

Florian Gaussem<sup>1</sup>, Anne Thebault<sup>2</sup>, Joseph Mazurié<sup>1</sup>, Jean Yves Stanisière<sup>1</sup>,  
Diane Cuzzucoli<sup>2</sup> et Nathalie Cochenne-Laureau<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Ifremer. Laboratoire Ressources et Environnement. Rue des Résistants, 56470 La Trinité sur Mer

<sup>2</sup> : ANSES (Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). 27-31 avenue du Général Leclerc, 94701 Maisons-Alfort Cedex

Correspondant : Nathalie Cochenne-Laureau : nathalie.cochenne@ifremer.fr

## « Etude épidémiologique et écopathologique dans le cadre des mortalités de naissains d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas* »





# Etude épidémiologique et écopathologique dans le cadre des surmortalités de naissains d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas*

Florian Gaussem\*, Anne Thébault\*\*, Joseph Masurié\*,  
Jean Yves Stanisière\*, Diane Cuzzucoli\*\* et  
Nathalie Cochenec-Laureau\*

\* : Ifremer. Laboratoire Ressources et Environnement. Rue des Résistants, 56470 La Trinité sur Mer

\*\* : ANSES (Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). 27-31 avenue du Général Leclerc, 94701 Maisons-Alfort Cedex

Rédacteur et correspondant : Nathalie Cochenec-Laureau : [nathalie.cochennec@ifremer.fr](mailto:nathalie.cochennec@ifremer.fr)



*Les auteurs remercient les professionnels de la Rivière de Pénerf et du Comité Régional de Bretagne Sud pour leur soutien et leur implication dans la réalisation de ces études.*

## Résumé

Dans le cadre d'une convention Ifremer-DGAL (2010-2011), une étude épidémiologique et écopathologique intégrative a été conduite en Rivière de Pénerf (Morbihan). Elle a permis de mettre en place un outil d'objectivation pour i) l'évaluation des mortalités par une enquête réalisée auprès de tous les professionnels et pour ii) l'acquisition de données sur la biomasse, les stocks présents (élevés et non élevés) et la bathymétrie du site. Une régression logistique multivariée a permis d'ajuster la relation entre ces variables explicatives et d'étudier toutes leurs combinaisons pour comprendre les différences de mortalité déclarées sur les lots de naissains analysés. Le meilleur modèle prend en compte l'origine du naissain (écloserie, naturel), la date de transfert, la densité d'élevage et le secteur d'élevage. L'amélioration du parcours zootechnique peut permettre un gain moyen de survie de 20 à 30%.

Ce type d'étude ne permettant pas de suivre l'évolution spatio-temporelle des mortalités et le suivi pathologique des lots, des expérimentations complémentaires ont été menées en 2010 et 2011. Elles montrent que la mortalité présente un pic majoritaire au cours de l'été et que ce pic peut être suivi de un ou de plusieurs rebonds de mortalité d'intensité moins importante sur la période de juin à septembre 2010 et 2011. Ces pics successifs de mortalité sont associés à la présence du virus OsHV1 $\mu$ var, sa concentration dans les tissus de naissains et dans l'eau de mer. L'hypothèse d'une aggravation des mortalités par la présence chronique dans les naissains de la bactérie *Vibrio splendidus* et/ou de toxines excrétées dans l'eau de mer ne peut être rejetée. Toutefois, nous ne disposons pas aujourd'hui de donnée sur les interactions éventuelles entre ces deux agents infectieux. D'autre part, les quelques cas de lots infectés par *V. aestuarianus* sont loin d'expliquer à eux seuls les mortalités en Rivière de Pénerf.

La concentration virale dans les naissains et dans l'eau semble un facteur prédominant de mortalité. L'ensemble de nos résultats, y compris l'observation de rebonds de mortalités, suggère que toute pratique augmentant la charge virale, par exemple, l'introduction de naissains contaminés ou en cours de mortalité à différentes périodes de l'année, pénalise l'ensemble des professionnels d'une zone d'élevage accueillant des transferts.

Enfin, la partie conceptuelle d'un modèle dynamique de diffusion de la surmortalité, à l'échelle d'une population, a été élaborée pour mieux comprendre les mécanismes impliqués. Les données acquises par les expérimentations réalisées en 2010 et 2011 permettront d'enrichir et de valider le modèle. L'objectif final à moyen terme sera de tester différents scénarii de gestion du risque en vue de prédire certains effets bénéfiques ou non pour la conchyliculture.

<b>1. Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Matériel et Méthodes .....</b>	<b>6</b>
2.1. Le choix du site d'étude : la Rivière de Pénerf, un site atelier.....	6
2.2. Estimation du stock et de la biomasse des huîtres .....	7
2.2.1. Opérations sur le terrain .....	7
2.2.2. Localisation des huîtres en élevage.....	7
2.2.3. Localisation des stocks d'huîtres non élevées.....	8
2.2.4. Attribution de poids références .....	9
2.3. Bathymétrie de la rivière et des concessions suivies.....	10
2.4. Suivi de la température.....	10
2.5. Estimation des surmortalités par des enquêtes auprès des professionnels.....	10
2.6. Etudes complémentaires spatio-temporelles .....	11
2.6.1. Suivi inter-concessions.....	11
2.6.2. Suivi intra-concession .....	13
2.7. Analyses proposées dans le cadre des enquêtes auprès des professionnels .....	15
2.7.1. Sources de données .....	15
2.7.2. Méthode d'analyse .....	15
<b>3. Résultats .....</b>	<b>17</b>
3.1. Cartographie spatiale des stocks d'huîtres de la rivière de Pénerf en 2010 .....	17
3.2. Estimation de la biomasse des huîtres en élevage, abandonnées et sauvages.....	20
3.2.1. Huîtres d'élevage.....	20
3.2.2. Huîtres abandonnées et sauvages .....	21
3.3. Estimation de la mortalité du naissain à l'échelle de la rivière de Pénerf.....	23
3.3.1. Déclaration des mortalités .....	23
3.3.2. Densité et type d'élevage .....	25
3.3.3. Origine du lot et ploïdie .....	28
3.3.4. Dates de transfert du naissain.....	28
.....	29
3.3.5. Bathymétrie .....	30
3.3.6. Suivi de la température.....	30
3.4. Recherche de facteurs explicatifs des mortalités de naissains en rivière de Pénerf.....	30
3.4.1. Les variables explicatives.....	30
3.5. Suivis spatio-temporel de la mortalité.....	37
3.5.1. Cinétique des mortalités inter-concessions .....	37
3.5.2. Cinétique des mortalités intra-concession.....	39
3.5.3. Relation entre taux de mortalité, taux d'infection et charge virale d'OsHV1 $\mu$ var	41
3.5.4. Relation entre taux de mortalité et taux d'infection par les bactéries <i>Vibrio</i> <i>splendidus</i> et <i>V. aestuarianus</i> .....	46
<b>4. Discussion générale, conclusion .....</b>	<b>48</b>
<b>5. Bibliographie.....</b>	<b>53</b>
<b>6. Annexes .....</b>	<b>55</b>

# 1. Introduction

Des mortalités anormales<sup>1</sup> (ou surmortalités) du naissain d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas*, ont été observées à partir de 2008. Les analyses effectuées, dans le cadre du Réseau de Pathologie des Mollusques bivalves marins (REPAMO, <http://wwz.ifremer.fr/repamo>) ont permis d'observer la présence d'un nouveau génotype du virus herpes, OsHV-1  $\mu$ var associé à des bactéries *Vibrio splendidus* et *V. aesturianus* (Rapport annuel REPAMO, 2008). Depuis 2008, les épisodes de surmortalité se répètent annuellement (Cochennec-Laureau et Baud, 2011). Ils touchent de 70 à 90% des naissains en élevage sur l'ensemble du littoral français et sont associés aux agents infectieux décrits en 2008 (Rapport annuel RESeau Observatoire Conchylicole, RESCO, 2009, 2010).

Les observatoires Ifremer permettent d'acquérir des données sur la dynamique spatio-temporelle des mortalités à l'échelle nationale par une surveillance passive des lots présentant des surmortalités déclarées par les professionnels (REPAMO) et par une surveillance active sur des lots « sentinelles » dans le cadre de l'Observatoire Conchylicole ([http://wwz.ifremer.fr/observatoire\\_conchylicole](http://wwz.ifremer.fr/observatoire_conchylicole)). Ces suivis ne peuvent à eux seuls représenter la totalité de la diversité environnementale et zootechnique des lots en élevage, et il peut en résulter des divergences d'observation de mortalité sur le terrain au sein d'un même bassin de production. S'ils incluent le diagnostic des agents infectieux présents au moment du prélèvement, ils ne permettent pas de suivre l'évolution temporelle de ces agents.

L'hypothèse du rôle déterminant des agents infectieux dans les phénomènes de surmortalité a été renforcée par les études expérimentales sur leur pathogénicité (Schikorski *et al.*, 2011 ; Sauvage *et al.*, 2009, Segarra *et al.*, 2010). Toutefois, la recherche des combinaisons de facteurs environnementaux ou anthropiques aggravants ou protecteurs restent trop peu étudiés (Miossec *et al.* 2009 ; Lupo *et al.*, 2010 ; Peeler *et al.*, 2012).

**Les études développées en 2010 et 2011 visent à estimer les surmortalités des naissains d'huîtres creuses à différentes échelles d'un bassin de production, la rivière de Pénerf, et à tenter de les relier à des facteurs environnementaux, zootechniques et zoo-sanitaires.**

Ce travail a été réalisé en plusieurs temps :

*Une partie descriptive des mortalités à plusieurs échelles*

- *juin 2010-décembre 2010* : évaluation du stock d'huîtres cultivées et non cultivées en rivière de Pénerf
- *juin 2010-octobre 2010* : enquête (questionnaire) chez tous les professionnels de la Rivière de Pénerf disposant de naissain à cette période pour estimer les mortalités
- *juin 2010-octobre 2010* : études complémentaires spatio-temporelles de la mortalité de 9 lots de naissains élevés sur des concessions de professionnels dans le secteur du Rouvran (la zone d'élevage la plus importante de naissains).

---

<sup>1</sup> La réglementation (article 10 et annexe I de la Directive 06/88/CE décret n°2008-1141) définit les mortalités anormales comme « un accroissement inexplicé et significatif de la mortalité au-delà du niveau considéré comme normal pour l'exploitation aquacole ou le parc à mollusques concernés dans les conditions habituelles. Le niveau d'accroissement à désigner comme une hausse de la mortalité doit être convenu par l'exploitant et l'autorité compétente ».

- *juin 2010-mars 2011* : étude de la diffusion des mortalités au sein d'une même concession.

*Une partie analytique :*

- *octobre 2010-mars 2011* : analyses univariée et multivariée pour rechercher des facteurs aggravant ou limitant les mortalités sur la rivière de Pénerf à partir des enquêtes réalisées chez les professionnels.
- *octobre 2010-mars 2011* : phase conceptuelle d'écriture d'un modèle dynamique, sur le principe compartimental, pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans les surmortalités
- *mars 2011-décembre 2011* : tests des facteurs suspectés d'avoir une influence sur les mortalités. Ces résultats ne rentrent pas dans le financement que la DGAL a accordé.

Le financement de ces études est distinct. Une partie a été financée par l'Ifremer (juin 2010-2011) et une partie par la Direction Générale de l'Alimentation (juin 2011-décembre 2011, [Annexe 1](#)).

Afin de faciliter la présentation et la compréhension de cette approche épidémiologique intégrative, certains résultats, non financés par la DGAL, sont présentés partiellement en annexe 2 et 3.

## 2. Matériel et Méthodes

### 2.1. Le choix du site d'étude : la Rivière de Pénerf, un site atelier

La rivière de Pénerf est située à l'entrée de la presqu'île de Rhuys dans le département du Morbihan, en Bretagne Sud (Figure 1). C'est une ria, d'une surface totale inférieure à 100 km<sup>2</sup>, qui tire son nom du village de Pénerf, sur la commune de Damgan. Elle est entourée de sites conchylicoles, la rivière d'Etel, la Baie de Quiberon, le Golfe du Morbihan à l'ouest et l'embouchure de la Vilaine à l'est (Figure 1). Ces 5 sites d'élevage concentrent la totalité de la production conchylicole de Bretagne Sud (environ 20 000 tonnes d'huîtres creuses en 2009, données CRC BS).



D'un point de vue hydrodynamique, la rivière de Pénerf est soumise au panache de la Vilaine à marée montante (selon les vents et les courants). Une modélisation de l'hydrodynamisme des différents sites exploités reste à mettre en œuvre pour étudier les échanges de masses d'eau entre ces zones.

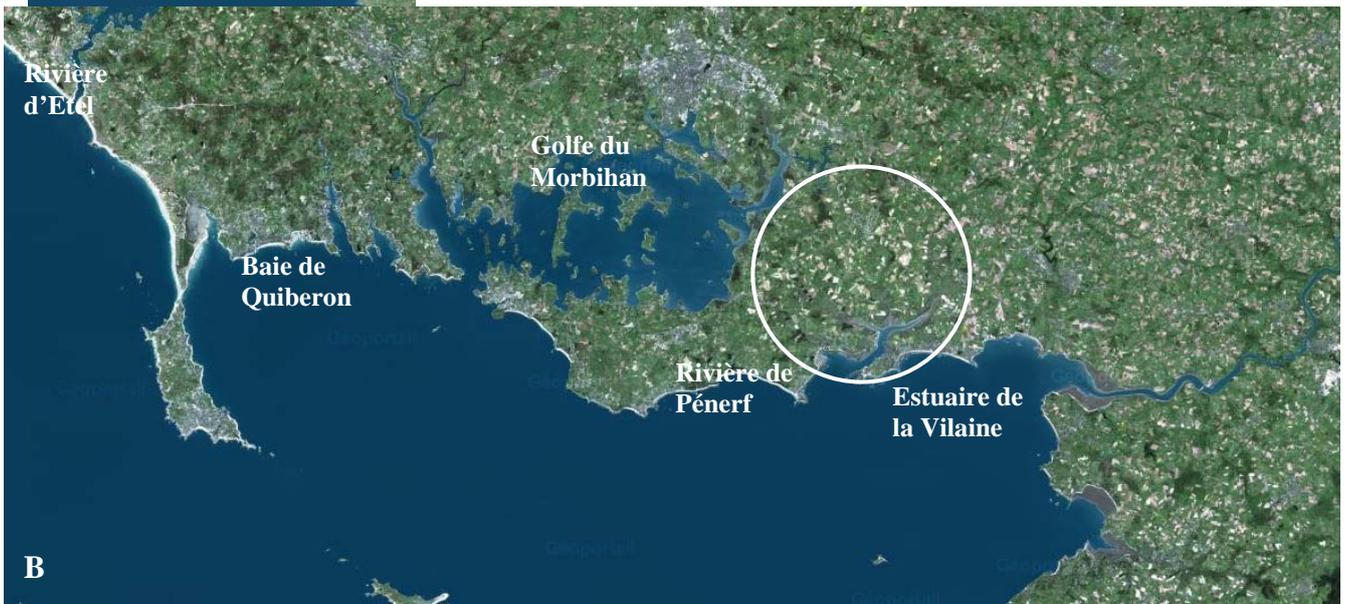


Figure 1 : Localisation géographique de la rivière de Pénerf, située en Bretagne Sud, dans le Morbihan (A), entourée des principaux sites conchylicoles de Bretagne Sud (B).

La rivière de Pénerf a été choisie pour différents critères :

- i) c'est un secteur conchylicole relativement restreint d'accès facile en fonction des coefficients de marée, tous les 15 jours,
- ii) avec 53 entreprises, la production annuelle avoisine les 2500 tonnes d'huîtres creuses sur une surface d'environ 231 ha de concessions (informations cadastrales et CRC Bretagne Sud),
- iii) chaque professionnel a été rencontré pour remplir le questionnaire de l'enquête épidémiologique,

- iv) les techniques d'élevage du naissain (huîtres de moins de un an) utilisées sont représentatives de celles de Bretagne Sud sur estran (élevage en poche ou sur tubes en sur-élevé)
- v) la rivière de Pénerf constitue un des 13 points de suivis de l'Observatoire Conchylicole (RESCO) qui assure la surveillance des mortalités de lots de naissains placés sur l'ensemble du littoral français.

## **2.2. Estimation du stock et de la biomasse des huîtres**

L'objectif de cette première partie est de cartographier l'ensemble des huîtres présentes au cours du deuxième semestre 2010 dans la rivière de Pénerf. A partir de ce travail descriptif, la biomasse totale des huîtres en élevage, abandonnées et sauvages a pu être évaluée. Ces estimations de stock et de biomasse décrivent précisément la densité du naissain au niveau des concessions et des secteurs d'élevage.

En outre, cette cartographie pourrait permettre de mieux comprendre les interactions entre les différents lots de naissains et leurs effets éventuels sur la propagation du virus. Elle pourrait servir, comme « source d'émission de virus », dans la mise en place d'un modèle hydrodynamique sur la rivière de Pénerf.

### **2.2.1. Opérations sur le terrain**

Les opérations de terrain se sont déroulées du 15 juillet au 10 décembre 2010, sur 6 périodes de vives-eaux, par coefficients de marée compris entre 80 et 115.

L'estimation du stock *d'huîtres en élevage et abandonnées* a été réalisée durant la période estivale en sectorisant la rivière en 54 entités de surface comparables. *Les huîtres en élevage et abandonnées* ont été recensées entre le 15 juillet et le 22 septembre. La période estivale étant peu propice aux transferts d'huîtres (entrées et/ou sorties) on estime que les stocks n'ont pas beaucoup évolué durant cette période (2 mois).

*Les huîtres sauvages* ont été recensées entre le 15 juillet et le 10 décembre. Ces stocks, non exploités, n'ont pas ou très peu évolué durant cette période.

Pour chacune de ces journées, 4 agents Ifremer de La Trinité-sur-mer, ont apporté leur concours à cette opération.

### **2.2.2. Localisation des huîtres en élevage**

Une méthodologie d'estimation des stocks d'huîtres en élevage intertidal a été élaborée à partir de 1986 (Bacher *et al.*, 1986 ; Baud *et al.*, 1987), puis appliquée dans les principaux bassins ostréicoles nationaux, en priorité ceux suspectés d'être en surcharge (Gagnery (1999), Kopp *et al.* (2000), Le Moine *et al.* (2002)).

La méthode retenue s'appuie sur une estimation de surfaces cultivées ou de longueurs de tables ostréicoles, sur Système d'Information Géographique (SIG), complétée des estimations sur le terrain. Les variables d'intérêt sont le nombre total d'huîtres, le poids total d'huîtres ainsi que les classes d'âge.

En l'absence d'informations préalables sur la répartition du stock au sein des 230 ha concédés, aucune stratification spatiale n'a été entreprise : le domaine concédé a été traité comme un seul ensemble pour les dénombrements et l'échantillonnage.

Le Centre Administratif des Affaires Maritimes gère les fichiers des concessions. Les documents cartographiques, traditionnellement sous forme de cartes en papier, ont été récemment numérisés et intégrés à un Système d'Information Géographique (Map Info), au

niveau de chaque Direction départementale des Affaires Maritimes. Mis à disposition de l’Ifremer par la DML56 et transférés sous Arcview, ils ont servi de support de positionnement et de localisation des concessions.

Le recensement des stocks d’huîtres s’est basé sur le repérage visuel du nombre de poches sur les tables ostréicoles et/ou de tubes et sur l’estimation de l’âge au sein d’une même concession. Les agents Ifremer ont reporté leurs observations sur une orthophotographie du secteur prise à marée basse en 2003 (figure 2). Pour faciliter la représentation, les huîtres ont été classées en 3 catégories, chacune étant représentée par un code couleur :

- « Adultes » : âge  $\geq$  2 ans « Couleur rose »
- Demi-élevage : âge = 18 mois et 2 ans « Couleur bleue »
- Naissains : âge  $\leq$  1 an « Couleur jaune ». Le mode d’élevage du naissain (en poche ou sur tube) a également été notifié.

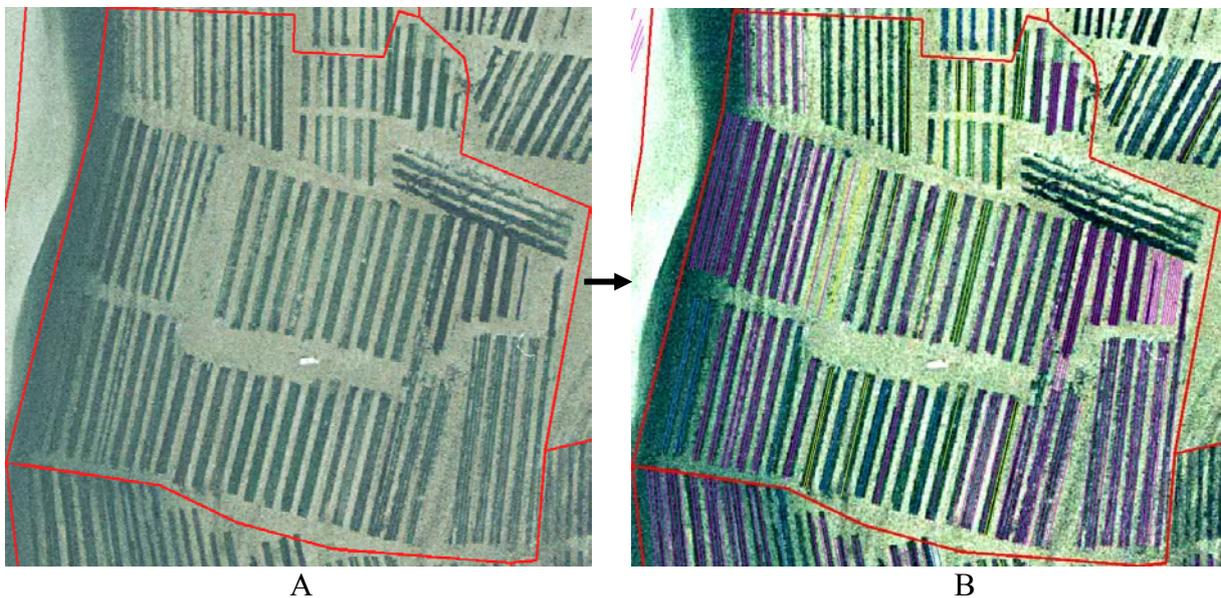


Figure 2 : Orthophotographie avant (A) et après (B) les observations sur le terrain d’une concession (source DML 56). Les structures d’élevage sont coloriées en fonction du code de couleur défini pour les classes d’âge. Rose : huîtres adultes  $>2$ ans ; Bleu : demi-élevage, huître de 18 mois et deux ans ; jaune : naissain. Le trait rouge correspond aux limites de la concession.

### 2.2.3. Localisation des stocks d’huîtres non élevées

Les stocks d’huîtres non élevées ont été repérés visuellement sur les concessions et les roches. Les huîtres ont été classées en deux grandes catégories, *les huîtres abandonnées* et *les huîtres sauvages* :

Parmi *les huîtres abandonnées*, on trouve celles sur les tables qui ne sont plus exploitées et celles au sol.

- Huîtres de tables : elles sont fixées sur des tables ostréicoles non entretenues sur lesquelles elles ont pu se développer naturellement. Elles sont de taille généralement élevée : leur densité peut être très importante. Le nombre important de ces structures semble favoriser l’envasement de la concession.

- Huîtres de sol : elles ont été semées par des professionnels par le passé et ne sont plus aujourd’hui exploitées. Ce sont des huîtres de taille moyenne à élevée. Leur densité n’est généralement pas très importante.

*Les huîtres sauvages* sont naturellement fixées sur les parties immergées des rochers. Elles ont des tailles variables et sont à des densités hétérogènes (figure 3)



Figure 3 : Densités d’huîtres sauvages sur un rocher en fonction de la bathymétrie

#### 2.2.4. Attribution de poids références

Pour les huîtres élevées en poche, 10 poches sur 10 concessions ont été tirées au hasard (sur l’ensemble de la rivière) pour chaque classe d’âge. Elles ont été pesées afin d’attribuer un poids moyen de référence par classe d’âge. A chaque mesure, 1 kg, correspondant au poids de la poche elle-même a été déduit.

Pour les stocks d’huîtres abandonnées et sauvages, l’estimation des densités a été réalisée à partir du comptage de 5 cadrats de 0.5 m<sup>2</sup> de surface :

*Huîtres sur tables* : mesure de la longueur de table concernée. Réalisation d’un cadrat : prélèvement et pesée des individus puis calcul de la densité/mètre.

*Huîtres au sol* : calcul de la surface concernée (sous SIG). Réalisation d’un cadrat : prélèvement et pesée des individus puis calcul de la densité/mètre.

*Huîtres sur rochers* : prise d’une photo de 5 cadrats (pour comptage ultérieur du nombre d’individus par informatique) puis décolllement et pesage des huîtres présentes dans le cadrat.

La réalisation des cadrats sur chaque support est présentée en figure 4 :

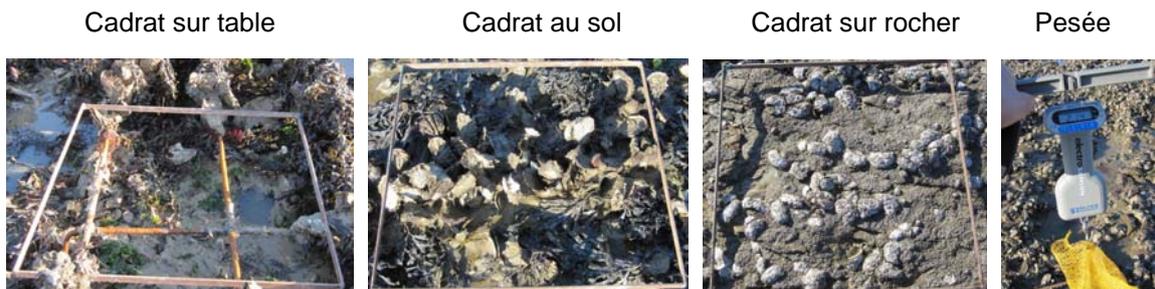


Figure 4 : Cadrats et pesées des huîtres sauvages sur chaque support

### **2.3. Bathymétrie de la rivière et des concessions suivies**

Dans le cadre de l'étude des risques de submersion marine, le Conseil Général du Morbihan a réalisé une cartographie de l'ensemble des zones côtières du département. Deux types de données ont pu être utilisées :

1. *Relevés LIDAR* : ces données ont été collectées par le survol d'un avion lors d'une basse mer de vive-eau. A raison d'une mesure tous les mètres, elles permettent de connaître de façon précise la bathymétrie des zones terrestres et marines exondées.
2. *Données bathymétriques* : collectées par un bateau équipé d'un sonar interférométrique, elles complètent les relevés LIDAR sur les zones non exondantes.

Une fois collectées, ces données ont été traitées (assemblées et calées) par le bureau d'études Mesuris pour obtenir une bathymétrie homogène.

Afin d'obtenir les bathymétries de chaque concession étudiée, les données ont été assemblées avec le cadastre sous SIG.

### **2.4. Suivi de la température**

Les mesures de température ont été effectuées toutes les 30 minutes entre le 12 juillet et le 23 septembre 2010. Les données ont été collectées à l'aide de la sonde SP2T présente sur le site de l'Observatoire conchylicole (au milieu du secteur du Rouvran).

La sonde prend une mesure de température et de pression toutes les 30 minutes, quelle que soit la hauteur de l'eau (marée). Les données sont ensuite traitées et seules les mesures prises lorsque la poche est recouverte d'au moins 50 cm d'eau sont conservées.

### **2.5. Estimation des surmortalités par des enquêtes auprès des professionnels**

Lorsqu'ils constatent une mortalité anormale sur les huîtres, les professionnels doivent remplir une fiche de « Signalement d'une hausse de mortalité d'huîtres creuses ». Ces fiches sont transmises à la DDTM qui décide en accord avec le responsable du REPAMO d'effectuer une saisine avec prélèvements éventuels et analyses pathologiques d'échantillons. Au cours de l'été 2010, 30 professionnels ont déclaré des mortalités auprès de la DDTM sur un ou plusieurs lots<sup>2</sup> de naissains leur appartenant. Certains professionnels disposent de une ou plusieurs concessions dans la rivière de Pénerf. Ces concessions peuvent comporter un ou plusieurs lots de naissains de parcours zootechniques différents (origine du captage, date de transfert...).

Sur la base des déclarations collectées et recensées par la DDTM, une fiche d'enquête a été élaborée sur la base d'un travail de collaboration entre l'Ifremer et la DGAL afin de récolter, compléter et répertorier les informations de manière standardisée. Chaque questionnaire

---

<sup>2</sup> Un « lot » est une entité de naissain homogène introduite au même moment sur une même concession et dont l'historique et le parcours zootechnique sont identiques.

correspond à un lot et contient les informations essentielles à sa traçabilité. Chaque professionnel a été contacté et rencontré lors d'un rendez-vous individuel d'environ 1 heure.

## 2.6. Etudes complémentaires spatio-temporelles

Les données recueillies sur le terrain et auprès des professionnels ne permettent pas de suivre l'évolution temporelle des épisodes de mortalités. Nous avons donc choisi de compléter ce premier jeu de données par des études ciblées au niveau inter et intra concession sur la zone du Rouvran. Ces données permettront d'ajuster et de valider un modèle dynamique de diffusion des mortalités (en cours d'élaboration).

### 2.6.1. Suivi inter-concessions

La population cible de notre étude est le naissain élevé en poche sur 2 secteurs de la rivière parmi les plus exploités, le secteur de Banastère (1) et le secteur du Rouvran (2) sur la période juin 2010- octobre 2010 (figure 5). L'ensemble des propriétaires de chaque concession a accepté de participer à cette étude.

Le type de sondage est en grappe à 3 degrés :

- i) les concessionnaires et les concessions sont tirés au sort.
- ii) 3 poches sont tirées au sort, sur chaque concession, puis marquées pour être suivies sur le temps d'étude,
- iii) au sein de chaque poche, pour chaque date de suivi, un tirage au sort d'un échantillon d'huîtres est réalisé, sans remise.

Une fois marquées, les 3 poches, de chaque concession, ont fait l'objet d'un suivi bimensuel (correspondant à chaque vive-eau) entre le début du mois de juillet et la fin du mois d'octobre 2010. Au total 135 mesures ont été effectuées.

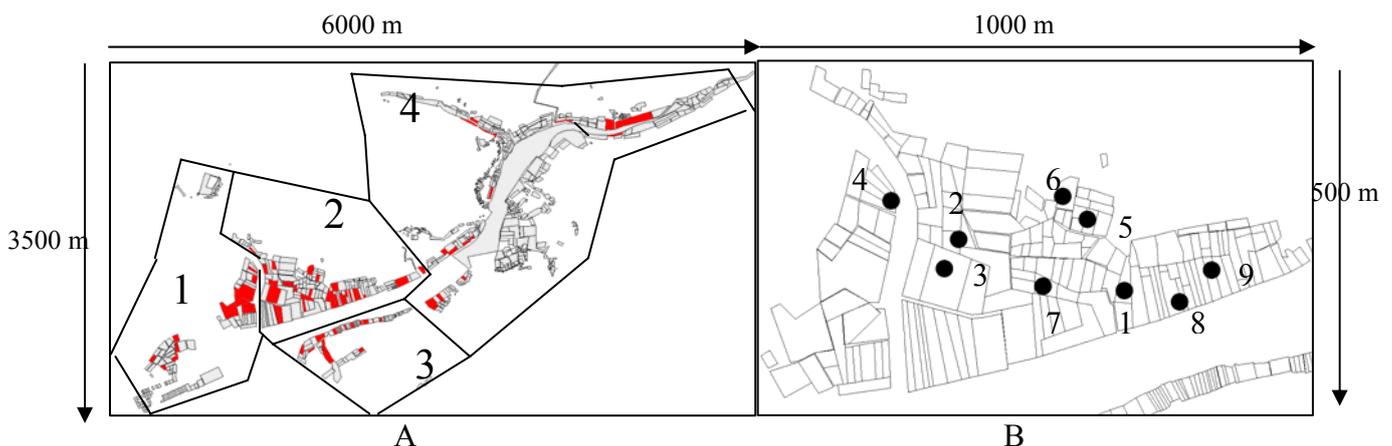


Figure 5 : Secteurs de la rivière de Pénerf. Les 9 concessions suivies font parties du secteur 1, que nous avons nommé Banastère et le secteur 2, le Rouvran (A). Leur localisation sur le cadastre est présentée sur la figure B.

### 2.6.1.1. Prélèvements et comptages

Après avoir homogénéisé la poche (mélange des huîtres) un échantillon d'une centaine de naissains est prélevé au hasard en 3 fois à l'aide d'un contenant. Il est ensuite placé dans un sachet et stocké dans une glacière jusqu'à son arrivée au laboratoire. Parallèlement, un échantillon d'eau de mer est prélevé à l'aide d'un flacon (20 ml) dans les flaques d'eau de mer au pied des tables supportant les poches.

Une fois au laboratoire, l'échantillon de naissains est placé sur un tamis et lavé à l'eau douce pour enlever le maximum de débris. Les naissains vivants et morts sont ensuite séparés et comptés.

Remarque : on appelle « naissains vivants » les animaux dont les 2 valves sont hermétiquement fermées ; le naissain « mort » comporte 3 types : le naissain « moribond » dont les 2 valves sont entrouvertes avec présence de chair, le naissain « vide » dont les deux valves de la coquille sont entrouvertes, sans chair et le naissain « vide » dont les deux valves sont séparées. De façon à ne pas compter plusieurs fois les mêmes individus, seules les valves inférieures sont prises en compte dans le dénombrement des individus morts.

Ces données permettent de déterminer, à chaque date, le taux de mortalité cumulée et instantanée du lot de naissain.

La mortalité instantanée est calculée à partir des données recueillies à chaque temps de prélèvements, T1, T2...Tn suivant la formule suivante :

$$M_{inst} = \frac{[(M_{cum2} - M_{cum1}) / (1 - M_{cum1})]}{(T2 - T1)}$$

*Minst = Mortalité instantanée, M<sub>cum1</sub> = Mortalité cumulée à T1, M<sub>cum2</sub> = Mortalité cumulée à T2, T1 = Temps 1 et T2 = Temps 2*

### 2.6.1.2. Analyses pathologiques

A chaque date de suivi, un échantillon de 20 individus vivants est sélectionné au hasard dans les 100 prélevés puis congelé. L'analyse pathologique est effectuée sur 12 naissains, de manière individuelle, pour rechercher la présence de l'herpès-virus OsHV1  $\mu$ var par la méthode PCR en temps réel ainsi que les bactéries *Vibrios splendidus* et *V. aestuarianus* par la méthode PCR qualitative. Seule la présence d'OSHV1  $\mu$ var est recherchée dans les échantillons d'eau de mer.

Les analyses pathologiques sont réalisées par le laboratoire agréé IDHESA Bretagne Océane. Ces analyses permettent d'exprimer les résultats en taux de prévalence correspondant au pourcentage de naissains diagnostiqués positifs à OsHV1 $\mu$ var, *V. splendidus* et *V. aestuarianus*. D'autre part pour OSHV1 $\mu$ var les données quantitatives permettent de calculer la concentration d'OSHV1 $\mu$ var dans 1 mg/tissus et 1 ml/d'eau de mer.

## 2.6.2. Suivi intra-concession

Le lot étudié dans ce suivi est arrivé sur le site de Pointe er Fosse (Zone plus amont du Rouvran) le 18 juin 2010 (figure 6). Ce lot de naissains a été capté sur des coupelles en Charente maritime (Port des barques). Il est composé de 480 poches : 380 poches (mailles 6 mm) contiennent chacune 7 000 naissains de taille T8 (1 500 ind./kg) réparties sur 4 rangées distinctes et 100 poches (mailles 4 mm) contenant chacune 12 000 naissains de taille T6 (4 000 ind./kg) réparties sur une même rangée.



Figures 6 : Localisation sur le cadastre de la concession suivie pour l'étude spatio-temporelle de la mortalité sur 30 poches d'un même lot

### 2.6.2.1. Prélèvements et comptages

30 poches du lot sont sélectionnées suivant un cadrat qui permet d'étudier les mortalités de manière longitudinale (figure 7). Ces poches sont marquées à l'aide de liens de couleurs. Une fois marquées, les 30 poches ont fait l'objet d'un suivi bimensuel (correspondant à chaque vive-eau) entre le début du mois de juillet et la fin du mois de septembre 2010. Le suivi s'est poursuivi à un rythme mensuel sur 10 des 30 poches initiales entre le mois d'octobre 2010 et mars 2011.

Au total, 265 prélèvements sont réalisés entre le 18 juin 2010 et le 21 mars 2011. Les dates et le nombre de poches suivies sont présentés dans le tableau 1 et la figure 8.

Tableau 1 : récapitulatif des dates et nombre de poches suivies au cours de l'étude du 18 juin 2010 au 21 mars 2011

Temps	Date	Nombre de poches	Temps	Date	Nombre de poches
T0	18/06/2010	5	T7	22/09/2010	30
T1	25/06/2010	30	T8	25/10/2010	10
T2	02/07/2010	30	T9	06/12/2010	10
T3	26/07/2010	30	T10	24/01/2011	10
T4	10/08/2010	30	T11	21/02/2011	10
T5	24/08/2010	30	T12	21/03/2011	10
T6	06/09/2010	30			

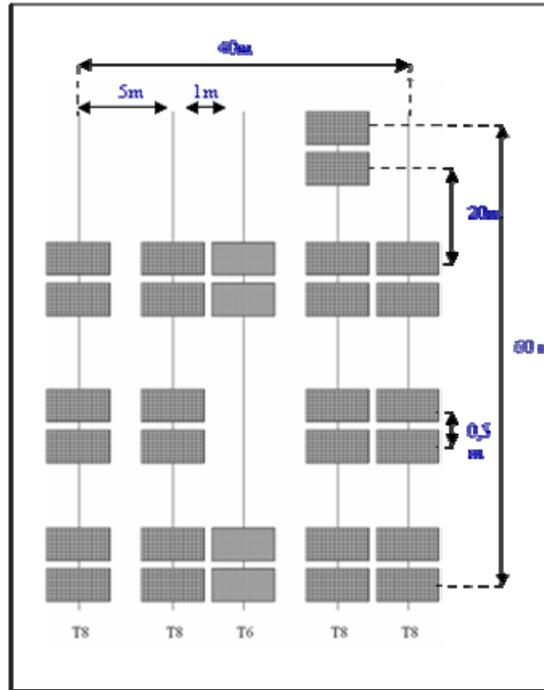


Figure 7 : Disposition des poches suivant un cadrat permettant un suivi longitudinal des mortalités au sein de la concession. Leurs emplacements et leurs distances respectives sont indiqués.

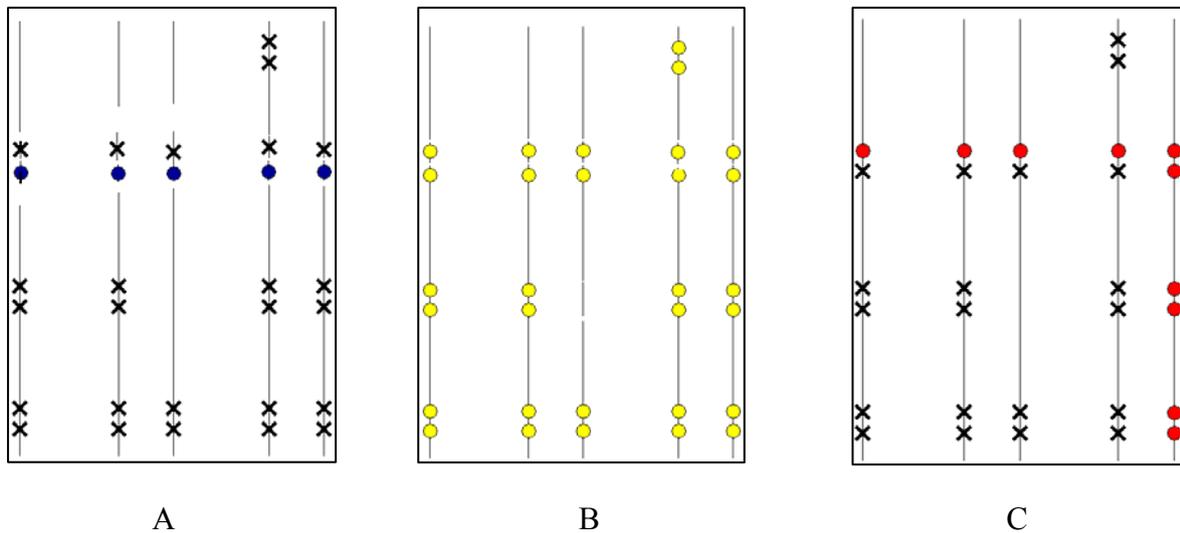


Figure 8 : Les ronds de couleur représentent les poches suivies à leur arrivée sur la concession T0 (A), de juin à septembre (suivi bi-mensuel) : T1 à T7 (B) et d'octobre à mars 2011 (suivi mensuel): T8 à T12 (C)

### 2.6.2.2 Analyses pathologiques

Les analyses réalisées pour ce suivi sont similaires à celles effectuées pour le suivi-inter-concessions (chapitre 2.5.1.2.)

## 2.7. Analyses proposées dans le cadre des enquêtes auprès des professionnels

### 2.7.1. Sources de données

L'objectif est de rechercher s'il existe un lien statistique entre les différents critères environnementaux et les pourcentages de mortalité pour chaque exploitation déclarante. Les données utilisées pour l'analyse sont celles récoltées par les enquêtes auprès des professionnels croisées avec celles recueillies sur le terrain. Les variables complétées sont le secteur d'élevage, sa biomasse en naissains, la date de transfert, l'origine du naissain (écloserie ou lieu de captage naturel), sa ploïdie, son support d'élevage (poches ou tubes), la densité d'élevage (estimée au m<sup>2</sup>), la bathymétrie du parc d'élevage.

### 2.7.2. Méthode d'analyse

L'analyse statistique proposée tient compte de tous les facteurs récoltés pouvant influencer le niveau de mortalité. La régression logistique multi-variée permet d'ajuster la relation entre plusieurs facteurs de risque pris simultanément et d'étudier l'influence respective des différents paramètres sur la relation étudiée, ici la mortalité cumulée finale.

Le modèle choisi pour l'analyse suppose que certaines hypothèses soient biologiquement fondées ou du moins que la réalité ne s'en écarte pas trop, ce qui peut être vérifié statistiquement.

L'approche s'articule en trois parties :

- Description des données et limitation de celles-ci : l'intérêt est de valider le recueil des enquêtes auprès des professionnels permettant d'éviter d'importantes pertes d'informations (fiche de déclaration de mortalité) nécessaires pour une analyse plus efficace et puissante.
- Exploration des variables d'intérêt : cette partie vise à représenter spatialement les variables d'intérêt et à examiner les relations entre ces variables explicatives.
- Analyse multivariée : la méthode d'analyse s'apparente à la classe des régressions linéaires généralisées logistiques. Les mortalités estimées par comptage sont considérées au moment de la déclaration.

Toutes les variables explicatives ont été recueillies lors des enquêtes auprès des professionnels et à partir des relevés sur le terrain. Les variables sont sélectionnées à partir des critères suivants :

- Les variables sont composées de plusieurs catégories : si les effectifs par catégorie sont inférieurs à 10%, alors on effectue un regroupement.
- Les variables dont le taux de non réponse est supérieur à 20% sont éliminées.
- Recherche de colinéarité entre variables explicatives, exclusion d'une variable  $P < 0.05$  à l'aide du test X<sup>2</sup>.

Les calculs sont menés sur R version 2.12.1, avec le module lme4 pour la prise en compte d'effet aléatoire. Les modèles non emboîtés sont comparés sur la base du critère AIC (Akaike Information Criteria). Les modèles emboîtés sont comparés à l'aide du test de rapport de vraisemblance (Likelihood Ratio Test). Les variables quantitatives ont été centrées-réduites et les variables quantitatives transformées suivant leurs quantiles (0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100%) en variables qualitatives pour l'exploration des colinéarités entre les données explicatives.

### 3. Résultats

Dans la plupart des analyses d'évaluation des mortalités, l'absence d'indication pour chaque déclaration, sur les concessions, leurs surfaces, le type d'élevage, la biomasse, ne permet pas réellement d'aborder la notion de densité ni à l'échelle de la concession, ni par conséquent à l'échelle de la zone d'élevage. Les effets de la densité au niveau des poches, de la concession et/ou de la zone n'ont pas été clairement démontrés. Il est même parfois supposé que si ce facteur freine la croissance des huîtres d'un lot, il peut avoir un effet « protecteur » contre les mortalités. A l'échelle du bassin, ce facteur n'a jamais été pris en compte et n'a peut être pas le même effet.

La première étape de ce travail a consisté à récolter toutes les informations nécessaires à l'estimation de la densité des parcs et des zones d'élevage.

#### 3.1. Cartographie spatiale des stocks d'huîtres de la rivière de Pénerf en 2010

A partir des données cadastrales, toutes les zones d'élevage de la rivière ont pu être cartographiées. Ainsi, à partir des 7 zones échantillonnées, Penvins, Banastère, Rouvran, Sillon, Voscienne, Etier saint Anne et Port groix, nous avons pu définir 4 grands secteurs d'élevage (figure 9 et tableau 2).

Tableau 2 : Ce tableau regroupe les données sur le nombre de concessions et la surface exploitée en fonction des 4 secteurs définis dans la rivière de Pénerf

Secteurs définis	Zones d'élevage	Nb de concessions avec du naissain	Nb de concessions par zone	% de concessions avec du naissain	Surfaces totales avec du naissain (ha)	% de surfaces exploitées
<b>1</b>	Penvins	5	79	6.3	1.8	9.4
	Banastère	7	40	17.5	9.2	41.7
<b>2</b>	Rouvran	31	153	20.3	15.2	24.3
<b>3</b>	Sillon	20	78	25.6	4.5	27.9
<b>4</b>	Ste Anne	4	59	6.8	1	5
	Port Groix	4	58	6.9	5.2	17.8
	Voscienne	8	241	3.3	2.3	3.7
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>79</b>	<b>708</b>	<b>11.2</b>	<b>39.2</b>	<b>17</b>

La cartographie des stocks est présentée dans la figure 10. Le code couleur choisi permet de représenter les différentes catégories d'huîtres en élevage, abandonnées et sauvages ainsi que les classes d'âge exploitées. Sur cette orthophotographie, on observe que toutes les classes d'âge sont représentées au sein de la rivière de Pénerf. Les huîtres de classes d'âge adultes (>2ans) et naissains sont toutefois majoritaires.

Sur les 7 zones évaluées, 4 sont plus exploitées : ce sont les zones du *Rouvran*, de *Banastère*, la zone *du Sillon* et plus en aval la zone de *Penvins* (tableau 2).

**Secteurs**

**Zones**

**A**



**Penvins**



**Banastère**

**B**



**Rouvran**

**C**



**Sillon**

**D**



**Voscienne**



**Etier Sainte Anne**



**Port Groix**

Figure 9 : Orthophotographie des 7 zones de la Rivière de Pénerf qui ont été recensées. Ces zones ont été regroupées en 4 secteurs A, B, C et D

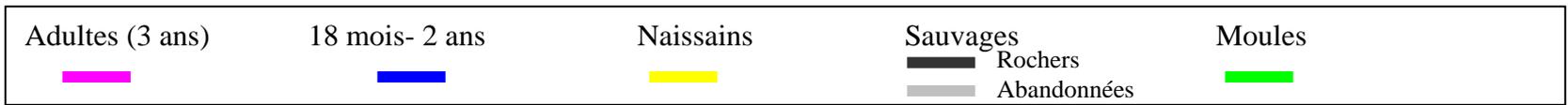


Figure10 : répartition spatiale des stocks d'huîtres en élevage, abandonnées et sauvages présents dans la rivière de Pénérif en été 2010

Les zones comprenant du naissain sont d'aval en amont, Penvins, Banastère, le Rouvran (regroupant Griveau et Pointe er Fosse), la zone du sillon (regroupant Borelis, Saint Julien et Toulas), la zone de la Voscienne, et plus en amont les Etiers de Sainte Anne et Epinay, le chenal d'Ambon et la pointe de Port Groix (tableau 2).

79 concessions possèdent du naissain en élevage sur un nombre total de 708 concessions concédées, soit 11.2%. La surface totale des concessions avec du naissain en élevage en 2010 est d'environ 39.2 ha représentant 17% de la surface totale exploitée.

De nombreuses concessions sont aujourd'hui abandonnées. Elles se situent plus en amont dans les zones de la Voscienne, Le Guennec, l'Etier de Saint Anne, d'Epinay, le chenal d'Ambon et la Pointe de Port Groix (figure 10).

Les zones d'huîtres sauvages, principalement sur des rochers, sont situées essentiellement en aval de la Rivière, de part et d'autre de l'entrée du chenal.

### **3.2. Estimation de la biomasse des huîtres en élevage, abandonnées et sauvages**

#### **3.2.1. Huîtres d'élevage**

Les estimations de biomasse d'huîtres en élevage sont présentées par classes d'âges.

##### ■ Huîtres adultes (> 2ans) :

Les huîtres adultes sont principalement élevées en poches, en sur-élevé. Les mailles des poches couramment utilisées sont de 14 mm. Le nombre de poches évalué est d'environ 181 152 poches. Le poids référence, basé sur la pesée de 10 poches sélectionnées au hasard sur 10 concessions tirées au sort est de 13 kg (+/-2,37kg). La biomasse estimée est d'environ 2 370 tonnes (+/-430 tonnes). Le poids unitaire moyen d'une huître adulte étant de 70 grammes, cela correspond à environ 34 millions d'individus (+/-6 millions) d'âge adulte en élevage en 2010.

##### ■ Huîtres de demi-élevage (18 mois-2ans) :

Elles ont été estimées en poches en sur-élevé et au sol. Le nombre de poches évalué est de 27 792 poches. Les mailles des poches couramment utilisées, pour cette classe d'âge, sont de 9 mm. Le poids référence est de 7,5 kg (+/-2,81kg). La biomasse estimée est d'environ 208 tonnes (+/-78 tonnes).

La surface semée représente environ 29 890 m<sup>2</sup> à une densité moyenne de 2 kg/ m<sup>2</sup> soit une biomasse d'huîtres estimée à environ 60 tonnes.

La biomasse totale estimée pour cette classe d'âge est d'environ 270 tonnes (+/-80 tonnes). Le poids unitaire moyen étant d'environ 30 grammes, cela correspond à près de 9 millions d'individus (+/-2,5 millions) âgés de 18 mois à 2 ans en élevage.

##### ■ Naissains (< 1 an)

Le stock de naissain a été estimé à partir des poches en sur-élevé et des tubes posés sur les tables ostréicoles. Les mailles des poches couramment utilisées sont de 4 et 6mm. Le nombre de poches estimé est d'environ 16 366 poches et le nombre total de tubes est d'environ 187 660.

Le poids référence des poches est de 4 kgs (+/-1.72kgs). La biomasse estimée de naissains en poche est donc d'environ 65 tonnes (+/-28 tonnes). Le poids référence des tubes, basé sur la

pesée de 50 tubes prélevés sur 5 concessions sélectionnées au hasard est de 0,2 kg (+/- 0,05kg). La biomasse estimée de naissains sur tubes est évaluée à 38 tonnes (+/-9 tonnes).

La biomasse totale en naissain est donc estimée à environ 103 tonnes (+/-37 tonnes). Le poids unitaire moyen étant de 1,5 grammes, cela correspond à près de 69 millions d'individus (+/-25 millions) âgés d'un an en élevage en rivière de Pénerf en 2010.

L'estimation du stock d'huîtres en élevage en rivière de Pénerf, en 2010, est d'environ 2 743 tonnes. On peut noter un déséquilibre des classes d'âge qui s'explique par le fait que la rivière de Pénerf est principalement exploitée pour l'affinage des huîtres avant leur commercialisation. Cette rivière n'est pas aujourd'hui utilisée à des fins de captage de naturel du naissain. La distribution des classes d'âge est représentée dans la figure 11.

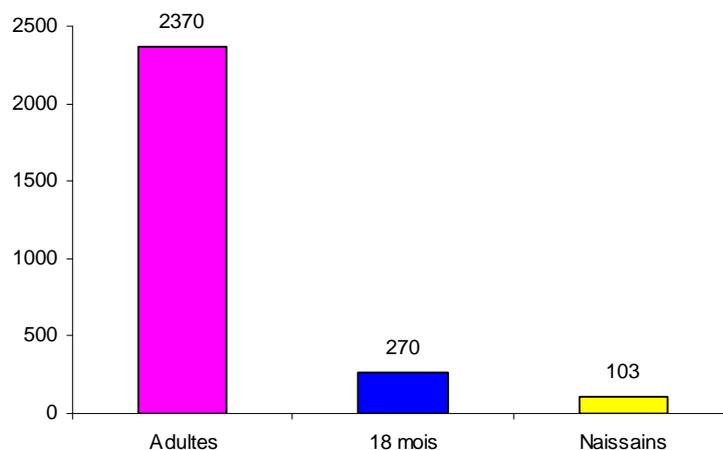


Figure 11 : répartition de la biomasse (en tonnes) des huîtres en élevage en rivière de Pénerf en fonction de leur classe d'âge

### 3.2.2. Huîtres abandonnées et sauvages

Contrairement aux huîtres en élevage, l'estimation de la classe d'âge des huîtres abandonnées et sauvages est plus difficile à effectuer. En effet, ces huîtres n'étant plus ou pas « travaillées », leur forme et leur taille ne sont pas équivalentes aux huîtres d'élevage de même classe d'âge. Elles ont donc été classées en fonction de leurs supports.

#### ■ Tables

La surface des tables, non entretenues, recouvertes par des huîtres naturelles a été évaluée à environ 93 387 m<sup>2</sup>. La densité moyenne est estimée à 10 kg/m<sup>2</sup> soit 5 kg au mètre linéaire de table (la largeur d'une table étant de 0,5 mètre).

La biomasse d'huîtres non exploitées sur les tables ostréicoles est donc évaluée à environ 900 tonnes.

#### ■ Sol

La surface au sol couverte d'huîtres non entretenues a été évaluée à 86 708 m<sup>2</sup>. La densité moyenne d'huîtres mesurée est de 5 kg/m<sup>2</sup>. La biomasse d'huîtres au sol est donc estimée à près de 400 tonnes.

■ Rochers

La surface de rochers couverte d’huîtres sauvages a été évaluée à 81 143 m<sup>2</sup>. Différentes densités ont été attribuées selon un gradient bathymétrique. Ces densités sont comprises entre 2 à 23 kg/m<sup>2</sup> : plus les rochers sont découverts à marée haute, moins la densité des huîtres est importante. La biomasse d’huîtres sauvages sur les rochers est évaluée à environ 700 tonnes.

Le stock d’huîtres abandonnées et sauvages en rivière de Pénerf à l’été 2010 est évalué à environ 2 000 tonnes (figure 12). On peut noter que les huîtres abandonnées représentent une biomasse plus importante que celle des huîtres sauvages.

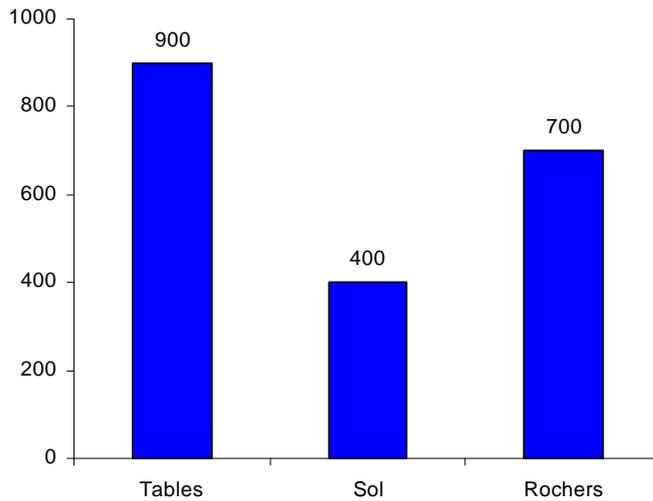


Figure 12 : Répartition des huîtres abandonnées (tables et sol) et sauvages (rochers) en fonction de leur support d'élevage.

L'estimation de la biomasse totale en rivière de Pénerf, au cours de l'été 2010 est de 4 700 tonnes, réparties en 2 743 tonnes d’huîtres en élevage toute classe d’âge confondu et d’environ 2000 tonnes d’huîtres abandonnées et sauvages (figure 13).

On constate que 40% des huîtres présentes dans la rivière de Pénerf sont des huîtres abandonnées ou sauvages soulevant la question d’une possible compétitivité trophique vis-à-vis des huîtres en élevage ainsi que l’augmentation de l’envasement de la rivière notamment dans la partie amont.

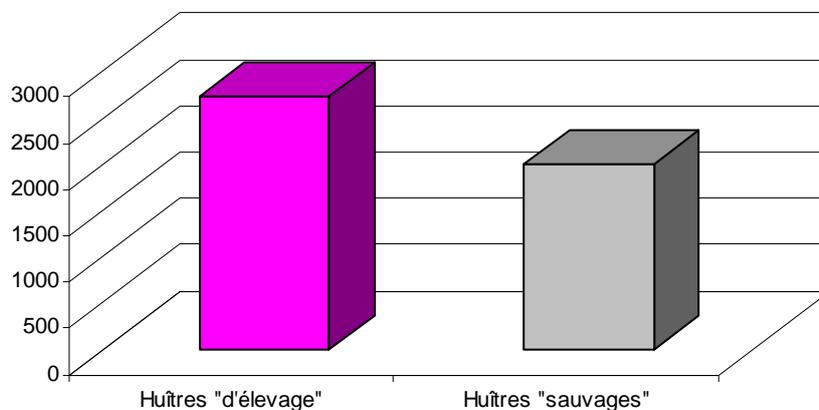


Figure 13 : répartition de la biomasse d’huître en rivière de Pénerf en 2010 (en tonnes)

### **3.3. Estimation de la mortalité du naissain à l'échelle de la rivière de Pénerf**

#### **3.3.1. Déclaration des mortalités**

Sur les 53 professionnels contactés pour les enquêtes (liste des professionnels transmise par la Direction Maritime Littoral, DML56 et Comité Régional de la Conchyliculture de Bretagne Sud), 36 ont déclaré posséder du naissain dans la rivière de Pénerf au moment des mortalités 2010. 35 professionnels ont accepté de répondre au questionnaire de l'enquête. Toutes les données des professionnels ont été croisées avec les déclarations de mortalités, les données cadastrales et celles d'estimation des stocks. Pour rappel, 30 professionnels avaient déclaré des mortalités auprès de l'Administration ; 4 lots ont été analysés dans le cadre de REPAMO pour la recherche d'agents infectieux en 2010 : 1 lot de déclaration de professionnel et 3 lots de l'Observatoire Conchylicole.

Les lots de naissains répertoriés par cette enquête sont répartis sur tous les secteurs d'élevage d'amont en aval de la rivière. En 2010, la quantité totale de naissains en élevage déclarée par les professionnels s'élève à près de *74 millions d'individus*, de moins de un an. Cette quantité représente 99 lots en élevage (figure 14A).

Les mortalités ont été déclarées, par les professionnels, dès la fin mai et jusqu'à la fin du mois de juillet 2010. Leur évolution spatiale et temporelle est présentée en figure 14 (B, C, D, E, F). La moyenne des mortalités déclarées sur l'ensemble de cette période, en rivière de Pénerf, est de 71.6% (+/-8%).

Les premières mortalités ont été déclarées entre le 15 et le 31 mai 2010. Elles ont touché simultanément 3 secteurs et ont été en moyenne de 71.4% (Figure 14B). Ces secteurs regroupent les zones d'élevage de Port Groix, l'Etier de Ste Anne et la zone du Rouvran. Le pic majeur de mortalité a été déclaré entre le 1<sup>er</sup> et le 15 juin 2010 (figure 14C) et a touché la majorité des secteurs les plus exploités et les plus en aval de la rivière : les zones d'élevage du Rouvran et du Sillon. La moyenne de ces mortalité s'élève à 72.2%. La zone contiguë de Banastère puis celle de Penvins sont touchées entre mi-juin et mi juillet (figure 14D, E) avec une moyenne respectivement en fonction de la période de 70.2% et 77.9%. Quelques lots ont présenté des mortalités fin juillet mais leur nombre est limité. La moyenne de ces mortalités, à cette période plus tardive, est de 66.3%.

Aucune mortalité n'a été déclarée par les professionnels, sur la rivière de Pénerf en 2010, après fin juillet 2010 (Figure 14F).

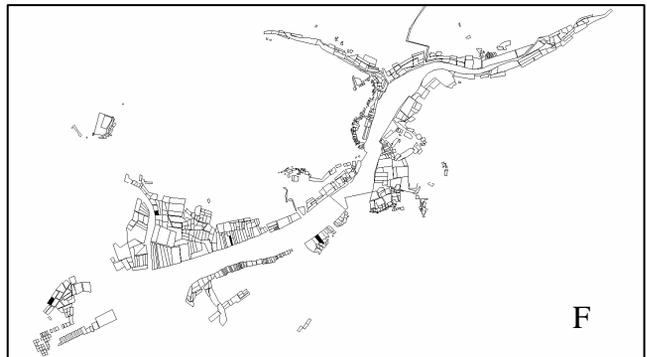
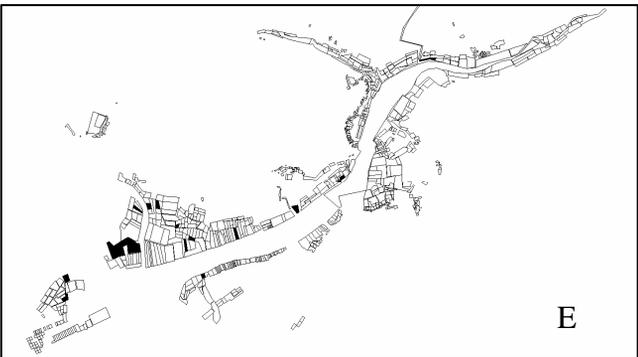
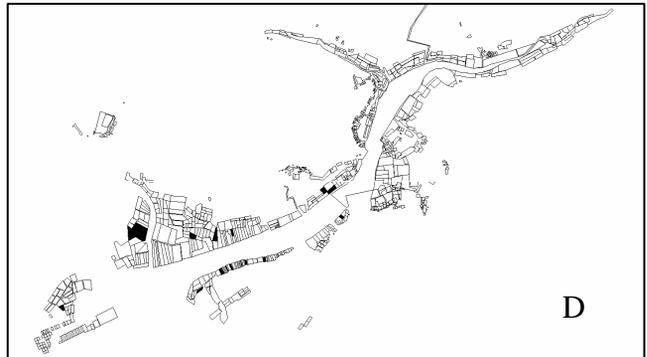
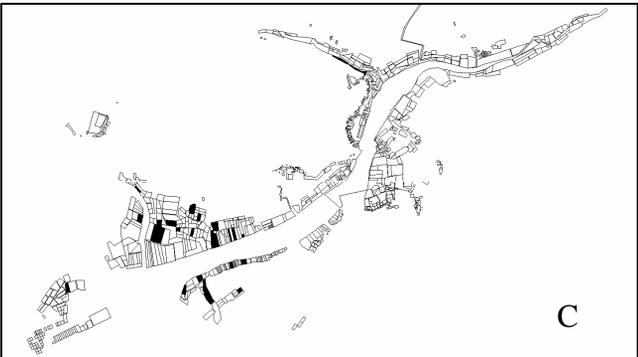
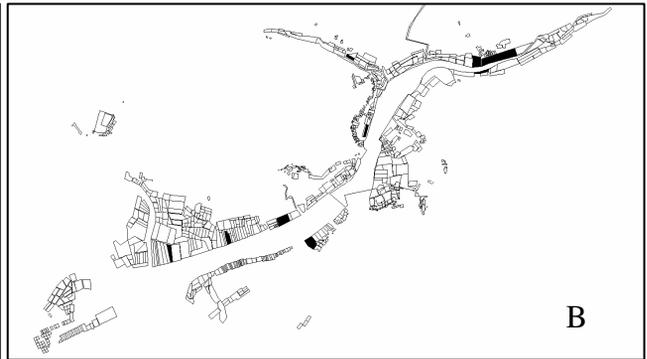


Figure 14 : A : La rivière de Pénérif est découpée en 4 secteurs basés sur les données cadastrales (DML 56). En rouge, l'ensemble des concessions comportant du naissain touchées par les mortalités. B, C, D, E et F : mortalité déclarée en 2010 entre 2 vives-eaux. B : entre le 15 et le 31 mai, C : entre le 1er et le 15 juin, D : entre le 16 et le 30 juin, E : entre le 1er et le 15 juillet, F : entre le 16 et le 31 juillet

### 3.3.2. Densité et type d'élevage

#### 3.3.2.1. Densité d'élevage

L'estimation de la biomasse et de la densité de naissain en élevage a été évaluée en croisant les données des professionnels et les estimations sur le terrain.

Les densités d'élevage de naissains sont extrêmement variables d'une concession à une autre. Elles ont été évaluées entre 60 000 à 6 762 000 individus/concession (figure 15). Ces densités sont, de plus, distribuées inégalement en fonction des secteurs d'élevage : plus importantes en aval de la rivière sur les secteurs très exploités de Banastère, Rouvran et Le sillon, elles sont plus faibles en amont, à partir du secteur de l'Etier (zone du Guennec).

#### 3.3.2.2. Type d'élevage

Les deux principaux types d'élevage utilisés par les professionnels en rivière de Pénerf en 2010 sont l'élevage du naissain en poche en sur-élevé (54%) et l'élevage sur tubes en sur-élevé (44%). L'élevage en panier australien (eau plus profonde) et les semis au sol sont peu nombreux (< 2%) (figure 16).

Quelque soit le secteur, les techniques d'élevage ne sont pas homogènes et ne semblent pas répondre à une logique zootechnique ou géographique particulière. On peut retrouver sur une même concession des huîtres élevées en poche et des huîtres laissées sur tube.

Basées sur les données déclaratives, 55% des professionnels rapportent que le nombre de naissain capté sur les tubes est compris entre 110 et 220 individus ; 30% des déclarations estiment que ce nombre est de 220 à 330 naissains par tubes. Si ces écarts peuvent s'expliquer par l'origine du secteur de captage (sites plus ou moins propices en fonction des dates de captage), ils peuvent également être liés au dénombrement des naissains qui est difficile à effectuer sur les tubes et peut aboutir à une sous-estimation des naissains captés sur ces supports.

Il existe plusieurs types de disposition des tubes sur les tables ostréicoles. La majorité des professionnels (62%) de la rivière de Pénerf a choisi de disposer leur tube un à un, pour faciliter la croissance du naissain. D'autres au contraire, moins nombreux, ont choisi de les disposer par paquet de 5, 10 ou 20 (figures 17 et 18). Les professionnels justifient souvent ce choix par manque de place.

De même, pour le naissain en poche, la densité peut varier. 60% des professionnels rapportent que la densité de naissain est comprise entre 2000 et 4000 individus par poche (figure 19). Elles peuvent varier de 500 à plus de 8000 individus par poche. Le choix de ces densités semble dépendre de la taille du naissain lors du détroquage et de la mise en poche et du choix d'effectuer un durcissement du naissain (limitation de la croissance) par une densité importante.

Les professionnels, lors de l'enquête, ont renseigné la taille du naissain au moment du transfert. La taille est évaluée grâce au maillage des poches : T4 : en mailles de 2 mm; T6 : en mailles de 4mm, T8 : en maille de 6 mm, T10-T12 : naissain en mailles de 9 mm.

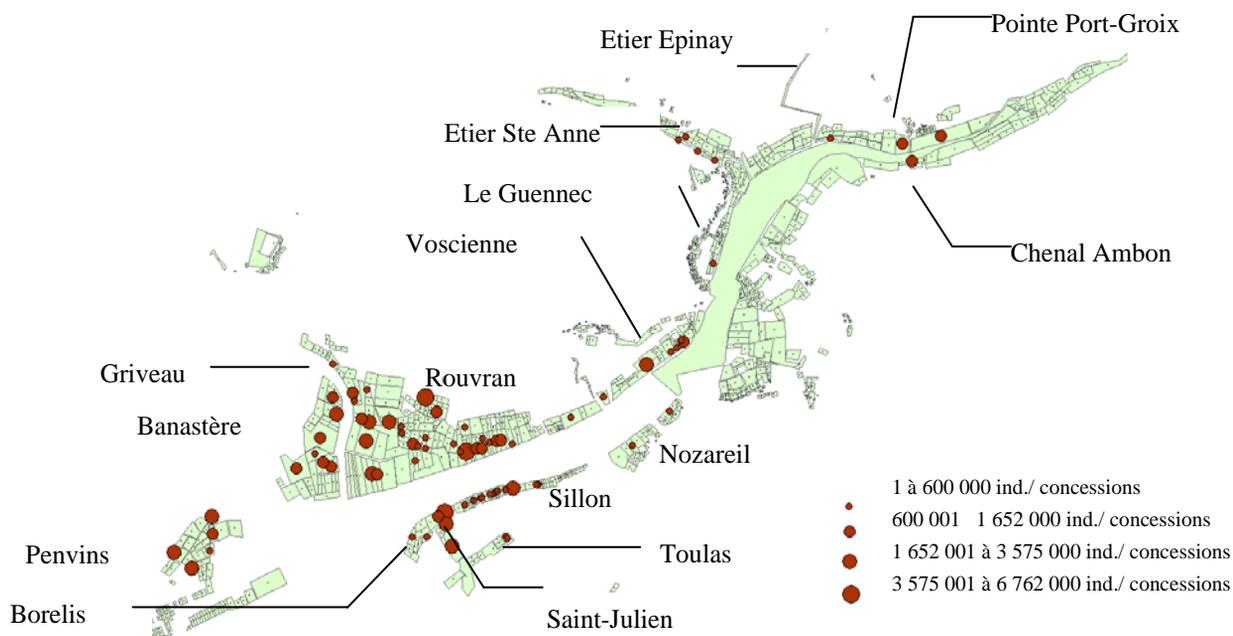


Figure 15 : Représentation spatiale des densités de naissains élevés dans la rivière de Pénerf au cours de l'été 2010. Ces densités sont présentées en nombre d'individus par concession.

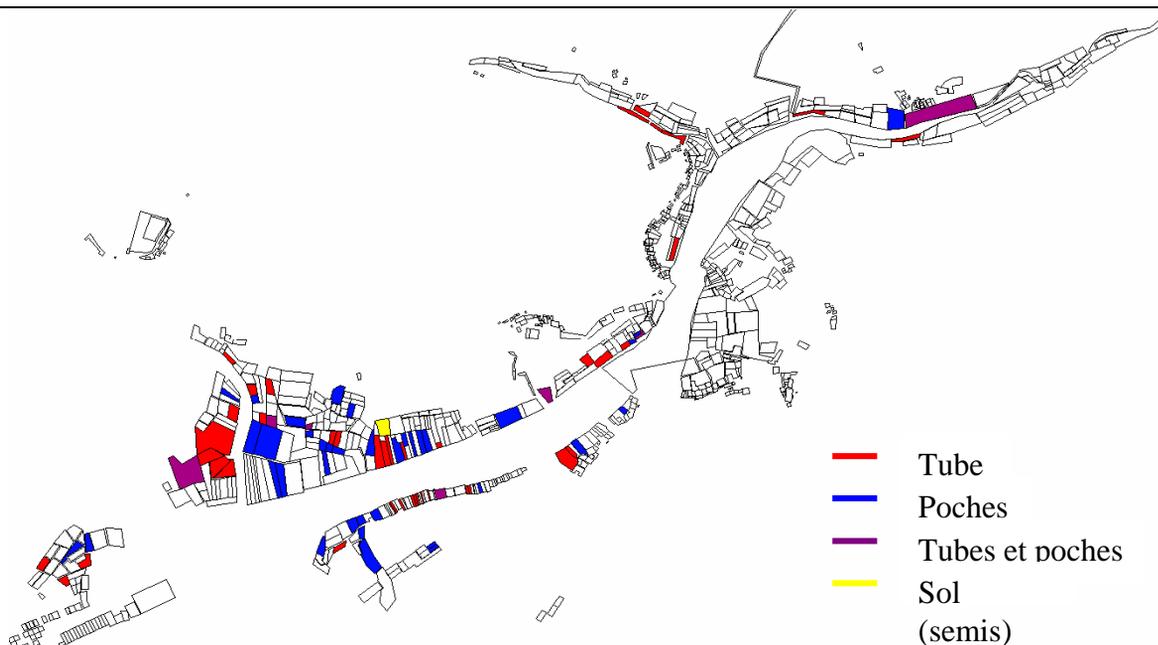


Figure 16 : représentation spatiale des concessions avec du naissain en élevage en fonction du support d'élevage utilisé (par concession).



A



B



C

Figure 17 : Naissains sur tubes : A et B : tubes disposés un par un sur des tables ostréicoles. C : tubes posés en paquet de 20 sur les tables.

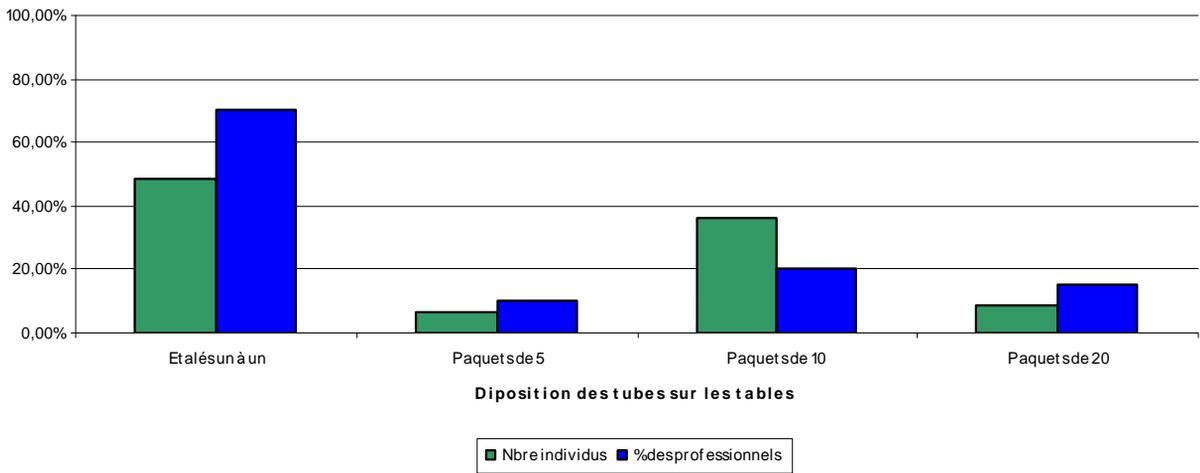


Figure 18 : Répartition des quantités de naissain par tubes en rivière de Pénerf en 2010

Les tailles T6 et T8 sont les 2 tailles principales du naissain transféré et mis en poches à Pénerf. Ce naissain est principalement du naissain capté sur coupelles.

Le naissain de taille inférieure à 4mm, élevé dans des poches de 2mm est peu employé en rivière de Pénerf.

### **3.3.3. Origine du lot et ploïdie**

L'origine du lot a été complétée pour 97 lots répertoriés. Elle informe sur l'utilisation de naissains d'écloserie ou de l'utilisation de naissain de captage naturel. Dans la rivière de Pénerf, tout le naissain de captage naturel provient de 4 zones de captage de Charente Maritime, principalement la zone de Port des barques (58 lots), celle de Fouras (22 lots) et dans une moindre mesure de la zone de Seudre (3 lots) et l'Anse de l'Aiguillon (3 lots). 11 lots proviennent d'écloserie. 100% des naissains d'écloserie élevés en Rivière de Pénerf en 2010 sont des naissains triploïdes (3N). Cela représente 11.3% des lots mis en élevage durant cette période.

### **3.3.4. Dates de transfert du naissain**

Les transferts ont lieu presque toute l'année. Toutefois, l'introduction de naissains n'est pas homogène au cours de l'année et il existe une variabilité de la « période de transfert » en fonction de l'origine et du support de captage du naissain (écloserie, coupelles ou tubes). L'essentiel du naissain d'écloserie est introduit entre octobre et novembre 2009 (année N0) puis en début d'année en mars 2010 (figure 20). Ces apports ne concernent que de faibles quantités de naissain comparées à celles de captage naturel.

Pour le naissain de captage naturel sur tubes, 2 périodes majeures de transfert sont observées. La première a lieu en octobre et novembre 2009 (année N0) et la seconde en mars et avril 2010 (année N). Ces introductions précoces après le captage s'expliquent par le mode d'élevage du naissain. En effet, une fois captés sur le tube, les naissains peuvent être transférés dans un autre site à n'importe quelle période de l'année car ils ne nécessitent pas de manipulations particulières (détroquage) avant leur transfert.

Contrairement aux naissains captés sur tubes, le transfert de naissains captés sur coupelles est massif durant la période printanière, d'avril, mai et juin 2010. Ceci s'explique également par le mode d'élevage sur ce type de collecteur. Le naissain doit avoir une taille suffisante pour pouvoir être décollé de son support (détroquage) et mis en poche avant d'être ré-immersé sur les concessions d'accueil. Le captage 2009 à Marennes-Oléron ayant été relativement tardif et la croissance des jeunes huîtres assez faible, les naissains n'ont atteint une taille suffisante pour le détroquage qu'au cours du printemps. Cela explique en partie le transfert plus tardif de ces lots. En outre, le captage naturel ayant lieu généralement entre les mois de juillet et d'août, les coupelles doivent être à nouveau disponibles pour cette période de captage, ce qui explique la fin du transfert de ce type de naissain après le mois de juin.

La répartition des introductions reflète donc les différentes stratégies zootechniques adoptées par les professionnels.

De même, il existe une grande variabilité spatiale en fonction des dates de transfert et des secteurs d'élevage. Les secteurs les plus exploités sontensemencés tout au long du printemps et de l'été (figure 21).

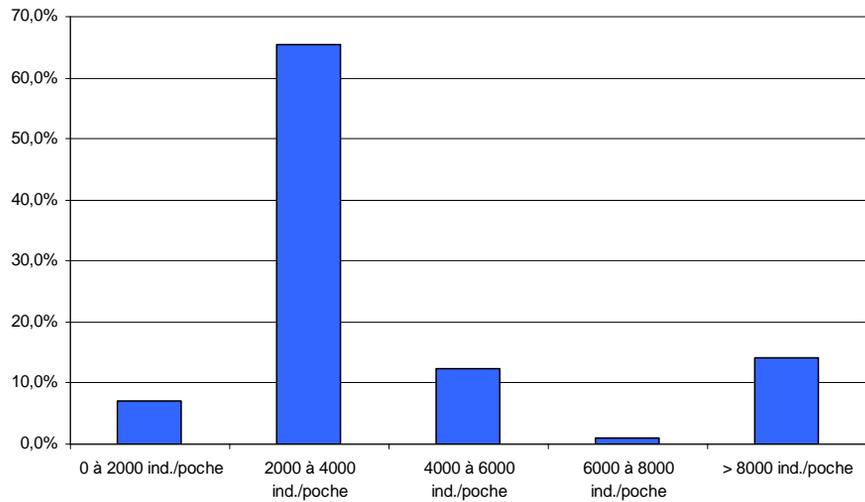


Figure 19 : Densités pratiquées pour l'élevage en poche du naissain en rivière de Pénerf en 2010.

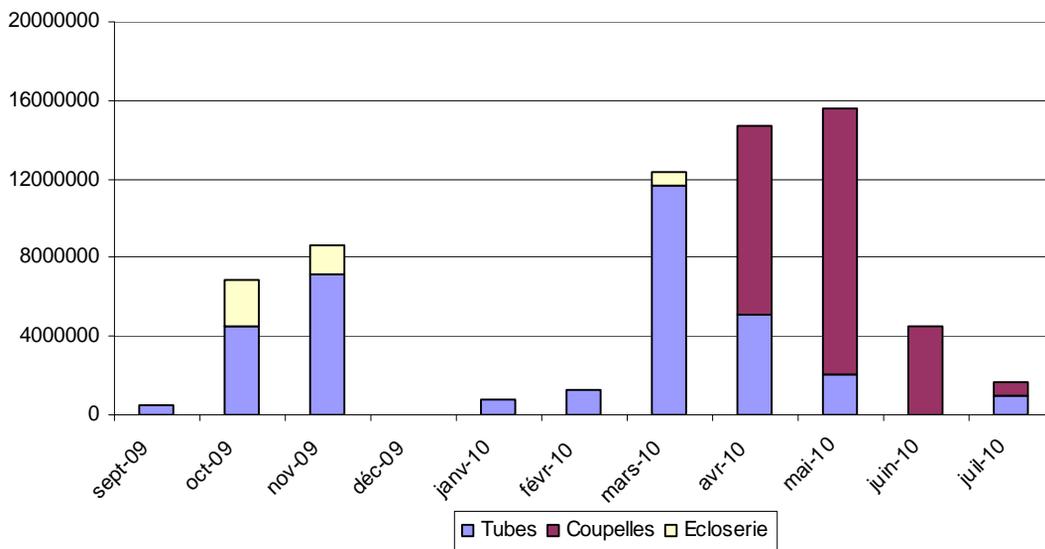


Figure 20 : périodes de transfert et quantités de naissains (exprimées en nombre d'individus) transférés dans la rivière de Pénerf en 2009-2010

### 3.3.5. Bathymétrie

Les données bathymétriques ont également été croisées avec les cartes numérisées du cadastre. Il s'agit de la première représentation bathymétrique de cette zone. Les secteurs d'élevage de naissains de la rivière de Pénerf ne montrent pas de grande différence au niveau bathymétrique (figure 22). Ce niveau est compris entre - 0.17m et +2.495 m par rapport au niveau zéro hydrodynamique des cartes marines qui est choisi au voisinage du niveau d'eau des plus basses mers.

### 3.3.6. Suivi de la température

Sur la figure 23, on observe que le franchissement du seuil thermique des 16°C dans l'eau de mer (secteur du rouvran) a eu lieu le 22 mai faisant suite à une hausse de la température (+5,8°C en 10 jours). Elle est repassée ponctuellement sous ce seuil thermique entre le 15 et le 21 juin puis les 13 et 14 août. A partir du 25 septembre, la température est redescendue progressivement sous cette valeur.

Il est intéressant de noter que les premiers constats de mortalités déclarés par les professionnels sur ce secteur (Rouvran) ont eu lieu le 28 mai 2010 soit 6 jours après le dépassement de ce seuil. En revanche, les deux rebonds de mortalité observés fin juillet et mi septembre interviennent lorsque la température est au dessus de ce seuil, laissant supposer que lorsque le processus de mortalité est enclenché, le « stress thermique » n'est plus indispensable au déclenchement d'autres mortalités.

## 3.4. Recherche de facteurs explicatifs des mortalités de naissains en rivière de Pénerf

### 3.4.1. Les variables explicatives

*Les variables prises en compte dans l'analyse sont :*

1. Le secteur d'élevage (1, 2, 3 et 4)
2. La bathymétrie classée en 3 catégories : Bas, Intermédiaire et Haut
3. L'origine du naissain (secteur de captage : Port des Barques, Seudre, Fouras, Anse de l'Aiguillon et écloserie)
4. La ploïdie du naissain (2N et 3N)
5. Le support d'élevage (poches et tubes)
6. La densité du naissain au m<sup>2</sup>
7. Le taux d'occupation du secteur par des élevages de naissains (forte et faible densités)
8. Le mois d'ensemencement en choisissant le mois de mars comme mois de référence
9. La période d'ensemencement (automne année de captage, période à risque (mars-avril), transfert après la période à risque)
10. Le délai entre le mois de transfert et le mois de déclaration de mortalité classé en 4 catégories
11. Le mois de constat des mortalités en choisissant juin (+ forte déclaration) comme mois de référence
12. Le pourcentage de mortalité cumulée déclaré par les professionnels

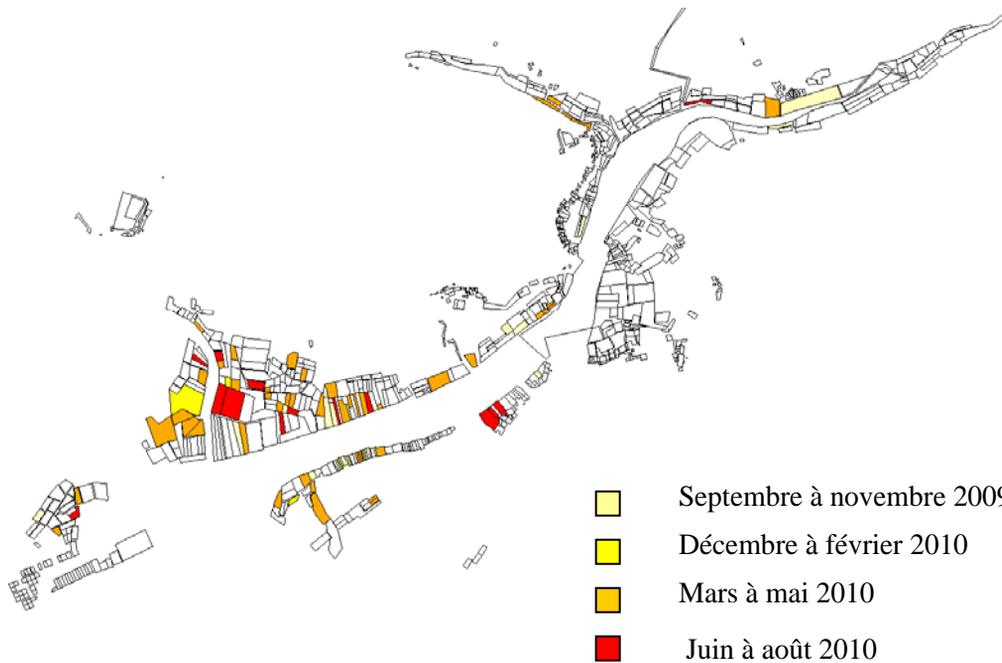


Figure 21 : Représentation spatiale des introductions de naissains en rivière de Pénerf en fonction de leur date de transfert.

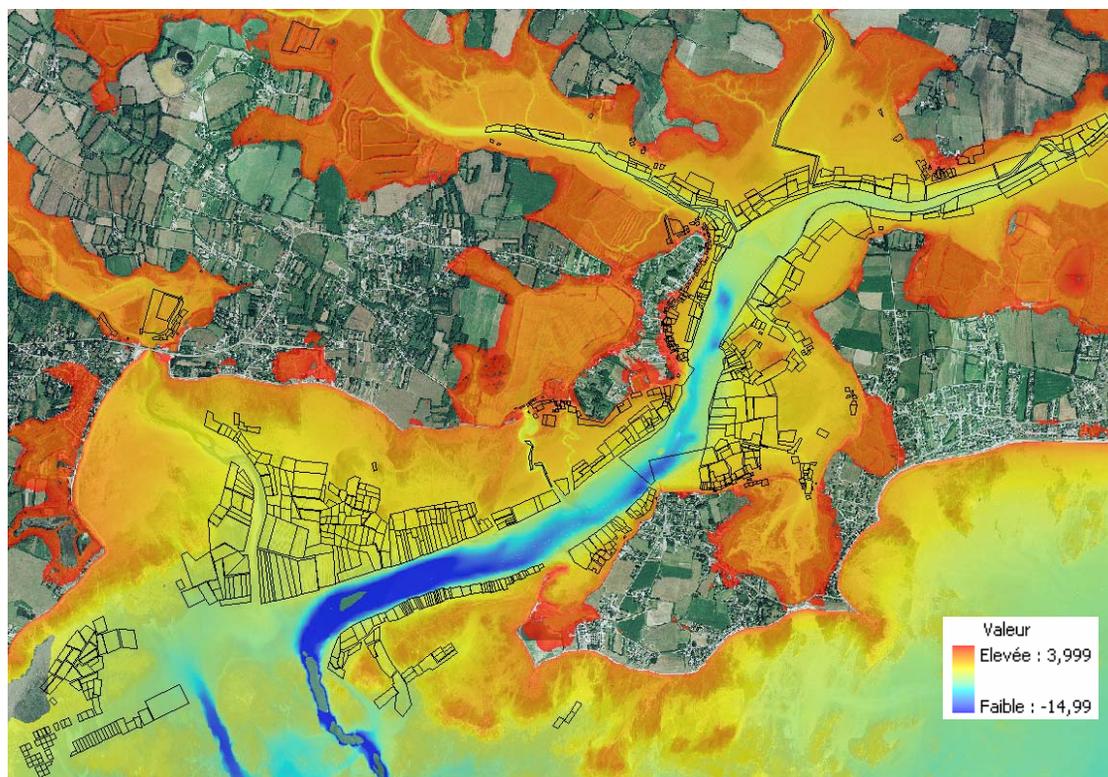


Figure 22 : Cartographie bathymétrique de la Rivière de Pénerf (Relevés effectués par Mesuris au cours de l'été 2010). Les valeurs sont données en mètre.

### 3.4.1.1. Exclusion des variables suite à l'analyse univariée

Les résultats sont présentés dans le tableau 2. Les variables ont été exclues quand le sens de l'effet sur les mortalités n'était pas stable suivant la structure du modèle (parfois favorable, parfois défavorable).

Le secteur d'élevage, l'origine du naissain (écloserie ou origine du captage naturel), la ploïdie du naissain, son support d'élevage, sa densité au m<sup>2</sup>, son mois de transfert présentent un effet significatif protecteur ou aggravant des mortalités (Tableau 2).

Dans cette analyse, l'origine du naissain d'écloserie présente un effet protecteur vis-à-vis des mortalités, quelle que soit la zone de captage du naissain naturel en Charente Maritime (Seudre, port des Barques, Fouras, Anse de l'Aiguillon). De même, le secteur du Sillon (secteur 3 défini) en Rivière de Pénerf semble être un secteur où la survie du naissain est meilleure, quelle que soit l'origine de ce naissain.

En revanche, la bathymétrie et le taux d'occupation du secteur par une densité plus ou moins importante de naissains en élevage n'ont pas d'effet significatif sur le taux de mortalité déclaré par les professionnels. Concernant la bathymétrie, ce résultat ne semble pas aberrant dans la mesure où les lots inclus dans cette enquête sont sur des parcs dont le dénivelé varie très peu. D'autre part, les secteurs peu exploités, notamment le secteur 1, nommé Etier, présente des taux de mortalité qui ne sont pas statistiquement inférieurs aux secteurs du Rouvran, du Sillon et de Banastère qui sont très exploités. Il est intéressant de constater que les valeurs des variables zootechniques sont dans un sens souvent attendu vis-à-vis des mortalités.

Toutefois, le sens de l'effet, protecteur ou aggravant, et sa significativité doivent être interprétée au regard de l'analyse multivariée qui suit.

Tableau 2 : résultats de l'analyse monovariée

Variable et classe de la référence	Résultats exprimés avec la classe de référence	Significativité	Interprétation
	N=100 P Significativité Valeur AIC		Sens de l'effet en monovarié
<b>Secteur d'élevage</b> <b>Ref = secteurs amonts</b>	0.000526 923.97	<b>OUI</b>	« Effet protecteur » (moins de mortalité) dans la zone du Sillon
Bathymétrie Ref = B	0.184 940.23	NON	<b>Non significatif</b> Tendance : effet aggravant de H et I
<b>Origine du naissain</b> Ref= éclosionerie	2.73e-10 879.39	<b>OUI</b>	« Effet aggravant » (plus de mortalité) du naissain de captage naturel
<b>Ploïdie du naissain</b>	2.6e-07 905.72	<b>OUI lié à l'origine du naissain</b>	« Effet protecteur » de la ploïdie 3N sur les mortalités
<b>Support de captage</b> Tube ou coupelles	3.23e-07 913.82	<b>OUI</b>	« Effet aggravant » (plus de mortalité) pour le naissain laissé sur tubes
<b>Densité au m<sup>2</sup></b> Ref= densité forte E	0.000139 925.1	<b>OUI</b>	« Effet aggravant » (plus de mortalité) des faibles densités au m <sup>2</sup>
<b>Taux d'occupation de la zone</b> par des naissains (fortes ou faibles densités de naissains)	0.288 938.94	NON	<b>Non significatif</b> Tendance : effet protecteur (moins de mortalité) d'une densité importante de naissain au niveau du secteur
<b>Mois de transfert</b> <b>Ref=mars</b>	3.82e-07 897.08	<b>OUI</b>	« Effet aggravant » lorsque les lots de naissains sont transférés après le mois de mars
<b>Période d'ensemencement</b> (à risque, avant et après) <b>Ref=Avant</b>	0.00972 933.84	<b>OUI</b>	Effet aggravant si le transfert est réalisé juste avant ou pendant la période à risque
<b>Délai entre mois de mise à l'eau et constat de mortalité</b> <b>ref = E</b>	0.000581 903	<b>OUI</b>	Plus de mortalité pour les lots ayant séjourné moins de 3 mois avant la déclaration des mortalités
<b>Mois de constat des mortalités</b> <b>« ref » juin</b>	6.67 <sup>e</sup> -06 743.67707.97	<b>OUI</b>	Mortalité plus importante en juin-juillet et moins importante en août

### 3.4.1.2. Exclusion des variables suite à la recherche de colinéarité

La recherche de colinéarité entre les variables explicatives a été réalisée (tableau 3).

Les données quantitatives ont été transformées suivant leurs quantiles (0-25% ; 25-50% ; 50-75% ; 75-100%) en variables qualitatives pour l'exploration des colinéarités entre les données explicatives

Les résultats significatifs (avec  $p < 0.05$ ) indiquent une relation entre les deux variables testées. Certaines variables explicatives ont été maintenues, bien que leur colinéarité puisse être suspectée par le test du  $\chi^2$ , car il a été considéré qu'elles étaient importantes biologiquement (mois de transfert, zone d'élevage et origine). Il a cependant été vérifié que leur ajout ne déstabilisait pas les estimations de paramètres des autres variables et que la corrélation des effets fixes était en général inférieure à 0.5

Tableau 3 : résultats du test  $\chi^2$  pour la recherche de colinéarité entre les variables d'intérêt

	<b>Secteurs d'élevage ZOREGROU</b>
CAP	0.32
PLOIDIE	0.329
SUP	0.02
ORI	0.19
<b>DENSQ</b>	<b>0.0056</b>
PERISQ	0.03
MOIS	0.06
<b>QUAL</b>	<b>2.2 e-16</b>
BATHYQ	0.01
	<b>CAP (naturel ou éclosion)</b>
ZOREGROU	0.3292
<b>PLOIDIE (2N ou 3N)</b>	<b>2.2 e-16</b>
<b>SUP (poches ou tubes)</b>	<b>0.0047</b>
<b>ORI (lieu d'origine du naissain)</b>	<b>2.2 e-16</b>
DENSQ	0.02
<b>PERISQ</b>	<b>0.00017</b>
<b>MOIS (mois d'immersion)</b>	<b>9.18 e-05</b>
	<b>MOIS de transfert</b>
ZOREGROU	0.06
<b>PLOIDIE</b>	<b>9.18 e-05</b>
<b>SUP</b>	<b>2.86 e-08</b>
<b>ORI</b>	<b>4.05 e-07</b>
<b>DENSQ</b>	<b>0.00026</b>
<b>PERISQ</b>	<b>2.2 e-16</b>
	<b>SUP (support d'élevage)</b>
ZOREGROU	0.02
PLOIDIE	0.04
ORI	0.01
<b>DENSQ</b>	<b>2.2 e-16</b>
PERISQ	0.12
	<b>Ploidie</b>
ZOREGROU	0.329
<b>ORI</b>	<b>2.2 e-16</b>

DENSQ	0.02
<b>PERISQ</b>	<b>0.00017</b>
<b>MOIS</b>	<b>8.54 e-05</b>
QUAL	0.809
<b>BATHYQ</b>	<b>0.0092</b>
	<b>Origine</b>
ZOREGROU	0.19
DENSQ	0.018
<b>PERISQ</b>	<b>0.00059</b>
<b>MOIS</b>	<b>5.73 e-07</b>
QUAL	0.2274
BATHYQ	0.04564
	<b>Densité</b>
<b>ZOREGROU</b>	<b>0.0056</b>
PERISQ	0.11

### 3.4.1.3. Résultats du modèle logistique multivarié

Deux types de jeux de données ont été analysés : le premier prend en compte toutes les origines de naissains, éclosion et captage naturel, le second ne prend en compte que le naissain naturel des zones de captage (Fouras, Port-des-Barques, Seudre et Anse de l'Aiguillon).

L'effet aléatoire « professionnel » et/ou « concessions » a été recherché. L'échantillonnage étant relativement faible, et les professionnels ayant plusieurs lots sur une même concession, les effets n'indiquent pas de meilleur ajustement du modèle lorsqu'ils sont pris en compte (résultats non montrés). Ils n'ont donc pas été conservés dans les analyses.

Les modèles emboîtés ont été comparés à l'aide du test de rapport de vraisemblance (tableau 4). A partir du jeu complet de données, le meilleur modèle tient compte de l'origine du naissain (éclosion ou naturel), de la période de transfert (avant mars ou après mars), de sa densité d'élevage (moyenne ou élevée) et de son secteur d'élevage en rivière de Pénerf. L'origine « éclosion » semble être le facteur crucial pour l'amélioration de la survie (tableau 4).

A partir du second jeu de données (sans les lots d'éclosion), quelle que soit l'origine du naissain, port des barques, anse de l'Aiguillon, Seudre et Fouras, les pourcentages de mortalité sont similaires ( $p=0.6$ ). Le meilleur modèle tient compte, dans ce cadre, du mois de transfert (avant le mois de mars), de la densité de la structure d'élevage et du secteur d'élevage.

Tableau 4 : meilleur modèle multivarié pour les données complètes et les données ne concernant que les naissains de captage naturel

<b>Comparaison des modèles emboîtés</b>			
<b>Données totales naissains d'écloserie + naturels</b>			<b>Interprétations</b>
	ANOVA	AIC	
Origine+mois de transfert	0.009992	901.11	Effet protecteur de l'utilisation de naissains d'écloserie transférés avant le mois de mars
Origine+mois de transfert+densité	1.58 <sup>e</sup> -07	871.84	Une densité « élevée » protège le naissain des mortalités
Origine+mois de transfert+densité+secteur d'élevage	0.0006078	860.52	Effet protecteur du secteur d'élevage du Sillon (probablement lié à des facteurs hydrodynamiques : étude en cours)

<b>Comparaison des modèles emboîtés</b>			
<b>Données totales naissains naturels</b>			<b>Interprétations</b>
	ANOVA	AIC	
Mois de transfert + densité	8.57 e-05	752.39	Effet protecteur contre les mortalités des transferts avant le mois de mars
Mois de transfert+densité+secteur d'élevage	5.67 e-16	650.01	Effet protecteur contre les mortalités lorsque les naissains sont élevés en densité assez forte dans le secteur du Sillon

Ces tendances sont à confirmer par la mise en place d'expériences appropriées. Néanmoins, elles confirment l'importance de l'origine du lot et de facteurs zootechniques dans les mortalités. La réalisation de courbes de prédiction permettrait également d'avoir une idée plus précise du gain de survie à attendre.

### 3.5. Suivis spatio-temporel de la mortalité

#### 3.5.1. Cinétique des mortalités inter-concessions

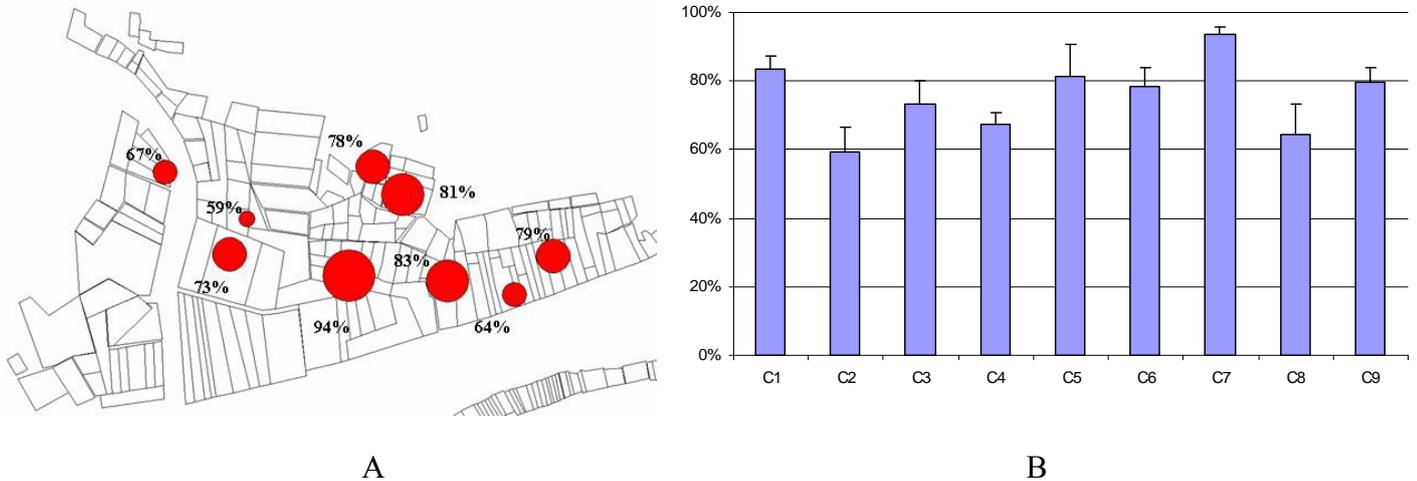


Figure 24 : mortalités cumulées de juin à octobre 2010 sur les 9 concessions suivies au Rouvran, Rivière de Pénerf. (A) représentation spatiale des pourcentages de mortalité cumulée. (B) pourcentage moyen des mortalités cumulées

A l'échelle des 9 concessions suivies sur le secteur du Rouvran, la période d'étude est comprise entre mi juin et fin octobre 2010.

La représentation spatiale à l'échelle du cadastre montre que les mortalités cumulées sont variables d'une concession à une autre, au sein du même secteur de production. Elles sont comprises entre 59 (+/- 7%) et 94% (+/-2%). (figures 24 A et B).

**Le suivi temporel de la mortalité** à l'échelle des concessions, irréalisable à partir des seules données des enquêtes réalisées chez les professionnels, est présenté dans un graphique comparant la mortalité cumulée et la mortalité instantanée (figure 25). On observe que cette mortalité est échelonnée dans le temps, sur une période de plusieurs mois allant de juin à fin août 2010. 4 phases successives sont observées au cours de la période d'étude :

- **Phase 1** : 18/06-16/07 2010 : une première phase en cours au commencement de l'étude mi-juin puisque les premiers comptages font déjà état de mortalité comprise entre 5 et 62%. Cette phase correspond au pic majeur de mortalité déclaré par les professionnels.
- **Phase 2** : 16/07-13/08 2010 : une seconde phase de mortalité est observée à partir de mi-juillet 2010.
- **Phase 3** : 13/08-24/09 : une phase « plateau » des mortalités au cours de laquelle elles évoluent peu. Quelques mortalités sont observées fin septembre.
- **Phase 4** : 24/09-30/10 2010 : l'arrêt total des mortalités est constaté fin septembre.

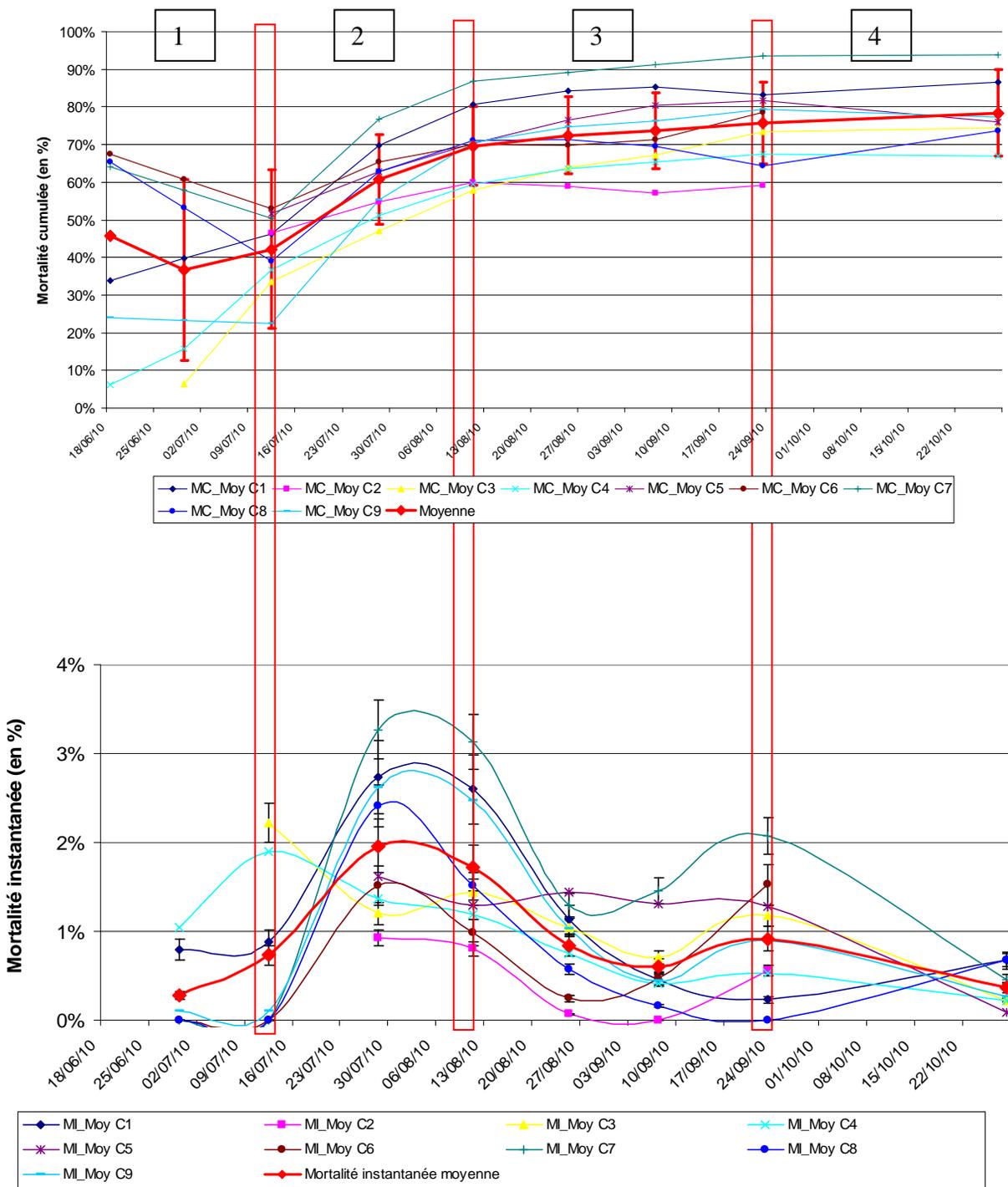


Figure 25 : Evolution des mortalités cumulées et instantanées pour les 9 concessions suivies au Rouvrain

**La mortalité instantanée journalière** déduite des observations de mortalités relevées par vives eaux montre la présence de plusieurs pics de mortalité à l'intérieur des phases décrites précédemment :

**Phase 1 : plusieurs démarrages des mortalités** observés mi-juillet 2010 sont synchrones sur 7 des 9 concessions suivies, sur 3 périodes de vives eaux, du 16 juillet au 13 août. Ces pics présentent des intensités plus ou moins importantes.

**Phase 2 : des pics secondaires de mortalité ou rebonds**, synchrones sur 3 concessions, d'intensité plus faible que ceux de la phase précédente, sont observés fin novembre.

**Phase 4 : un pic de mortalité est observé en début février**

### 3.5.2. Cinétique des mortalités intra-concession

A l'échelle de la concession, l'évolution de la mortalité est suivie de mi-juin 2010 (date de transfert du lot) à mi-mars 2011 (date de relevage du lot). La mortalité cumulée observée au cours de cette étude est comprise entre 62 et 80 % (figure 26).

**Le suivi longitudinal temporel** de la mortalité à l'échelle d'une concession est présenté dans un graphique comparant, comme précédemment, la mortalité cumulée et la mortalité instantanée sur l'ensemble des 30 poches (figure 26). On observe plusieurs épisodes de mortalité distribués sur une période de plusieurs mois allant de juin à fin août-début septembre 2010. 4 phases successives plus une, nommée 0, sont également observées au cours de la période d'étude :

**Phase 0** : 18/06-02/07 2010 : Mise à l'eau : absence de surmortalité : à leur arrivée à Pénerf le 18 juin 2010, le naissain présentait un taux de mortalité cumulée moyen de 8,7% +/-5,5% (calculé sur 5 poches). Ce taux reflète la mortalité « naturelle » liée au détroquage des huîtres sur les collecteurs et au stress de leur transfert depuis la Charente Maritime.

**Phase 1** : 02/07- 30/08 2010 : Démarrage des surmortalités : à partir du 02 juillet, soit la période de vive-eau suivante après l'immersion (environ + 15 jours), le déclenchement des mortalités est observé dans l'ensemble des 30 poches de manière fulgurante et plus ou moins décalée dans le temps, sur une période de vive eau à l'autre.

**Phase 2** : 30/08-16/10 2010 : Seconde phase des surmortalités de début septembre à fin septembre. Ces surmortalités sont synchrones et de moindre ampleur que celles de la phase 1.

**Phase 3** : 16/10-15/12 2010 : Phase « plateau » entre mi-octobre et décembre. Le taux de mortalité évolue peu sur l'ensemble des poches suivies.

**Phase 4** : 15/12-20/03 2011 : L'arrêt des mortalités est confirmé mi-décembre. Quelques mortalités sont observées mi-février 2010.

**Plusieurs pics de mortalité instantanée** sont observés au cours de la période d'étude. A l'intérieur de la **phase 1 de démarrage**, on observe rapidement de nombreux pics de mortalité, correspondant à des mortalités démarrant dans des poches différentes, qui s'enchaînent de juillet à août, d'intensité plus ou moins importante.

De même, **durant la phase 2, des pics secondaires ou rebonds sont observés**, généralement de moindre intensité et plus synchrones dans le temps.

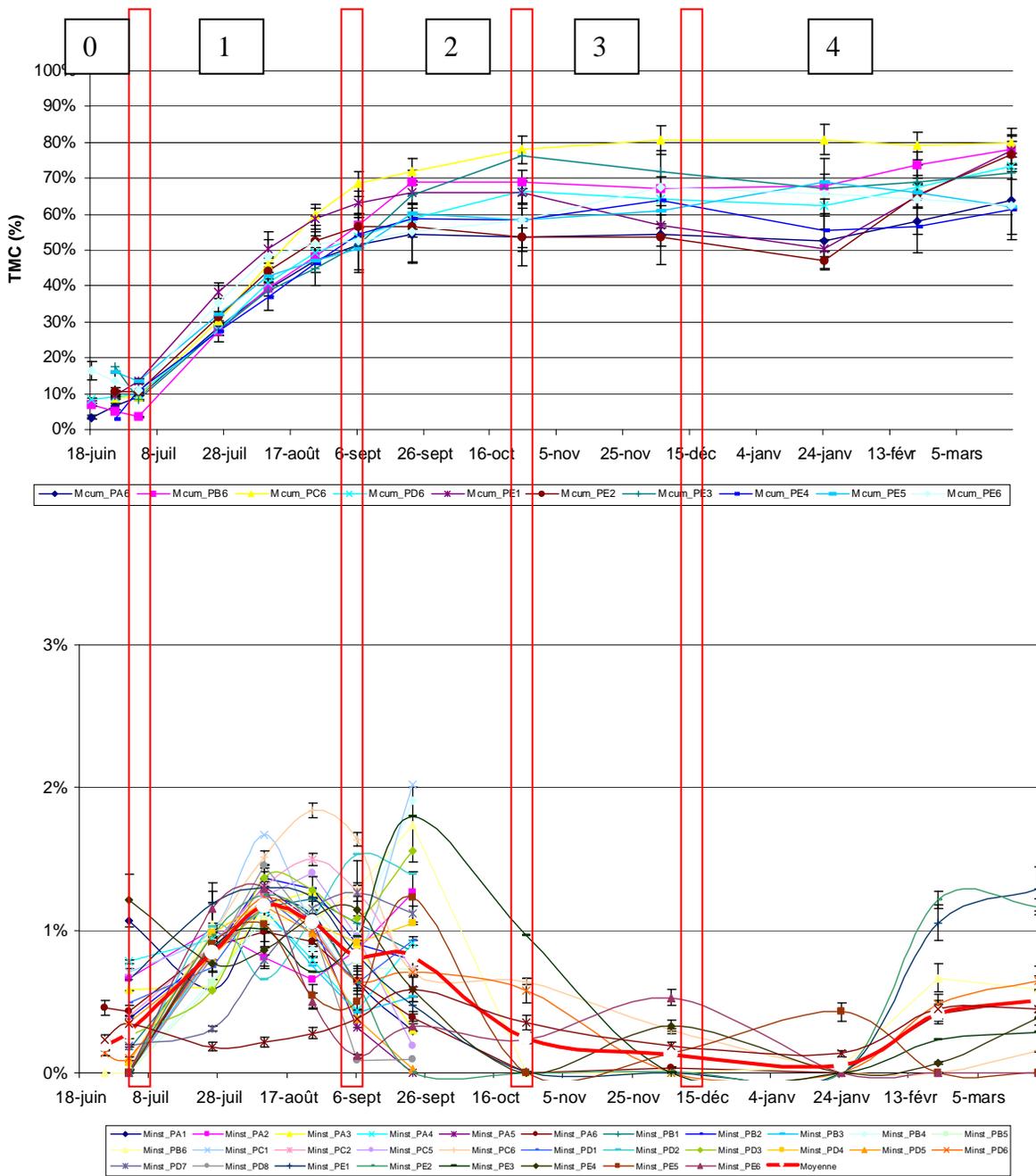


Figure 26 : Evolution des mortalités cumulées et instantanées pour les 30 poches suivies au Rouvrain

Plus rarement, **un troisième pic, voire un quatrième pic peuvent être observés** pour certaines poches durant la phase 3 et la phase 4. Ces pics d'intensité plus faible sont aussi synchrones dans le temps pour les poches atteintes.

A l'échelle spatiale, une représentation graphique, sous forme de viarogramme, a été réalisée (figure 27). Elle permet de visualiser, sur le cadrat suivi au sein de la concession, l'évolution spatiale et temporelle des mortalités instantanées journalières représentées sur une période de 15 jours, poche par poche. Le démarrage des mortalités s'effectue de façon assez aléatoire au sein des 30 poches suivies sur la concession. Plusieurs poches, situées de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres de distance, présentent des mortalités synchrones d'intensité variable. La diffusion spatiale des mortalités est rapide. Toutes les poches sont touchées entre début juillet et début août. Les mortalités finales sont comprises entre 62 (+/- 3%) et 80% (+/- 6%).

Le coefficient de corrélation calculé sur l'ensemble des résultats ne montre pas de relation statistique ( $R=0.41$ ) entre la distance des poches et le démarrage des mortalités observées (figure 28). Il n'y a pas, dans cette étude, de corrélation entre l'apparition des mortalités et la proximité des poches à l'intérieur du cadrat. Ce résultat suggère que la proximité seule des poches n'est pas suffisante pour expliquer la diffusion observée au sein de la concession.

#### Covariance temporelle des mortalités selon la distance

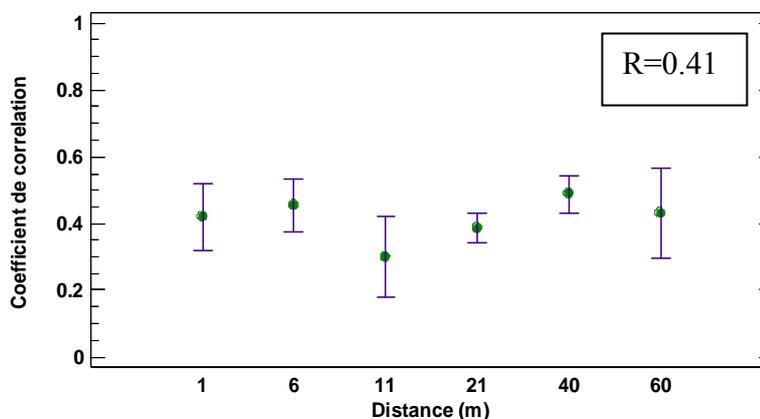
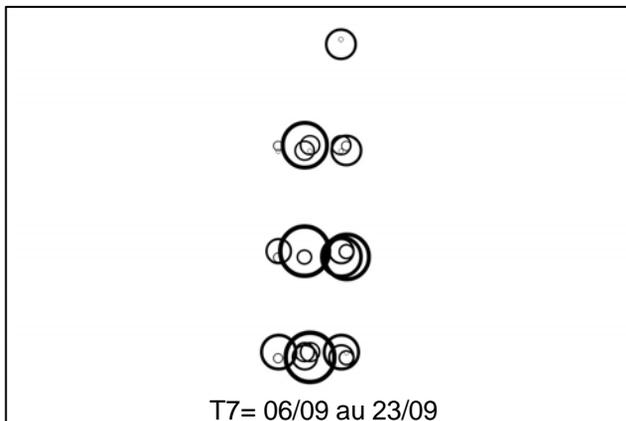
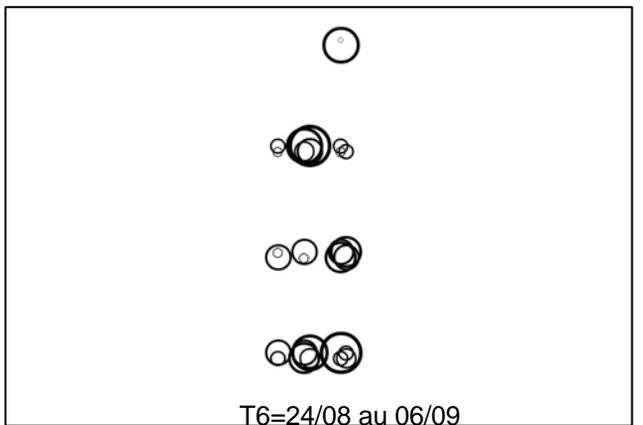
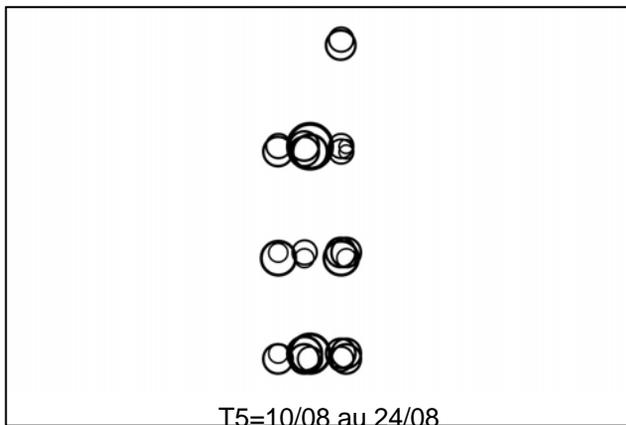
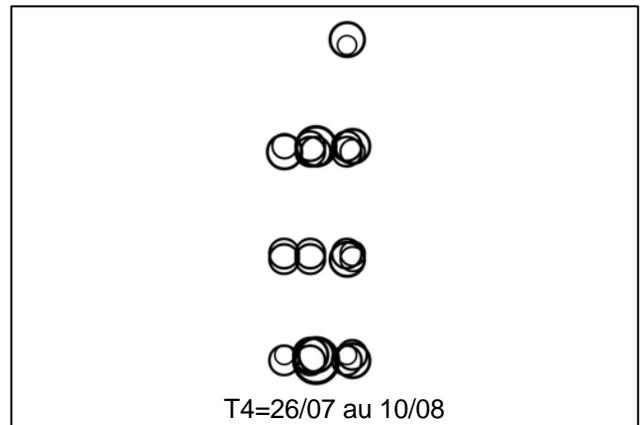
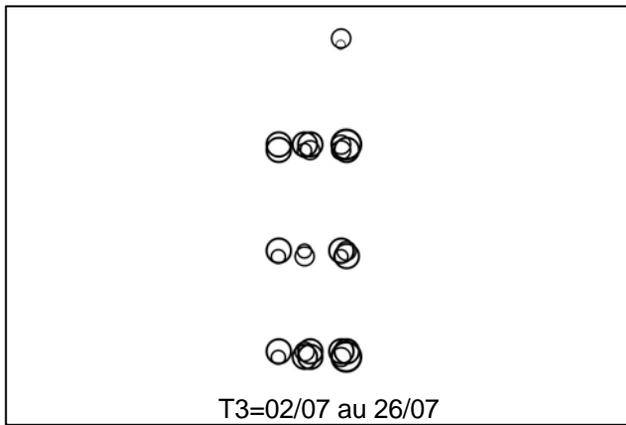
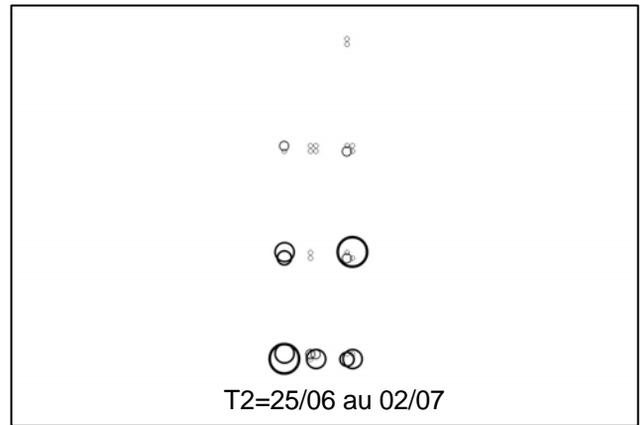
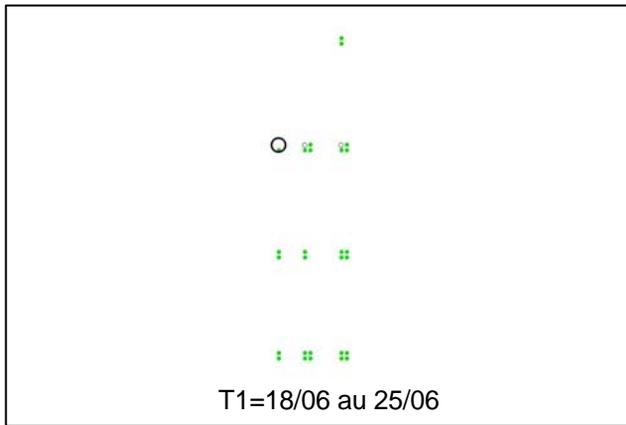


Figure 28 : covariance temporelle des mortalités observées sur les 30 poches en fonction de leurs distances sur le cadrat étudié.

#### 3.5.3. Relation entre taux de mortalité, taux d'infection et charge virale d'OsHV1 $\mu$ var

Quelque soit le suivi complémentaire réalisé, inter et intra-concession, nous avons recherché la présence du virus OsHV1 $\mu$ var dans les naissains et dans l'eau : ces données étant impossibles à obtenir par les seules enquêtes déclaratives des professionnels et les observatoires mis en place (Observatoire Conchylicole et REPAMO).



**Taux de mortalité  
(sur 15 jours)**

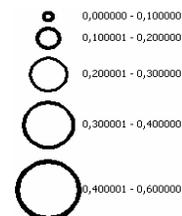


Figure 27 : variogramme des mortalités instantanées sur les 30 poches suivies

Les résultats des analyses sont exprimés en pourcentage d'infection des naissains analysés et en concentration moyenne d'OsHV1 $\mu$ var dans les naissains et dans l'eau. La concentration s'exprime respectivement en Nb de copies d'ADN/mg de tissus de naissains et en Nb de copies d'ADN par ml d'eau de mer.

### 3.5.3.1. Etude temporelle inter-concessions

Nous avons comparé le pourcentage moyen de mortalité instantanée calculé des lots des 9 concessions avec le taux d'infection moyen des lots, la concentration moyenne d'OsHV1 dans les naissains analysés et la concentration dans l'eau (figures 29A et 29B et 29C).

On distingue clairement 3 pics d'infection d'OsHV1 $\mu$ var au cours de la période d'étude (figure 29A). Un premier pic au tout début de l'étude (mi juin), un rebond fin juillet de moindre intensité et un dernier fin septembre d'intensité encore plus faible.

Le suivi n'ayant commencé que mi-juin, seul le pourcentage moyen de mortalité des périodes de fin juin à fin septembre peut être relié aux deux derniers pics d'infection d'OsHV1 $\mu$ var avec certitude. On voit, sur ce graphique, **que les augmentations de mortalité sont associées aux augmentations du pourcentage d'infection des lots infectés par OsHV1  $\mu$ var.**

D'autre part, on remarque que **la concentration moyenne d'OsHV1 $\mu$ var dans les tissus de naissains est clairement associée aux pics de mortalité** (figure 29B). La concentration moyenne d'OsHV1 $\mu$ var dans les naissains (nb de copies d'ADN dans 1 mg de tissu) reste élevée tout au long de la période d'étude de juin à septembre, contrairement au pourcentage d'infection OsHV1 $\mu$ var du naissain qui tend à diminuer au cours de la même période. Elle atteint  $1.10^8$  copies d'ADN/mg de tissus.

Ces résultats suggèrent, que si le pourcentage de naissains infectés peut diminuer au cours de l'été, la charge virale détectée dans les naissains ayant survécu aux premiers épisodes de mortalité reste très importante tout le long de la période estivale.

Il est intéressant de comparer, l'intensité des mortalités, la concentration moyenne d'OsHV1 dans les naissains et celle présente dans l'eau. Pour la première fois, il est clairement observé que la présence d'ADN viral dans les tissus des naissains est directement associée à celle présente dans l'eau de mer (figure 29 C). La concentration dans l'eau est toutefois 50 000 fois plus faible que dans les tissus de naissains.

Le suivi temporel démontre que les lots de naissains et l'eau sont infectés par OsHV1  $\mu$ var sur une période de plusieurs mois, soulevant l'hypothèse que le risque contagieux est présent tout l'été et n'est pas réduit à quelques périodes courtes.

### 3.5.3.2. Etude temporelle intra-concession

De même, les analyses effectuées sur le suivi intra-concession montrent la présence du virus OsHV1 $\mu$ var sur une période de juin à septembre 2010 (figures 30 A, B, C). Les résultats pour la période octobre – mars 2011 ne sont pas encore disponibles.

Deux pics d'infection sont observés sur la période d'étude, le rebond étant de moindre intensité (Figure 30A). Ils sont synchrones avec ceux étudiés pour le suivi inter-concessions.

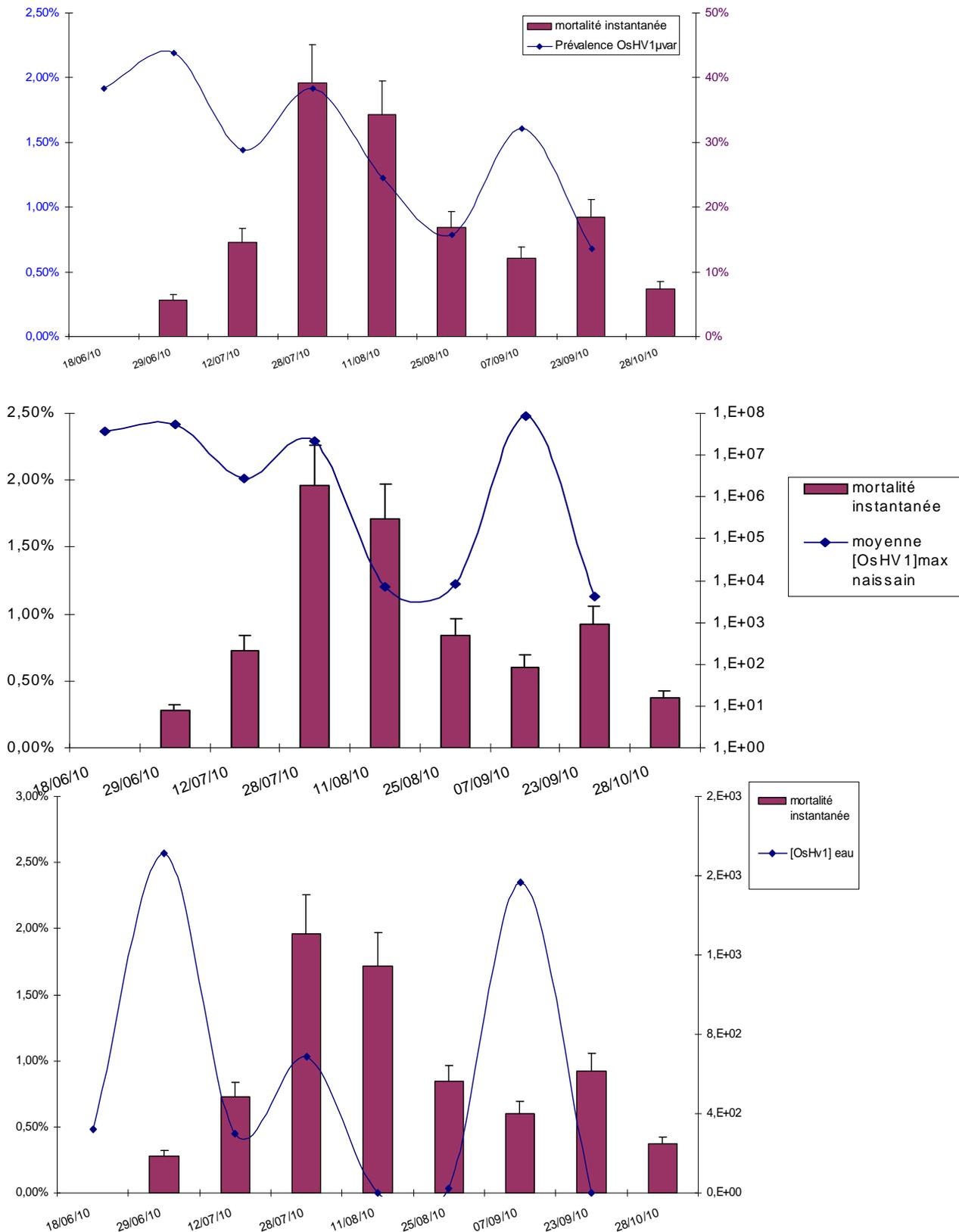
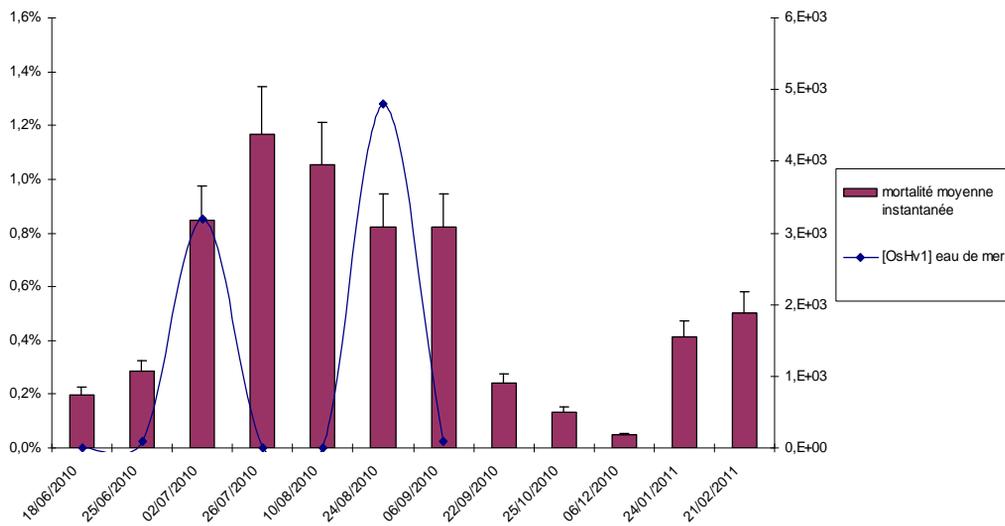
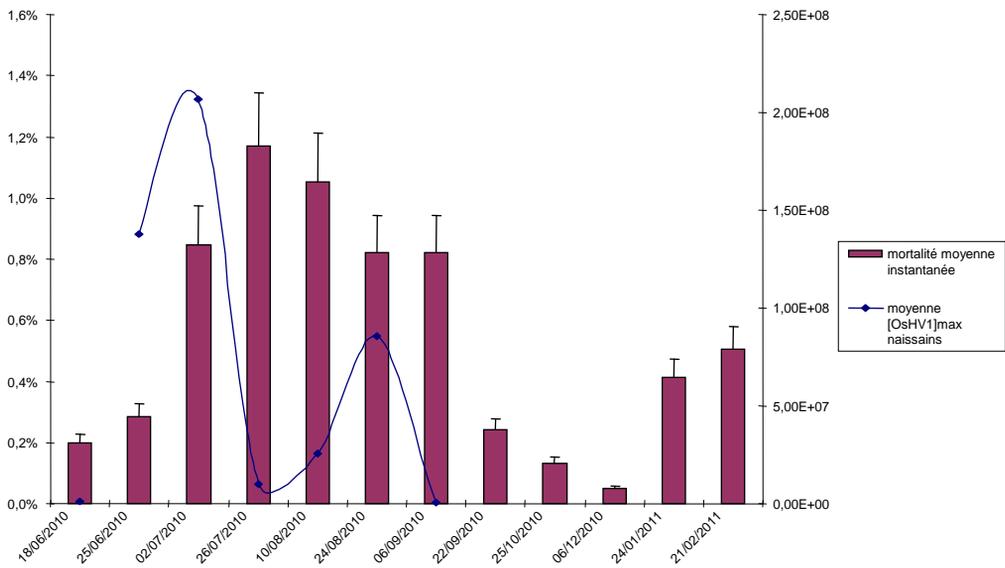
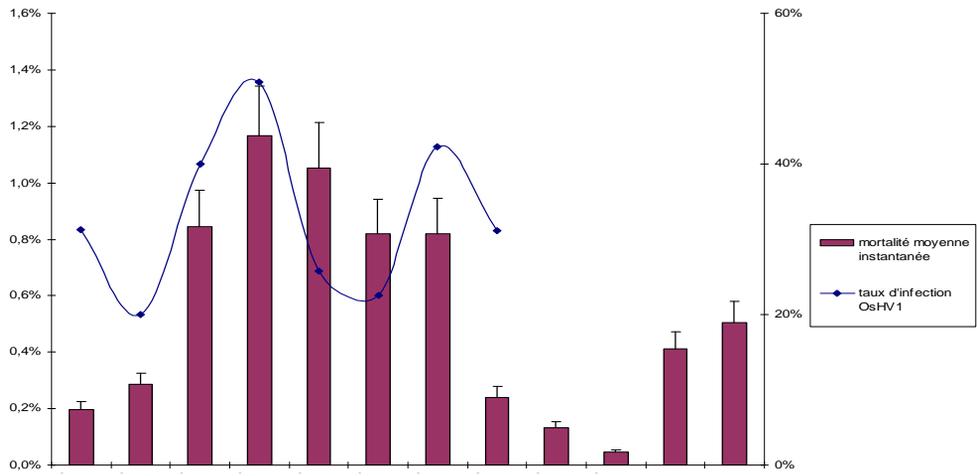


Figure 29 : Relation entre mortalité instantanée moyenne observée sur les 9 concessions suivies au rouvrans et (A) taux d'infection moyen d'OsHV1  $\mu$ var et (B) concentration moyenne en OsHV1  $\mu$ var (nb de copies d'ADN/mg tissu) (C) concentration moyenne d'OsHV1  $\mu$ var dans l'eau (nb de copies d'ADN/ml d'eau) observés sur les 9 concessions suivies au Rouvrans.



Figures 30 : Relation entre mortalité instantanée moyenne observée sur les 30 poches suivies au Rouvran et (A) taux d'infection moyen d'OsHV1 $\mu$ var et (B) concentration moyenne (sur 10 poches) en OsHV1 (nb de copies d'ADN/mg tissu) (C) concentration moyenne d'OsHV1 dans l'eau (nb de copies d'ADN/ml d'eau).

La concentration moyenne en OsHV1 $\mu$ var a été comparée au pourcentage moyen de mortalité instantanée sur 10 poches des 30 suivies (Figure 30B). L'augmentation de la charge virale, dans cette étude, précède les deux pics de mortalité. Il est intéressant de relever que ce lot transféré bien après les premières déclarations de mortalité était déjà infecté (8,7 % diagnostiqué positif à OsHV1  $\mu$ var), mais ne présentait pas de mortalité.

Les concentrations moyennes d'OsHV1 $\mu$ var dans les naissains (nb de copies d'ADN par mg de tissu) sont plus élevées au début de l'étude (lors de la mise à l'eau en juin)  $2.5 \cdot 10^8$  mais elles restent très élevées  $1 \cdot 10^8$  jusqu'en septembre (figure 30 C).

En outre, la concentration d'OsHV1 $\mu$ var dans l'eau de mer présente la même distribution que celle des naissains. En revanche, sa concentration est environ 40 000 fois plus faible que dans les tissus de naissains. En supposant que le virus dans l'eau de mer est infectieux, ces résultats démontrent que les risques d'infection sont permanents tout l'été pour des lots de naissains introduits au cours de cette période dans un secteur comme la rivière de Pénerf.

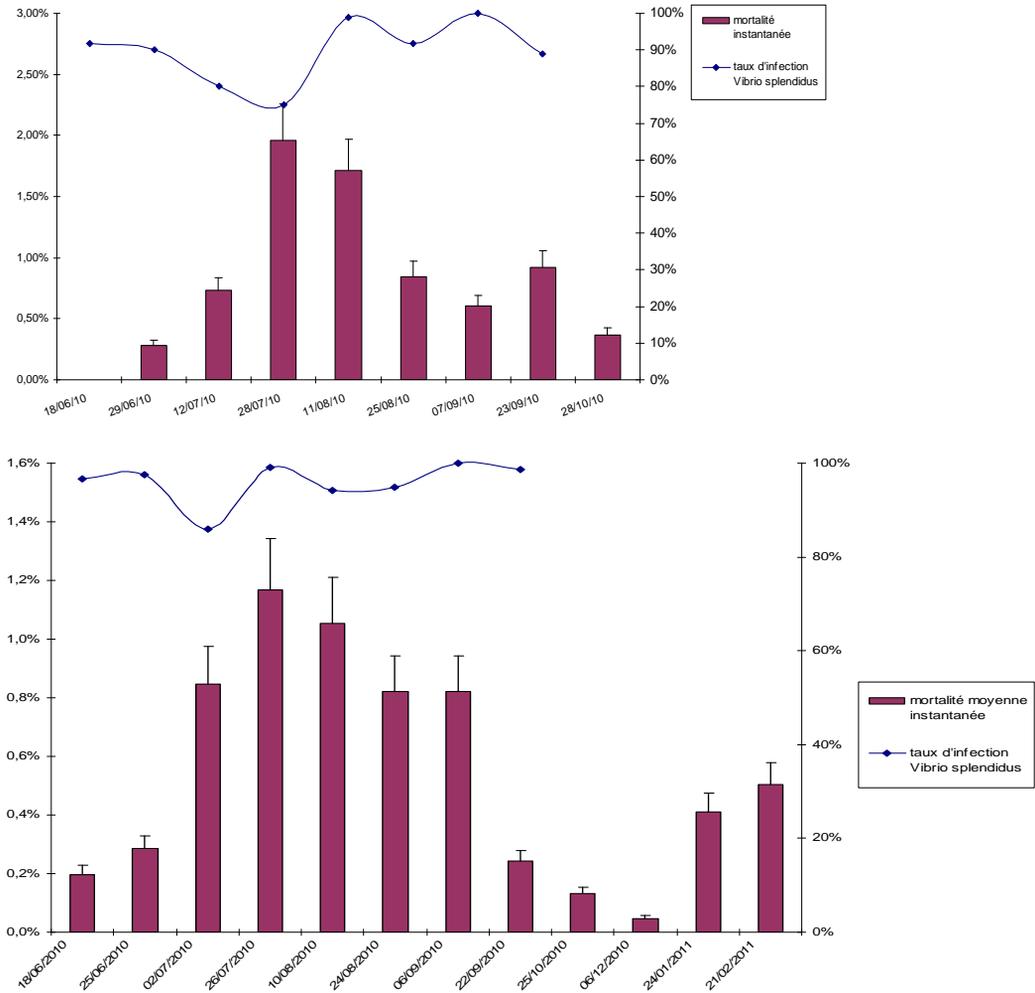
#### **3.5.4. Relation entre taux de mortalité et taux d'infection par les bactéries *Vibrio splendidus* et *V. aestuarianus***

Le suivi de *Vibrio splendidus* et *V. aestuarianus* a été réalisé pour compléter la recherche de l'ensemble des agents infectieux suspectés dans les surmortalités et tenter d'examiner la présence d'interactions éventuelles entre ces trois agents infectieux.

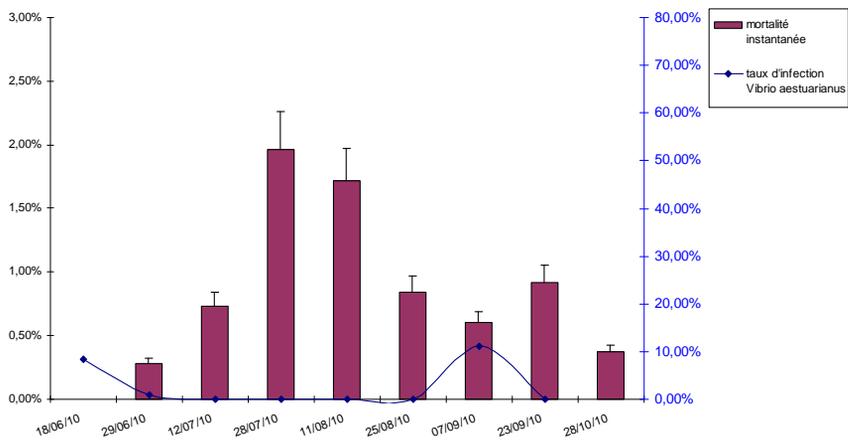
Les figures 31 A, B montrent que le pourcentage de naissains infectés par *Vibrio splendidus* est compris entre 80 et 100% quelles que soient les phases de mortalités observées au cours des deux études complémentaires. Les naissains sont infectés avant, pendant et après les mortalités.

Les naissains suivis au cours de l'étude intra-concession ne sont pas infectés par *V. aestuarianus* (diagnostiqué négatif par PCR), quelle que soit la période de l'étude.

En revanche, au cours du suivi inter-concessions, *V. aestuarianus* a été diagnostiqué dans les naissains de certains lots au mois de juin et au mois de septembre 2010, respectivement 8% et 11% (figure 32). Le reste des analyses, quel que soit le pourcentage de mortalité, ne montre pas la présence de cet agent infectieux.



Figures 31 : Relation entre mortalité instantanée moyenne observée et taux d'infection moyen de *Vibrio splendidus*. (A) pour le suivi inter-cessions et (B) pour le suivi intra-cession.



Figures 32 : Relation entre mortalité instantanée moyenne observée et taux d'infection moyen de *Vibrio aestuarianus* pour le suivi inter-cessions.

## 4. Discussion générale, conclusion

La première partie de cette étude a concerné la mise au point d'un outil d'objectivation de l'évaluation et des caractéristiques des lots de naissains touchés par des surmortalités. Une fiche d'enquête épidémiologique indispensable pour compléter un nombre important de variables descriptives du parcours zootechnique de lots de naissains a été élaborée. Ces données sont, généralement, trop peu renseignées dans la déclaration de mortalité remplie pour l'Administration (DML, DTTM) : origine du naissain, date de transfert, support de captage, support d'élevage, densité d'élevage (Thébault, 2011).

L'ajout, à ces données, de connaissances sur la zone d'élevage de la Rivière de Pénerf (bathymétrie, densité d'élevage de naissains, température...) et d'études fines spatio-temporelles de la mortalité, a permis de développer une approche intégrative pour appréhender les mortalités dans leur globalité et tenter de les relier à des facteurs environnementaux, zootechniques et pathologiques.

La première partie d'étude a abouti à l'acquisition d'un nombre conséquent de données sur **l'évaluation des stocks et les biomasses** des différentes classes d'âge d'huîtres présentes en Rivière de Pénerf au cours de l'été 2010. Ces données sont aussi délaissées dans les études épidémiologiques par manque de connaissance. Cette caractérisation est pourtant indissociable du succès de leur élevage surtout en période de crise zoonositaire liée à un ou plusieurs agents infectieux contagieux (Cochennec-Laureau *et al.*, 2011 ; Peeler *et al.* 2012).

L'estimation des huîtres en élevage est d'environ 2 370 tonnes d'huîtres adultes (<2 ans), 270 tonnes d'huîtres de demi-élevage (18 mois-2 ans) et 103 tonnes de naissains (= 1an). L'estimation des huîtres abandonnées et sauvages, toute classe d'âge confondue, est respectivement d'environ 1 100 tonnes et 900 tonnes. Ce qui donne une estimation globale de 2 743 tonnes d'huîtres en élevage et 2 000 tonnes pour les huîtres abandonnées et sauvages. Ces chiffres, bien qu'entachés d'une certaine imprécision, montrent que les gisements naturels et les parcs abandonnés représentent une biomasse importante au regard du stock d'huîtres des zones exploitées. La biomasse abandonnée peut contribuer largement à l'envasement de la Rivière constatée depuis plusieurs années. Dans ce cadre, ces données peuvent ainsi contribuer au suivi scientifique de restructuration conchylicole engagé. Elles seront d'ailleurs utilisées dans la réflexion qui est menée autour du développement du captage naturel en Rivière de Pénerf (CRC BS).

Dans l'hypothèse où les stocks d'huîtres de demi-élevage ou adultes seraient des réservoirs potentiels de virus (porteurs asymptomatiques), ces fortes quantités d'huîtres peuvent avoir un effet sur les surmortalités de naissains observées dans la rivière. Ceci reste cependant à démontrer. En outre, dans la perspective de compléter la pré-étude hydrodynamique de la rivière, la connaissance de la spatialisation des lots de naissain en élevage est la base d'étude pour analyser l'évolution de la diffusion de la mortalité.

Les résultats croisés entre les professionnels, la DTTM, la DML et l'Ifremer ont permis de **décrire précisément pour la première fois les différentes techniques d'élevage** à l'échelle spatiale d'un site de production. Ce travail unique a été réalisé grâce à l'intégration des données recueillies sur le terrain et au niveau du cadastre sous SIG.

Ce que l'on peut retenir, c'est que les pratiques culturales sont multiples, qu'elles peuvent être différentes d'un lot à l'autre, pour un même professionnel et quelque fois au sein d'une même concession. Ces pratiques zootechniques sont loin d'être standardisées sur une zone restreinte comme la rivière de Pénerf. Elles sont mises en place de manière empirique probablement par

le transfert de savoir faire d'un professionnel à un autre. Bien qu'elles aient pu permettre de maintenir les élevages depuis l'introduction de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, elles ne prennent pas suffisamment en compte, aujourd'hui, la notion de risque de contamination et de groupes de naissains à risque (charge virale au moment du transfert) lors des transferts en période d'épizootie. Ces limites sont probablement à l'origine de la diffusion des mortalités sur toutes les côtes françaises mais aussi européennes (Lupo *et al.*, 2011, Roque *et al.*, 2011 ; Peeler *et al.*, 2009).

Les données renseignées par ces questionnaires sont encore perfectibles et peuvent présenter de nombreux biais du fait qu'il s'agit de données déclaratives rétrospectives. Toutefois, la recherche de relation statistique entre les variables explicatives recueillies a clairement montré que certaines des pratiques culturelles ont une importance clé dans l'amélioration de la survie. Le développement d'un modèle multivarié a permis de rechercher toutes les combinaisons de variables susceptibles d'expliquer les différences de mortalité entre les 97 lots de naissains analysés. 12 variables potentiellement explicatives ont été combinées. Le meilleur modèle prend en compte **l'origine du naissain, mais également sa date de transfert, sa densité d'élevage et son secteur d'élevage.**

**L'origine du naissain**, naissain d'écloserie ou de captage naturel, sans tenir compte de la ploïdie est un facteur explicatif important. Les naissains d'écloserie montrent une survie améliorée par rapport aux naissains de captage naturel. Ces résultats sont déjà décrits par l'Observatoire conchylicole (rapport 2010 et 2011) et confirmés dans certaines études (Degremont, 2011). Le naissain d'écloserie testé par l'Observatoire n'est toutefois pas représentatif de la production totale des écloseries car seuls les naissains 3N sont testés. Il serait intéressant de connaître la proportion des naissains 2N et 3N (ne faisant pas partie du plan de sauvegarde suivi par ailleurs) fournis par les écloseries pour pouvoir effectuer des essais comparatifs. L'hypothèse que le naissain 2N d'écloserie présente aussi une moindre mortalité serait intéressante. En effet, l'utilisation de naissains d'écloserie 2N, donc de futurs géniteurs présentant une meilleure survie, pourrait permettre d'« accélérer » la sélection de naissain plus résistant dans le milieu naturel. Cela compléterait les études en cours sur le réensemencement d'huîtres résistantes aux mortalités et sur l'amélioration génétique (Degremont, 2011).

Concernant la date de transfert, il existe un effet statistique montrant une augmentation significative du taux de mortalité pour les lots transférés un ou deux mois avant les mortalités de 2010 en Rivière de Pénerf, quelle que soit leur origine, écloserie ou captage naturel.

Le choix d'une date de transfert précoce (automne de l'année de captage), associée, à une densité d'élevage élevée semble « protéger » le naissain des mortalités. Le rôle de la densité d'élevage, seule, dans les poches est pourtant assez controversé. Les naissains élevés en poches en Rivière de Pénerf sont transférés assez tardivement, juste avant ou pendant la période à risque et proviennent essentiellement de coupelles ce qui peut expliquer ces différences de mortalité. Néanmoins, ces données sont intéressantes pour améliorer la compréhension de la diffusion de la mortalité et des agents infectieux. Des naissains élevés à forte densité sont peut être moins « accessibles » aux infections primaires à cause de la surdensité. Comme nous l'avons observé à partir des études complémentaires, plusieurs vagues successives d'infection peuvent intervenir après le premier démarrage des mortalités, tout au long de l'été. Ces rebonds d'infection sont alors associés aux charges virales d'OsHV1 $\mu$ var présentes dans les naissains et dans l'eau. Ces concentrations virales sont élevées tout l'été. Les naissains non encore infectés, à densité moindre du fait de la « mortalité » des autres

individus dans la même poche, peuvent à leur tour s'infecter et déclarer des mortalités plus tardives, entraînant un rebond de mortalité de moindre intensité.

Cette pratique est souvent utilisée pour endurcir le naissain en limitant sa croissance. Des études récentes ont d'ailleurs montré que le naissain élevé dans des conditions de durcissement présentait une meilleure survie que les autres conditions d'élevage (Soletchnik *et al.*, 2011). Il est toutefois difficile de conclure ici sur le rôle de la densité et/ou du ralentissement de croissance, ne disposant pas dans cette étude des données sur les performances de croissance des lots d'enquête.

Enfin, le modèle désigne un secteur d'élevage plus propice en rivière de Pénerf. Le choix de ce secteur, combiné aux autres facteurs limite statistiquement les mortalités des naissains. Il s'agit de la zone du Sillon. Cette zone ne présente pas de particularités géographiques. Elle est située en aval de la rivière et c'est une zone très exploitée. L'hypothèse d'un renouvellement d'eau différent des autres secteurs pourrait expliquer cette meilleure survie. Les premiers essais de modélisation hydrodynamique mis en place sur la Rivière de Pénerf permettront de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

Parmi les facteurs explicatifs n'ayant aucune incidence sur la survie des naissains, on peut lister la bathymétrie et la densité globale d'élevage sur certains secteurs. Les lots analysés au cours de l'enquête active auprès des professionnels et celles des études complémentaires sont tous situés sur des concessions pour lesquelles la différence de bathymétrie n'est pas suffisante pour conclure. Une étude réalisée en 2011 montre qu'il existe, cependant, un lien entre le temps d'exondation de certains lots et la charge virale d'OsHV1 $\mu$ var présente dans l'eau de mer. Ces résultats ne font pas partie de cette convention et leur analyse est en cours. Les résultats préliminaires ont été présentés à la journée de restitution du 5 avril à Nantes, Ifremer-DPMA-DGAL (annexe 3).

La densité globale d'un secteur d'élevage, contrairement à la densité d'une structure d'élevage comme une poche, ne modifie pas les chances de survie du naissain. Ces résultats suggèrent que la mise en élevage de quelques lots contaminés est suffisante pour entraîner des mortalités même sur un site peu exploité.

Pour permettre d'estimer le gain escomptable à attendre des améliorations des pratiques culturales, il reste à réaliser, à partir du modèle multivarié, les courbes de prédiction. Néanmoins, à partir de nos données on observe une amélioration de la survie de l'ordre de 20 à 30%. L'explication de cette marge de manœuvre moyenne est sans doute que les meilleures pratiques de quelques ostréiculteurs peuvent être aujourd'hui pénalisées par les mauvaises pratiques d'autres ostréiculteurs.

Une étude réalisée en 2011 a montré que l'utilisation de naissains d'écloserie (diagnostiqués négatifs à OsHV1 et *Vibrio splendidus* et *V. aesturianus*), mis en élevage dans des sites isolés ou peu exploités, sans transfert, présentaient une survie comprise entre 80 et 94%. (annexe 2). La création de zones d'élevage « sanctuaires » pourrait permettre d'envisager une proposition de sortie de crise complémentaire et un maintien de zones non contaminées à partir de l'ensemencement d'huîtres « diagnostiquées négatives ». Certains pays cherchent d'ailleurs à développer les élevages « off-shore » qui semblent adéquat pour maintenir de bonnes performances de croissance et d'élevage des huîtres (Pogoda *et al.*, 2011). Dans ce contexte, la disponibilité d'une technique de diagnostic plus sensible et plus spécifique serait un pré-requis pour caractériser le statut « infectieux ou non infectieux » des naissains et des sites.

Différents travaux sont d'ailleurs en cours (Pepin *et al.*, 2008 ; Martenot *et al.*, 2010, 2011 ; Oden *et al.*, 2011).

Les études complémentaires intra et inter-concessions ont été réalisées pour combler les lacunes des enquêtes auprès des professionnels qui ne permettent pas d'acquérir des données sur la cinétique temporelle et le suivi pathologique des naissains en élevage qui présentent des mortalités.

Les résultats de ces deux études montrent que la mortalité en 2010 dans la rivière de Pénerf est étalée sur une période de plusieurs mois et que l'arrêt des mortalités n'est observé que fin septembre.

Ces données plus précises sont différentes des données déclarées par les professionnels, et mettent en évidence une « période à risque » plus longue dans le temps puisque les professionnels ont cessé de déclarer leur mortalités fin juillet. Ceci s'explique en partie par le fait que les professionnels doivent déclarer les mortalités dès le premier constat afin de déclencher une procédure de « surmortalité » avec prélèvement pour le REPAMO. De ce fait, ils ne doivent réaliser que peu de comptage précis sur leurs lots, pendant l'été, une fois cette déclaration effectuée. Malgré tout, l'enquête active a montré que le pourcentage de mortalité cumulée déclaré par les professionnels était comparable à celui obtenu au cours des études complémentaires et compris en 2010 entre 60 et 80%. Une meilleure sensibilisation de professionnels intéressés par ce type de suivi ou d'un nombre limité de professionnels « relais », soutenus par les bureaux d'étude morbihannais, permettrait de suivre les mortalités de manière fiable au cours du temps, dans différents secteurs, si un protocole simple leur était fourni.

Les suivis temporels ont clairement montré que les mortalités ne se limitent pas à quelques jours ou quelques semaines, renforçant la nécessité de revoir la gestion des transferts pendant la période à risque. Une première étude réalisée en Normandie à partir de déclarations de professionnels n'avait cependant pas montré d'amélioration de la survie des lots malgré la mise en place d'une mesure préfectorale d'interdiction des transferts à partir de mars en 2009 (Thébault, 2011). Toutefois, cette mesure n'avait pas été suivie par l'ensemble des acteurs, lissant probablement les résultats attendus.

Enfin, ces études ont permis d'observer des démarrages successifs des mortalités au cours de l'été. Ces observations complétées par la recherche des agents infectieux OsHV1 et *Vibrio splendidus* et *V. aestuarianus* révèlent uniquement un lien entre les mortalités, la concentration virale importante d'OsHV1 $\mu$ var dans les tissus et dans l'eau de mer. Ces résultats sont en accord avec des données définissant le seuil de charge virale entraînant des mortalités à  $3.3 \cdot 10^8$  copies d'ADN/mg de tissus ( Oden *et al.*, 2011). Le seuil dans l'eau de mer n'est pas connu à ce jour.

En outre, dans ce suivi, il est clairement démontré qu'il n'y a pas de relation entre la mortalité et la présence de *Vibrio splendidus* et *V. aestuarianus*. Ces résultats suggèrent que les différents rebonds de mortalité observés tout au long de l'été sont liés principalement à la présence du virus OsHV1 $\mu$ var dans cette étude, même si l'aggravation des mortalités par la présence chronique de la bactérie *V. splendidus* pourrait intervenir. Ces interactions sont à définir.

Ces rebonds de mortalité peuvent s'expliquer par un « stress » qui serait lié, par exemple à des transferts, plus ou moins tardifs, de naissains plus ou moins contaminés. Ces résultats sont, d'ailleurs, en adéquation avec le modèle dynamique de diffusion des mortalités proposé en

annexe 3. En effet, si le déclenchement des mortalités semble associé à une augmentation de la température (qui correspondrait à un premier stress), les rebonds de mortalités ne sont pas associés à ce seul « stress » de température. On peut donc supposer qu'une fois les mortalités déclenchées avec excrétion de virus par les naissains morts ou contamination par l'eau de mer, le processus infectieux est enclenché et d'autres rebonds de mortalités sont possibles une fois passé les 16°C.

En conclusion :

- Ce travail montre l'intérêt d'une approche globale intégrant une enquête active auprès des professionnels et des études complémentaires plus fines. Le croisement des informations entre les différents partenaires est donc à privilégier.
- Différents facteurs, en particulier l'origine du naissain mais également les techniques d'élevage et les caractéristiques du site (statut sanitaire) jouent un rôle important dans l'aggravation des mortalités. Ces résultats n'étant pas extrapolables à d'autres zones de production, il serait intéressant de valider ces tendances sur des sites présentant des mortalités contrastées.
- Nos résultats confirment le rôle crucial du virus OsHV1  $\mu$ var dans les mortalités. Ses interactions avec les bactéries *V. splendidus* et *V. aestuarianus* restent à explorer. L'amélioration des techniques de diagnostique, mais également la définition d'une charge virale « seuil » de l'eau de mer nécessaire au déclenchement des mortalités sont des actions de recherche à prioriser.
- L'ensemble des résultats suggère que les rebonds de mortalité observés sur la période estivale pourraient être liés à d'autres « stress » que l'augmentation rapide de la température. Ces mortalités étant liées à la charge virale dans les naissains et dans l'eau de mer, l'hypothèse d'une augmentation de cette charge virale due à des transferts d'animaux moribonds ou infectés doit être évaluée. D'autres « stress » non ici considérés (physiologique, immunologique ou environnementaux) peuvent également être pris en compte.

## 5. Bibliographie

- Bacher C., Baud J.P., Bodoy A., Deslou-Paoli J.M., Dréno J.P., Héral M., Maurer D., Prou J. (1986). A methodology for the stock assessments of cultivated oysters along the French Atlantic coast. *ICES CM 1986/K* : 36, 14 p.
- Baud J.P., Haure J., (1987). Estimation des stocks d'huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf en 1986. *Rapport Ifremer Bouin 1987*, 31p.
- Cochennec-Laureau N. and Baud J.P. (2011). Bilan des surmortalités des huîtres creuses depuis 2008. *Bulletin épidémiologique, Santé animale et Alimentation.03-42. 1-4*
- Cochennec-Laureau Nathalie, Baud Jean-Pierre, Pepin Jean-Francois, Benabdelmouna Abdellah, Soletchnik Patrick, Lupo Coralie, Garcia Celine, Arzul Isabelle, Boudry Pierre, Huvet Arnaud, Pernet Fabrice, Bachere Evelyne, Bedier Edouard, Petton Bruno, Gaussem Florian, Stanisiere Jean-Yves, Degremont Lionel (2011). Les surmortalités des naissains d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas* : acquis des recherches en 2010. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00033/14423/>
- Degremont L. (2011). Evidence of herpesvirus (OsHV-1) resistance in juvenile *Crassostrea gigas* selected for high resistance to the summer mortality phenomenon. *Aquaculture* 317, 94-98.
- Gagnery A., (1999). Estimation des stocks de bivalves en élevage et des épibiontes dans la lagune de Thau et modélisation de la dynamique des populations d'huîtres creuses (*Crassostrea gigas*, Thunberg). *Mémoire de DEA. Un. Paris 6-Ifremer Palavas.35 pages*
- Kopp J., Messian G., Le Gagneur E., Cornette F., Ropert M. (2000). Etat des stocks conchylicoles normands en 2000. *Rapport Ifremer RINT.DRV/RA/LCN/2001.08*, 50p.
- Le Moine O., Geairon P. Razet D. (2002). Elaboration d'une technique d'évaluation rapide des stocks conchylicoles. *Contrat Organisation des Producteurs de Marennes-Oléron. Rapport Ifremer La Tremblade 2002*, 18p.
- Lupo C., Mandard Y.V., Arzul I., Francois C., Garcia C., Renault T., and Bareille N. (2011). Space-time clustering of mortality notifications in Pacific oysters of Charente sluices, France, 2008-2011. *Epidémiol. Et Santé anim.* 59-60, 166-168.
- Martenot C., Oden E., Travaillé E., Malas J.P. and Houssin M (2010). Comparison of two real-time PCR methods for detection of ostreid herpesvirus 1 in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Jour. Virol. Methods* 170, 86-89.
- Martenot C., Oden E., Travaillé E., Malas J.P. and Houssin M. (2011). Detection of different variants of Ostreid Herpesvirus 1 in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, between 2008 and 2010. *Virus Research* 160, 25-31.
- Miossec, L., G. Allain, *et al.* (2009). First results of an epidemiological study on oyster (*Crassostrea gigas*) mortality events in France during summer 2008. *International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics XII, Durban, South Africa.*

Oden E., Martenot C., Berthaux M., Travaillé E., Malas J.P. and Houssin M. (2011). Quantification of ostreid herpesvirus 1 (OsHV 1) in *Crassostrea gigas* by real-time PCR : determination of a viral load threshold to prevent summer mortality. *Aquaculture* 317, 27-31.

Peeler E.J., Reese R.A., Cheslett D.L., Geoghegan F., Power A. and Trush M.A. (2012). Investigation of mortality in Pacific oysters associated with Ostreid herpesvirus 1 $\mu$ var in the Republic of Ireland in 2009. *Preventive Veterinary Medicine* 105, 136-143.

Pepin J.F., Riou A. and Renault T. (2008). Rapid and sensitive detection of ostreid herpesvirus 1 in oyster samples by real-time PCR. *Journal of Virological Methods* 149, 269–276

Pogoda B., Buck B.H., Hagen W. (2011). Growth performance and condition of oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*) farmed in an offshore environment (North Sea, Germany) *Aquaculture* 319 (2011) 484–492.

Roque A., Carrasco N., Andree K.B., Lacuesta B., Elandaloussi L., Gairin I., Rodgers C. and Furones M.D. (2011). First report of OsHV 1 microvar in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) cultured in Spain. *Aquaculture* doi:10.1016.

Sauvage C., Pépin J.F., Lapègue S., Boudry P. et Renault T. (2009) ; Ostreid herpes virus 1 infection in families of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, during a summer mortality outbreak : differences in viral DNA detection and quantification using real time PCR. *Virus Research* 142 : 181-187.

Schikorski D., Renault T., Saulnier D., Faury N., Moreau P. and Pepin J.F. (2011); Experimental infection of Pacific oyster *Crassostrea gigas* spat by ostreid herpesvirus 1 : demonstration of oyster spat susceptibility. *Veterinary research* 42-27.

Schikorski.D., N.Faury, J.F.Pepin, D.Saulnier, D.Tourbiez, T.Renault. (2010). Experimental Ostreid herpesvirus1 (OsHV-1) infection of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*: Kinetics of virus DNA detection by q-PCR in seawater and in oyster samples. *Virus Research* (2010).

Segarra A., Pépin J.F., Arzul I., Morga B., Faury N., Renault T. (2010). Detection and description of a particular Ostreid herpesvirus 1 genotype associated with massive mortality outbreaks of Pacific oysters, *Crassostrea gigas*, in France in 2008. *Virus Research*, Volume 153, Issue 1, P 92-99

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>

Thebault A. (2011). Evaluation de l'efficacité d'une mesure préventive vis-à-vis du risque de surmortalité d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas*. *ANSES* 61p.

## **6. Annexes**

## Annexe 1

Convention DPMA- Ifremer 2011 - Fiche action « Epidémiologie »

Titre de l'action	<b>Etude épidémiologique et éco-pathologique dans le cadre des surmortalités des naissains d'huîtres creuses</b>
Acronyme	
Objectif général	<b>Compréhension des effets de l'environnement et des pratiques culturelles sur les mortalités d'huîtres creuses en élevage (site atelier) – mise en place d'un modèle dynamique de diffusion des mortalités liées à l'herpes virus</b>
Contexte	<p>Les connaissances scientifiques actuelles du phénomène de surmortalité des naissains d'huîtres creuses tendent à favoriser l'hypothèse d'une origine infectieuse lié au virus OshV1 <math>\mu</math>var dont la détection précède l'apparition des surmortalités des naissains dans tous les sites d'élevage. Ce phénomène peut être modulé par la présence de bactérie du genre <i>Vibrio</i> mais également par des facteurs environnementaux (température &gt; 16°C) et des pratiques d'élevage notamment l'origine des huîtres, leur statut sanitaire lors de la mise en élevage et le statut sanitaire de la zone d'accueil.</p> <p>Si des études expérimentales sont menées en laboratoire pour comprendre ce phénomène en milieu contrôlé et sur des individus en petit nombre, en revanche peu de données existent sur le mécanisme en milieu naturel.</p> <p>Or, les études épidémiologiques sont les premiers outils pour comprendre à l'échelle des populations les mécanismes de causalité et les moyens de lutte contre les maladies infectieuses. Les modèles issus des mammifères terrestres, issus de l'épidémiologie prédictive, de type SIR, ou SIS ont été extrapolé avec succès dans le domaine de la pathologie des poissons (Ogut et al, 2004; Lorenzen et al, 1991; Murray et Gaughan, 2003). Certains de ces modèles ont été utilisés avec succès et sont toujours appliqués pour la gestion conchylicole vis à vis d'une maladie parasitaire MSX.</p> <p>La proposition qui peut être faite est de bâtir un modèle simple, déterministe, décrivant les mortalités d'huîtres liées à l'infection virale OSHV 1 et son microvariant, et d'accroître la complexité du modèle au fur et à mesure des connaissances acquises.</p> <p>Une étude épidémiologique descriptive a été menée sur un site d'élevage conchylicole « atelier » (la rivière de Pénerf) choisi à la fois pour ses caractéristiques physiques et biologiques (suivi des mortalités et des données environnementales, recensement des pratiques culturelles...) en 2010. Il est important de pouvoir continuer cette pré-étude sur une deuxième année pour compléter les premières observations et les intégrer au modèle dynamique. Cela permettra de vérifier la hiérarchisation des connaissances à valider.</p> <p>L'objectif final de cette modélisation, à moyen terme, sera de tester différents scénarii de gestion de risque, en vue de prédire certains de leurs effets bénéfiques ou non pour la conchyliculture. A court terme il s'agit d'un outil de compréhension des mécanismes impliqués dans les mortalités estivales.</p>
Intérêts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Pour les professionnels</b> : Outil pour l'optimisation des pratiques culturelles visant à réduire les taux de mortalités de leurs juvéniles (dates de transferts, densités en élevage, coefficient d'exondation, aide au choix des sites d'élevage...).</li> <li>- <b>Pour les administrations de l'état</b> : Aide à la décision dans le cadre des périodes d'autorisation/interdiction de transferts inter/intra bassins, d'études d'impacts d'opération de repeuplement, d'évaluation de l'état de santé des écosystèmes...</li> <li>- <b>Pour les scientifiques</b> : acquisition de données uniques permettant d'analyser l'effet de l'environnement et des pratiques culturelles sur la biologie d'une espèce modèle en milieu marin - amélioration des connaissances.</li> </ul>
Description & moyens	<p>Après avoir sélectionné différents lots de naissains appartenant à des professionnels et acheté dans une écloserie (choisis selon leur origine et leur statut sanitaire), des poches seront marquées dans l'objectif de suivre les mortalités au niveau spatio-temporel. Située sur la zone du Rouvran (zone la plus exploitée à l'embouchure de la rivière), l'étude porte sur 2 échelles différentes.</p> <p><b>La première échelle est celle de la concession</b> : le suivi porte sur 9 concessions différentes réparties sur l'ensemble de la zone. Pour chaque concession, 3 poches sont échantillonnées. L'objectif est de déterminer si des différences de taux de mortalités existent sur ce secteur, et de rechercher des explications à ces variations (pratiques culturelles, origine du naissain, facteurs environnementaux...)</p> <p><b>La seconde échelle est celle de la poche</b> : le suivi porte sur 30 poches d'un même lot de naissain, présent sur une même concession. L'objectif est de comprendre la</p>

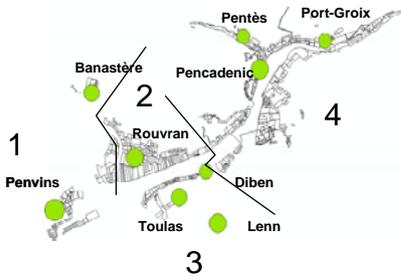
**Convention DPMA- Ifremer 2011 - Fiche action « Epidémiologie »**

<b>Description &amp; moyens</b>	<p>la diffusion du phénomène à petite échelle.</p> <p><b>Analyses</b> : chaque poche fait l'objet d'un suivi régulier : bi-mensuel entre la mi-juin et la fin septembre (période à risque) puis mensuel pendant la période automnale et hivernale.</p> <p>Pour chaque poche et à chaque prélèvement, un échantillon d'individus est collecté au hasard afin de permettre 1) l'évaluation du nombre d'animaux morts, croissance, taille des animaux et la recherche d'herpes virus par qPCR (dans une quinzaine d'individus). La recherche d'herpes est également effectuée sur des échantillons d'eau de mer collectés à chaque date et sur chaque concession.</p> <p><b>Suivi du milieu</b> : les paramètres environnementaux, température, salinité, phytoplancton sont réalisés. Une cartographie des animaux en élevage et bancs naturels sera réalisée pour estimer la quantité d'huîtres en élevage et naturels.</p>
<b>Responsable</b>	Cette action est pilotée par N. Cochenec-Laureau (Ifremer, La Trinité sur Mer).
<b>Acteurs externes</b>	ANSES
<b>Résultats attendus</b>	<p>1 : Mettre en œuvre, sur un site atelier, un modèle de dispersion du virus à l'échelle populationnelle visant à comprendre le phénomène de diffusion des surmortalités des naissains de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i>.</p> <p>2 : Permettre la simulation du démarrage, de l'expression et de la dissémination d'un agent viral (OsHV1-<math>\mu</math>var) dans un écosystème conchylicole étudié finement et permettre de trouver des solutions pour le réduire (périodes à risques, quantité des transferts...).</p> <p>3 : Mieux appréhender, et à terme, mieux prévoir les effets des facteurs environnementaux et des pratiques culturelles sur l'évolution et l'intensité de l'épidémie.</p> <p>4 : Fournir des outils de gestion, à portée nationale, aux administrations et aux professionnels de l'ostréiculture</p>
<b>Moyens humains</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 équivalents temps plein agents Ifremer</li> <li>- 6 mois de CDD (6 mois renfort cadre)</li> </ul>
<b>Délivrables</b>	<p>Trois types de livrables seront produits pour le ministère, la profession ostréicole et l'Ifremer. (1) Tout d'abord, une fois les données complètement analysées, un premier rapport sera rédigé à destination des professionnels et des services de l'état concernés (diffusion large et présentations orales), (2) l'ensemble des résultats seront synthétisés sous forme d'un rapport scientifique (en français et en anglais) destiné à la fois à l'Ifremer ainsi qu'à la CRC Bretagne Sud et au CNC.</p> <p>(3) Le modèle et les résultats appartiendront à l'Ifremer et pourra être mis à disposition des professionnels (sous conditions préalablement définies).</p>
<b>Coût global 2011</b>	321 696
<b>Détails des coûts</b>	<p>Coût personnel = 252 846 €</p> <p>Coût fonctionnement = 38 850€</p> <p>Coût CDD = 30 000 €</p>
<b>Subvention 2011 demandée</b>	<b>68 850 €</b>

## Annexe 2

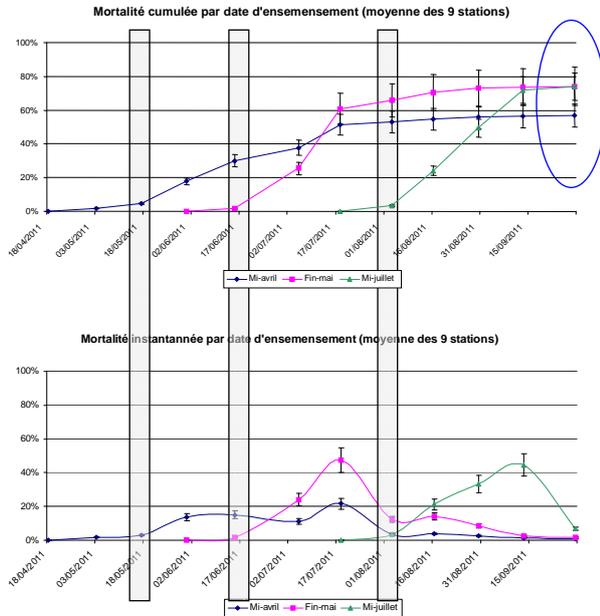
### Résultats provisoires 2011-2012

#### Effets date d'introduction et zone d'élevage de naissain de captage naturel (2011)



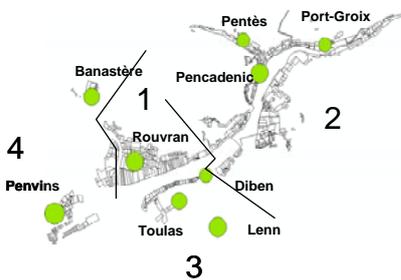
- Quelle que soit la date d'immersion :
- Phase 0 : pas de mortalité
  - Phase 1 : démarrage (1 à 2 pics)
  - Phase 2 : augmentation de la mortalité
  - Phase 3 : plateau
  - Phase 4 : arrêt des mortalités

Les phases sont décalées dans le temps en fonction de la date d'immersion : même origine, même processus infectieux ?

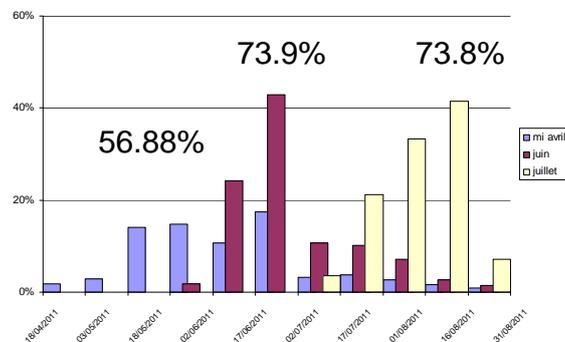


Réunion Ifremer-DPMA-DGAI 05 avril 2012

#### Effets date d'introduction de naissain de captage naturel (2011)

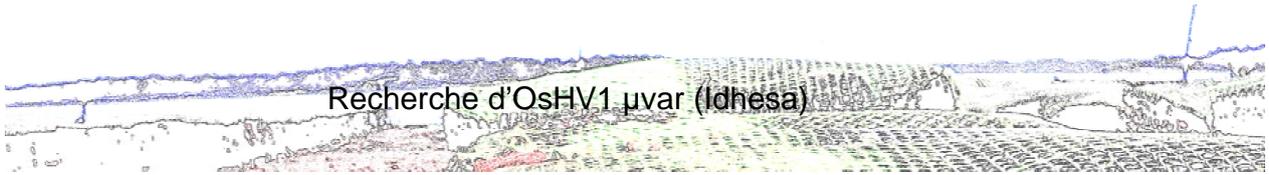


Différence significative entre les taux de mortalité cumulée en fonction de la date d'immersion



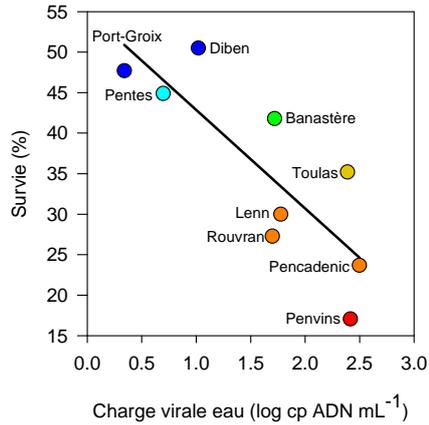
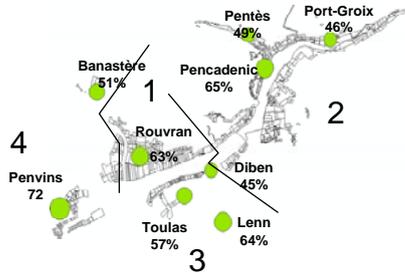
Mi-avril	56.88 %	[ 45 - 71%]
Fin mai	73.9%	[57.5 - 79%]
Mi-juillet	73.6%	[39.9 - 73.6%]

Réunion Ifremer-DPMA-DGAI 05 avril 2012



## Recherche d'OsHV1 $\mu$ var (Idhesa)

### Effets site d'élevage (2011)

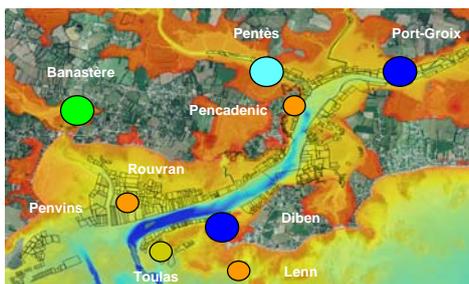
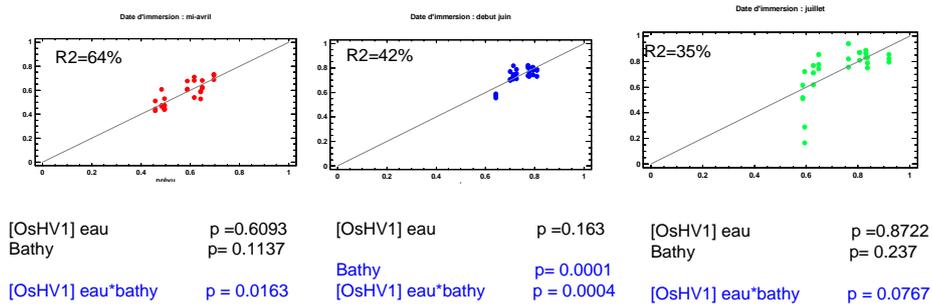


La survie est variable en fonction des sites et semble améliorée lorsque la [OsHV1] eau est plus faible

Réunion Ifremer-DPMA-DGAI 05 avril 2012



## Recherche d'OsHV1 $\mu$ var (Idhesa)



En fonction de la période de transfert, la survie est améliorée lorsque la [OsHV1] eau est faible et la zone d'élevage «+ haute » sur l'estran = moins de temps de contact entre naissain et milieu contaminé ?



**Test :** naissain issu d'écloserie ([OsHV1] négatif, 3 ½ poches de 300 individus, T7-T8)  
 Mis à l'eau en mars, retirées fin septembre 2011)

Zone D'élevage	exondation	renouvellement	Présence d'adultes	Présence de naissains	Taux de mortalité cumulée (%)	Poids unitaire
Baie de Quiberon (point épargné RISCO)	0	++	+	+	<b>21.8 (+/-7.1)</b> <b>(40% OC)</b>	16.95 g
Plougastel	++	++	+	+	<b>14.1(+/-0.06)</b> <b>(Brest OC 80.6%)</b>	11.4 g
Riec sur Belon	++	+++	++	++	<b>20.4(+/-2.9)</b>	27.47 g
Claire à Pénerf	0	0	0	0	<b>6.1--/-0.6)</b> <b>(26.5%)</b>	53.88 g