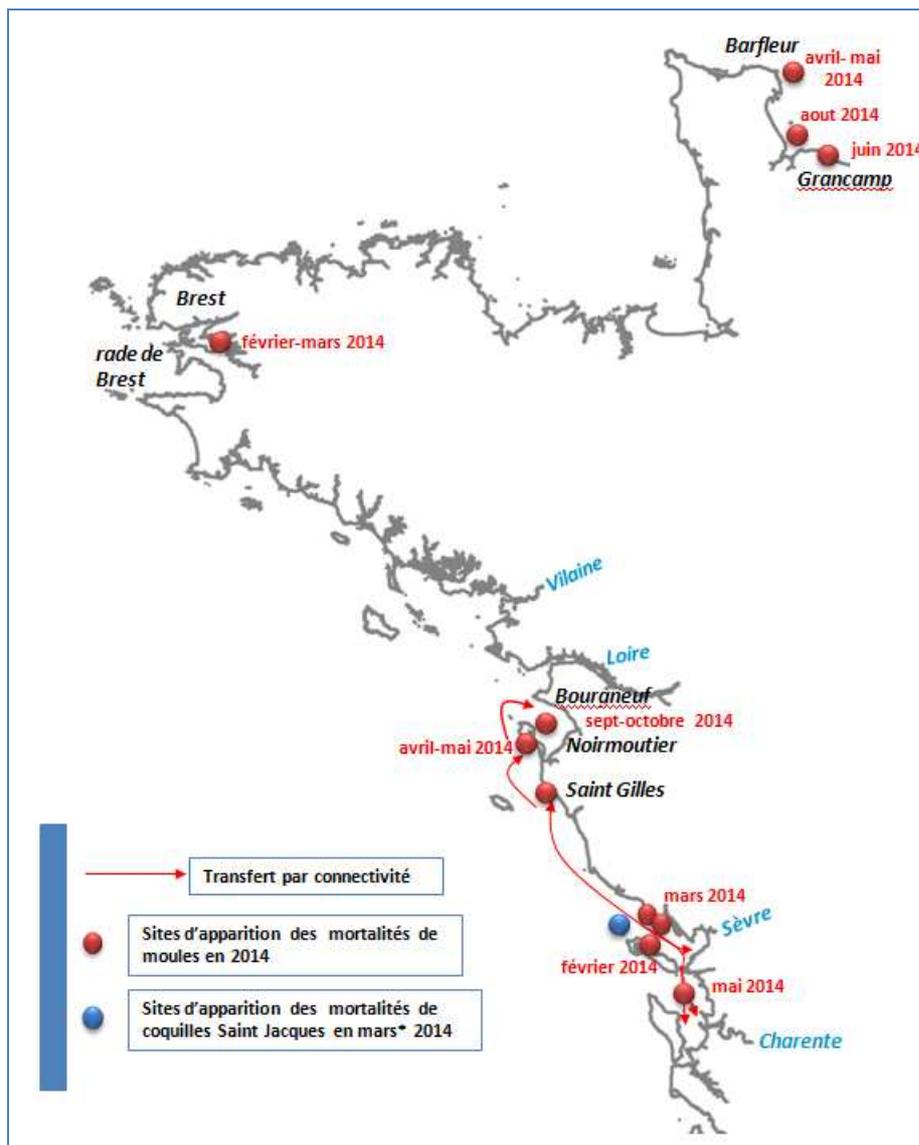


Figure 35. Apparition des mortalités « anormales » de moules en 2014.

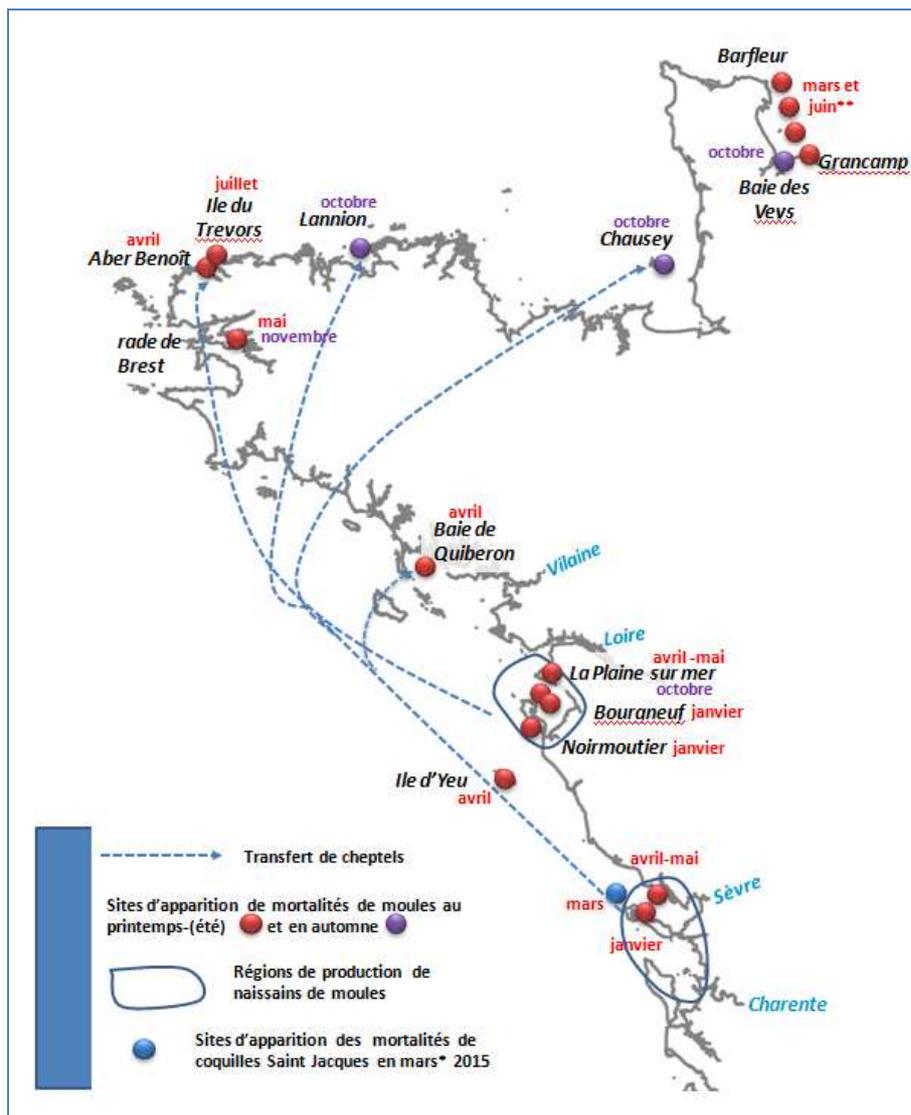


Figure 36. Apparition des mortalités « anormales » de moules en 2015.

La mytiliculture de la moule bleue en France est globalement divisée en deux systèmes de production ; les zones de captage et de production situées au Sud de La baie de Vilaine (Pertuis charentais, Baie de Bourgneuf – Sud Loire et Baie de Vilaine) et les sites de production qui nécessitent un approvisionnement de moules pour renouveler les stocks en élevage, situés au Nord de cet axe (Bretagne Nord, Normandie...). La plus grande partie des approvisionnements nécessaires au fonctionnement des zones de productions Nord proviennent des naissains de captage. Il existe également des transferts de « demi-moules¹² » et l'exploitation de gisements de moules (en zone subtidale) pour un parcage en poche (le plus souvent). Le premier groupe (captage –production) a tendance à s'auto alimenter et les transferts de cheptels sont limités à un environnement de proximité. Le deuxième groupe a absolument besoin de transferts de jeunes moules (naissain ou « demi moule ») pour exister. En 2014, les mortalités importantes enregistrées dans les pertuis charentais n'ont pas eu de conséquence sur le captage, pléthorique dans cette zone. Les transferts de cordes de naissain vers la zone Nord ont eu lieu. En 2014, il n'y a pas eu de déclarations de mortalité de naissains dans toutes les zones où il a été transféré. Dans la zone des pertuis charentais non plus,

¹² Intermédiaire entre le naissain et la moule commercialisable

aucune mortalité de naissain n'a été observée durant cette même période. En 2015 les mortalités sont apparues en premier en janvier en baie de Bourgneuf (constat REPAMO2) sur un gisement naturel (25%). Un transfert dans l'Aber Benoît, de 57 tonnes de moules contaminées, provenant de la baie de Bourgneuf, a présenté une mortalité de l'ordre de 50% et a été détruit. En 2015 des mortalités d'élevage sont apparues de manières importantes en Pays de Loire principalement en baie de Bourgneuf et sud Loire sous la forme de deux vagues une printanières sur des animaux âgés de 1 à 2 ans essentiellement en mars-avril puis en octobre-novembre sur des juvéniles. Des mortalités significatives, mais moins importantes que celles enregistrées en avril-mai dans les pertuis charentais sont apparues sur des moules adultes de un an, et plus tardivement, en novembre-décembre, sur des moules de captage de l'année 2015. Ce constat de mortalité automnale sur du captage de l'année est nouveau. Il marque une évolution importante du phénomène de mortalités. Les transferts de naissains vers la zone nord ont eu lieu en 2015 (afin d'assurer la production 2016). Les cordes de coco proviennent à la fois de zones de captage qui ont subi des mortalités marquées en 2015 (baie de Bourgneuf, La Plaine sur Mer et Pertuis Breton) et de zones sans mortalités « exceptionnelles » (baie de Vilaine, baie d'Yves, Saumonard). Quelques sites seulement ont déclaré une mortalité suite à ces transferts vers la Bretagne Nord et la Normandie à la fin décembre 2015 (un site sur filières à Lannion et un site sur bouchots en rade de Brest). Les autres transferts de moules avec mortalités observées, sont des transferts de moules pré-grossies (demi moules) de pêches (gisement naturel) ou d'élevage (dédoublément de pelisses de bouchots ou de filières). Il s'agit des moules de l'Aber Benoît, du Trévors et de la rade de Brest (incertain). Sur ces trois lieux (Brest, Aber Benoît Lannion,) des bactéries du groupe Splendidus ont été isolées et dans le même temps la présence de *Marteilia refringens* identifiée. (Lupo, 2016 ; Garcia, 2016).

CONCLUSIONS

CONCLUSION

Le réseau national Mytilobs implanté dans les principales régions mytilicoles du littoral atlantique a été mis à l'eau en septembre 2014. Les cinq régions et 6 sites suivis en 2014 ont été renforcés de 2 sites complémentaires : Roulières (pertuis Breton) et Boyard (pertuis d'Antioche), suite aux mortalités massives des pertuis charentais enregistrées en 2014. Les prélèvements trimestriels de la campagne 2015 (septembre 2014 - décembre 2015) ont été renforcés par un suivi mensuel entre octobre et juillet. Ce renforcement a également opéré dans la collaboration établie avec le projet Morbleu où des prélèvements à priori ont été réalisés pour analyses histologiques (1300) et une cryoconservation réalisée sur 1200 moules vivantes.

La campagne Mytilobs 2015 est marquée par la forte croissance en longueur des moules durant l'automne 2014, comparativement à l'automne 2013. Par contre, la croissance des moules sur Filière sont exceptionnellement faibles au cours des printemps et automne 2015 avec respectivement -60% et -53% (en référence à la moyenne du réseau REMOULA 2000-2010). Ces faibles performances sur Filière peuvent être reliées aux deux pics de mortalité des printemps et automne 2015 sur ce site. L'évolution du poids sec aux travers l'indice de (Walne et Mann) révèlent de fortes pontes sur le site Filière en juin 2015 ainsi que sur d'autres sites du réseau (Pont Mahé, le Vivier). Les indices de qualité *professionnel* (Laurence et Scott) requis pour la commercialisation des moules sont atteints pour juin (STG) dans les principales régions de France suivi par Mytilobs et en juillet sur le Vivier (Label Rouge baie du Mont Saint Michel). Seul le Label Rouge « moules de filières » n'est pas atteint dans le pertuis Breton en 2015.

En 2015, les apports des fleuves n'ont pas le caractère exceptionnel de l'hiver 2014 mais la salinité révèle une typologie propre aux sites, euryhalin (baie de Vilaine et pertuis charentais) et océanique (ouest Cotentin et baie du Mont Saint Michel). Lors des mortalités « exceptionnelles » ou « inhabituelles » de 2014 et 2015, les conditions environnementales de températures étaient comprises entre 10 et 21°C et la salinité entre 26 et 35 (selon les sites et les années). Si température et salinité ne semblent pas être des paramètres de première importance dans le processus conduisant aux mortalités de moules, les mortalités de 2014 et 2015 ne sont pas apparues à une température inférieure à 10°C.

Comme au cours de la campagne Mytilobs 2014, deux familles d'algues phytoplanctoniques : les Diatomophyceae (actuels Bacillariophyceae) et les Dinophyceae représentent près de 99% de l'effectif dénombré (respectivement 85,6% et 13,3%). Au cours de l'été, la présence plus importante des Dinophyceae se confirme en 2015 notamment sur l'ensemble des sites estuariens avec une présence très marquée en baie de Vilaine (Pont-Mahé). L'abondance de la ressource trophique permet de classer les sites en 3 groupes d'importance décroissante de phytoplancton mesuré : (1) Pont Mahé et Agon; (2) Filière et Yves (3) Boyard et Le Vivier. Parmi les 5 saisons étudiées entre l'automne 2014 et l'automne 2015, les automnes 2014 et 2015 sont les périodes de l'année où les concentrations algales disponibles sont environ 10 fois plus faibles que durant les autres périodes.

Le projet Mytilobs a pris en charge, en 2015 l'analyse des données de mortalités du réseau « historique » régional des pertuis charentais (REMOULA, 2000-2010) pour définir un premier référentiel sur les mortalités de la moule bleue (*Mytilus edulis*). Ce référentiel est construit à partir de 11 années de mesures sur 11 sites différents des pertuis. Il montre que des mortalités, cumulées sur un cycle d'élevage de 12 mois, inférieures à 22% peuvent être classées comme « habituelles ». Elles deviennent « inhabituelles » si elles sont comprises entre 22% et 34%. Elles sont dites « exceptionnelles » si elles sont supérieures à 34%. L'analyse de cette série historique sur les mortalités montre que dans les pertuis Breton et d'Antioche, les conditions hydroclimatiques annuelles impactent plus la mortalité que les spécificités spatiales du site. Ainsi, les années 2007, 2008, 2009 et 2010 du référentiel sont-elles marquées par des mortalités significativement plus faibles que les autres années de la série. Alors qu'en 2014, toutes les mortalités de moules sont « exceptionnelles » dans la majorité des sites mytilicoles des pertuis Breton et d'Antioche, en 2015

seules les mortalités sur les sites Filière et Roulière sont classées comme « exceptionnelles ». Elles sont « inhabituelles » sur les sites de Boyard et d'Aiguillon et « habituelles » sur Yves et les autres sites régionaux du réseau (Pont Mahé, Le Vivier et Agon - sans toutefois tenir compte de la prédation des bigorneaux perceurs sur ce dernier site).

En 2015, en soutien à la recherche sur les mortalités massives de moules, le réseau Mytilobs a pris en charge l'analyse histopathologique de plusieurs centaines de moules (~ 400) issues des sites du réseau entre février et juillet. Ces analyses ont permis une investigation selon trois axes : l'étude de maturation sexuelle, la recherche de parasites et l'identification de granulomes (agrégation anormale de cellules hématocytaires dans les tissus de la moule). L'étude des stades de maturation des moules sur les différents sites du réseau montre que la maturation sexuelle a bien lieu entre mars et juin 2015. Les profils de maturation, homogènes sur les trois sites des pertuis charentais (Yves, Filière et Roulières) semblent décalés sur les deux autres sites étudiés (Pont-Mahé et Le Vivier). En période de ponte, la prédominance des stades de gamétogénèse active (3A1, 3A2 utilisation des réserves) dans les pertuis charentais, et celle du stade 3B (gonades en pleine maturité) sur les sites de Pont-Mahé et du Vivier, soulève des questions sur les conditions (ou le déterminisme) de ponte en Baie de Vilaine et en Baie du Mont Saint Michel. Les premières mortalités 2015 sur les sites Filière et Roulières apparaissent respectivement en avril et mai, période au cours de laquelle les moules sont en gamétogénèse active. Ces premiers résultats obtenus grâce au réseau, montrent que la plus forte phase de mortalités aurait donc lieu avant la ponte.

La recherche des agents pathogènes en histopathologie a permis de montrer l'absence du *Marteilia refringens* (parasite à déclaration obligatoire) dans les échantillons de moules sur les différents sites du réseau observé entre février et juillet 2015. Aucun autre parasite potentiellement pathogène n'a été identifié au-delà du signalement. Par contre le copépode parasite *Mytilicola intestinalis* a été identifié dans de nombreux prélèvements. Sa présence est forte (50-70%) sur les sites d'Yves et du Vivier et faible (10-20%) sur les autres sites de l'étude.

Des granulomes, inclusions inflammatoires, sont retrouvés dans la chair des moules entre février et juillet 2015, sur plus d'individus (16 à 35%) en mai et en juin que pendant les autres mois de l'étude. La présence de granulomes est par ailleurs significativement plus élevée sur le site des filières (15 à 35%) que sur le site des bouchots d'Yves (moins de 8%). Les autres sites occupent une place intermédiaire en termes de prévalence. La prévalence des granulomes dans les moules est significativement supérieure (seuil statistique de 5%) lorsque la mortalité « mensuelle » de la population de moule est supérieure à 2% (que pour celles pour lesquelles la mortalité instantanée est inférieure à 2%).

D'un point de vue épidémiologique, la coïncidence de mortalités massives de moules, en 2014 dans trois secteurs géographiques distants de plusieurs centaines de kilomètres de côtes (Poitou-Charente/Pays de Loire) ; Rade de Brest ; Barfleur-Grandcamp) n'est pas sans soulever un certain nombre de questions. En effet, ni le transfert de cheptels, ni la connectivité hydrodynamique ne semblent pouvoir expliquer cette concomitance. S'agit-il de « pur hasard » ? C'est peu probable. S'agit-il d'une fragilisation générale des populations de *Mytilus edulis* sur la façade atlantique en lien avec des dérèglements environnementaux et le réchauffement climatique ? S'agit-il d'un accroissement de la virulence d'organismes pathogènes, déjà présents dans le milieu, et dont la cible serait les mollusques ? Le « profil » actuel des analyses pathologique (REPAMO) tend à montrer que dans le nord de la France, les mortalités de moules sont très souvent liées à la présence associée de *Marteilia refringens* et *Splendius* (Garcia et al., 2016). Les résultats du réseau Mytilobs qui ne trouve pas de *Marteilia* dans les sites du « nord » (Le Vivier et Agon), conforte cette idée d'une distinction à maintenir entre les mortalités des régions « nord » et celles des régions « sud ». La poursuite des recherches et les résultats des réseaux de surveillance actuellement en activité contribueront à éclaircir ces aspects.

Une fois l'agent pathogène (les ?) du groupe Splendidus transféré (par voie hydrodynamique ou transfert) sur un nouveau site mytilicole, les conditions de son installation semblent dépendre des pratiques culturales et des conditions environnementales propres au site d'introduction (densité d'élevage, temps de résidence des masses d'eau, isolement par rapport à d'éventuelles autres espèces, etc.). Les sites impactés accidentellement par des mortalités en 2015 développeront-ils la maladie sous forme épidémique comme ce fut le cas en hiver 2014 dans le pertuis Breton et 2015 dans la baie de Bourgneuf, reste une question en devenir. Existe-il en France d'aussi fortes concentrations de moules, en élevage, ou sous forme de gisements sauvages profonds ? Il semble que les gisements profonds de *Mytilus edulis* vers Barfleur (côte est du Cotentin) aient été touchés dès le printemps 2014 et que la mortalité se soit propagée au cours de l'été vers Grandcamp le long de la côte du Cotentin. Il semblerait que les mortalités aient repris avec plus d'intensité en 2015 simultanément dans tous les gisements de ce secteur. S'agit-il du même phénomène ? De la même épidémie ? Comment a-t-elle pu se développer simultanément dans le pertuis Breton, sur la côte Est du Cotentin et peut-être dans la rade de Brest (Figure 35). Les mortalités de Coquilles Saint Jacques relèvent-elles de la même problématique ? Ont-elles une part commune de déterminisme ? Ces questions posées trouveront probablement des réponses dans les projets de recherche. Si les deux voies de contamination (hydrodynamique et transferts) sont à même d'expliquer bon nombre d'observations, l'hypothèse d'une « contamination » plus large est à prendre en compte. De récents résultats issus de l'analyse des saisines Repamo (Garcia et al., 2016) semblent toutefois contrarier cette hypothèse. En effet, il semble que les « profils pathogènes¹³ » des moules issues de saisines soient différents entre les Pertuis Charentais-Pays de Loire, où le groupe Splendidus est représenté à 75%, et ceux issus des sites de Bretagne Nord (Brest, Aber Benoît, Lannion) où le groupe Splendidus n'est représenté qu'à 25%, mais avec présence systématique de *Marteilia refringens*. Toutefois, cette différenciation n'existerait plus en 2015 ; les analyses bactériennes des deux origines géographiques (nord Brest/sud Brest) donnant des profils semblables (65% de bactéries du groupe Splendidus)...

Résultats scientifiques et observations (professionnels, ...) concourent à la même déclaration : « la mortalité vient du large ». Un certain nombre de faits corroborent cette hypothèse. On peut citer : La plus grande sensibilité aux mortalités des sites « océaniques » (Filière et Roulière) ; le site d'apparition récurrente des mortalités de moules sauvage (site de Loix) au nord-est de l'île de Ré ; la protection hydrologique que constituent les estuaires (Sèvre Niortaise, Charente, Loire) et les fonds de baie (baies de l'Aiguillon et d'Yves) ; l'apparition simultanée de mortalités de Coquille Saint Jacques en provenance de secteurs profonds. Qu'en est-il réellement ? Existe-t-il un environnement biologique (hydrobiologique ?) particulier, plutôt « océanique » qui favoriserait l'installation des organismes pathogènes dans les populations de mollusques bivalves, et chez *Mytilus edulis* en particulier ? La recherche se poursuit en particulier dans le domaine de l'environnement des élevages, grâce au projet MORBLEU depuis 2015.

¹³ Recherche REPAMO des organismes pathogènes à déclarations obligatoire

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Auffret M. 1988. Histopathological changes related to chemical contamination in *Mytilus edulis* from field and experimental conditions. Marine Ecology Progress Series. Vol 46: 101-107.
- Baud J. P., Haure J., 1989. Estimation des stocks d'huîtres cultivées (*Crassostrea gigas*) et de moules (*Mytilus edulis*) des gisements naturels dans la baie de Bourgneuf en 1987. Rapport DRV-89-040-RA/Bouin : 51pp.
- Bayne B.L. 1976. Marine mussels, their ecology and physiologie. Cambridge University Press, London.
- 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. et al. 2014. Surmortalités de la moule bleue *Mytilus edulis* dans les Pertuis Charentais (mars 2014). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00229/34022/>.
- Bechemin C. et al. 2015. Episodes de mortalité massive de moules bleues observés en 2014 dans les Pertuis Charentais. Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation 67, 6-9.
- Bechemin C., Soletchnik P., Polsenaere P., Le Moine O., Pernet F., Protat M., Fuhrmann M., Quere C., Goulitquer S., Corporeau C., Renault T., Lapegue S., Travers M.A, Morga B., Garriques M., Garcia C., Haffner P., Dubreuil C., Fauray 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.
- Boglino A. 2008. Les espèces phytoplanctoniques majeures des côtes atlantiques françaises sont-elles toutes équivalentes pour l'ingestion et la croissance de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) ? Réponse par le biais d'une approche expérimentale. M2 S.D.U.E.E., Océanographie et Environnements Marins, Université Pierre & Marie Curie - Paris 6. 45 p.
- Boromthanasarat 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.
- CERTIS, 2013, Groupement des mytiliculteurs sur bouchots (GMB). 2013 Plan de contrôle moules de bouchot, Spécialité traditionnelle garantie. 15 février 2013, 39pp.
- Comps, M Ch. Herbaut, A. Fougereuse, 1999. Virus-like particles in pearl oyster *Pinctada margaritifera*. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol. 19(2) : 85-88.
- 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. (01/07/2015). <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. (01/07/2015). <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. (01/07/2015). <http://creaa.pagesperso-orange.fr/doc/>
- Dardignac M.J, 2004, La mytiliculture dans le "Pertuis Breton": synthèse des travaux réalisés de 1980 à 1992. Annales de la Société des sciences naturelles de la Charente-Maritime, 3-79. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1911/>
- 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. Open Access version : <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.
- Gohin F., Bryère P. and J.W. Griffiths 2015. The exceptional surface turbidity of the North-West European shelf seas during the story 2013-2014 winter: consequences for the initiation of phytoplankton blooms? *Journal of marine systems* (under press).
- Grizel H., Cardinal M. et D. Cognie 1998. Projet "Qualité des Mollusques". Synthèse des résultats : Propositions et Applications. Tome 1/2 : rapports de 2 à 9. Tome 2/2 : rapports de 10 à 15.
- INAO, Association des producteurs de moules de filières des Pertuis 2014. Cahier des charges Label Rouge - Moules de filières Elevées en pleine mer. 12 pp.
- Lambert C., Moal J., Pouvreau S., 2007. Les risques associés à la physiologie de l'huître en période de reproduction. In Samain J.F., McCombie H., 2007. Mortalité de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Défi Morest. Monographie, Chapitre. 51-94 pp.
- Lawrence D.R and G. I. Scott 1982. The Determination and Use of Condition Index of Oysters. *Estuaries* 5, 23-27.
- Lowe, D, M. Moore, 1979. The Cytology and occurrence of granulocytomas in Mussels. *Marine Pollution Bulletin* 10, 137-141.
- Lubet P. 1959. Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les Mytilides et les Pectinides. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 23, 390-548.
- Lupo C. A. Osta Amigo et al, 2016. Bilan 2015 du dispositif national de surveillance de la santé des mollusques marins. Rapport contrat convention DGAL 2015. 90 pp. in prep
- Morton B, 1974. Studies on the Biology of *Dreissena polymorpha*. VI. The Occurrence of Chronic Pallial and Ctenidial Inflammatory Granulomas – the Response to Injury. *Journal of Invertebrate Pathology* 23, 106-113.
- Nicolas J.L., Renault T., Gagnaire B., Garcia C., Garnier M., Gay M., Labreuche Y., Le Roux F., Miossec L., Pepin J.F., Saulnier D., 2007. Risques associés aux pathogènes. In Samain J.F., McCombie H., 2007. Mortalité de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Défi Morest. Monographie, Chapitre 6. 229-269pp.
- Picoron N., 2007, Suivi de la gamétogénèse de la moule bleue *Mytilus edulis* sur deux sites d'élevage du pertuis Breton (Aiguillon et Filière) pendant une année de canicule (2003). Comparaison avec une année normale (2004). Rapport Ifremer 2007, 38 p.
- Polsenaere P., Soletchnik P., Le Moine O., Robert S., Gohin F., Stanisière J.-Y., Dumas F., and C. Bechemin 2015. Relationships between winter environmental variations and the blue mussel mortality event observed in the Pertuis Charentais (French Atlantic coastal zone). *Asso. Sciences Limnology and Oceanophy. meeting*, 22-27 February 2015, Granada, Spain. (Oral communication).
- 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., 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. et E. Bedier 2013. Réseau national d'observation de la moule bleue *Mytilus edulis*, Mytilobs, Campagne 2012. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00166/27720/>
- Robert Stephane, Bouget Jean-Francois, Fleury Elodie, Chauvin Jacky, Gagnery Aline, Normand Julien, Blin Jean Louis, Cheve Julien, Dagault Françoise, Gerla Daniel, Lejolivet Aurore, Penot Julia, Chabirand Jean-Michel, Genauzeau Sylvie, Geairon Philippe, Grizon James, Le Moine Olivier, Schmitt-Gallotti Anne, Seugnet Jean-Luc, Soletchnik Patrick 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, 147 p.
- Smolowitz R. D. Leavitt, F. Perkins, 1998. Observations of a Protistan Disease Similar to QPX in *Mercenaria mercenaria* (Hard Clams) from the Coast of Massachusetts. *Journal of Invertebrate Pathology* 71, 9-25.
- Snieszko S. F. 1974. The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes. *J. Fish Biol.*, 6, 197-208.
- Soletchnik Patrick, Ropert Michel, Mazurie Joseph, Fleury Pierre-Gildas, Le Coz Florence 2007. Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databases along the coasts of France. *Aquaculture* 271, 384-400. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3295/>
- Soletchnik Patrick, Mazurie Joseph, Allain Gwenhael, Bedier Edouard, Benabdelmouna Abdellah, Blin Jean-Louis, Bouquet Anne-Lise, Cochet Hélène, Degremont Lionel, Gaussem Florian, Gervasoni Erika, Glize Philippe, Petton Bruno, Roussel Pierre-Yves, Pernet Fabrice (2011). Les pratiques culturelles peuvent-elles permettre de réduire la surmortalité du naissain d'huîtres creuses? Récapitulatif des essais d'élevage et expérimentations zootechniques menés sur le territoire français entre 2008 et 2010. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14280/>
- Soletchnik P., Robert S. et O. Le Moine Olivier (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. (Oral communication) <http://archimer.ifremer.fr/doc/00120/23097/>
- Suarez M.P Alvarez C, Molist P, San Juan F. 2005. Particular aspects of gonadal cycle and seasonal distribution of gametogenic stages of *Mytilus galloprovincialis* cultured in the estuary of vigo. *Journal of Shellfish Research*. 24, 531-540
- Travers M.A., Morga B., Garrigues M., Garcia C., Haffner P., Dubreuil C., Faury N., Baillon L., Renault T., Le Roux F. et M. Bruto 2014. Agents infectieux et mortalités de moules en 2014. Journées de la Surveillance de la santé des mollusques marins, 15-17 décembre 2014, Nantes, France.
- Walne, R., and R. Mann, 1975. Growth and biochemical composition in *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. *Proc. 9th Europ. Mar. Biol. Symp.*, 587-607.

FIGURES ET TABLEAUX

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des Figures

- Figure 1. Principaux secteurs d'élevage de la moule bleue (*Mytilus edulis*) sur la côte atlantique..... 11
- Figure 2. Pieu de bouchot avec paniers de suivi (Pont –Mahé, baie de Vilaine). 14
- Figure 3. Présentation des sites (étoile) du réseau Mytilobs et du point de suivi phytoplanctonique (rond vert). (A) Agon, Ouest Cotentin (Normandie) ; (B) Vivier sur Mer, baie du Mont Saint-Michel (Bretagne Nord); (C) Pont Mahé, baie de Vilaine (Bretagne Sud); (D) Roulières, Aiguillon, Filière, pertuis Breton (Pays de Loire) – Boyard, Yves, pertuis d'Antioche (Poitou-Charentes). 16
- Figure 4. Gain saisonnier de croissance en longueur sur les sites d'élevage de Mytilobs. 22
- Figure 5. Evolution mensuelle du poids sec de chair de la moule bleue (*Mytilus edulis*) sur cinq régions du littoral atlantique ; en Pays de Loire–Poitou-Charentes (haut) et en Normandie, Bretagne (bas). .. 24
- Figure 6. Evolution mensuelle de l'indice de Lawrence et Scott (1000* poids de chair sèche/ (poids entier - poids de coquille)..... 25
- Figure 7. Evolution de l'indice de Walne et Mann (1000* poids de chair sèche / poids de coquille sèche) sur cinq régions du littoral atlantique : en Pays de Loire–Poitou-Charentes (haut) et en Normandie, Bretagne (bas). 26
- Figure 8. Référentiel de mortalités du réseau Remoula (2000-2010 2011) (paniers). 27
- Figure 9. Comparaison des mortalités de fin de cycle selon les SITES. 61 résultats sur 6 sites et 10 années de mesures (l'année 2000 représentée par 2 valeurs seulement, est enlevée de l'analyse, ainsi que les sites de Malconche et Chatellaillon représentés seulement par 3 années)..... 28
- Figure 10. Comparaison des mortalités de fin de cycle selon les années. 67 résultats sur 11 sites et 10 années de mesures (l'année 2000 représentée par 2 valeurs seulement, est enlevée de l'analyse). 28
- Figure 11. Mortalités saisonnières de 2000 à 2010 (Remoula). 29
- Figure 12. Mortalité saisonnière de la moule (*Mytilus edulis*) sur cinq régions du littoral atlantique en 2015. 31
- Figure 13. Évolution des taux de mortalités mensuels sur la Normandie (Agon), la Bretagne Nord (Vivier) la Bretagne Sud (Pont Mahé). 31
- Figure 14. Evolution des taux de mortalités mensuels sur les Pays de Loire (Aiguillon, Roulières, Filière) et Poitou-Charentes (Yves, Boyard). 32
- Figure 15. Mortalités 2014 et 2015 dans le Référentiel du réseau Remoula..... 32
- Figure 16. Evolution de la température et de la salinité sur les sites Mytilobs du littoral atlantique. Les mesures de salinité (carré jaune) et de température (carré rouge) sont effectuées sur les mêmes sites dans le cadre du réseau REPHY. Campagne 2015..... 36
- Figure 17. Température et salinité de l'eau de mer durant la période de mortalités « inhabituelles » et « exceptionnelles » (période de franchissement des 20% de mortalités) sur les sites Mytilobs en 2014 et 2015 (Filière : FIL ; Aiguillon : AIG ; Yves : YVE ; Roulières : ROU ; Boyard : BOY). 37

<i>Figure 18. Evolution de la flore phytoplanctonique totale, Diatomophyceae, Dinophyceae, Euglénophyceae (log du nombre de cellules) sur les sites de cinq régions du littoral atlantique : Agon (ouest Cotentin) ; Le Vivier (baie du Mont St Michel) ; Pont Mahé (baie de Vilaine) ; Yves et Boyard (Pertuis d'Antioche) et Filière (Pertuis Breton) (réseau Mytilobs 2015).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 19. Abondance moyenne saisonnière de phytoplancton sur les sites du réseau Mytilobs.</i>	<i>41</i>
<i>Figure 20. abondance relative moyenne de phytoplancton sur les sites Mytilobs entre l'automne 2014 et l'automne 2015.</i>	<i>42</i>
<i>Figure 21. abondance relative moyenne de phytoplancton entre l'automne 2014 et l'automne 2015 (tous sites confondus).</i>	<i>42</i>
<i>Figure 22. Stades de maturation sexuelle de la mise en place de la gamétogenèse (3A1) à la maturation sexuelle avancée (3B) au stade 3C de post ponte et 3D de reconstitution de tissus de réserves.</i>	<i>44</i>
<i>Figure 23. Période de reproduction de la moule, (d'après la classification de Lubet, 1959 et Suarez, 2005) ; le stade G2 représente la période de maturation avancée et de ponte.</i>	<i>45</i>
<i>Figure 24. Représentation de Mytilicola intestinalis sur les différents sites du réseau Mytilobs.</i>	<i>47</i>
<i>Figure 25 : Présence de Mytilicola intestinalis sur les sites Mytilobs de Filière, Roulières, Yves, Pont Mahé et Le Vivier entre février et juillet 2015.</i>	<i>47</i>
<i>Figure 26. Représentation de Mytilicola intestinalis entre février et juin 2015.</i>	<i>47</i>
<i>Figure 27. Granulomes inflammatoires dans la masse viscérale, les palpes labiaux et le manteau. Coupe histologique de moules (Yves, juillet 2015). Photos Histalim, C. Haond.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 28 Evolution saisonnière de la présence de granulomes dans les moules sur les différents sites du réseau Mytilobs.</i>	<i>49</i>
<i>Figure 29. Présence de granulomes dans les moules sur différents sites d'élevage.</i>	<i>49</i>
<i>Figure 30. Présence de granulomes dans les moules entre février et juillet.</i>	<i>49</i>
<i>Figure 31. Présence de granulomes dans les moules selon deux classes de mortalité « instantanée » : inférieure (< 2%) et supérieure à 2% (> 2%).</i>	<i>50</i>
<i>Figure 32. Mortalités 2014 et 2015 dans le Référentiel du réseau Remoula (avec les mortalités exceptionnelles de la période 2000-2010).</i>	<i>53</i>
<i>Figure 33. Abondance de larves dans les pertuis charentais en 2014 (haut) et 2015 (bas) (CREAA, 2014 et 2015).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 34. Evolution des numérations de granulomes entre février et juillet (barres d'histogrammes) (%) en lien avec la mortalité mensuelle (cercles de couleur) sur cinq sites Mytilobs.</i>	<i>58</i>
<i>Figure 35. Apparition des mortalités « anormales » de moules en 2014.</i>	<i>60</i>
<i>Figure 36. Apparition des mortalités « anormales » de moules en 2015.</i>	<i>61</i>

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1. Planning des actions Mytilobs en 2015.</i>	16
<i>Tableau 2. Stades de maturation de la moule (d'après Lubet, 1959 et Suarez, 2005. Les analyses sont faites par le laboratoire HISTALIM). Stades simplifiés : G1 et G2</i>	19
<i>Tableau 3. Mortalités saisonnières (Remoula 2000-2010)</i>	29
<i>Tableau 4. Mortalités de moules sur les sites Mytilobs en 2014 et 2015. Les couleurs caractérisent la mortalité ; « exceptionnelle » (orange), inhabituelle (jaune) et « habituelle » (verte).</i>	29
<i>Tableau 5. Caractéristiques des paramètres température (haut) et salinité (bas) lors du « passage » d'une mortalité « habituelle » à une mortalité « inhabituelle » ou « exceptionnelle » sur les sites Mytilobs en 2014 et 2015 (au delà de 20% de mortalité).</i>	37
<i>Tableau 6. Echantillonnage et effectif saisonniers de phytoplancton sur chaque site au cours de la campagne Mytilobs 2015</i>	41
<i>Tableau 7. 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>	54
<i>Tableau 8. 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>	55

ANNEXES

ANNEXES

Liste des Annexes

<i>Annexe 1 : Prélèvements histologiques et analyses</i>	77
<i>Annexe 2 : prélèvements cryopréservés</i>	78
<i>Annexe 3. Mortalité au cours de l'année 2015 sur les sites Mytilobs. Chaque médiane (trait vertical au centre de la boîte grisée) est entourée d'un intervalle de confiance calculé à partir des répliquats de comptages).</i>	79
<i>Annexe 4. Mortalités de de moules en 2015 sur les sites Mytilobs. Un modèle polynomiale (courbe noire) ajuste les comptages de mortalités (points bleus). Le modèle de régression est linéaire sur le site LVI (Le Vivier) (pas de mortalité significative).</i>	80
<i>Annexe 5. Bilan métrologique des sondes multiparamètres STPS et conformité par site</i>	82
<i>Annexe 6. Conditions de température et salinité au cours de la campagne Mytilobs 2015</i>	83
<i>Annexe 7. Evolution des TEMPERATURES mensuelles pour 5 sites du réseau</i>	84
<i>Annexe 8. Abondance phytoplanctonique [log (moyenne saison-site de l'effectif d'algues compte sur chaque site et pour chaque saison de la campagne Mytilobs 2015</i>	86
<i>Annexe 9. Identification de parasites identifié en histopathologie dans les moules du suivi Mytilobs 2015.</i>	87

Annexe 1 : Prélèvements histologiques et analyses

	pertuis Breton			pertuis d'Antioche		B. du Mt St Michel	B. de Vilaine	W Cotentin
mois	Aiguillon	Roulières	Filière	Yves	Boyard	Vivier	pont Mahé	Agon
sept-14								
oct-14	23-oct	23-oct	23-oct	23-oct	14-oct			
nov-14	6-nov	6-nov	6-nov	5-nov	5-nov			
déc-14	08-déc	08-déc	08-déc	05-déc	05-déc	09-déc	11-déc	11-déc
janv-15	21-janv	21-janv	22-janv	20-janv	20-janv			
févr-15	03-févr	03-févr	03-févr	02-févr	02-févr	18-févr	09-févr	09-févr
mars-15	09-mars	09-mars	11-mars	05-mars	05-mars	05-mars	09-mars	07-mars
avr-15	20-avr	16-avr	20-avr	22-avr	16-avr	07-avr	08-avr	20-avr
mai-15	18-mai	18-mai	19-mai	20-mai	20-mai	05-mai	21-mai	18-mai
juin-15	15-juin	15-juin	16-juin	16-juin	16-juin	15-juin	15-juin	16-juin
juil-15	15-juil	15-juil		16-juil	16-juil		15-juil	15-juil
août-15	18-août	18-août		17-août	17-août	04-août	17-août	
sept-15	28-sept	15-sept	28-sept	29-sept	29-sept	17-sept	17-sept	17-sept
déc-15	15-déc		15-déc	10-déc		15-déc	11-déc	15-déc

analyse gamétogenèse prévue	18-mai
Observation histologique approfondie	15-juin

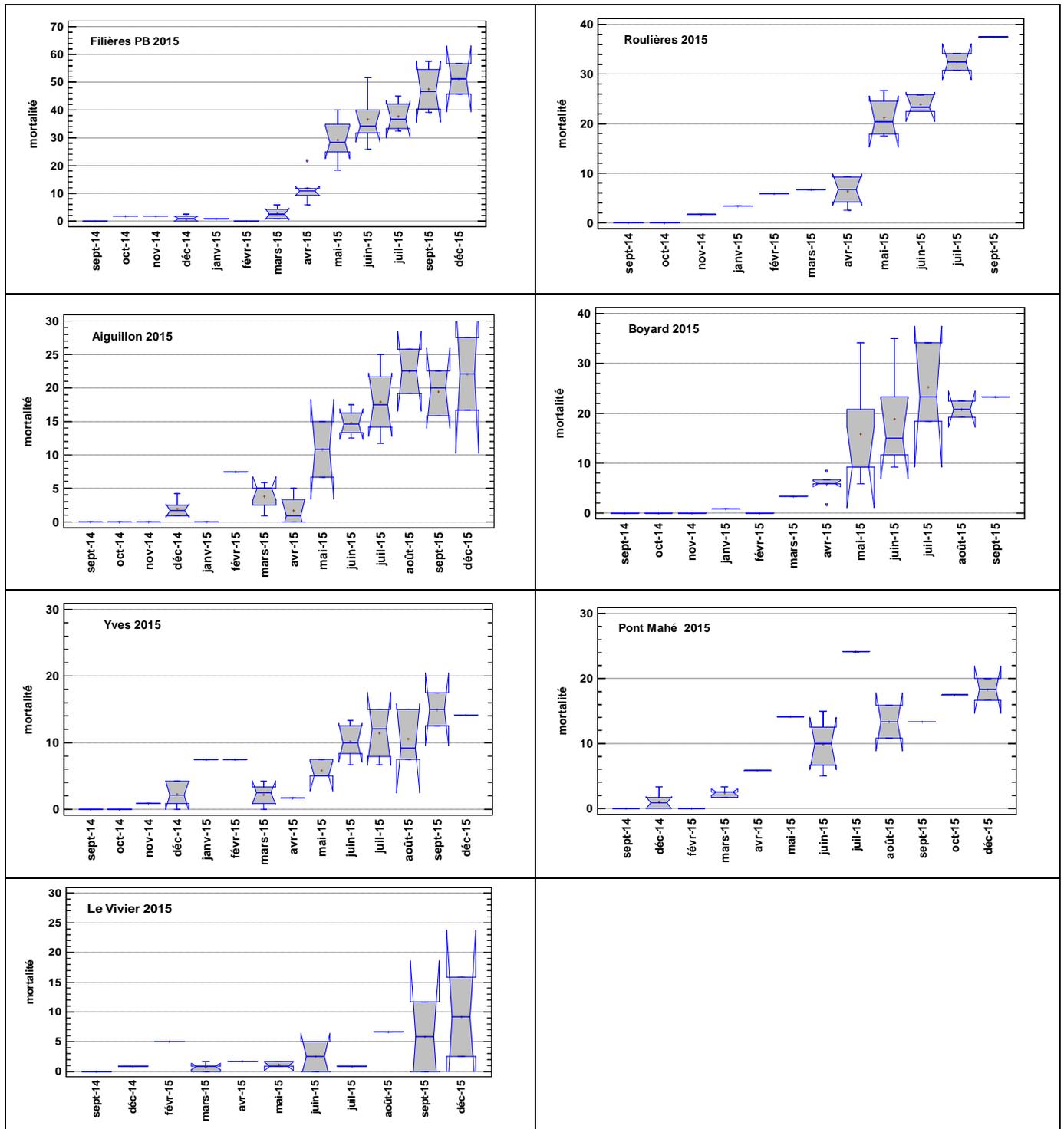
Annexe 2 : prélèvements cryopréservés

pertuis Breton			pertuis d'Antioche		Baie du Mt St Michel	Baie de Vilaine	W Cotentin
Aiguillon	Roulière	Filière	Yves	Boyard	Vivier	Pont Mahé	Agon
08-déc	08-déc	08-déc	05-déc	05-déc	09-déc	11-déc	11-déc
21-janv	21-janv	22-janv	20-janv	20-janv			
03-févr	03-févr	03-févr	02-févr	02-févr	18-févr	09-févr	09-févr
09-mars	09-mars	11-mars	05-mars	05-mars	05-mars	09-mars	07-mars
20-avr	16-avr	20-avr	22-avr	16-avr	07-avr	08-avr	20-avr
18-mai	18-mai	19-mai	20-mai	20-mai	05-mai	21-mai	18-mai
15-juin	15-juin	16-juin	16-juin	16-juin	15-juin	15-juin	16-juin
15-juil	15-juil	07-juil	16-juil	16-juil	15-juil	15-juil	15-juil
18-août	18-août		17-août	17-août	04-août	17-août	
28-sept	15-sept	28-sept	29-sept	29-sept	17-sept	17-sept	17-sept
15-déc		15-déc	10-déc		15-déc	11-déc	15-déc

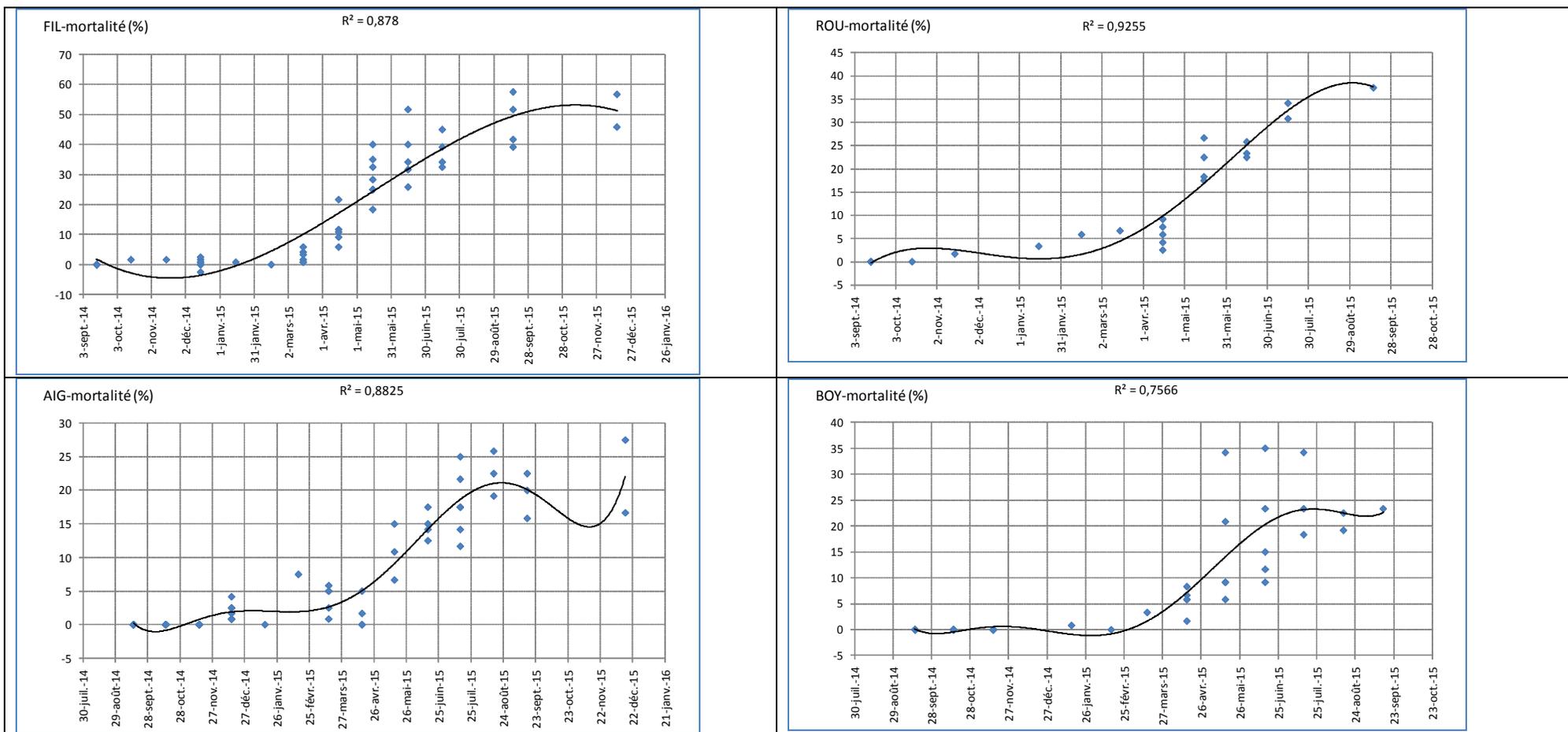
Stockage en chambre - 80°C

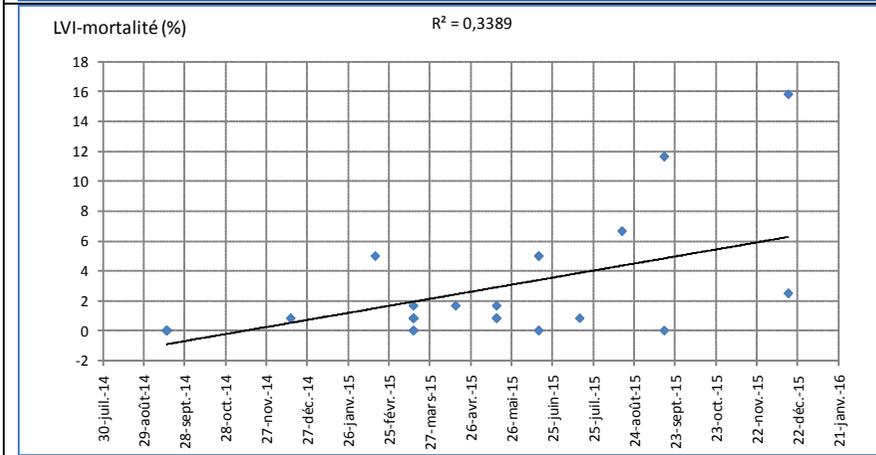
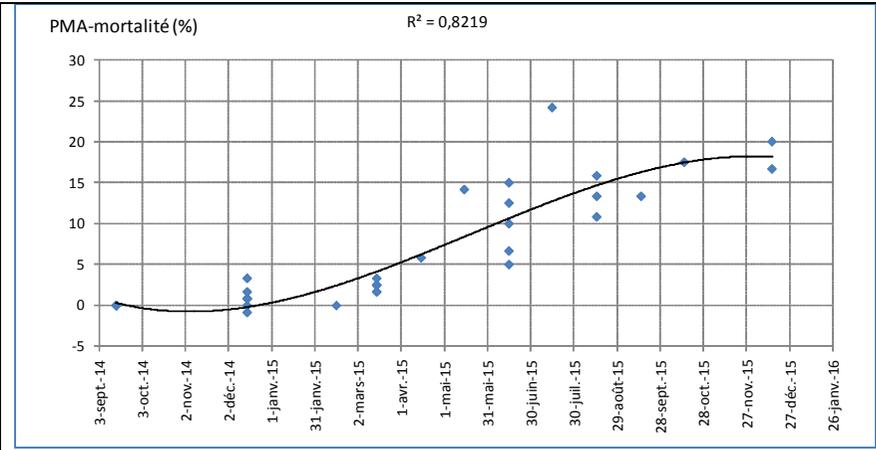
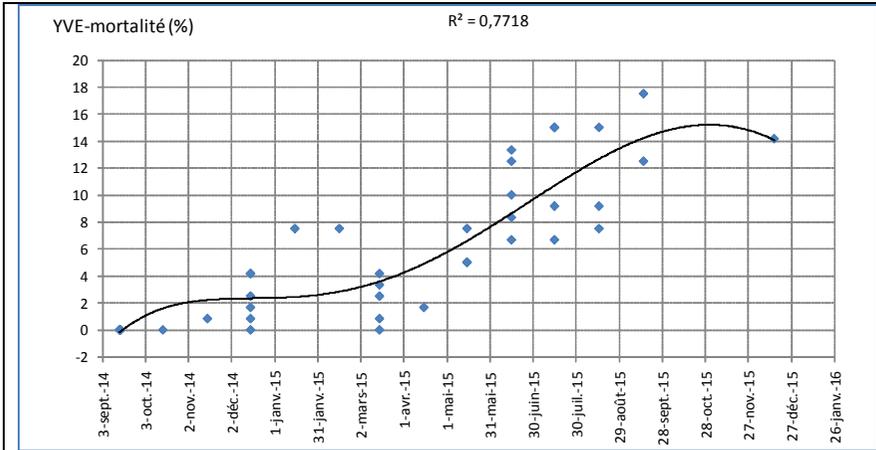
l'analyse du transcriptome de la moule Projet Morbleu	
--	--

Annexe 3. Mortalité au cours de l'année 2015 sur les sites Mytilobs. Chaque médiane (trait vertical au centre de la boîte grisée) est entourée d'un intervalle de confiance calculé à partir des répliquats de comptages).



Annexe 4. Mortalités de de moules en 2015 sur les sites Mytilobs. Un modèle polynomiale (courbe noire) ajuste les comptages de mortalités (points bleus). Le modèle de régression est linéaire sur le site LVI (Le Vivier) (pas de mortalité significative).





Annexe 5. Bilan métrologique des sondes multiparamètres STPS et conformité par site

Sites	Identification Sonde	Période déploiement	Justesse Temp (°C) Ej	Justesse Salinité Ej	Salinité Conforme (oui / non)	Chloration
Agon Ouest Cotentin	STPS 593	08/09/14 au 8/12/14	0.04	0.24	oui	-
	STPS 588	09/12/14 au 04/03/15	0.03	0.04	oui	-
	STPS 593	09/03/15 au 16/06/15	0.05	0.16	oui	oui
	STPS 588	17/06/15 au 15/09/15	0.06	0.08	oui	oui
	STPS 590	16/09/15 au 14/12/15	-0.01	0.07	oui	oui
Le Vivier Baie du Mont St Michel	STPS 591	08/09/14 au 05/12/14	0.05	-0.11	oui	-
	STPS 587	05/12/14 au 05/03/15	0.03	0.02	oui	-
	STPS 623	09/03/15 au 15/06/15	0.05	0.16	oui	oui
	STPS 587	15/06/15 au 15/09/15	0.06	0.19	oui	oui
	STPS 586	16/09/15 au 14/12/15	0.00	0.08	oui	oui
Pont Mahé Baie de Vitaine	STPS 592	08/09/14 au 05/12/14	0.02	0.2	oui	-
	STPS 585	05/12/14 au 09/03/15	0.02	0.23	oui	-
	STPS 586	09/03/15 au 15/06/15	0.04	1	non du 26/05/15 au 15/06/15	oui
	STPS 585	16/06/15 au 17/09/15	0.04	0.22	oui	oui
	STPS 592	18/09/15 au 11/12/15	0.02	0.13	oui	oui
Aiguillon / Eperon Pertuis Breton	STPS 622	08/09/14 au 08/12/14	0.02	0.12	oui	-
	STPS 234	08/12/14 au 03/02/15	0.02	0.08	oui	-
	STPS 622	03/02/15 au 09/03/15	0.05	0.09	oui	-
	STPS 589	09/03/15 au 15/06/15	0.04	0.84	non du 12/05/15 au 03/06/15	oui
	STPS 622	15/06/15 au 15/07/15	0.06	0.01	oui	-
	STPS 592	15/07/15 au 18/08/15	0.07	-4.21	non 02/08/15 au 19/08/15	oui
	STPS 622	18/08/15 au 28/09/15	0.05	0.08	oui	-
	STPS 232	28/09/15 au 26/10/15	0.06	0.01	oui	-
STPS 623	27/10/15 au 15/12/15	0.00	0.26	oui	-	
Yves Pertuis d'Antioche	STPS 623	10/09/14 au 09/12/14	0.00	-4.52	non du 10/09/14 au 08/12/14	-
	STPS 466	09/12/14 au 05/03/15	0.05	-0.07	oui	-
	STPS 319	05/03/15 au 29/06/15	0.03	-25	non du 16/06/15 au 29/06/15	oui
	STPS 586	29/06/15 au 17/08/15	0.04	-0.52	oui	oui
	STPS 593	17/08/15 au 29/09/15	0.05	0.18	oui	-
	STPS 466	30/09/15 au 10/12/15	0.00	-0.1	oui	oui
Filières PB Pertuis Breton	Ysi 277	16/09/14 au 30/09/14	0.05	-0.11	oui	-
	Ysi 500	30/09/14 au 23/10/14	0.04	-0.07	oui	-
	Ysi 277	23/10/14 au 17/11/14	0.05	-0.45	oui	-
	STPS 319	17/11/14 au 26/01/15	0.05	-0.12	oui	-
	Ysi 448	26/01/15 au 09/03/15	0.04	0.2	oui	-
	Ysi 500	09/03/15 au 13/04/15	0.05	0.15	oui	-
	Ysi 277	13/04/15 au 11/05/15	0.04	0.29	oui	-
	Ysi 500	11/05/15 au 11/06/15	0.05	-3.03	non du 11/05/15 au 03/06/15	-
	Ysi 277	11/06/15 au 22/06/15	0.04	-0.64	non du 23/06/15 au 27/06/15	-
	Ysi 500	22/06/15 au 21/07/15	0.07	-1.26	non	-
	Ysi 277	21/07/15 au 10/08/15	0.05	0.01	oui	-
	STPS 589	15/07/15 au 28/09/15	0.04	0.03	oui	oui
	STPS 588	29/09/15 au 16/12/15	-0.01	0.13	oui	oui
Roulières Pertuis Breton	STPS 598	08/09/14 au 08/12/14	0.04	0.03	oui	-
	STPS 589	08/12/14 au 03/02/15	0.05	0.09	oui	-
	STPS 591	03/02/15 au 09/03/15	0.04	0.09	oui	-
	STPS 234	09/03/15 au 16/04/15	0.02	0.07	oui	-
	STPS 591	20/04/15 au 18/05/15	0.04	0.02	oui	-
	STPS 646	18/05/15 au 15/06/15	0.04	0	oui	-
	STPS 591	15/06/15 au 15/07/15	0.06	0.09	oui	-
	STPS 646	15/07/15 au 18/08/15	0.07	0.01	oui	-
	STPS 591	18/08/15 au 28/09/15	0.05	0.03	oui	-
	STPS 405	28/09/15 au 26/10/15	0.04	0.17	oui	-
	STPS 585	27/10/15 au 24/11/15	0.04	0.29	oui	-
Boyard Pertuis d'Antioche	STPS 586	18/09/14 au 03/12/14	0.02	0.11	oui	-
	STPS 309	03/12/15 au 02/02/15	0.02	0.24	oui	-
	Ysi 277	20/01/15 au 05/03/15	0.04	0.08	oui	-
	Ysi 274	05/03/15 au 22/04/15	0.04	0.51	oui	-
	Ysi 315	22/04/15 au 20/05/15	0.01	0.63	oui	-
	Ysi 274	20/05/15 au 16/06/15	0.04	2.55	non	-
	Ysi 647	16/06/15 au 16/07/15	0.04	0.17	oui	-
	STPS 232	16/04/15 au 16/06/15	0.05	-0.16	oui	-
	STPS 590	16/06/15 au 17/08/15	0.07	0.4	oui	-
	STPS 623	17/08/15 au 29/09/15	0.06	0.22	oui	-
	STPS 306	29/09/15 au 27/10/15	0.06	-0.15	oui	-
STPS 589	28/10/15 au 26/11/15	0.05	0.00	oui	-	

Annexe 6. Conditions de température et salinité au cours de la campagne Mytilobs 2015

Automne 2014 Température du 10/09/14 au 10/12/14

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	91	15.44	15.28	3.09	19.99	9.62	20.33	10.71
BVI-Pont Mahé	91	15.98	16.15	2.79	17.43	9.51	20.69	11.18
CWN-Agon	91	15.44	15.37	2.98	19.27	9.89	20.1	10.21
PA-Yves	91	16.42	16.35	3.21	19.52	9.34	21.88	12.54
PB-Aiguillon	91	16.82	16.92	3.13	18.59	10.76	21.88	11.12
PB-Filières	91	16.46	17.08	2.89	17.56	10.53	21.31	10.78

Hiver 2015 Température du 10/12/14 au 10/03/15

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	88	7.89	7.52	1.34	16.96	5.5	10.64	5.14
BVI-Pont Mahé	90	9.38	9.5	1.099	11.71	7.02	11.28	4.26
CWN-Agon	86	8.13	7.925	1.34	16.42	5.99	10.56	4.57
PA-Yves	90	8.46	8.345	1.46	17.26	5.74	11.25	5.51
PB-Aiguillon	90	8.60	8.555	1.32	15.36	5.73	10.83	5.1
PB-Filières	90	9.18	9.175	1.19	12.91	6.76	11.22	4.46

Printemps 2015 Température du 10/03/15 au 10/06/15

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	91	12.46	13.23	2.81	22.53	8.2	17.15	8.95
BVI-Pont Mahé	92	13.56	14.35	2.67	19.72	9.22	17.89	8.67
CWN-Agon	92	12.24	12.73	2.54	20.76	8.33	16.33	8
PA-Yves	92	14.22	14.84	3.10	21.80	9.31	19.04	9.73
PB-Aiguillon	92	13.62	14.62	2.92	21.45	9.29	18.71	9.42
PB-Filières	92	15.15	15.80	2.18		10.45	19.78	9.33

Été 2015 Température du 10/06/15 au 10/09/15

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	92	19.37	19.55	1.37	6.85	15.84	21.25	5.41
BVI-Pont Mahé	92	19.63	19.86	1.56	7.94	14.5	21.73	7.23
CWN-Agon	92	18.64	18.90	1.21	6.48	15.69	20.32	4.63
PA-Yves	92	20.83	21.13	1.36	6.54	17.16	22.7	5.54
PB-Aiguillon	92	20.04	20.27	1.21	6.06	17.09	22.05	4.96
PB-Filières	87	18.86	18.97	0.57	3.01	17.72	19.95	2.23

Automne 2015 Température du 10/09/15 au 10/12/15

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	91	14.25	13.83	2.12	14.30	10.57	18.36	7.79
BVI-Pont Mahé	91	14.77	14.58	2.01	13.60	11.2	19.09	7.89
CWN-Agon	91	14.28	14.07	1.93	13.51	10.78	17.79	7.01
PA-Yves	91	14.83	14.72	2.35	15.86	10.86	20.11	9.25
PB-Aiguillon	91	15.03	14.85	2.15	14.30	10.9	19.66	8.76
PB-Filières	78	14.61	14.74	1.61	11.05	11.64	17.67	6.03

Automne 2014 Salinité du 10/09/14 au 10/12/14

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	91	34.60	34.7	0.36	1.04	33.4	35.06	1.66
BVI-Pont Mahé	91	30.44	31.71	3.37	11.09	20.71	33.79	13.08
CWN-Agon	91	34.73	34.89	0.39	1.12	33.55	35.18	1.63
PA-Yves	25	33.88	34.07	0.73	2.15	30.67	34.33	4.26
PB-Aiguillon	90	32.75	33.12	1.68	5.13	26.84	34.74	7.9
PB-Filières	91	34.10	34.28	0.76	2.23	31.58	35.03	3.45

Hiver 2015 Salinité du 10/12/14 au 10/03/15

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	88	33.87	33.955	0.53	1.56	31.69	34.65	2.96
BVI-Pont Mahé	90	28.61	28.615	3.14	10.98	21.84	33.92	12.08
CWN-Agon	86	33.62	33.79	0.66	1.97	31.54	34.54	3
PA-Yves	90	30.03	30.325	1.63	5.43	25.52	32.45	6.93
PB-Aiguillon	90	30.30	30.675	1.77	5.84	25.3	32.72	7.42
PB-Filières	90	32.77	32.91	0.86	2.63	30.49	33.99	3.5

Printemps 2015 Salinité du 10/03/15 au 10/06/15

Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	91	34.27	34.29	0.41	1.18	33.2	35.1	1.91
BVI-Pont Mahé	79	30.43	30.94	2.59	8.51	22.66	33.62	10.96
CWN-Agon	92	34.44	34.455	0.34	0.99	33.32	35.14	1.82
PA-Yves	92	31.08	31.195	1.32	4.24	27.74	33.28	5.54
PB-Aiguillon	69	30.63	31	2.10	6.87	23.54	34.67	11.13
PB-Filières	73	33.18	33.21	1.01	3.05	29.07	34.77	5.7

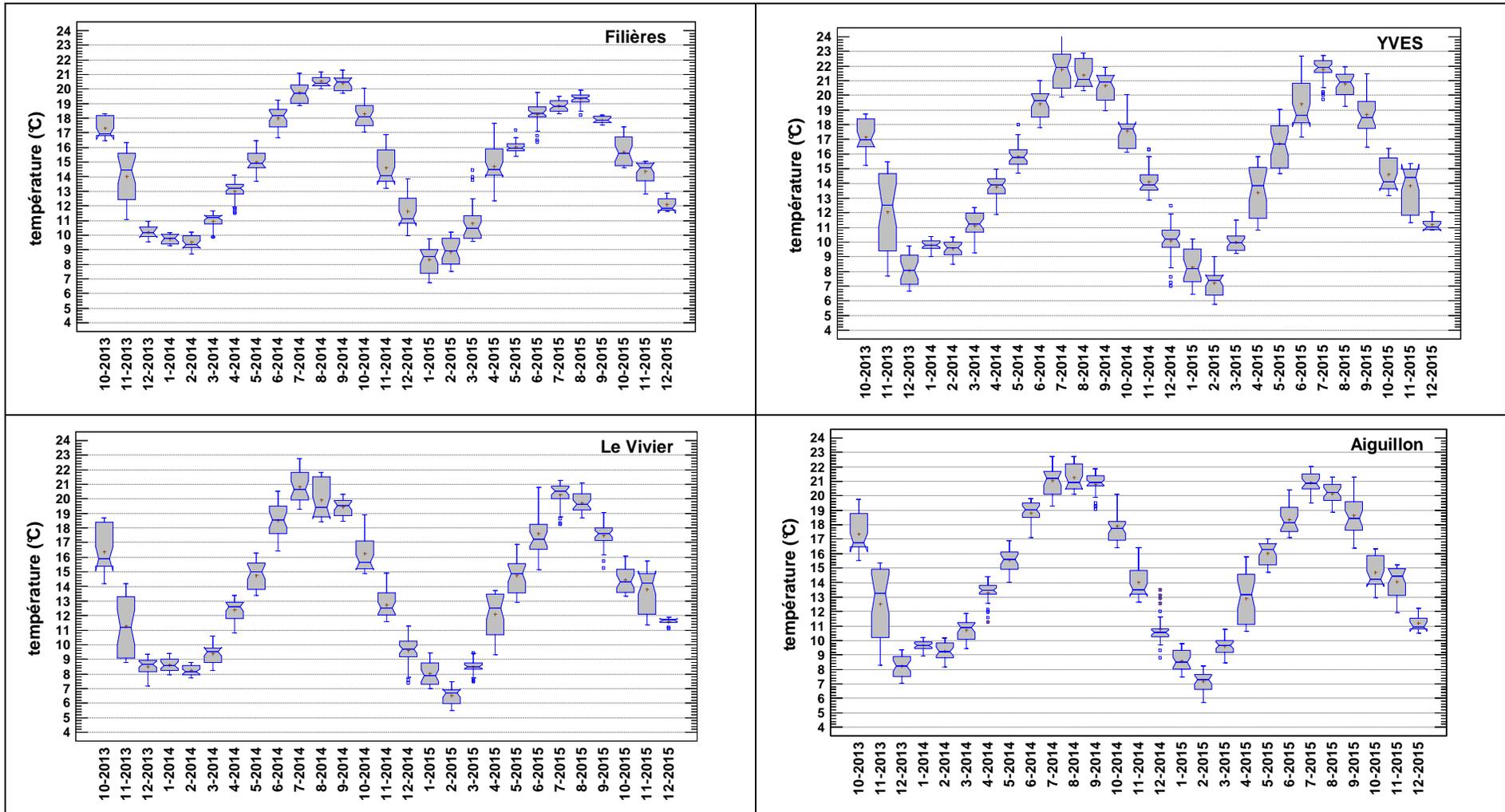
Été 2015 Salinité du 10/06/15 au 10/09/15

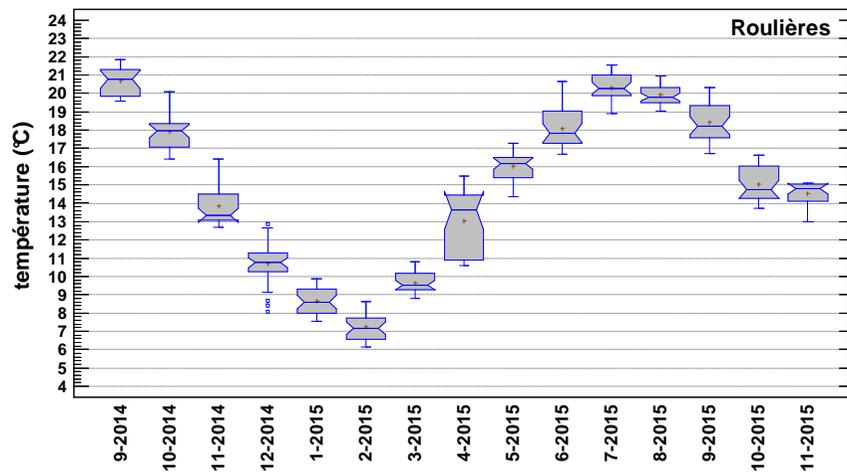
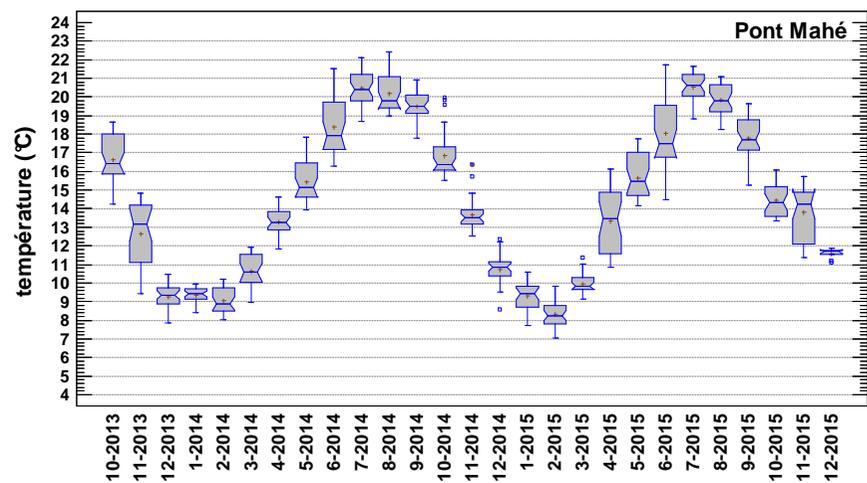
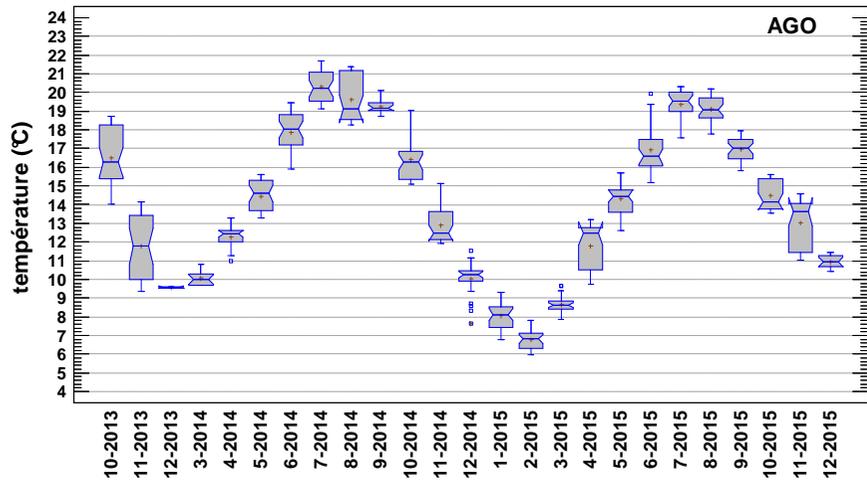
Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	92	34.85	34.935	0.35	1.01	33.45	35.28	1.83
BVI-Pont Mahé	84	32.47	33.17	2.44	7.51	24.14	35.14	11
CWN-Agon	92	33.86	34.125	1.20	3.56	29.97	35.2	5.23
PA-Yves	78	33.27	33.96	1.86	5.58	26.35	35.1	8.75
PB-Aiguillon	74	34.58	34.745	0.52	1.51	32.67	35.14	2.47
PB-Filières	87	34.77	34.82	0.27	0.78	33.75	35.12	1.37

Automne 2015 Salinité du 10/09/15 au 10/12/15

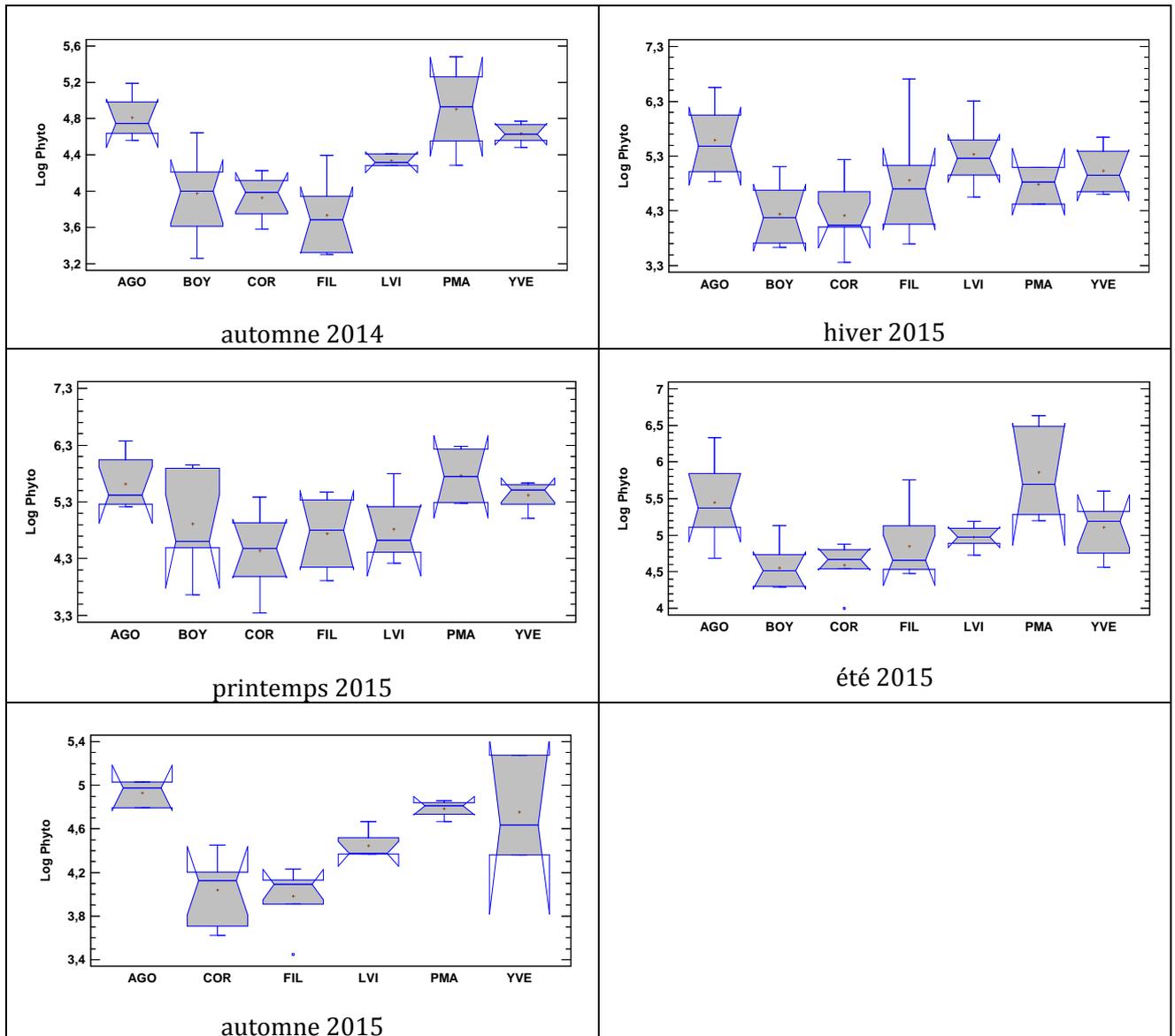
Site mytilicole	Effectif	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coef. de variation	Minimum	Maximum	Etendue
BMS-Vivier	91	34.46	34.82	1.04	3.03	29.59	35.09	5.5
BVI-Pont Mahé	91	33.16	33.51	0.99	3.00	30.65	34.41	3.76
CWN-Agon	91	34.67	34.9	0.82	2.35	30.75	35.16	4.41
PA-Yves	91	33.33	33.4	0.65	1.95	32.12	34.89	2.77
PB-Aiguillon	91	33.53	33.62	0.77	2.29	31.78	35.16	3.38
PB-Filières	89	33.95	34.19	0.72	2.13	31.69	34.83	3.14

Annexe 7. Evolution des TEMPERATURES mensuelles pour 5 sites du réseau





Annexe 8. Abondance phytoplanctonique [log (moyenne saison-site de l'effectif d'algues compte sur chaque site et pour chaque saison de la campagne Mytilobs 2015



Annexe 9. Identification de parasites identifié en histopathologie dans les moules du suivi Mytilobs 2015.

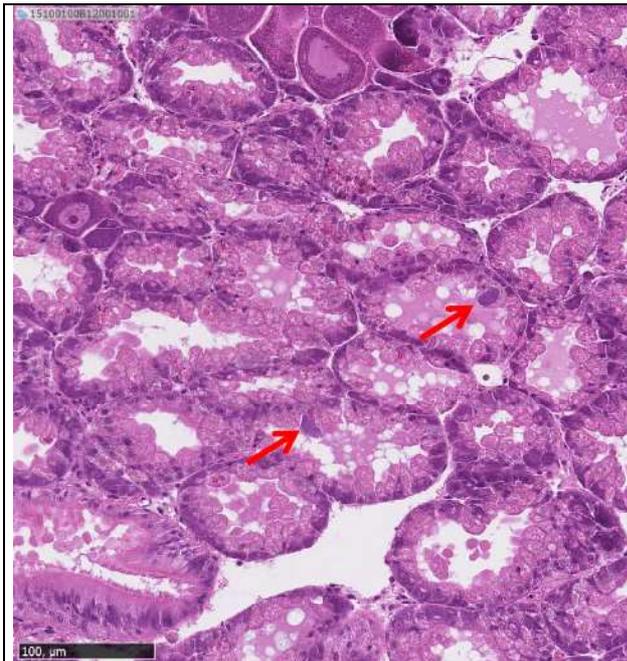


photo 1 Rickettsie-like. Photo HISTALIM, C. Haond.

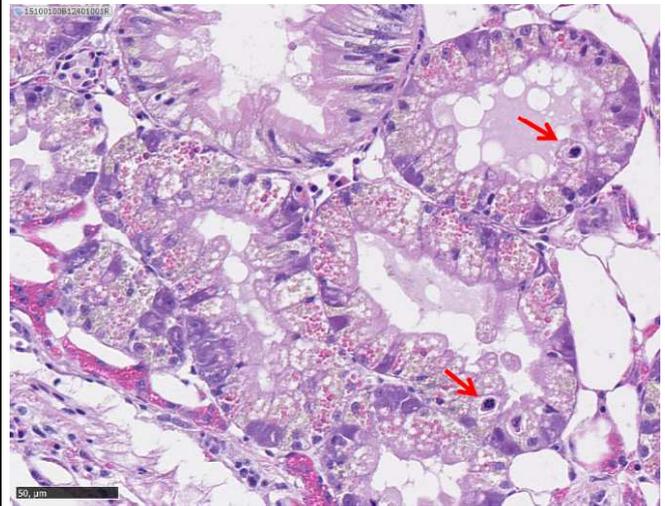


Photo 2. Ciliophora . parasites intracellulaires des cellules digestives. Photo HISTALIM C. Haond.

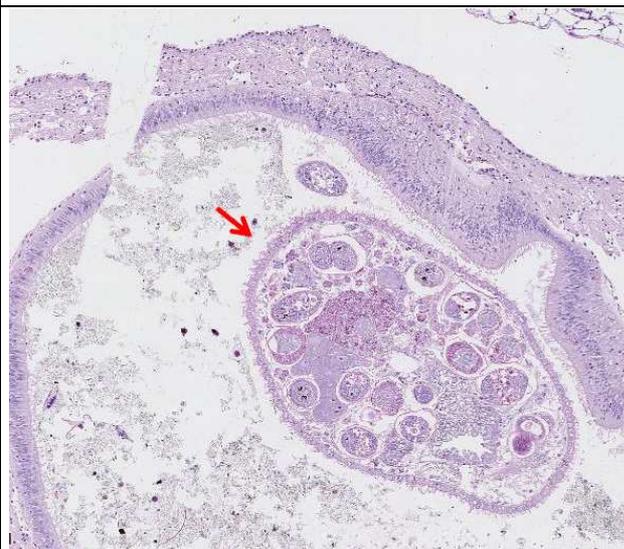


photo 2 : *Paravortex* sp, Photo HISTALIM, C. Haond.

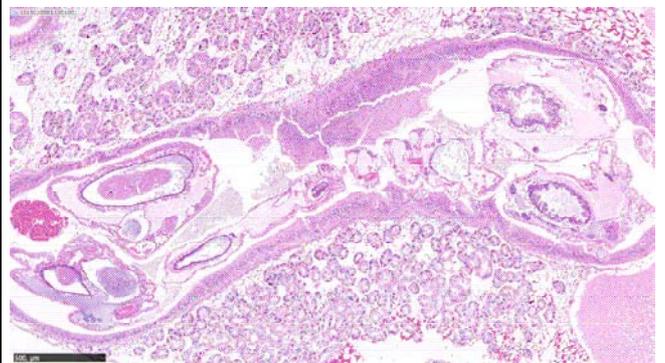


photo 3 *Mytilicola intestinalis*, agent non pathogène, dans un tube digestif,. Photo HISTALIM, C. Haond.

