



Recommandation sur le risque d'émergence de pathogènes des mollusques bivalves en lien avec le changement climatique

CCA 2022-19

Août 2022



Le Conseil consultatif de l'aquaculture (CCA) remercie chaleureusement l'UE pour son soutien financier





Index

Index	2
1 RESUMÉ – OBJECTIF DE CE DOCUMENT	3
2 INTRODUCTION.....	3
3 DIVERSITÉ DES PATHOGÈNES DES BIVALVES	4
4. PATHOGÈNES EMERGEANTS ET MALADIES AFFECTANT LA CONCHYLICULTURE.....	5
5. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET CONCHYLICULTURE	6
6. EXEMPLES DE MESURES DE GESTION DES RISQUES ÉMERGEANTS EN PLACE ET SUGGESTIONS POUR AMÉLIORER LA RÉSILIANCE, LA RÉSISTANCE ET LA TOLÉRANCE.....	7
7. CONCLUSION.....	9
8. RECOMMANDATIONS DU CCA	9
RÉFÉRENCES	11



1 RESUMÉ – OBJECTIF DE CE DOCUMENT

Cette recommandation traite du risque d'émergence de pathogènes des mollusques bivalves en lien avec le changement climatique. Elle vise à démontrer la fragilité de la conchyliculture face à toute modification de son environnement et la nécessité de mettre en place des mesures adaptées pour protéger ce secteur économique d'importance en Europe. Les coquillages s'avèrent être en effet fortement dépendants de la bonne qualité de leur milieu. Or, depuis plusieurs années, la conchyliculture européenne fait face à des épisodes de mortalités récurrents liés à l'émergence de nouveaux pathogènes. Ces agents potentiellement déjà présents dans le milieu peuvent devenir pathogènes à la suite de changements des conditions environnementales. Le changement climatique joue un rôle clé à cet égard en raison de son impact, depuis maintenant plusieurs années, sur le milieu marin et ses écosystèmes côtiers.

2 INTRODUCTION

La conchyliculture est un secteur économique essentiel en Europe. Elle représente environ 8 500 entreprises qui emploient plus de 42 000 personnes (Arzul et al., 2021) et qui élèvent une grande diversité de coquillages : huîtres, moules, coques, palourdes, etc. L'Europe se classe entre le 2^{ème} et 3^{ème} rang mondial de producteurs de coquillages après les continents asiatique et américain. Au total, sa production de coquillages d'élevage représente 47% du poids et 23% de la valeur de la production européenne aquacole (FAO, 2018).

La conchyliculture constitue une réponse à la nécessité de développer une industrie alimentaire compatible avec le changement climatique et s'inscrit parfaitement dans le [Pacte vert pour l'Europe](#), par son rôle socio-économique de production de richesse et par son utilité essentielle pour le milieu naturel via les services écosystémiques qu'elle rend, mais elle est fortement tributaire de son environnement et de ses modifications. Depuis plusieurs années, la conchyliculture européenne est notamment victime d'épisodes de mortalité récurrents causés par plusieurs facteurs concomitants : évolution de la qualité de l'environnement, modification de la physiologie des coquillages et apparition d'agents pathogènes. En effet, dans leur environnement, les coquillages sont entourés et hébergent des communautés de micro-organismes dont certains peuvent devenir pathogènes en fonction des conditions environnementales du milieu. Depuis quelques années, une autre inconnue vient aussi s'ajouter à ces facteurs : **l'impact du changement climatique sur la conchyliculture et notamment sur l'apparition d'agents pathogènes émergents.**

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) définit le changement climatique actuel comme « *un changement qui est attribué directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale qui vient s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours des périodes comparables* » (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b). Les écosystèmes côtiers sont déjà affectés par le changement climatique, qui se traduit par le réchauffement des océans, leur acidification, l'élévation du niveau de la mer, etc. Ces risques ont un impact particulièrement déterminant sur le secteur économique de l'aquaculture mais aussi sur la pêche et le tourisme. Ils compromettent la sécurité alimentaire des produits de la mer pour l'homme et la santé des cheptels de coquillages (IPCC, 2019).



3 DIVERSITÉ DES PATHOGÈNES DES BIVALVES

L'Organisme Mondiale de la Santé Animale (OIE) définit, dans son [Code sanitaire pour les animaux aquatiques](#), une maladie comme « *une infection, clinique ou non, provoquée par un ou plusieurs agents pathogènes* » et un agent pathogène comme « *un micro-organisme qui provoque une maladie ou contribue à son développement* » (OIE(2021). Les agents pathogènes de coquillages sont de nature variée : virus, bactéries et parasites protozoaires.

Toutefois, la présence d'un agent pathogène n'est pas systématiquement synonyme de maladie et de mortalité chez les coquillages. En effet, les agents pathogènes tendent à se développer et à induire des mortalités lorsqu'il y a un déséquilibre des interactions entre coquillages, agents pathogènes, environnement et pratique culturelle (Arzul, 2020).

En fonction de leurs aires de répartition géographique, ces agents pathogènes sont considérés comme absents ou présents dans l'UE. Actuellement, deux parasites protozoaires connus sont notés comme absents : *Mikrocytos mackini*, présent en Amérique du Nord depuis les années 1960 et associé au Canada à des mortalités d'huîtres creuses (*Crassostrea gigas*), et *Perkinsus marinus*, localisé notamment aux Etats-Unis ayant provoqué pour la première fois en 1946 d'importantes mortalités d'huîtres creuses (*Crassostrea virginica*) (Ifremer (LGPMM), 2018).

D'autres agents pathogènes comme le virus *Ostreid herpesvirus type 1* (OsHV-1) et la bactérie *Vibrio aestuarianus* sont au contraire bien implantés dans l'UE et responsables d'épisodes de mortalités importantes notamment en France. En effet, depuis le début des années 1980, l'herpès virus est régulièrement associé à des épisodes de mortalités d'huîtres creuses (*Crassostrea gigas*) et plus particulièrement de naissains et de juvéniles (Ifremer (LGPMM), 2018).

Or, à partir de 2008, l'émergence d'un génotype particulier du virus (OsHV-1) a causé une hausse de mortalité de 60 à 80% chez le naissain (Soletchnik, 2009). En plus de ces mortalités massives de naissains, les huîtres adultes ont subi depuis 2012 des mortalités touchant jusqu'à 50% des individus commercialisables. La bactérie *Vibrio aestuarianus* a été systématiquement détectée dans les huîtres lors d'épisodes de mortalités (Garnier et al., 2007).

Ces exemples d'épisode de mortalités prouvent que le contrôle des maladies des coquillages demeure complexe, que notre capacité à faire face aux enjeux zoosanitaires est encore fragile et nécessite de prendre en compte les caractéristiques intrinsèques à la conchyliculture. Les mollusques sont en effet généralement élevés en milieu naturel et se retrouvent ainsi en contact direct avec l'environnement. Ce milieu est un milieu ouvert, qui par opposition au milieu terrestre, ne possède pas de barrières physiques, permettant ainsi la diffusion et la transmission rapide des agents pathogènes.

De plus, en raison de leur physiologie, les mollusques ne produisent pas d'anticorps et n'ont pas d'immunité acquise, ce qui rend impossible l'utilisation de vaccin ; les vaccins tout comme les traitements de désinfection n'étant pas applicables en milieu ouvert. Ils ne présentent par ailleurs pas de signes cliniques spécifiques, ce qui rend les diagnostics difficiles. Aussi, la frontière entre les animaux sauvages et d'élevage n'est pas toujours claire et les mollusques sauvages sont porteurs de nombreux micro-organismes potentiellement pathogènes. Par conséquent, une fois un agent pathogène installé dans le milieu, son éradication s'avère difficile, voire impossible (Arzul et al., 2021).



Il est donc indispensable de prévenir en amont l'introduction et la propagation de ces maladies pour en limiter l'impact sur les mollusques bivalves. Il semble également primordial de prévenir la prolifération de maladies via une régulation anticipative des agents pathogènes émergents, et ce, pour deux raisons : **maintenir des productions conchyliocoles durables et perpétuer le rôle de sentinelle de l'état de santé des écosystèmes côtiers** (Arzul, 2020).

4. PATHOGÈNES EMERGEANTS ET MALADIES AFFECTANT LA CONCHYLICULTURE

L'OIE (2021) définit **une maladie émergente** comme toute « *maladie, autre que celles listées [...], ayant des répercussions significatives sur la santé animale ou humaine et résultant de :* »

- a. *La modification d'un agent pathogène connu ou de sa propagation à une nouvelle aire géographique ou à une nouvelle espèce, ou*
- b. *La présence d'un agent nouvellement reconnu ou suspecté d'être pathogène ».*

L'UE caractérise aussi **la notion de maladie émergente** dans son règlement (UE) 2016/429 à l'article 6 :

« [...] 2. *Une maladie ne figurant pas parmi les maladies répertoriées est considérée comme une maladie émergente [...] dès lors qu'elle est susceptible de répondre aux critères relatifs aux maladies répertoriées fixés par l'article 5, paragraphe 3, et qu'elle :*

- a) *résulte de l'évolution ou de la modification d'un agent pathogène existant ;*
- b) *est une maladie connue se propageant à une nouvelle région géographique, à une nouvelle espèce ou à une nouvelle population ;*
- c) *est diagnostiquée pour la première fois dans l'Union ; ou*
- d) *est provoquée par un agent pathogène non reconnu ou précédemment non reconnu. »*

Nombreux sont les critères pouvant favoriser l'émergence d'agents pathogènes en conchyliculture. Les couillages sont soumis au cours du processus d'élevage à de nombreux changements de zones de production. Ils peuvent par conséquent véhiculer des espèces invasives ou des agents pathogènes lors de ces mouvements.

Par ailleurs, les couillages sont des animaux à sang froid très sensibles aux facteurs de stress, souvent produits en dehors de leur aire de répartition naturelle, et vivant dans un milieu naturellement riche en agents pathogènes. Ces derniers se développent principalement au sein des populations sauvages de couillages pour ensuite venir contaminer une ou des zones d'élevage. De manière générale, toute modification de l'environnement, des pratiques culturales ou de la physiologie des couillages peut provoquer l'émergence d'un pathogène induisant des mortalités. En effet, une épidémie peut être favorisée par des conditions environnementales modifiées qui augmenteraient la prévalence et la



virulence d'une maladie déjà existante ou faciliteraient l'apparition d'une nouvelle (Krause, 1998; Harvell et al., 1999; Burge et al., 2014).

Enfin, le manque de données sur les pathogènes et leurs hôtes rend difficile les diagnostics qui sont essentiellement centrés sur les maladies connues ou réglementées. Aujourd'hui, nous constatons que **peu d'inventaires de pathogènes et de leurs hôtes présents sur les territoires nationaux existent et que les mesures actuelles de surveillance et de gestion demeurent insuffisantes.**

5. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET CONCHYLICULTURE

Le milieu marin ainsi que les activités économiques qui en découlent, telles que la conchyliculture, sont déjà affectés par les effets du changement climatique. Les changements environnementaux affectent la santé et la productivité des écosystèmes marins à des échelles spatiales et temporelles étendues (Harvell et al., 1999).

En effet, le réchauffement climatique pourrait induire des modifications dans la biologie des populations marines les rendant ainsi plus sensibles aux maladies. En particulier, le **réchauffement des océans** a de nombreuses conséquences sur les dynamiques des maladies. Aux Etats-Unis, les 25 dernières années montrent un réchauffement des températures hivernales sur la côte Est ce qui a facilité la propagation de *Perkinsus marinus* et d'*Haplosporidium nelsoni* (maladie MXS) (Cook et al., 1998; Dittman et al.). Des hivers plus chauds diminuent la mortalité parasitaire et engendrent de plus lourdes infections des huîtres par la maladie MSX (Harvell et al., 1999). Pourtant, les scénarios d'émissions futures avancent que la température de l'océan de surface devrait encore augmenter de 0,6 à 2,0 °C dans les 100 premiers mètres d'ici 2100 (IPCC, 2013) sachant que, depuis 1970, l'océan mondial s'est réchauffé (0,11°C par décennie) et a absorbé plus de 90% de l'excès de chaleur du climat

L'**acidification des océans** (AO) entraîne une diminution de la concentration en ions carbonate (CO_3^{2-}), un élément constitutif du carbonate de calcium (CaCO_3) indispensable à la fabrication des coquilles des mollusques (Gazeau et al., 2007). Un nombre croissant de publications décrivent les effets négatifs de l'AO sur le développement, la croissance, la calcification, la sensibilité aux maladies et la survie de nombreuses espèces de mollusques. Les effets directs de l'AO sur la conchyliculture ont déjà été observés il y a presque dix ans à l'échelle locale sur la côte Ouest des États-Unis (Barton et al., 2015). Les scientifiques et conchyliculteurs ont dès lors mis en évidence une forte corrélation entre l'acidité de l'eau et la mortalité des larves d'huître (Barton et al., 2015) et développé des stratégies adaptatives locales (Barton et al., 2015; Ekstrom et al., 2015).

On peut également noter d'autres conséquences du changement climatique dont les effets sur la conchyliculture sont encore peu documentés, mais révélant déjà des impacts de grande ampleur sur les écosystèmes marins : la stratification des océans, la perte d'oxygène en surface avec les modifications de la ventilation et de la biogéochimie, l'altération de la production primaire nette, le changement des aires de répartition géographiques et des activités saisonnières d'espèces marines (IPCC, 2019).

De manière générale, le changement climatique et les activités humaines ont accéléré (Harvell et al., 1999; Burge et al., 2014) :



- l'accroissement des transports d'espèces à travers le monde, exposant ainsi certaines populations marines à des nouveaux pathogènes. Il a été suggéré que les plus importants phénomènes de mortalités de mollusques bivalves résultent de transfert de stocks contaminés.
- l'affaiblissement des animaux en élevage qui dépensent de l'énergie pour s'acclimater ou s'adapter à ces conditions nouvelles.

Toutefois, les couillages semblent dotés de **capacités d'adaptation au changement climatique** d'après les récentes découvertes en génomique. Les bivalves posséderaient une tolérance et une résilience à des cocktails de stress environnementaux et des traits phénotypiques plastiques assurant une adaptation génétique à leurs habitats. Ces caractéristiques seront déterminantes pour aider les entreprises conchyliocoles à « résister au climat » (Byrne et al., 2020) et aux nouveaux pathogènes (Yu and Guo, 2006; Lallias et al., 2009; Sauvage et al., 2010).

En effet, certaines espèces de couillages - plus précisément certaines espèces d'huîtres - présentent une haute polymorphie et une richesse de séquences répétitives, leur permettant de développer une grande variation phénotypique (Zhang et al., 2012). Bien que nous puissions être tentés de minimiser le rôle de l'immunité chez ces invertébrés, de récentes avancées ont aussi permis de mieux comprendre les génomes des hôtes et de leurs parasites. Plusieurs études ont ainsi révélé des systèmes immunitaires innés étonnamment sophistiqués chez les mollusques (Guo and Ford, 2016). Les principales voies de l'immunité innée sont présentes chez les mollusques via de nombreux récepteurs, régulateurs et effecteurs immunitaires étendus. Les familles de gènes étendues offrent une grande diversité et complexité dans la réponse immunitaire innée, ce qui peut être la clé de la défense des mollusques contre divers agents pathogènes en l'absence d'immunité adaptative (Guo and Ford, 2016).

Cependant, la base génétique de la résistance aux maladies ou au stress environnemental de la plupart des espèces de mollusques d'intérêt commercial dans le monde entier (et notamment de l'Union européenne) restent en grande partie méconnue (Gómez-Chiarri et al., 2015). Ainsi, l'étude des transcriptomes des mollusques d'intérêts et de leurs parasites ainsi que l'avancée des connaissances sur l'ajustement phénotypique et/ou la sélection génétique, en tenant compte des interactions complexes entre plasticité et adaptation, seraient des pistes à considérer pour améliorer notre compréhension de la variation génétique dans la virulence du parasite et la résistance de l'hôte aux maladies (Guo and Ford, 2016; Byrne et al., 2020).

6. EXEMPLES DE MESURES DE GESTION DES RISQUES ÉMERGEANTS EN PLACE ET SUGGESTIONS POUR AMÉLIORER LA RÉSILIENCE, LA RÉSISTANCE ET LA TOLÉRANCE

En France, l'émergence de pathogènes des bivalves est surveillée par l'intermédiaire du réseau REPAMO (REseau de surveillance des PAthologies des MOLLusques marins). Crée en 1992, ce réseau assure une mission réglementaire et de service public du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation déléguée depuis peu aux interprofessions de la conchyliculture et de la pêche



professionnelle. L'objectif du REPAMO est de détecter et d'identifier le plus préocement possible les agents pathogènes réglementés et/ou émergents infectieux associés aux épisodes de mortalité des mollusques marins sauvages et d'élevage. Il s'agit d'une surveillance évènementielle passive basée sur la déclaration obligatoire des professionnels de toute hausse anormale de mortalité.

Malheureusement, ce réseau de surveillance est perfectible et ne répond que partiellement à la problématique de lutte contre l'introduction/l'apparition et la propagation de pathogènes émergents. En effet, ce réseau ne cible que les pathogènes listés et connus grâce à l'analyse histologique des coquillages. Cette méthode est toutefois peu spécifique aux agents pathogènes autres que les parasites et le rendu des résultats ne peut se faire qu'au minimum sous dix jours. Ce délai important rend incompatible la détection d'agents pathogènes émergents ainsi que la mise en place de mesures de gestion efficaces. Enfin, il n'inclut aucun suivi des paramètres environnementaux du milieu.

D'autres initiatives de surveillance des pathogènes émergents existent en Europe, comme le travail du réseau européen de professionnels de la Native Oyster Restoration Alliance (NORA), portant sur l'élaboration de politiques qui reconnaissent l'importance de l'habitat créé par l'huître européenne indigène, *Ostrea edulis*, et les avantages de sa restauration dans toute son aire de répartition historique (Pogoda et al., 2019). Le réseau NORA propose des directives de biosécurité pour la restauration des huîtres indigènes en Europe en se concentrant sur différents aspects, comme la production de naissain d'huîtres, mais surtout sur la prévention de la propagation de *Bonamia* et d'autres pathogènes marins, de maladies et d'espèces invasives. Il s'agit de prendre en compte toutes les maladies connues et d'anticiper l'apparition de maladies ou d'espèces invasives inattendues, potentiellement induites par le changement climatique et les températures élevées de la mer (Pogoda et al., 2020).

Enfin, plusieurs rapports scientifiques listant des recommandations visant à améliorer les pratiques pour une meilleure résistance, résilience ou tolérance face aux pathogènes émergents sont apparus dans la littérature ces dernières années. Parmi eux, le projet [VIVALDI](#) qui vise à améliorer la durabilité et la compétitivité du secteur conchylicole européen, frappé par un nombre croissant de cas de mortalité ces dernières années. À cette fin, des outils et des stratégies visant à mieux prévenir et à atténuer l'impact des maladies des mollusques bivalves ont été mis au point de 2016 à 2020. Parmi l'ensemble des recommandations proposées, nous relevons notamment celle concernant le développement des programmes par sélection pour améliorer la résistance aux maladies en suivant les bonnes pratiques de production (Arzul et al., 2021).

D'autre part, plusieurs travaux ont relevé l'importance de la définition et la nécessité d'une reconnaissance unique des termes « **résistance** », « **résilience** » et « **tolérance** » pour la mise en place de mécanismes réglementaires qui sous-tendent la gestion marine (Holbrook et al., 2021). Ainsi, afin d'éviter tout blocage dans les discussions à venir sur l'élaboration de politiques nécessaires et pour éviter la dispersion de maladie dans de nouveaux lieux et de nouvelles populations, des travaux supplémentaires semblent nécessaires pour résoudre l'incertitude pratique liée à la définition et à l'application de ces termes (Holbrook et al., 2021).

L'implication et la participation de l'ensemble des acteurs (autorités compétentes, interprofession et professionnels, recherche) serait évidemment une condition *sine qua non* de la réussite de ces projets. Des voies de communications entre toutes les parties prenantes doivent ainsi clairement être définies (Arzul et al., 2021).



7. CONCLUSION

Malgré de nombreuses recherches, l'évolution des pathogènes marins et leur impact écologique restent incertains (Harvell et al., 1999). À l'opposé, il y a peu de recherche et un manque de connaissance sur le changement climatique et son impact sur la conchyliculture et ses agents pathogènes connus et émergents.

Pourtant, les rares études réalisées font état d'un certain nombre d'impacts économiques négatifs du changement climatique, soit en termes de valeur actuelle nette, de revenus, de bien-être des consommateurs ou encore de valeur nutritionnelle des produits (Falkenberg and Tubb, 2017; Narita and Rehdanz, 2017; Froehlich et al., 2018). L'impact annuel de l'AO sur la production conchylicole européenne a été estimé à plus d'un milliard USD en 2100 inégalement réparti selon les pays (Narita and Rehdanz, 2017). Plus largement, le changement climatique et plus particulièrement l'AO vont entraîner des variations des biens et services rendus par les écosystèmes à vocation conchylicole et par la conchyliculture (Le Bihan-Charpentier, 2015; Smaal et al., 2019).

Il semble donc essentiel de travailler de manière plus approfondie sur ces deux thématiques qui sont intimement liées : l'émergence des agents pathogènes des mollusques bivalves et l'impact du changement climatique sur la conchyliculture.

8. RECOMMANDATIONS DU CCA

En conclusion, le Conseil Consultatif de l'Aquaculture recommande à la Commission européenne :

- Protéger la qualité des eaux conchyliques en actant le bon état conchylicole comme décrit dans la recommandation CCA, disponible [ICI](#), relative à la protection de la qualité des eaux conchyliques (avril 2020) ;
- Evaluer l'impact du changement climatique sur la conchyliculture à long terme notamment par le développement de modèles climatiques et socio-économiques ;
- Prévoir des financements pour la surveillance zoosanitaire des cheptels de coquillages et pour l'amélioration de la qualité des eaux conchyliques directement liée à la bonne santé des coquillages ;
- Inclure ces besoins de recherche dans la vision et les priorités de travail de l'EATIP ;
- Ajouter une page spécifique à la conchyliculture et au domaine zoosanitaire sur le futur site de la Commission européenne, dédiée à l'aquaculture pour partager toute information liée aux domaines suivants : suivi de la biodiversité, changement climatique, surveillance zoosanitaire et pathogènes émergents, partage de bonnes pratiques zoosanitaires...
- Identifier et renforcer les canaux de communication, l'échange d'informations sur ces sujets et intégrer des travaux de définition de termes zoosanitaires réglementaires adaptés entre les acteurs européens (Etats membres, autorités compétentes, chercheurs, représentants des professionnels) mais aussi avec les acteurs internationaux.



Le Conseil Consultatif de l'Aquaculture recommande également **aux Etats Membres** :

- Défendre la bonne qualité des eaux conchyliques en appliquant les réglementations en vigueur et en luttant contre toute nouvelle pollution en ciblant les sources à l'origine de la contamination et non les professionnels conchyliques ;
- Intégrer les conchyliculteurs aux processus d'évaluation de la qualité de l'eau ;
- Améliorer la détection et l'identification des pathogènes émergents : en étudiant la diversité des pathogènes connus, l'évolution des conditions environnementales, les différents réservoirs existants (sédiments, eau, plancton, ...), en développant des outils de détection rapides, multi-pathogènes et adaptés aux besoins des professionnels (capteurs passifs, PCR à plusieurs amores, séquençage ADN, ...) ;
- Adapter les stratégies de surveillance zoosanitaire au changement climatique et aux pathogènes émergents : surveillance programmée, suivi des paramètres environnementaux, mesures de gestion ;
- Améliorer les mécanismes de défense des coquillages issus des éclosées en optimisant les programmes de sélection génétique par l'étude de la virulence des pathogènes, l'identification de marqueurs associés à une meilleure survie, en stimulant l'immunité et en mesurant les mécanismes de défense ;
- Renforcer la communication entre les autorités compétentes responsables de la qualité de l'eau et des espaces côtiers, la recherche et la filière conchylique ;
- Renforcer le lien entre la recherche et les professionnels en créant des programmes de recherche appliquée (pratiques culturelles, impacts environnementaux, ...) en lien avec les besoins de la profession et proposant des outils et des applications adaptés à ces besoins ;
- S'appuyer sur la plateforme miroir de l'EATiP et intégrer ces recommandations aux programmes de travail.



Recommandation sur le risque d'émergence de pathogènes des mollusques bivalves en lien avec le changement climatique

RÉFÉRENCES

- Anderson, R. M.** (1998) Analytic theory of epidemics, p. 23-50. In R. M. Krause (ed.), Emerging infections. Academic Press, New York, N.Y.
- Arzul I** (2020) Pourquoi les huîtres sont-elles de plus en plus souvent malades? The Conversation, <http://theconversation.com/pourquoi-les-huitres-sont-elles-de-plus-en-plus-souvent-malades-152005>
- Arzul I, Furones D, Cheslett D., Gennari L., Delangle E., Enez F., Lupo C., Mortensen S., Pernet F. et Peeler E.** (2021) Manuel de gestion des maladies des mollusques bivalves et de biosécurité - Projet H2020 VIVALDI -p.44.
- Barton A, Waldbusser GG, Feely RA, Weisberg SB, Newton JA, Hales B, Cudd S, Eudeline B, Langdon CJ, Jefferds I, et al** (2015) Impacts of Coastal Acidification on the Pacific Northwest Shellfish Industry and Adaptation Strategies Implemented in Response. *Oceanography* **28**: 146–159
- Burge CA, Mark Eakin C, Friedman CS, Froelich B, Hershberger PK, Hofmann EE, Petes LE, Prager KC, Weil E, Willis BL, et al** (2014) Climate Change Influences on Marine Infectious Diseases: Implications for Management and Society. *Annu Rev Mar Sci* **6**: 249–277
- Byrne M, Foo SA, Ross PM, Putnam HM** (2020) Limitations of cross- and multigenerational plasticity for marine invertebrates faced with global climate change. *Global Change Biology* **26**: 80–102
- Cook T, Folli M, Klinck J, Ford S, Miller J** (1998) The Relationship Between Increasing Sea-surface Temperature and the Northward Spread of *Perkinsus marinus* (Dermo) Disease Epizootics in Oysters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **46**: 587–597
- Dittman DE, Ford SE, Padillai DK** EFFECTS OF PERKINSUS MARINUS ON REPRODUCTION AND CONDITION OF THE EASTERN OYSTER, *CRASSOSTREA VIRGINICA*. DEPEND ON TIMING. **11**
- Ekstrom JA, Suatoni L, Cooley SR, Pendleton LH, Waldbusser GG, Cinner JE, Ritter J, Langdon C, van Hooidonk R, Gledhill D, et al** (2015) Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. *Nature Clim Change* **5**: 207–214
- Falkenberg LJ, Tubb A** (2017) Economic effects of ocean acidification: Publication patterns and directions for future research. *Ambio* **46**: 543–553
- FAO** (2018) FIGIS - Fisheries Statistics - Aquaculture. <https://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector>
- Froehlich HE, Gentry RR, Halpern BS** (2018) Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nat Ecol Evol* **2**: 1745–1750
- Garnier M, Labreuche Y, Garcia C, Robert M, Nicolas J-L** (2007) Evidence for the Involvement of Pathogenic Bacteria in Summer Mortalities of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas*. *Microb Ecol* **53**: 187–196
- Gazeau F, Quiblier C, Jansen JM, Gattuso J-P, Middelburg JJ, Heip CHR** (2007) Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophysical Research Letters*. doi: 10.1029/2006GL028554
- Gómez-Chiarri M, Warren WC, Guo X, Proestou D** (2015) Developing tools for the study of molluscan immunity: The sequencing of the genome of the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. *Fish & Shellfish Immunology* **46**: 2–4
- Guo X, Ford SE** (2016) Infectious diseases of marine molluscs and host responses as revealed by genomic tools. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **371**: 20150206
- Harvell CD, Kim K, Burkholder JM, Colwell RR, Epstein PR, Grimes DJ, Hofmann EE, Lipp EK, Osterhaus ADME, Overstreet RM, et al** (1999) Emerging Marine Diseases--Climate Links and Anthropogenic Factors. *Science* **285**: 1505–1510
- Holbrook Z, Bean TP, Lynch SA, Hauton C** (2021) What do the terms resistance, tolerance, and resilience mean in the case of *Ostrea edulis* infected by the haplosporidian parasite *Bonamia ostreae*. *Journal of Invertebrate Pathology* **182**: 107579
- Ifremer, Laboratoire Génétique et Pathologie des Mollusques Marins (LGPMM), Ifremer, Direction de la communication (DCOM)** (2018) Les agents pathogènes affectant les mollusques marins. Fiches pédagogiques.
- IPCC** (2014a) AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC.
- IPCC** (2014b) AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.
- IPCC** (2019) Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate —.
- IPCC** (2013) AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis.



Recommandation sur le risque d'émergence de pathogènes des mollusques bivalves en lien avec le changement climatique

Krause RM (1998) 1 Introduction to emerging infectious diseases; stemming the tide. In RM Krause, ed, Biomedical Research Reports. Academic Press, pp 1–22

Lallias D, Gomez-Raya L, Haley CS, Arzul I, Heurtebise S, Beaumont AR, Boudry P, Lapègue S (2009) Combining Two-Stage Testing and Interval Mapping Strategies to Detect QTL for Resistance to Bonamiosis in the European Flat Oyster *Ostrea edulis*. *Mar Biotechnol* **11**: 570

Le Bihan-Charpentier V (2015) Analyse économique du risque en conchyliculture. These de doctorat. Nantes

Narita D, Rehdanz K (2017) Economic impact of ocean acidification on shellfish production in Europe. *Journal of Environmental Planning and Management* **60**: 500–518

Pogoda B, Boudry P, Bromley C, Cameron TC, Colsoul B, Donnan D, Hancock B, Hugh-Jones T, Preston J, Sanderson WG, et al (2020) NORA moving forward: Developing an oyster restoration network in Europe to support the Berlin Oyster Recommendation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **30**: 2031–2037

Pogoda B, Brown J, Hancock B, Preston J, Pouvreau S, Kamermans P, Sanderson W, Nordheim H von (2019) The Native Oyster Restoration Alliance (NORA) and the Berlin Oyster Recommendation: bringing back a key ecosystem engineer by developing and supporting best practice in Europe. *Aquat Living Resour* **32**: 13

Sauvage C, Boudry P, De Koning D-J, Haley CS, Heurtebise S, Lapègue S (2010) QTL for resistance to summer mortality and OsHV-1 load in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Animal Genetics* **41**: 390–399

Smaal AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK, Strand Ø, eds (2019) Goods and Services of Marine Bivalves. doi: 10.1007/978-3-319-96776-9

Soletechnik P (2009) Mortalités exceptionnelles d'huîtres creuses dans les Pertuis Charentais. Synthèse des résultats 2008–2009.

Yu Z, Guo X (2006) Identification and mapping of disease-resistance QTLs in the eastern oyster, *Crassostrea virginica* Gmelin. *Aquaculture* **254**: 160–170

Zhang G, Fang X, Guo X, Li L, Luo R, Xu F, Yang P, Zhang L, Wang X, Qi H, et al (2012) The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation. *Nature* **490**: 49–54

(2021) Code sanitaire pour les animaux aquatiques (2021). OIE - Organisation Mondiale de la Santé Animale



Conseil consultatif de l'aquaculture (CCA)
Rue Montoyer 31, 1000 Bruxelles, Belgique

Tel: +32 (0) 2 720 00 73

E-mail: secretariat@aac-europe.org

Twitter: @aac_europe

www.aac-europe.org