

DÉFIS DE LA SURVEILLANCE DES MALADIES CHEZ LES COQUILLAGES MARINS EN FRANCE*

Coralie Lupo¹, Cyrille François, Isabelle Arzul, Céline Garcia,
Jean-Pierre Joly et Tristan Renault

RÉSUMÉ

Les enjeux de la surveillance épidémiologique sont globalement similaires entre les différentes filières de production animale, mais les modalités de surveillance ont été principalement conceptualisées pour les productions terrestres. Leur adaptation au contexte des productions aquacoles, conchylicoles en particulier, présente plusieurs défis tant par les caractéristiques biologiques des animaux que par celles de leur élevage en milieu marin. L'objectif prioritaire de la surveillance des maladies des coquillages marins est la détection précoce de l'apparition d'une maladie exotique ou nouvelle afin d'entreprendre rapidement une lutte. Pour atteindre cet objectif, des modalités de surveillance événementielle et ciblée sur le risque d'introduction ou d'émergence sont combinées et coordonnées par le Réseau de pathologie des mollusques (Repamo), réseau de surveillance de la santé des mollusques marins du littoral français.

Mots-clés : surveillance, coquillage, milieu marin, détection précoce, épidémiologie.

SUMMARY

The basic concepts and objectives of animal disease surveillance are common to all types of animal production. Yet, the procedures for implementation have been mostly developed for terrestrial animal productions. Disease surveillance in marine shellfish calls for specific measures in view of the peculiarities of marine biology and rearing techniques. The main objective of disease surveillance in marine shellfish is to detect as early as possible exotic and newly emerging diseases. With this objective in mind, a national surveillance network for surveillance of mollusc diseases called Repamo has been developed. It combines passive reporting and risk-based surveillance.

Keywords: Surveillance, Shellfish, Marine environment, Early detection.



I - INTRODUCTION

Les coquillages sont des mollusques bivalves ou gastéropodes possédant une coquille. Les coquillages marins comestibles sont issus de l'élevage, *i.e.* conchyliculture, ou de la pêche. Avec une production moyenne de

200 000 tonnes par an pour un chiffre d'affaires de l'ordre de 520 millions d'euros [FranceAgriMer, 2012], la France est le 2^{ème} pays producteur de coquillages en Europe [Eurostat, 2009].

* Texte de la communication orale présentée au cours des Journées scientifiques AEEMA, 1^{er} juin 2012

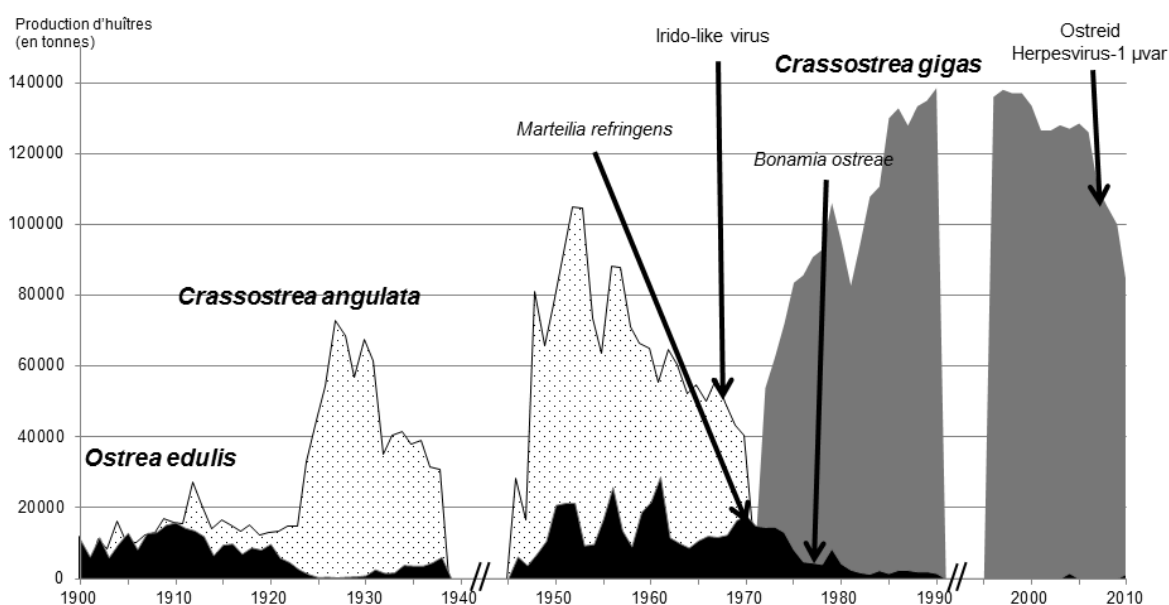
¹ Ifremer, Institut de recherche pour l'exploitation de la mer, Laboratoire de génétique et pathologie, Avenue Mus de Loup, 17390 La Tremblade, France

En particulier, l'ostréiculture française occupe la 4^{ème} place mondiale et représente 90% de la production européenne. Les huîtres et les moules dominent la production conchylicole française, avec respectivement deux tiers et 40% des volumes produits. Les productions d'autres coquillages tels que les coques ou les palourdes représentent des volumes largement inférieurs [Comité national de la

conchyliculture, 2012].

L'histoire de la conchyliculture² française a été marquée par de fortes diminutions de production dues à des épisodes de mortalité majeurs, pendant lesquels plusieurs organismes pathogènes ont été détectés. Cet historique a notamment été bien documenté pour la production d'huîtres ou ostréiculture³ (figure 1).

Figure 1
Evolution de la production d'huîtres en France et détection d'organismes pathogènes
[modifiée d'après Gouletquer et Héral, 1997]



Dans les années 1970, l'élevage de l'huître plate, *Ostrea edulis*, a quasiment disparu et deux maladies parasitaires ont été identifiées, dues à *Martellia refringens* et *Bonamia ostreae* [Grizel, 1985]. La production de l'huître creuse portugaise, *Crassostrea angulata*, a fortement chuté à la fin des années 1960 et au début des années 1970. Lors de cette chute de production, des virus de type iridovirus ont été détectés, responsables de la maladie des branchies en 1968-1970 et de la maladie hémocytaire après 1970 [Comps *et al.*, 1976 ; Renault, 2008]. L'introduction de l'huître creuse japonaise, *Crassostrea gigas*, a alors permis

de relancer la production ostréicole. A partir de 1992, des épisodes de mortalité ont été régulièrement rapportés chez les larves et les juvéniles de cette espèce et l'Ostreid Herpes Virus OsHV-1 a été identifié [Garcia *et al.*, 2011 ; Nicolas *et al.*, 1992 ; Renault *et al.*, 1994]. Depuis 2008, des mortalités massives sont observées chez les juvéniles d'huître creuse, associées à la détection quasi-systématique d'un génotype particulier du virus OsHV-1 [European Food Safety Agency, 2010 ; Renault, 2011 ; Segarra *et al.*, 2010]. Ces exemples illustrent la grande vulnérabilité de la conchyliculture aux épizooties.

² Elevage des coquillages

³ Elevage des huîtres

Leur impact sur la filière dépasse celui d'autres facteurs environnementaux tels qu'une forte élévation de la température, climatiques comme le gel ou les tempêtes, l'impact des polluants ou celui des prédateurs. Bien qu'aucune zoonose n'ait été décrite à ce jour, le fort impact économique des maladies justifie l'intérêt de leur surveillance chez les coquillages.

La surveillance épidémiologique est un outil d'aide à la décision en matière de santé : la bonne connaissance de la situation épidémiologique et le suivi de son évolution dans le temps et dans l'espace permettent d'orienter avec pertinence les décisions en santé animale [Dufour et Hendrickx, 2011]. Si les enjeux sanitaires sont globalement similaires entre les différentes filières de

production animale, les modalités de la surveillance des maladies doivent être adaptées pour répondre au contexte spécifique de chaque filière. Ces modalités ont été principalement conceptualisées pour des productions animales terrestres et l'adaptation de ces concepts à des productions aquacoles, et notamment à la filière conchylicole, présente plusieurs défis en termes de surveillance épidémiologique, tant par les caractéristiques biologiques des animaux que par celles de leur élevage.

Après une présentation des caractéristiques de la filière conchylicole en lien avec leur impact sur la propagation de maladies potentielles et les possibilités de prophylaxie, les adaptations des modalités de surveillance aux maladies des coquillages sont présentées.

II - PARTICULARITÉS DE LA FILIÈRE CONCHYLICOLE

1. CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES DES ANIMAUX ET DIAGNOSTIC DES MALADIES

Les coquillages malades présentent rarement des symptômes. Chez les bivalves, après ouverture de la coquille, il est parfois possible d'observer des anomalies macroscopiques sur le corps de l'animal, mais ces lésions sont généralement non spécifiques. Un ralentissement de la croissance peut être la seule manifestation remarquable. La mortalité est ainsi souvent le signe d'appel en cas d'infection du coquillage.

L'identification d'une infection chez les coquillages repose donc principalement sur des analyses diagnostiques de laboratoire. Ces animaux possèdent une immunité innée, mais pas de lymphocytes, cellules impliquées dans le phénomène de mémoire immunitaire chez les vertébrés. Par conséquent, la recherche de marqueurs de l'infection, *i.e.* anticorps, classiquement mise en œuvre par des techniques sérologiques chez les vertébrés n'est pas envisageable. Seules sont applicables des techniques de diagnostic par mise en évidence directe de l'organisme pathogène ou de ses constituants, telles que l'histologie, l'isolement de l'organisme pathogène suivi de son identification ou des techniques plus rapides, fondées sur la mise en évidence du génome de l'organisme pathogène telles que l'amplification génique (polymerase chain reaction, PCR). Un large

éventail de techniques diagnostiques de laboratoire, génériques ou spécifiques, est disponible à ce jour [OIE, 2011] mais l'histologie classique reste la méthode de référence pour une gamme étendue d'organismes pathogènes.

Ces techniques diagnostiques nécessitent souvent le sacrifice des animaux pour effectuer les prélèvements tissulaires. Parfois, une anesthésie est envisageable pour pratiquer une biopsie ou un prélèvement d'hémolymphe.

2. CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉLEVAGE

De nombreuses espèces de coquillages sont exploitées pour la consommation humaine. Certaines sont élevées, d'autres sont pêchées.

La conchyliculture peut se définir comme une intervention sur des populations de coquillages afin de s'approprier des individus et de maîtriser tout ou partie de leur cycle biologique [Bodoy, 1993]. L'intervention humaine a pour objet de mettre en place ou de déplacer une certaine quantité d'individus, de façon à contrôler de manière plus ou moins intensive le déroulement de leur cycle biologique, jusqu'à la taille souhaitée pour la commercialisation.

En effet, l'état sessile des animaux adultes facilite l'appropriation des populations issues de gisements sauvages de coquillages à des fins d'élevage. Les coquillages adultes pondent dans le milieu marin. Les larves

motiles se déplacent majoritairement au gré des courants marins, liés aux marées et aux régimes des vents, pour ensuite se fixer (prenant alors le nom de naissain) sur un support et poursuivre leur croissance. Les systèmes d'élevage conchylicole reposent essentiellement sur le captage de juvéniles sauvages dans le milieu naturel, à l'aide de supports appelés collecteurs, en période de reproduction des coquillages. La reproduction artificielle peut également se dérouler en conditions contrôlées, dans des installations spécialisées appelées écloséries-nurseries. Ces structures peuvent approvisionner les conchyliculteurs en juvéniles toute l'année, afin de s'affranchir des fluctuations annuelles de la reproduction et de dessaisonner une partie de la production. Puis, différents itinéraires zootechniques peuvent être envisagés pour obtenir un coquillage de taille marchande. Ainsi, les cycles de production varient entre deux et quatre ans pour l'ostréiculture, deux ans pour la vénériculture⁴ et la cérastoculture⁵, et un peu plus d'un an pour la mytiliculture⁶. Les itinéraires zootechniques permettant d'obtenir un coquillage de taille marchande sont très nombreux, dans la mesure où ils sont la combinaison de multiples options aux différents stades d'élevage. L'élevage conchylicole présente en outre la particularité de ne pas nécessiter d'apport d'alimentation par l'homme : le coquillage se nourrit principalement de phytoplancton et de microphytobenthos directement dans le milieu marin. Par conséquent, la conchyliculture a lieu le plus souvent dans des zones riches en phytoplancton afin de favoriser leur croissance : le long du littoral, en zone intertidale ou subtidale sujette aux marées, dans les lagunes côtières, à l'embouchure des fleuves et dans les baies. Elle se pratique sur tout le littoral français mais l'occupation des zones d'élevage est régulée : la conchyliculture s'exerce essentiellement sur des parcelles concédées par l'Etat sur le Domaine public maritime (concessions conchylicoles).

Les modes de stabulation des animaux sur ces concessions sont variables selon l'espèce de

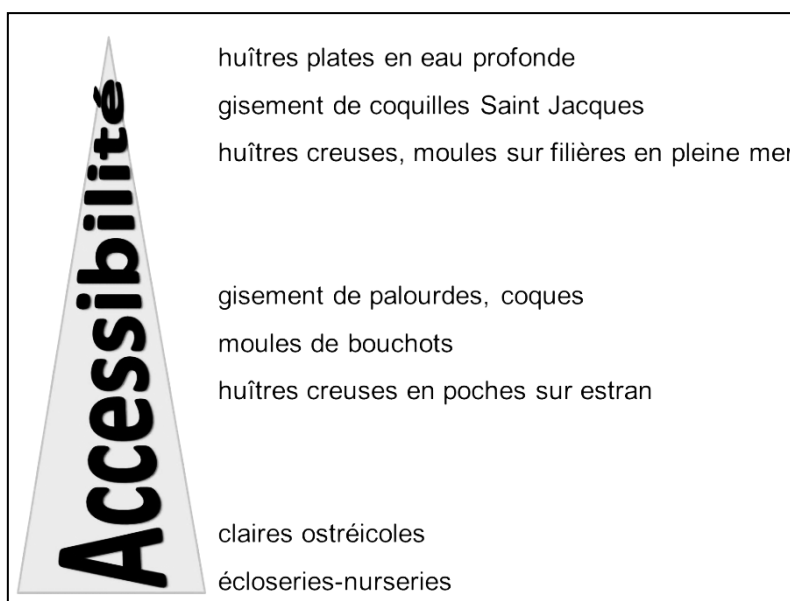
coquillage, mais également au sein d'une même espèce, d'une région à une autre [Agreste, 2005]. Les coquillages peuvent être élevés sur l'estran, *i.e.* la portion de côte découverte par la mer lors des marées. L'élevage s'y pratique à plat, qui consiste à répartir les animaux (huîtres, palourdes, coques) sur le sol, ou en surélévation, dans des poches plastiques dont le maillage diffère en fonction de la taille des animaux, fixées sur des tables de fer. Ce mode de culture en poche est majoritairement utilisé pour les huîtres. Les poches sont régulièrement vidées, les huîtres sont calibrées et remises dans des poches nettoyées au maillage adapté. Les moules sont en général élevées sur des bouchots, constitués d'alignements de pieux en bois fichés verticalement dans le sédiment, autour desquels sont enroulés en spirale des cordes sur lesquelles les moules sont elles-mêmes fixées. Il existe aussi des modes d'élevage en eau profonde qui sont en immersion permanente. Les huîtres, les coques ou les palourdes peuvent être semées au sol, sur des concessions qui peuvent se situer à plusieurs mètres de profondeur pour les huîtres. Les coquillages peuvent aussi être élevés sur des supports en suspension sous des installations flottantes (lignes munies de flotteurs) en mer ouverte, ou sous des systèmes fixes comme les tables des étangs méditerranéens [Gouletquer et Héral, 1997].

La récolte des coquillages élevés à plat sur l'estran, s'effectue à pied lors des marées basses (ramassage à la main, avec un râteau) ou de manière mécanisée, en tracteurs munis de récolteuses, ou par drague (avec un bateau) en eau profonde. L'accès aux coquillages élevés en bouchots ou en poches sur tables peut se faire en bateau ou en tracteur, mais un bateau est indispensable pour draguer les coquillages élevés en pleine eau [Gouletquer et Héral, 1997]. Ainsi, l'observation des animaux est limitée par l'accessibilité aux zones d'élevage, elle-même conditionnée à la fois par le mode de stabulation des animaux et par le cycle des marées (figure 2).

⁴ Elevage des palourdes
⁵ Elevage des coques
⁶ Elevage des moules

Figure 2

Accessibilité aux coquillages en fonction du mode d'élevage et du cycle des marées



Les concessions appartenant à plusieurs conchyliculteurs sont organisées en bancs d'élevage. Les coquillages sont donc élevés dans un milieu ouvert et partagé par tous les conchyliculteurs et par des populations sauvages de coquillages. Les zones d'élevage sont en outre liées entre elles par la circulation de l'eau via les courants marins.

Du fait de leurs caractéristiques climatiques ou hydrologiques, les zones d'élevage sont plus ou moins propices à certaines parties du cycle de production des coquillages. Ainsi, les régions sont spécialisées dans certaines étapes du cycle, comme le captage des huîtres creuses qui se pratique principalement à Arcachon et en Charente-Maritime. L'élevage peut ainsi se dérouler dans plusieurs zones qui, du fait de leurs caractéristiques écologiques, permettent d'obtenir une meilleure croissance et/ou une bonne qualité de chair des animaux. L'élevage des huîtres creuses en particulier comporte de nombreux mouvements anthropogéniques ou transferts. Plusieurs entreprises sont ainsi en relation par le biais de flux d'animaux. Ces flux peuvent avoir lieu entre les bassins de production au niveau national voire international.

Pour les productions conchyloles plutôt sédentaires pendant leur élevage, telles que les palourdes ou les coques, des mouvements de matériel de capture peuvent avoir lieu pour la récolte entre les différentes zones

conçédées par le conchyliculteur. De la même façon, le trafic maritime peut favoriser la diffusion des organismes pathogènes sur de longues distances via le déversement des eaux de ballast ou le « fouling » sur les coques des navires [Howard, 1994].

Les quantités d'animaux sont très importantes dans les zones d'élevage : l'unité usuelle est le million d'individus. Dans la majorité des cas, un contrôle *a priori* du nombre d'individus mis en élevage semble peu envisageable. Par ailleurs, des densités d'élevage trop élevées par rapport à la capacité ressource du milieu peuvent ralentir la croissance des animaux et augmenter leur sensibilité à une infection [Grizel, 1997].

La conchyliculture est ainsi caractérisée par une grande diversité des pratiques d'élevage, un conchyliculteur pouvant faire varier la localisation de chaque étape, le mode de stabulation (en poches sur tables, à plat, sur filières, en casiers,...), les densités, les tris ou encore les manipulations en cours d'élevage. Les nombreux mouvements d'animaux anthropogéniques et ceux du matériel de capture entre les zones d'élevage, les importantes densités d'animaux, le partage du milieu marin entre les conchyliculteurs, l'absence de barrière entre les stocks élevés et les stocks sauvages, sont autant de caractéristiques particulières à la filière conchylole qui favorisent l'introduction et la

diffusion d'une maladie. D'ailleurs, les transferts anthropogéniques de coquillages ont déjà contribué par le passé à la diffusion de la bonamiose au niveau international [Elston *et al.*, 1986 ; Renault, 1996]. Par ailleurs, les changements environnementaux sont une composante majeure du risque d'émergence [Pépin *et al.*, 2007] et l'élevage en milieu marin y est particulièrement soumis. L'intensification de l'élevage, avec des densités et des mouvements d'animaux importants, associée à l'évolution du climat et des écosystèmes constituent des facteurs de risque d'émergence de nouveaux organismes pathogènes.

3. LES MESURES DE LUTTE DISPONIBLES CONTRE LES MALADIES

En conchyliculture, les possibilités de prophylaxie sont limitées [Renault, 2009].

3.1. POUR ASSAINIR UN ÉLEVAGE INFECTÉ

Les mesures offensives visant à assainir un élevage infecté représentent des moyens importants de lutte collective contre les maladies transmissibles pour les productions animales terrestres. Des contraintes opérationnelles majeures limitent l'application de ces mesures d'éradication en milieu marin.

L'élevage en milieu ouvert ne permet pas la mise en place de traitement ni de désinfection qui pourraient altérer l'environnement. Le traitement des coquillages n'est réellement concevable que lorsque l'élevage s'effectue en milieu clos et contrôlé, tel que les écloseries.

La désinfection du matériel (dragues, bateaux) n'est pas courante en conchyliculture mais a déjà été appliquée en Hollande lors des transferts d'équipement d'une zone parasitée par *Bonamia* vers une zone indemne [Van Banning, 1985]. Le manque de données relatives à la sensibilité des organismes pathogènes aux désinfectants limite toutefois la mise en œuvre effective de cette mesure.

Une prophylaxie sanitaire consistant en l'abattage des individus infectés ou la destruction des animaux morts n'est pas plus facilement envisageable au regard des difficultés opérationnelles qu'elle soulève. Les très grandes tailles de population et leur faible accessibilité limitent les possibilités de dragage de la totalité des individus. Par ailleurs, les parties organiques des coquillages morts sont rapidement éliminées, emportées par les

courants marins ou des prédateurs. De plus, les cycles épidémiologiques des organismes pathogènes des coquillages comportent souvent des hôtes et des phases nageuses intermédiaires, limitant l'opportunité de l'abattage pour maîtriser une maladie. Des destructions totales de cheptels d'huîtres plates ont été pratiquées en France [Grizel, 1985] et en Hollande [Van Banning, 1988] lors de bonamiose. Toutefois, malgré une diminution certaine de la densité des hôtes et de la pression parasitaire, la maladie n'a pas pu être éradiquée. A l'inverse, en Californie, la parasitose de l'ormeau *Haliotis refuscens* due au polychète tubicole *Terebrasabella heterouncinata*, a pu être éradiquée en diminuant la densité de l'hôte intermédiaire, l'escargot *Tegula funebris*, au-dessous du seuil de persistance de la population parasitaire [Culver et Kuris, 2000].

La réalisation d'un vide sanitaire dans une zone d'élevage est difficilement envisageable pour les mêmes raisons de connexion hydrodynamique entre les zones d'élevage et de difficultés d'accès aux animaux. Un vide sanitaire est en revanche appliqué dans les écloseries-nurseries entre les lots d'animaux ainsi qu'en cas de problème zoonositaire détecté sur les phases larvaires et les naissains.

3.2. POUR LIMITER LA DIFFUSION D'UNE MALADIE

Les mesures de limitation de la diffusion d'une maladie telles que l'isolement des foyers sont également très restreintes en l'absence quasi-totale de maîtrise des conditions d'environnement des élevages. En effet, l'absence de barrière physique entre les élevages et avec les populations sauvages permet le contact et une contamination de voisinage rapide des coquillages par les mouvements de l'eau de mer. En outre, les organismes pathogènes peuvent être transportés par les mouvements des masses d'eau sur plusieurs kilomètres, selon les courants marins et le régime des vents [Murray et Gillibrand, 2006]. Des mesures de limitation sont toutefois applicables aux écloseries-nurseries puisqu'il est possible de contrôler les entrées et les sorties d'eau de ces structures à terre.

Les interdictions de mouvements sont l'une des mesures de limitation de la diffusion d'une maladie applicables en théorie. Toutefois, elles ne sont efficaces que si elles sont mises en œuvre précocement en cas d'introduction

d'une maladie exotique ou d'apparition d'une maladie nouvelle. Ainsi, les restrictions de transferts ont probablement contribué à préserver certaines zones d'Irlande et du Royaume-Uni de la bonamiose, de la marteiliose et de l'infection à OsHV-1 μ var [Union Européenne, 2012]. Ces mesures peuvent également être mises en œuvre dans le cas d'une enzootie mais les effets attendus ne sont pas de même nature et peuvent tendre vers une diminution de la prévalence de l'infection. Par ailleurs, l'absence de traçabilité précise des mouvements de coquillages [Hastein *et al.*, 2001] limite la possibilité d'identifier la source de l'épizootie et l'application effective de telles mesures.

3.3. POUR PROTÉGER LES ÉLEVAGES SAINS

L'absence d'une immunité spécifique adaptative chez les coquillages empêche d'envisager la vaccination des animaux comme mesure de protection.

Les mesures de protection des élevages sains sont également limitées par l'élevage en milieu partagé par tous les conchyliculteurs et les populations sauvages de coquillages. Ainsi, la mise en place de mesures de biosécurité au niveau individuel de l'exploitation n'est pas appropriée à la filière conchylicole. En effet, chaque conchyliculteur dépend de son voisin car les concessions conchylicoles sont contiguës les unes aux autres et aucun cloisonnement n'est possible, comme cela est décrit pour les productions animales terrestres ou pour les productions piscicoles qui peuvent être isolées à différents étages d'un cours d'eau ou d'un bassin versant. Seules les exploitations délocalisées à terre telles que les écloséries-nurseries, peuvent faire l'objet de mesures de biosécurité.

En revanche, l'introduction de cheptels de coquillages régulièrement contrôlés pour des infections connues est une possibilité de limiter la contamination d'une zone d'élevage saine, prévue par la réglementation européenne. Toutefois, un dépistage non invasif et systématique des infections n'est pas envisageable dans cette filière de production animale, car les analyses de laboratoire actuelles ne peuvent être réalisées que sur une fraction du cheptel. En effet, elles

nécessitent le sacrifice des animaux testés et les grandes tailles des populations représentent une limite opérationnelle évidente. La qualification du statut sanitaire des cheptels comme « régulièrement contrôlé » est ainsi préférable à celle d'« indemne », classiquement employée en productions animales terrestres.

Le déplacement des zones d'élevage peut contribuer à la protection des élevages sains. Par exemple, le déplacement des élevages d'huîtres plates vers des eaux plus profondes a permis de les protéger contre la marteiliose, car la transmission du parasite n'est plus observée au-delà d'une certaine profondeur [Grizel, 1985].

3.4. SYNTHÈSE

L'élevage conchylicole pratiqué en milieu ouvert et pratiquement non contrôlable est donc particulièrement vulnérable aux maladies transmissibles. Les pratiques et conditions d'élevage favorisent les risques d'introduction et de diffusion rapide d'une maladie d'une zone d'élevage à une autre [Grizel, 1997]. Mais peu de solutions sont envisageables une fois qu'une maladie est établie dans une zone ; les stratégies de lutte préventives sont donc préférables aux stratégies curatives. Pour protéger la santé et la production conchylicoles, la priorité est donc de prévenir l'introduction d'une maladie et sa diffusion.

L'histoire de la conchyliculture française montre que pour la majorité des crises zoonosaires décisives pour la filière de production, la solution la plus souvent retenue a été l'introduction d'une autre espèce [Grizel et Héral, 1991]. Aujourd'hui, cette approche n'est plus possible dans le cadre de la réglementation européenne existante. Cette solution d'introduction d'une espèce étrangère présente en effet des risques accrus d'introduction de maladies exotiques [Peeler *et al.*, 2011]. L'amélioration génétique, visant à améliorer les niveaux de survie des coquillages vis-à-vis d'une maladie, est une autre approche développée depuis une quinzaine d'années dans plusieurs pays et pour plusieurs maladies de l'huître [Carnegie et Burreson, 2011 ; Degremont *et al.*, 2007 ; Green *et al.*, 2011 ; Naciri-Graven *et al.*, 1998].

III - LA SURVEILLANCE DES MALADIES DES COQUILLAGES MARINS

Au regard des caractéristiques de la filière conchylicole, l'enjeu prioritaire de la surveillance des maladies apparaît comme la détection précoce de tout organisme pathogène exotique introduit ou nouveau, pour maximiser les chances de maîtriser sa diffusion, voire de l'éradiquer.

1. CADRE RÉGLEMENTAIRE

Les principes de la surveillance des maladies chez les animaux aquatiques sont décrits au niveau international par le Code sanitaire pour les animaux aquatiques de l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), et européen par la Directive 2006/88/EC du Conseil du 24 octobre 2006 relative aux conditions de police sanitaire applicables aux animaux et aux produits d'aquaculture, et relative à la prévention de certaines maladies chez les animaux aquatiques et aux mesures de lutte contre ces maladies. Cette Directive a été transcrite dans le droit français par plusieurs textes d'application.

La surveillance des maladies chez les coquillages marins s'exerce selon deux axes complémentaires. D'une part, la surveillance événementielle, non spécifique, s'appuie sur la déclaration obligatoire des épisodes de hausses de mortalité par les conchyliculteurs pour rapidement mettre en œuvre des mesures de lutte. D'autre part, la surveillance ciblée d'infections listées ou revêtant une importance au niveau local, s'appuie sur la déclaration obligatoire de la détection des organismes pathogènes concernés dans un certain nombre d'espèces hôtes de coquillages (tableau 1) et dans une zone donnée. Un statut sanitaire au regard d'une ou des maladies enzootiques ou exotiques est alors défini pour la zone concernée, ce qui permet de régir les mouvements d'animaux entre les zones notamment. Ainsi, comme pour les productions animales terrestres, les mouvements d'animaux ne peuvent se faire qu'entre zones de statuts sanitaires équivalents ou vers une zone de statut sanitaire moins favorable.

En France, la surveillance des maladies des coquillages est organisée par le Réseau de pathologie des mollusques, Repamo [François *et al.*, 2011]. Cette mission est confiée à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) qui anime le réseau. Les principaux acteurs de la surveillance épidémiologique sont les

conchyliculteurs, les laboratoires d'analyse et les Directions départementales des territoires et de la mer (DDTM). En effet, à la différence de la plupart des réseaux de surveillance des maladies des productions terrestres, il n'existe pas de vétérinaire praticien impliqué dans la surveillance, ni de technicien d'élevage comme dans les productions industrielles terrestres ou même piscicoles. Toutefois, des centres techniques régionaux peuvent accompagner les actions de surveillance dans certaines régions, tels que le Syndicat mixte pour l'équipement du littoral en Normandie pour la collecte de données. Pour les analyses diagnostiques de laboratoire, le laboratoire national de référence (LNR) est le Laboratoire de génétique et pathologie des mollusques marins de l'Ifremer. Il s'appuie également sur un réseau de laboratoires d'analyse, agréés à ce jour uniquement pour le diagnostic de certaines maladies des huîtres creuses d'intérêt national, en vertu de l'article 43 de la Directive 2006/88/EC. Les Services vétérinaires interviennent dans la surveillance des maladies des coquillages seulement au niveau national : l'autorité compétente centrale est la même que pour les autres réseaux d'épidémiologie, la Direction générale de l'alimentation. En revanche, l'autorité compétente locale est représentée par le Service des cultures marines dans les DDTM.

2. LA SURVEILLANCE ÉVÉNEMENTIELLE

La surveillance épidémiologique passive ou événementielle est classique en santé animale et a pour objectif la détection précoce d'une maladie. Elle repose sur la déclaration spontanée de l'événement surveillé par les éleveurs à l'autorité compétente, qui peut alors rapidement mettre en œuvre des mesures de gestion [Dufour et Hendrickx, 2011]. En filière conchylicole, la rareté de l'expression clinique des maladies restreint cette modalité de surveillance à l'observation des mortalités de coquillages, qui constituent une suspicion de maladie. La déclaration obligatoire des hausses de mortalité observées par les conchyliculteurs et pêcheurs de coquillages est effectuée auprès de l'autorité compétente locale, la DDTM, qui saisit le Repamo pour réaliser le recueil de commémoratifs sur l'élevage et des prélèvements d'échantillons sur la concession concernée en vue d'analyses diagnostiques de laboratoire.

Tableau 1
Liste des organismes pathogènes et de leurs espèces hôtes réglementés⁷

Organismes pathogènes à déclaration obligatoire	Espèces hôtes sensibles
OIE et UE	
<i>Bonamia ostreae</i>	Huître plate australienne (<i>Ostrea angasi</i>), huître plate du Chili (<i>O. chilensis</i>), huître plate européenne (<i>O. edulis</i>), huître plate d'Argentine (<i>O. puelchana</i>)
<i>Bonamia exitiosa</i>	Huître plate australienne (<i>O. angasi</i>), huître plate du Chili (<i>O. chilensis</i>), huître plate européenne (<i>O. edulis</i>)
<i>Marteilia refringens</i>	Huître plate australienne (<i>O. angasi</i>), huître plate du Chili (<i>O. chilensis</i>), huître asiatique (<i>O. denselammellosa</i>), huître plate européenne (<i>O. edulis</i>), huître plate d'Argentine (<i>O. puelchana</i>), moule commune (<i>Mytilus edulis</i>), moule méditerranéenne (<i>M. galloprovincialis</i>), couteau droit européen (<i>Solen marginatus</i>), petite praire (<i>Chamelea gallina</i>)
<i>Perkinsus marinus</i>	Huître japonaise (<i>Crassostrea gigas</i>), huître de l'Atlantique (<i>C. virginica</i>), huître de Suminoe (<i>C. ariakensis</i>), huître des Caraïbes (<i>C. rhizophorae</i>), huître de Cortez (<i>C. corteziensis</i>), mye des sables (<i>Mya arenaria</i>), telline de la Baltique (<i>Macoma balthica</i>)
OIE	
<i>Perkinsus olseni</i>	Coque (<i>Austrovenus stutchburyi</i>), bénitier allongé (<i>Tridacna maxima</i>), bénitier crocus (<i>T. crocea</i>), <i>Pitar rostrata</i> , palourde japonaise (<i>Ruditapes philippinarum</i>), palourde européenne (<i>R. decussatus</i>), ormeau australien à lèvres noires (<i>Haliotis rubra</i>), ormeau australien à lèvres vertes (<i>H. laevigata</i>), <i>H. cyclobates</i> , <i>H. scalaris</i> , <i>Anadara trapezia</i> , huître japonaise (<i>C. gigas</i>), <i>C. ariakensis</i> , <i>C. sikamea</i> , huître perlière (<i>Pinctada margaritifera</i>), <i>P. martensii</i>
<i>Xenohaliotis californiensis</i>	Ormeau noir (<i>Haliotis cracherodii</i>), ormeau blanc (<i>H. sorenseni</i>), ormeau rouge (<i>H. rufescens</i>), ormeau européen (<i>H. tuberculata</i>), ormeau rose (<i>H. corrugata</i>), ormeau vert (<i>H. fulgens</i>), ormeau plat (<i>H. wallalensis</i>), ormeau japonais (<i>H. discus-hannai</i>), petit ormeau (<i>H. diversicolor supertexta</i>)
Pseudo-herpèsvirus de l'ormeau	Ormeau australien à lèvres vertes (<i>H. laevigata</i>) et noires (<i>H. rubra</i>), <i>H. diversicolor</i>
UE	
<i>Mikrocytos mackini</i>	Huître japonaise (<i>C. gigas</i>), huître de l'Atlantique (<i>C. virginica</i>), huître plate du Pacifique (<i>O. conchaphila</i>), huître plate européenne (<i>O. edulis</i>)

La définition du cas à surveiller est simple mais subjective. En effet, une hausse de mortalité est définie comme un « *accroissement inexplicé et significatif de la mortalité au-delà du niveau considéré comme normal pour la ferme aquacole ou la zone d'élevage de 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* » [Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2008]. L'objectif est de privilégier la sensibilité de la définition du cas pour favoriser la détection de situations précoces d'apparition de maladie. Cependant, cette définition ne

fournit pas les clés d'objectivation d'une hausse de mortalité et la considération du cas est laissée à l'appréciation des acteurs de terrain. L'indicateur communément utilisé est un pourcentage de mortalité dont la méthode d'estimation n'est pas standardisée. En plus du biais de mesure évident dû à l'absence de standardisation, un biais de sélection peut intervenir au niveau du conchyliculteur.

Par exemple, les conchyliculteurs qui s'approvisionnent en juvéniles dans le milieu naturel, *i.e.* ne les paient pas, ont tendance à tolérer des pourcentages de mortalité supérieurs aux conchyliculteurs qui achètent leurs animaux aux écloséries.

⁷ En gras : les organismes pathogènes détectés et les espèces hôtes présentes en France

En outre, la décision de considérer le cas « *inexpliqué* » dépend de la sensibilisation et de l'expérience de chaque agent des DDTM.

La précocité de la détection d'un organisme pathogène exotique ou nouveau est capitale pour la maîtrise de la maladie associée. Cette détection repose en premier lieu sur l'identification des premiers cas cliniques et dépend de l'efficacité de la surveillance événementielle, définie par des indicateurs de sensibilité et de réactivité. Cette modalité de surveillance est facile à mettre en œuvre, peu coûteuse mais elle exige la participation de tous les acteurs, en particulier celle des conchyliculteurs. En effet, le délai entre introduction et détection est fonction de leur vigilance.

Depuis les épisodes de mortalité massive observés depuis 2008 chez les huîtres creuses juvéniles, les ostréiculteurs sont plutôt bien sensibilisés aux procédures de déclaration des mortalités et la sensibilité du dispositif de déclaration obligatoire est plutôt satisfaisante, variant entre 50 et 80% selon les années [Lupo *et al.*, 2012]. Les mesures d'indemnisation des pertes, couramment pratiquées lors de l'abattage des animaux d'élevage terrestres en cas de maladie réglementée, ont probablement incité les ostréiculteurs à déclarer les mortalités observées. De plus, la déclaration d'une mortalité n'entraîne, à ce jour, aucune conséquence réellement pénalisante, notamment économique, qui pourrait compromettre les chances de déclaration d'autres cas. Aucune information relative à la sensibilité de la surveillance des mortalités chez les autres productions conchylicoles n'est disponible.

Toutefois, si les ostréiculteurs semblent plutôt enclins à déclarer, leur réactivité est contrainte par les difficultés d'accès aux animaux qui limitent les possibilités d'observation. En effet, les concessions les plus basses, qui sont souvent les plus productives et accueillent la majorité des populations élevées, ne sont accessibles qu'au moment des forts coefficients de marées, soit tous les 14 jours au minimum. De plus, les concessions d'un même conchyliculteur sont souvent réparties sur plusieurs zones d'élevage qui peuvent se distribuer dans plusieurs régions. La régularité des visites de chaque concession est principalement rythmée par le travail à y effectuer, souvent saisonnier, limitant les possibilités d'observation régulière des animaux. Ainsi, la fréquence d'observation des coquillages est bimensuelle dans le meilleur des cas.

A ces difficultés d'observation des animaux liées à leur mode d'élevage s'ajoutent les difficultés de détection des maladies. En effet, la définition du cas à surveiller repose sur l'observation de mortalité, ce qui constitue une suspicion de maladie très tardive.

Par conséquent, la détection précoce des maladies est difficile à obtenir en filière conchylicole, malgré l'adhésion des conchyliculteurs au dispositif de surveillance. Ce retard à la détection entraîne nécessairement un biais de la réactivité d'un système de gestion qui pourrait s'appuyer sur les résultats de la surveillance. La surveillance des maladies des coquillages ne peut donc pas reposer uniquement sur cette modalité de surveillance passive et une approche proactive complémentaire est nécessaire.

3. L'ÉPIDÉMIOVIGILANCE FONDÉE SUR LES RISQUES

La surveillance planifiée repose sur la recherche active de données par des actions programmées à l'avance. Elle s'appuie sur le suivi régulier d'indicateurs zootechniques, sanitaires ou environnementaux. L'alerte est générée par le dépassement d'un seuil de ces indicateurs, déterminé à l'avance et pouvant être lié à l'introduction d'une maladie exotique ou à l'apparition d'une maladie émergente, et conduit à une investigation complémentaire. Des méthodes statistiques adaptées permettent d'identifier des écarts anormaux, conduisant à déclencher une alerte [Hohle *et al.*, 2009].

Pour détecter précocement l'apparition d'une maladie exotique ou nouvelle, la surveillance planifiée peut être ciblée sur les unités épidémiologiques qui présentent un risque accru et facilitent la mise en évidence des maladies [Dufour et Hendrickx, 2011]. Cette surveillance fondée sur les risques permet d'augmenter la probabilité de détection des maladies exotiques ou des anomalies dans le cas d'une émergence. En outre, elle offre l'opportunité de réduire à la fois les coûts de la surveillance et de mieux identifier les potentielles épizooties [Stark *et al.*, 2006]. Dans un premier temps, il s'agit d'évaluer les risques d'apparition d'une maladie exotique ou nouvelle dans le temps et dans l'espace. Dans le temps, l'évaluation du risque d'apparition nécessite la connaissance des cycles épidémiologiques des organismes pathogènes exotiques étudiés. Cette information n'est évidemment pas disponible pour détecter une émergence ; cette modalité de surveillance doit

donc s'exercer en continu toute l'année. En revanche, les lieux propices à l'apparition d'une maladie exotique ou nouvelle peuvent être identifiés à partir d'informations telles que la concentration d'exploitations conchylicoles, le nombre de mouvements entrants d'animaux sensibles ou appartenant au cycle épidémiologique de l'organisme pathogène, les répartition et densité des populations sensibles/vectrices, les caractéristiques hydrodynamiques en rapport avec les possibilités de propagation de la maladie, la présence de conditions environnementales favorables à certains vecteurs d'organismes pathogènes ou à l'activation de certains organismes pathogènes, la présence d'un port maritime...

Dans un second temps, la connaissance des lieux à risque permet de cibler les efforts d'échantillonnage sur les lieux où le risque est accru afin de maximiser les chances de détection d'une apparition de maladie exotique ou nouvelle.

Les grandes tailles des populations de coquillages marins et leur accès difficile ou contraignant en termes logistiques ne permettent pas de conduire cette modalité de surveillance de manière exhaustive sur l'ensemble des populations. La surveillance planifiée est donc à conduire sur un échantillon de ces populations. De plus, comme les techniques diagnostiques de laboratoire nécessitent le sacrifice des animaux, la surveillance planifiée des cheptels élevés est difficilement acceptable pour les conchyliculteurs. Par conséquent, la surveillance à l'aide d'animaux sentinelles semble plus appropriée en filière conchylicole, en particulier pour les maladies qui se développent rapidement. Les animaux sentinelles, déployés sur des lieux à risque d'apparition de maladie, pourraient faire l'objet de suivis réguliers d'indicateurs zoonosaires ou environnementaux associés à des prélèvements d'animaux pour des analyses diagnostiques de laboratoire permettant de réaliser un dépistage régulier de tous les organismes pathogènes connus, présents ou non sur le territoire. Les animaux sentinelles utilisés pourraient appartenir à des espèces différentes de la population cible, plus sensibles, pour faciliter la détection d'un phénomène pathologique [Michel, 2009]. L'Ifremer dispose d'un réseau national d'observations conchylicole (RESCO) dont l'objectif est d'observer l'évolution spatio-temporelle de la mortalité de plusieurs lots sentinelles d'huîtres creuses [Ifremer, 2012].

Le RESCO pourrait être adapté pour contribuer à la surveillance d'organismes pathogènes exotiques ou nouveaux. En effet, le choix des lieux de déploiement des animaux n'est actuellement pas guidé par une évaluation des risques d'apparition de maladie exotique ou nouvelle et la fréquence bimensuelle des suivis entre les mois d'avril et octobre ne permet pas une réactivité suffisante en cas de détection d'anomalie.

Cette modalité de surveillance nécessite la présence d'un ou plusieurs laboratoires capables à tout moment d'effectuer le diagnostic des infections exotiques considérées. Ces laboratoires doivent être en mesure de disposer de techniques sensibles et fiables, pouvant être mises en œuvre rapidement à la réception des prélèvements et permettre un rendu des résultats dans des délais très brefs. Comme dans d'autres filières de production animale, il existe un réseau national de laboratoires d'analyse, animé par le LNR, et un réseau européen de laboratoires d'analyse, animé par le laboratoire de référence de l'Union Européenne.

Le réseau national de laboratoires d'analyse est agréé à ce jour pour le diagnostic de deux maladies enzootiques chez l'huître creuse (infections par les virus OsHV-1 et vibrions). L'acquisition de techniques de diagnostic pour d'autres maladies (exotiques) et chez d'autres espèces de coquillages est envisageable afin que ce réseau contribue à la vigilance en matière de maladies exotiques et qu'il puisse seconder le LNR en cas d'introduction et de diffusion. Ce réseau pourrait également participer à la vigilance en matière de maladies émergentes, en contribuant à détecter des situations pathologiques inhabituelles et en orientant des prélèvements vers le LNR.

4. CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

Si les modalités de surveillance développées pour les animaux terrestres sont adaptables aux coquillages marins, les caractéristiques de l'élevage conchylicole limitent le recueil des données de surveillance. La plupart des considérations pratiques exposées ci-après rejoignent celles de la faune sauvage.

4.1. ÉCHANTILLONNAGE

La définition de l'unité épidémiologique doit intégrer les conditions hydrodynamiques de la zone pour désigner un groupe de coquillages partageant le même niveau de risque

d'exposition à une maladie. En effet, si l'exploitation est souvent l'unité de choix en productions animales terrestres, cette notion n'est pas applicable à l'élevage conchylicole avec l'absence de barrières physiques entre les populations et la connexion des concessions par la circulation de l'eau de mer. L'utilisation de modèles hydrodynamiques permettrait de connaître les capacités de diffusion d'un organisme pathogène dans le milieu aquatique à partir de chaque concession, banc d'élevage et gisement naturel de coquillages. Cette information permettrait de délimiter des unités épidémiologiques pertinentes pour la surveillance des coquillages.

La représentativité des échantillonnages est difficile à réaliser en filière conchylicole. D'une part, la grande taille des populations surveillées nécessite d'élaborer des plans d'échantillonnage à plusieurs degrés. D'autre part, la grande étendue géographique des productions conchylicoles requiert l'intégration de la dimension spatiale parmi les modalités de sélection des unités échantillonnées. Lorsque les infections sont natives (*i.e.* objectif de détection précoce), la faible prévalence attendue de la maladie implique une grande taille d'échantillon. Cette taille doit être augmentée pour tenir compte des valeurs intrinsèques imparfaites des techniques diagnostiques de laboratoire. Par conséquent, la réalisation et le traitement des échantillons sont plutôt laborieux et coûteux dans le cadre de l'épidémiologie.

Les enregistrements des mouvements de coquillages ne sont pas souvent disponibles. La connaissance globale des itinéraires empruntés pour leur élevage puis pour leur consommation existe [Agreste, 2005] mais ces données sont globales (régionales) et centrées sur le site d'implantation des exploitations (coordonnées postales). Les mouvements précis entre les concessions ou même les bancs d'élevages pour chacune des exploitations conchylicoles ne sont pas disponibles et leur connaissance nécessite un recueil de données spécifique [Lupo *et al.*, 2011].

4.2. MESURE DE L'ÉVÉNEMENT D'INTÉRÊT

L'indicateur épidémiologique est construit par un rapport comprenant au numérateur le nombre de cas surveillés et au dénominateur l'effectif de la population sur laquelle se fait

l'observation. Outre l'absence de standardisation et les difficultés d'obtenir une représentativité du numérateur pour quantifier la mortalité, les données de base concernant les populations sous surveillance, et plus particulièrement leurs effectifs, ne sont pas disponibles de façon exhaustive ni précise. Le premier recensement conchylicole national a eu lieu en 2001 [Agreste, 2005] et n'a pas fait l'objet de mise à jour régulière avant la prochaine campagne, prévue en 2013. Le recours à l'identification individuelle des animaux ou des lots d'animaux de productions terrestres facilite l'acquisition de connaissance sur les populations en termes de taille, de répartition et de structure mais n'est pas applicable à la filière conchylicole. De plus, des données géographiques doivent impérativement être intégrées pour localiser les unités de la population surveillée ainsi que les observations effectuées par le dispositif de surveillance. L'acquisition de données de population peut être réalisée par le survol aérien photographique des zones d'élevage conchylicole. Un important travail de traitement d'image permet ensuite d'obtenir la géolocalisation des populations de coquillages ainsi qu'une évaluation approximative des stocks [Le Moine *et al.*, 2002]. Cependant, ces techniques ne sont applicables que pour les populations de coquillages élevées en milieu découvrant lors des marées.

La distinction entre une infection aiguë et une infection chronique n'est pas possible chez les coquillages marins car des marqueurs temporels de l'infection ne sont pas disponibles à ce jour. Chez les mammifères et les oiseaux, l'analyse sérologique de deux prélèvements sanguins à trois semaines d'intervalle contribue souvent à dater l'infection. De plus, la recherche de marqueurs temporels après un délai au moins égal au délai maximal d'apparition du marqueur permet d'interpréter de façon plus robuste un résultat négatif en tant qu'indice de l'absence d'infection. Ainsi, la mesure de l'événement d'intérêt reste ponctuelle en filière conchylicole et le choix du moment du prélèvement est arbitraire.

Comme pour les autres filières de production animale, des outils diagnostiques très sensibles doivent être utilisés pour détecter de faibles intensités d'infection (*i.e.* détection précoce).

IV - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les concepts de surveillance épidémiologique dans la filière conchylicole sont les mêmes que ceux qui s'appliquent aux productions animales terrestres. Les défis résident surtout dans la mise en œuvre pratique de ces concepts.

L'élevage conchylicole pratiqué en milieu ouvert et pratiquement non contrôlable est particulièrement vulnérable aux maladies transmissibles. Les pratiques et conditions d'élevage favorisent les risques d'apparition et de diffusion rapide d'une maladie, alors que les mesures de lutte sont très limitées une fois que la maladie est présente. La priorité est donc d'éviter l'apparition d'une maladie exotique ou l'émergence d'une maladie nouvelle. Par conséquent, l'enjeu majeur de la surveillance épidémiologique est la détection précoce de tout organisme pathogène exotique introduit ou nouveau, afin de prévenir sa diffusion et éventuellement d'en obtenir l'éradication.

Pour cela, deux modalités de surveillance complémentaires peuvent être combinées. D'une part, une approche réactive, la surveillance événementielle des mortalités de coquillages, repose sur la détection précoce des premiers cas de mortalité. Le délai entre introduction et détection est fonction notamment de la vigilance des acteurs de terrain et de la disponibilité et des performances des laboratoires chargés du diagnostic. D'autre part, une approche proactive, la surveillance planifiée et ciblée sur le risque d'apparition d'organismes pathogènes exotiques ou nouveaux, repose sur l'observation d'indicateurs zoosanitaires ou environnementaux sur des animaux sentinelles, doublée des analyses diagnostiques de laboratoire nécessaires à la reconnaissance des organismes pathogènes exotiques faisant spécifiquement l'objet de la surveillance.

L'alerte est générée différemment selon le dispositif de surveillance mais repose dans tous les cas sur la recherche d'anomalies correspondant à un phénomène inhabituel pouvant être lié à l'introduction d'une maladie exotique ou à l'apparition d'une maladie émergente qu'il conviendrait alors de rechercher par des analyses de laboratoire

spécifiques. L'alerte, plutôt que de reposer sur le déclenchement d'une analyse pour chaque déclaration de mortalité par les conchyliculteurs, serait déclenchée par la détection d'une anomalie spatio-temporelle, *i.e.* agrégat ou foyer probable, de la répartition des déclarations. L'alerte pourrait aussi être générée sur la base de l'augmentation au-dessus d'un seuil déterminé à l'avance d'indicateurs zootechnique, sanitaire ou environnemental collectés en routine sur les animaux sentinelles ou la détection d'un organisme pathogène exotique. En cas de dépassement du seuil des indicateurs observé sur les animaux sentinelles et de l'absence de détection d'organismes pathogènes connus, la recherche d'organismes pathogènes émergents doit être engagée.

Les principaux points à maîtriser pour une efficacité réelle de la surveillance des maladies exotiques ou nouvelles chez les coquillages sont d'une part, la capacité à faire remonter, puis analyser en temps réel les cas de mortalité afin que les anomalies identifiées puissent réellement servir à générer des alertes. Pour cela, une démarche de signalement des mortalités au moyen de téléphones portables (service de messagerie SMS) est en cours de réflexion en collaboration avec les représentants des professionnels conchylicoles, tel que cela a été développé dans le Sous-réseau Syndrome nerveux du réseau d'épidémiosurveillance en pathologie équine (RESPE) et présenté dans ce numéro. La mise à disposition de tous les acteurs de la surveillance des données ainsi collectées est une démarche participative qui devrait contribuer à améliorer la sensibilité et la réactivité de la déclaration obligatoire. D'autre part, les seuils d'alerte propres à chaque maladie et à chaque espèce surveillée au niveau des unités épidémiologiques d'un système sentinelle sont mal connus actuellement et leur détermination devrait faire l'objet de travaux de recherche.

Enfin, la récente évaluation du Repamo par la Plateforme nationale de surveillance épidémiologique en santé animale en 2012 pourrait permettre son évolution vers la mise en œuvre de ces modalités de surveillance complémentaires.

BIBLIOGRAPHIE

- Agreste - Recensement de la conchyliculture 2001, 89 pages, Ed. Service central des enquêtes et études statistiques, Paris, 2005.
- Bodoy A. - Les techniques de la conchyliculture en France. *In: Coquillages. I.t.d.S.V. français (Ed.)*, 1993, 103-123.
- Carnegie R.B., Bureson E.M. - Declining impact of an introduced pathogen: *Haplosporidium nelsoni* in the oyster *Crassostrea virginica* in Chesapeake Bay. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 2011, **432**, 1-15.
- Comité national de la conchyliculture - La production nationale de coquillages. <http://www.cnc-france.com/La-Production-francaise.aspx>. Consulté le 05 juin 2012.
- Comps M., Bonami J.R., Vago C., Campillo A. - Une virose de l'huître portugaise (*Crassostrea angulata* LMK). *CR. Acad. Sci. Paris*, 1976, **282**, 1991-1993.
- Culver C.S., Kuris A.M. - The apparent eradication of a locally established introduced marine pest. *Biol. Invasions*, 2000, **2**, 245-253.
- Degremont L., Ernande B., Bedier E., Boudry P. - Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*Crassostrea gigas*). I. Estimation of genetic parameters for survival and growth. *Aquaculture*, 2007, **262**, 41-53.
- Dufour B., Hendrikx P. - Surveillance épidémiologique en santé animale, 287 pages, Ed. Quae et AEEMA, 2011.
- Elston R.A., Farley C.A., Kent M.L. - Occurrence and Significance of Bonamiasis in European Flat Oysters *Ostrea edulis* in North-America. *Dis. Aquat. Organ.*, 1986, **2**, 49-54.
- European Food Safety Agency - Scientific Opinion on the increased mortality events in pacific oysters, *Crassostra gigas*. *EFSA Journal*, 2010, **8**, 1-59.
- Eurostat - Aquaculture statistics - 2007, 8 pages, Ed. European Communities, 2009.
- FranceAgriMer - Les filières pêche et aquaculture en France, 36 pages, Ed. FranceAgriMer, Montreuil-sous-Bois, France 2012.
- François C., Garcia C., Miossec L., Joly J.-P., Lupo C., Chollet B., Robert M., Omnes E., Arzul I. - Repamo: a French network for the surveillance of mollusc health. *In: Proceedings of the International Conference on Animal Health Surveillance*, 2011, Lyon, France, 386-388.
- Garcia C., Thebault A., Degremont L., Arzul I., Miossec L., Robert M., Chollet B., Francois C., Joly J.P., Ferrand S., Kerdudou N., Renault T. - Ostreid herpesvirus 1 detection and relationship with *Crassostrea gigas* spat mortality in France between 1998 and 2006. *Vet. Res.*, 2011, **42(73)**, 11.
- Gouletquer P., Héral M. - Marine molluscan production trends in France: from fisheries to aquaculture. *NOAA Tech. Rep. NMFS* 1997, **129**, 137-164.
- Green T.J., Raftos D., O'Connor W., Adlard R.D., Barnes A.C. - Disease Prevention Strategies for Qx Disease (*Marteilia Sydneyi*) of Sydney Rock Oysters (*Saccostrea Glomerata*). *J. Shellfish. Res.*, 2011, **30**, 47-53.
- Grizel H. - Etude des récentes épizooties de l'huître plate *Ostrea edulis* Linné et de leur impact sur l'ostréiculture bretonne. Thèse de Doctorat d'Etat, Sciences Naturelles. Université de Montpellier, France, 1985, 145 pages.
- Grizel H., Héral M. - Introduction into France of the Japanese Oyster (*Crassostrea-Gigas*). *J. Conseil CIEM*, 1991, **47**, 399-403.
- Grizel H. - Les maladies des mollusques bivalves : risques et prévention. *Rev. Sci. Tech. OIE*, 1997, **16**, 161-171.
- Hastein T., Hill B.J., Berthe F., Lightner D.V. - Traceability of aquatic animals. *Rev. Sci. Tech. OIE*, 2001, **20**, 564-583.
- Hohle M., Paul M., Held L. - Statistical approaches to the monitoring and surveillance of infectious diseases for veterinary public health. *Prev. Vet. Med.*, 2009, **91**, 2-10.

- Howard A.E. - The possibility of long distance transmission of *Bonamia* by fouling on boat hulls. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.*, 1994, **14**, 211-212.
- Ifremer - Observatoire conchylicole.
http://wwz.ifremer.fr/observatoire_conchylicole/Presentation/Protocole-global. Consulté le 05 juin 2012.
- Le Moine O., Geairon P., Razet D. - Elaboration d'une technique d'évaluation rapide des stocks conchylicoles à l'usage de la profession.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00031/14242/>, 19 pages, Ed. Ifremer, 2002.
- Lupo C., Ezanno P., Arzul I., François C., Garcia C., Jadot C., Joly J.-P., Renault T., Bareille N. - How network analysis of oyster movements can improve surveillance programs? *In: Proceedings of the Réunion annuelle des laboratoires nationaux de référence pour les maladies des mollusques*, 2011, La Rochelle, France.
- Lupo C., Osta Amigo A., Mandard Y.M., Peroz C., Arzul I., François C., Garcia C., Renault T. - Sensitivity of mortality reporting by the French oyster farmers. *In: Proceedings of the International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics*, 2012, Maastricht, The Neetherlands.
- Michel C. - La fonction sentinelle en milieu aquatique. *Epidémiol. et santé anim.*, 2009, **56**, 53-70.
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche - Arrêté du 4 novembre 2008 relatif aux conditions de police sanitaire applicables aux animaux et aux produits d'aquaculture et relatif à la prévention de certaines maladies chez les animaux aquatiques et aux mesures de lutte contre ces maladies. *JORF*, 2008, 07 novembre, 17077-17083.
- Murray A.G., Gillibrand P.A. - Modelling dispersal of salmon lice in Loch Torrison, Scotland. *Mar. Pollut. Bull.*, 2006, **53**, 128-135.
- Naciri-Graven Y., Martin A.G., Baud J.P., Renault T., Gerard A. - Selecting the flat oyster *Ostrea edulis* (L) for survival when infected with the parasite *Bonamia ostreae*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1998, **224**, 91-107.
- Nicolas J.L., Comps M., Cochenne N. - Herpes-like virus infecting Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.*, 1992, **12**, 11-13.
- OIE - Diseases of molluscs. *In: Manual of diagnostic tests for aquatic animals*. 2011.
- Peeler E.J., Oidtmann B.C., Midtlyng P.J., Miossec L., Gozlan R.E. - Non-native aquatic animals introductions have driven disease emergence in Europe. *Biol. Invasions*, 2011, **13**, 1291-1303.
- Pépin M., Boireau P., Boué F., Castric J., Cliquet F., Douzal Y., Jestin A., Moutou F., Zientara S. - Emergences des maladies infectieuses animales et humaines. *INRA Prod. Anim.*, 2007, **20**, 199-206.
- Renault T., Ledueff R.M., Cochenne N., Maffart P. - Herpesviruses Associated with Mortalities among Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in France - Comparative-Study. *Rev. Méd. Vét. - Toulouse*, 1994, **145**, 735-742.
- Renault T. - Appearance and spread of diseases among bivalve molluscs in the northern hemisphere in relation to international trade. *Rev. Sci. Tech. OIE*, 1996, **15**, 551-561.
- Renault T. - Shellfish viruses. *In: Encyclopedia of Virology*. B.W.J. Mahy and M.H.V. Van Regenmortel (Ed.), 2008, 560-567.
- Renault T. - Trends and perspectives in preventing and controlling infectious diseases in molluscs. *In: Aquaculture Research Progress*. T.T Nakamura (Ed.), Nova Publisher, 2009, 99-126.
- Renault T. - Les virus infectant les mollusques marins : un exemple d'actualité, les herpèsvirus. *B. Acad. Vét. France*, 2011, **164**, 359-364.
- Segarra A., Pépin J.F., Arzul I., Morga B., Faury N., Renault T. - 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 Res.*, 2010, **153**, 92-99.
- Stark K.D., Regula G., Hernandez J., Knopf L., Fuchs K., Morris R.S., Davies P. - Concepts for risk-based surveillance in the field of veterinary medicine and veterinary public health: review of current approaches. *BMC Health Serv. Res.*, 2006, **6**, 20.
- Union Européenne - Déclarations submitted to the SCoFCAH.

Van Banning P. - Case-history of the *Bonamia ostreae* control in the Dutch oyster culture. In: *Proceedings of the International Colloquium on Pathology in Marine Aquaculture*, 1985, Montpellier, France.

Van Banning P. - Management strategies to control diseases in the Dutch culture of edible oysters. In: *Advances in Fisheries Science, Pathobiology of marine and estuarine organisms*. F.J.W. Couch J.A. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, 1988, 243-245

