



REPAMEP

REPONSE DES PALOURDES AUX STRESS ENVIRONNEMENTAUX COMBINANT METAUX, EFFLORESCENCES TOXIQUES ET PATHOGENES

MANILA CLAM RESPONSE TO ENVIRONMENTAL STRESS COMBINING METALS, TOXIC BLOOMS AND PATHOGENS

Programme LITEAU
Rapport final – Synthèse

Coordination Scientifique :

Université Bordeaux 1 – CNRS, UMR 5805 EPOC

Xavier de Montaudouin, MCU-HDR

Station Marine d'Arcachon

2, rue du Pr Jolyet F-33120 Arcachon

x.de-montaudouin@epoc.u-bordeaux1.fr

Téléphone : 05 56 22 39 04

Télécopie : 05 56 83 86 51

N° de contrat : L.11-6778

Date de notification du contrat : 27/11/2009 avenant au 30/04/2013

Date de remise du rapport: 29 mars 2013.



PARTICIPANTS AU PROJET

Les principaux rédacteurs :

M. Baudrimont
P. Gonzalez
H. Hégaret
A. Khayati

P. Lassus
A. Legeay
X. de Montaudouin
N. Raymond

P. Soudant
D. Tran

Et tous les autres sans qui rien n'aurait été fait :

Abraham J
Amzil Z
Bardouil M
Binias B.
Bourasseau L
Brémont M
Bunel M
Daffe G
Dang C
Do VT
Donaghy L
Duck MC
Dudognon T
Fernandez S
Garabétian F

Girault E
Henry N
Heude C
Jude-Lemeilleur F
Juguelin H
Kellner K
Kraffe E
Lambert C
Landemaine A
Lassudrie M
Le Croizier G
Le Goïc N
Letort L
Lucia M
Marcaillou C

Mehdioub W
Meisterhans G
Mesmer-Dudons N
Merour E
Paul-Pont I
Plus M
Prince F
Rocher C
Savoye N
Sechet V
Sibat M
Thibaud A
Truquet P

Et merci à Daniel Guiral pour ses remarques constructives tout au long du projet

RESUMES COURTS

RESUME

L'originalité de ce projet réside dans le développement d'une approche interdisciplinaire intégrant l'impact des efflorescences d'algues toxiques et la pollution métallique sur la biologie (comportement, stress, immunité, génétique) et le développement des maladies d'un bivalve fousseur d'intérêt économique, la palourde.

La palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* est la seconde espèce de bivalve exploitée dans le monde. Espèce introduite dans le bassin d'Arcachon dans les années 1980, elle soutient aujourd'hui une pêche professionnelle forte de 57 licences. Cependant, ces cinq dernières années ont vu le stock chuter. Outre la pêche, un certain nombre de maladies se présentent comme menace potentielle, notamment la perkinsose et la maladie du muscle marron (BMD). Le projet confirme l'installation de ces pathologies à des niveaux élevés de prévalence et d'intensité, impactant la croissance et l'indice de condition des palourdes. Perkinsose comme BMD sont favorisés sur les estrans les plus émergents et sur les zones à plus faible renouvellement d'eau (secteur nord-ouest). L'hypothèse d'un agent pathogène de la BMD de nature virale reste forte, même si la démonstration n'a encore pu être faite. Si les palourdes du bassin d'Arcachon concentrent peu de toxines d'origine phytoplanctoniques (2010-11), la présence de spiroïdes suffit à justifier les expériences de contamination croisées menées dans ce projet. Au-delà des défis techniques (cultures d'algues toxiques, multiplicité des traitements et des mesures), ce projet a mis en évidence des atteintes histologiques, immunitaires, comportementales et moléculaires liées à la contamination « algues toxiques » et/ou « métaux ». L'expertise acquise a été en partie possible grâce à une aide technique du Comité des Pêches et, en retour, a permis d'orienter le Comité dans certaines de ses stratégies.

MOTS CLES

PALOURDE JAPONAISE, PATHOLOGIE, EFFLORESCENCES TOXIQUES, INTERACTIONS MICROBIENNES, ECOTOXICOLOGIE, MULTISTRESS

ABSTRACT

The originality of this project consists in the interdisciplinary approach gathering the impact of toxic phytoplankton blooms and metallic pollution on health (behaviour, stress, immunity, genetic) and disease development of the Manila clam, an economically important species.

The Manila clam *Ruditapes philippinarum* is the second exploited bivalve in the world. It was introduced in Arcachon bay during the 80's and is today exploited by professional fishermen (57 licences). A 50% decrease of the stock was observed during the last five years. Beyond fishing pressure, a PhD thesis identified several diseases as potential threats, like perkinsosis (=Dermo) and brown muscle disease (BMD). The project confirms the settlement of these pathologies with high prevalence and intensity, impacting clams growth and condition index. Perkinsosis and BMD rather develop in elevated mudflats with lower water turnover (north-western area). The hypothesis that the BMD agent would be a virus is still valid although it had not been yet demonstrated. Phytoplanktonic related toxins in Manila clams remain very low but the occurrence of spiroïdes justifies our project to experiment multi-contamination. Beyond the technological challenges (toxic algae culture, multi-treatments and multi-responses protocol), this project highlighted effects of "toxic algae" and/or "metal" contamination on histological, immune, behavioural and molecular parameters. Our expertise was partly acquired with the assistance of the Fishing Committee and, in return, provided help this Committee for their own fishing strategies

KEY WORDS

MANILA CLAM, PATHOLOGY, TOXIC BLOOMS, MICROBIAL INTERACTIONS, ECOTOXICOLOGY, MULTISTRESS

SOMMAIRE

1	Problématique.....	5
2	Synthèse générale.....	8
3	La vision du Comité des Pêches.....	16
4	Valorisation pédagogique.....	18

1 Problématique

La palourde japonaise (*Ruditapes (=Venerupis) philippinarum*) a été introduite en France en 1972 par la Société Atlantique de MARiculture (SATMAR) à des fins conchylicoles. La forte capacité d'adaptation de la palourde japonaise à de nouveaux environnements ainsi que ses hautes performances de croissance ont entraîné une installation et une prolifération rapide de ce bivalve fouisseur. Parmi les sites français bénéficiant d'une étude de stock pour la palourde japonaise, le bassin d'Arcachon se situait jusqu'en 2012 à la 1^{ère} place en termes de biomasse totale (7099 t) et de stock exploitable (721 t). Le stock exploitable est en continuels déclin (1159 t en 2008, 916 t en 2010) et s'accompagne d'une diminution effective des captures depuis le pic de 1027 t en 2007, avec 5-600 t ces dernières années (Sanchez et al. 2012).

Face à cette « crise halieutique », une thèse (Dang 2009) avait pour premier objectif de paramétrer la dynamique de la population de palourde japonaise dans le bassin d'Arcachon, en termes de croissance individuelle, de mortalité, de reproduction, de production/productivité. Ces travaux ont permis d'estimer la part de responsabilité de la pêche par rapport à celle de l'environnement. Par exemple, le défaut de palourde > 40 mm (taille minimum légale de capture au début de la thèse en 2006) est à la fois dû à la pêche qui écrête l'histogramme de taille mais aussi à un défaut de croissance, au moins passé une longueur de coquille de 30 mm (Dang et al. 2010b). Autre exemple, sur certains sites, la mortalité par pêche est du même ordre de grandeur que celle liée aux maladies. Cette thèse a en effet également été l'occasion d'une part de faire le point sur un certain nombre de maladies connues mais d'autre part d'identifier une nouvelle pathologie, la Maladie du Muscle Marron (BMD en anglais). Concernant les maladies « connues », un état des lieux relativement exhaustif a permis de montrer que la maladie de l'anneau brun (MAB ou BRD en anglais) qui a sévi en Bretagne est presque absente du bassin d'Arcachon, et de toute manière à une intensité faible. Bien qu'espèce introduite et donc n'ayant pas co-évolué localement avec des parasites, la palourde japonaise n'est que légèrement infestée par des trématodes, macroparasites omniprésents chez les mollusques. La faible infestation ne préjuge cependant pas de l'éventuelle pathogénicité, surtout pour un système hôte-parasites récent en termes de co-évolution. Un projet ANR (Multistress) avait notamment tenté d'évaluer expérimentalement l'impact de l'infestation par les trématodes sur la physiologie des palourdes. Peu d'effets avaient été notés sur les paramètres immunitaires des palourdes, mais en revanche la synthèse de métallothionéines (protéines cytosoliques impliquées dans l'homéostasie, dans les mécanismes de détoxification, et sensibles à différents types de stress était modifiée dans la glande digestive. Enfin, dans le registre des parasites communs, le protozoaire *Perkinsus olseni* a été recherché. Il s'est avéré que les prévalences étaient très élevées (70 à 100% selon les sites) et l'intensité à un niveau considéré comme subléthal ($\approx 10^5$ cellules/g poids frais de branchie). **Avec un tel niveau d'infestation, la perkinsose se situait comme un facteur incontournable dans la description de la biologie des palourdes japonaises du bassin d'Arcachon. Du fait de cette omniprésence dans le bassin d'Arcachon impliquant la nécessité de travailler à l'échelle du système parasite-hôte, et après avoir recherché les facteurs environnementaux corrélés à son développement et avoir évalué l'impact direct de la présence de *Perkinsus* sur les palourdes, nous avons continuellement choisi de considérer les possibles interactions entre la présence de ce protozoaire et la présence d'algues toxiques, de métaux-traces et d'autres maladies.**

Nos études sur les pathogènes avaient notamment montré, comme nous le verrons plus loin, l'importance de la prise en compte de différentes sources de stress pour se rapprocher des conditions environnementales et mieux comprendre les processus adaptatifs mis en jeu. Comme précédemment évoqué, les autopsies réalisées sur les palourdes avaient également permis d'identifier en 2005 une nouvelle pathologie, la Maladie du Muscle Marron (3M ou BMD). Avec une prévalence moyenne variant entre 5% et 30% selon les secteurs, une atteinte structurelle sérieuse du muscle adducteur postérieur, et une évidence d'effet délétère sur les palourdes (débutant par la remontée des individus à la surface du sédiment et finissant par la mort), **une étude exhaustive sur la palourde telle que proposée dans ce projet se devait de vérifier si cette pathologie est toujours d'actualité et dans quelles conditions environnementales, quels sont les effets sur les palourdes en interaction avec l'incontournable parasite protozoaire *Perkinsus* et enfin, partie la plus risquée, identifier l'éventuel agent infectieux sur la base d'une présomption virale.**

Dans le domaine des protistes, un certain nombre de microalgues marines peuvent également avoir une influence déterminante sur la faune environnante. Le phytoplancton toxique est ainsi reconnu pour ses effets majeurs sur l'écologie des zones côtières marines. Une efflorescence de phytoplancton toxique peut modifier la physiologie ou la biologie (mortalité, susceptibilité aux maladies et aux parasites, accumulation de toxines, etc.) de certaines espèces ou communautés importantes de la chaîne trophique qu'elles supportent, entraînant ainsi des changements dans les écosystèmes marins. Ces efflorescences peuvent aussi avoir de forts impacts économiques et sanitaires, lors de la fermeture de la pêcherie ou de l'activité conchylicole du fait de la présence de toxines dans les organismes (dont les bivalves fouisseurs). Les bivalves fouisseurs du bassin d'Arcachon sont ainsi régulièrement exposés aux genres toxiques, *Dinophysis*, *Alexandrium*, et *Pseudo-nitzschia*. Même si l'origine du phytoplancton n'est pas toujours clairement établie, diverses toxines (DSP, spirolides et PSP) sont détectées dans les tissus des bivalves. Ces toxines pourraient non seulement représenter un stress pour ces filtreurs mais aussi avoir une incidence sur les maillons trophiques supérieurs. A ce jour, les études concernant l'impact de ces efflorescences sur les animaux qui les subissent en première ligne restent limitées en nombre et sont souvent peu intégratives. Ce manque d'intégration est particulièrement pénalisant dans le cas des palourdes du bassin d'Arcachon qui, comme évoqué précédemment, sont déjà confrontées à des organismes intimement liés aux tissus, comme *Perkinsus olseni*. De véritables interactions peuvent donc être prévisibles, soit directes (*Perkinsus* vs. microalgue), soit indirectes par le déclenchement de mécanismes de protection du bivalve hôte par l'un ou/et l'autre des protagonistes. **Au-delà des défis méthodologiques liés notamment à la culture de microalgues et au « contrôle » de leur toxicité, l'objectif était donc, après avoir vérifié la potentialité de la présence d'algues toxiques dans les palourdes du bassin d'Arcachon, d'étudier expérimentalement la réponse des palourdes à ces microalgues. Ce projet tente de s'approcher des conditions locales, c'est-à-dire intègre le fait que les palourdes sont déjà infectées par des parasites (*Perkinsus*) et sont susceptibles d'être contaminées par un métal trace comme le cadmium.**

Au-delà des parasites et des efflorescences toxiques, il est admis que les bivalves sont susceptibles d'abriter une flore bactérienne abondante et diversifiée, dont la fonction reste encore globalement inconnue, mais s'intègre sans doute dans un spectre d'interactions allant de la présence accidentelle à la symbiose la plus exigeante. Notre postulat de départ était donc qu'une étude sur la santé d'une population telle celle des palourdes passait par la connaissance du microbiote associé qui pouvait aussi bien traduire un état de santé que l'expliquer (en partie) ou le prévoir. Les connaissances sur les échanges entre bivalves fouisseurs et communautés bactériennes sont en effet très fragmentaires à partir du moment où la thématique s'éloigne de l'aspect sanitaire. Les bivalves marins sont pourtant connus pour

abriter une grande variété de micro-organismes et plus particulièrement de bactéries potentiellement responsables d'altération(s). Cependant, la flore bactérienne et sa diversité chez ces animaux filtreurs restent mal caractérisées. En effet à part les travaux sur l'ormeau *Haliotis* sp. et sur la lucine *Codakia orbicularis* (bivalve) montrant l'existence de relations symbiotiques étroites avec respectivement la flore bactérienne du tractus digestif et des branchies, il existe peu de travaux portant sur la flore bactérienne associée aux bivalves fouisseurs. Cependant, de récentes études menées dans le bassin d'Arcachon ont montré que l'abondance totale des bactéries dans les bivalves est assez élevée pour envisager toute une gamme de relations symbiotiques (au sens large) palourdes/bactéries (neutralisme, commensalisme, mutualisme et/ou parasitisme). **Dans ce contexte nos questions concernaient principalement le déterminisme de la diversité bactérienne associée à différentes populations de palourdes en fonction des conditions environnementales (condition de l'hôte x caractéristiques de l'habitat).**

Au-delà des agents infectieux et des procaryotes, la masse d'eau est également le vecteur de polluants chimiques, notamment métalliques. Comme tous les milieux côtiers soumis à des pressions anthropiques, le bassin d'Arcachon subit des contaminations liées aux activités qui s'exercent dans la lagune ou sur son bassin versant. En particulier, les polluants métalliques peuvent se retrouver dans les eaux et les sédiments de la lagune, impactant potentiellement les organismes aquatiques qui s'y trouvent. Les bivalves filtreurs présentent de fortes capacités de bioaccumulation des éléments traces métalliques à l'origine de leur utilisation dans les réseaux de biosurveillance (Réseau d'Observation de la Contamination CHimique (ROCCH, ex-RNO)). Cependant, très peu d'études se sont réellement intéressées à l'état de contamination des bivalves filtreurs fouisseurs dans le bassin d'Arcachon. **Après avoir estimé les teneurs en différents métaux traces sur plusieurs sites du bassin d'Arcachon, l'effet de l'un d'eux (Cd) a été étudié, seul ou en interaction avec les microalgues toxiques, et toujours dans le contexte local d'une pré-infestation élevée en parasites *Perkinsus*.**

Tout au long de cette introduction, la notion de « réponse » des palourdes à différentes situations a été avancée. Une large partie de ce projet s'est donc attelée à envisager un spectre aussi large que possible de réponses adaptatives. Différents types de réponses biologiques (notamment de type dommages ou défenses) peuvent être déclenchés dans les tissus ou organes de façon à lutter ou à s'adapter à des stress qu'ils soient chimiques (métaux), biologiques (algues toxiques, bactéries, parasites) ou combinés.

Des mesures de l'immunité cellulaire (nombre d'hémocytes circulants, phagocytose, production d'espèces oxygénées réactives ERO, ...) et humorale (titre d'agglutination, phénoloxydase,...) permettent d'évaluer l'impact de stress chimiques et biologiques. La production de métallothionéines (MT), capables de séquestrer d'importantes quantités d'ions métalliques au niveau intra-cellulaire se doit d'être évaluée afin de mieux comprendre les mécanismes d'accumulation et de résistance à la contamination métallique.

A cela s'ajoutent des réponses moléculaires de la palourde soumise aux contaminations métalliques et/ou toxiques. Des approches de biologie moléculaire permettent de détecter et d'analyser les atteintes ou réponses adaptatives à travers l'expression de gènes, développées par les palourdes. Les gènes étudiés concernent le métabolisme mitochondrial (sous-unité 1 de la cytochrome-C-oxydase, 12s), la réponse au stress oxydant (superoxyde-dismutases cytoplasmique et mitochondriale, catalase) ou la détoxification cellulaire (métallothionéines).

Des paramètres biologiques moins spécifiques mais néanmoins intégrateurs que sont le comportement (enfouissement, activité valvaire) et l'activité alimentaire (taux de filtration, activité enzymatique) ont également été mesurés.

2 Synthèse générale

(En note de bas de page, sont rapportés les éléments de valorisation dans le cadre du projet REPAMEP en relation avec le texte, hormis les rapports de stage et thèses qui sont rassemblés en fin de document)

La question principale devant être abordée par ce projet était de répondre aux préoccupations des « pêcheurs » en complétant les données récentes existantes sur la population de palourde japonaise dans le bassin d’Arcachon, à la suite des travaux thèse de Dang (2009) sur la dynamique des populations et l’inventaire/description des pathologies, de Paul-Pont (2010) sur les atteintes écotoxicologiques et les réponses adaptatives et de Caill-Milly (2012-thèse encore indisponible) sur la gestion des stocks et les anomalies biométriques, le tout dans le contexte d’un état des stocks plutôt inquiétant. Pour cela, les orientations du projet REPAMEP avaient été dirigées vers la continuation des recherches sur la pathologie émergente BMD, sur l’existence d’un microbiote spécifique associé, sur le risque encouru par les palourdes vis-à-vis des épisodes toxiques (pour la première fois, la pêche à la palourde a été fermée en 2012 suite à un tel épisode qui est généralement restreint au moules et aux huîtres), le tout dans un contexte écotoxicologique plus large, comprenant notamment un bruit

de fond à évaluer en termes de contamination métallique.

Ce bilan va donc s’attacher (et se réduire), au vu des résultats du projet, à caractériser au mieux la population exploitable de palourde japonaise dans son contexte environnemental.

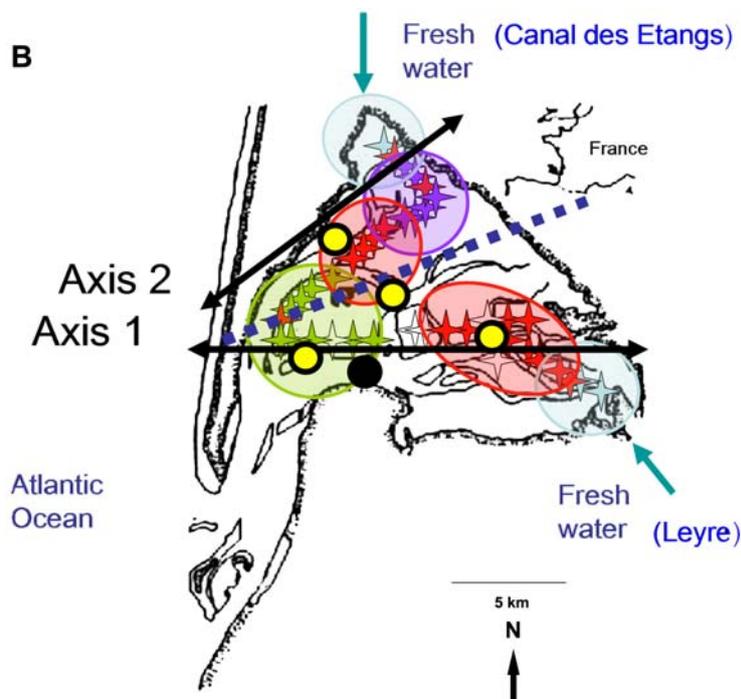
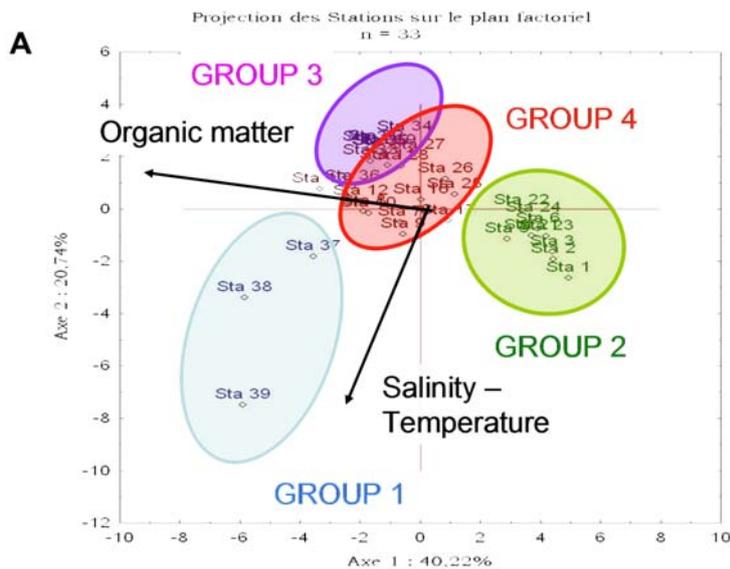


Figure 1 : Analyse en composante principale (ACP) basée sur 21 facteurs environnementaux (A) de 33 stations du bassin d’Arcachon (B). Quatre groupes de stations peuvent être distingués. La teneur de la matière organique dans le sédiment, la salinité et la température sont les paramètres qui expliquent le mieux la séparation entre les groupes.

Les étoiles représentent les stations du projet alors que les disques représentent les stations du réseau ARCHYD d’Ifremer ayant servi à obtenir des « vérités terrain » pour valider les calculs de température et de salinité par modélisation. Le disque noir situe la station servant de référence pour la hauteur d’eau (marégraphe) afin de caler le paramètre «% temps d’émersion».

La palourde est principalement exploitée dans le domaine lagunaire correspondant au groupe « 3-4 » de notre étude, qui comprend 22 stations (**Figure 1**), dont 4 ont fait l'objet de suivis intensifs que ce soit pour les maladies ou les métaux-traces. L'environnement est caractérisé par des sédiments de sables fins envasés (médiane granulométrique autour de 100 µm avec un taux de pélites autour de 30-40% et une teneur en matière organique autour de 6 à 9%) pouvant être recouverts à 40% d'herbiers à *Zostera noltii*. La densité de palourdes (2010) est ici la plus élevée avec 25-50 ind/m², quand elle ne dépasse pas les 20 ind/m² dans les zones plus océaniques ou plus proches des rivières.

Ces palourdes sont globalement dans un état de santé qualifié de moyen¹. Macroscopiquement, elles ont une taille excédant rarement 35, voire 30 mm, avec un indice de condition faible (IC=[poids sec de chair mg / poids sec de coquille g]) et variant peu dans l'année (signe d'un effort de reproduction modéré), autour de 30 (**Figure 2**). En comparaison, un site comme Arguin peut abriter épisodiquement des palourdes de plus de 40 mm avec un IC deux fois plus élevé.

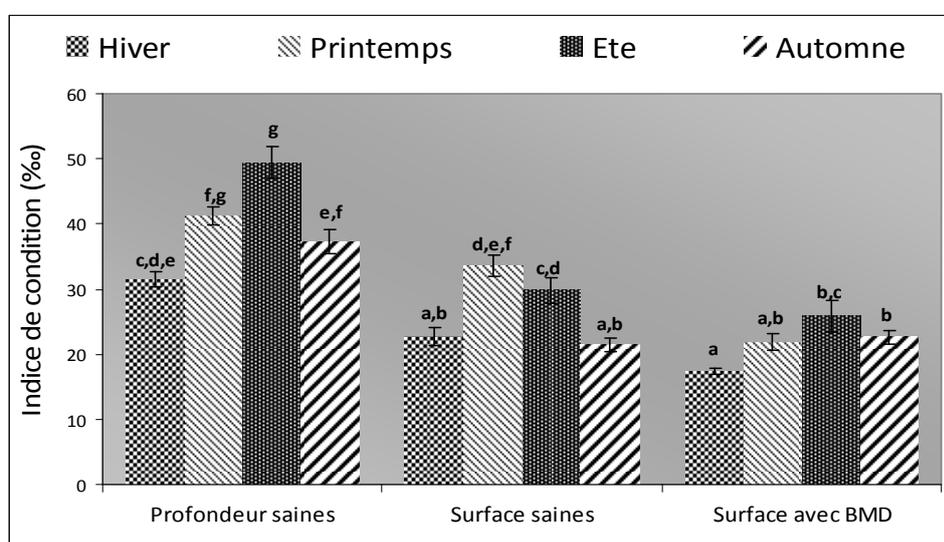


Figure 2 : L'indice de condition des palourdes rend compte du taux de remplissage des coquillages et d'une certaine manière de l'état de santé (plus il est élevé, meilleure est la « fitness »). Les valeurs observées ici, même pour des palourdes sans la maladie du muscle marron (BMD), sont faibles toute l'année. La situation est pire pour les palourdes en position anormal, c'est-à-dire à la surface du sédiment. Les lettres différentes distinguent des valeurs significativement différentes (au seuil de 5%).

Comme l'avait noté Dang (2009), ce déficit de condition peut être lié à un régime trophique déficient en phytoplancton et à de fortes prévalences en BMD (autour de 11% des adultes) et en perkinsose (parfois proche de 100%).

Concernant la perkinsose (**Figure 3**), l'intensité moyenne chez les adultes est autour de 70 000 cellules/gPF branchie, ce qui paraît déjà suffisant pour ralentir la croissance², et

¹ Binias C, Do VT, Jude-Lemeilleur F, Plus M, Froidefond JM, de Montaudouin X (sous presse) Environmental factors contributing to the development of Brown Muscle Disease and perkinsosis in Manila clams (*Ruditapes philippinarum*) and trematodiasis in cockles (*Cerastoderma edule*) of Arcachon Bay. Marine Ecology

Binias C, Provost M, Do VT, Plus M, Gonzalez P, de Montaudouin X (2012) Perkinsosis and Brown Muscle Disease in Manila clam *Ruditapes philippinarum*: control by abiotic factors and/or synergic interaction? Physiomar 2012, Santiago de Compostela (Espagne)

de Montaudouin X (2012) Approche de la notion de Multistress chez les bivalves marins : les interactions hôtes-parasites chez la palourde japonaise (*Ruditapes philippinarum*) Groupement des Protistologues de Langue Française - Les protistes : adaptation à leur environnement, La Rochelle

² Dang C., de Montaudouin X., Salvo F., Caill-Milly N., Bald Juan, Soudant P. (en révision) Correlation between *Perkinsus* sp. abundance, growth and condition in clams *Ruditapes* spp.. Diseases of Aquatic Organisms.

entraîner des désordres tissulaires (desquamation, vacuolisation, etc.) pouvant être exacerbés par la présence d'algues toxiques (**Figure 4**).

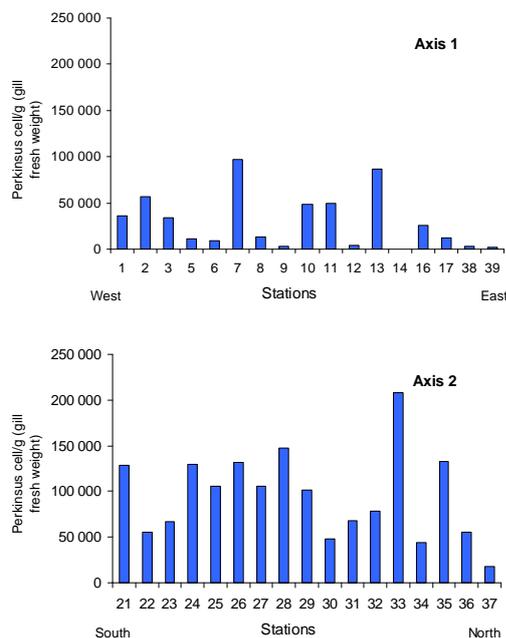


Figure 3 : Abondance en *Perkinsus* (en cellules de *Perkinsus.g*⁻¹ frais de branchie) dans les palourdes, par station et par axe : Axe 1 = secteur sud-ouest ; Axe 2 = secteur nord-est (voir Figure 1B pour la position géographique de ces axes). *Perkinsus* est un parasite présent dans tout l'organisme mais particulièrement concentré dans la branchie où il est traditionnellement mesuré. Les valeurs trouvées autour de 10⁵ sont élevées et proches d'un seuil de 10⁶ considéré comme dangereux pour la palourde.

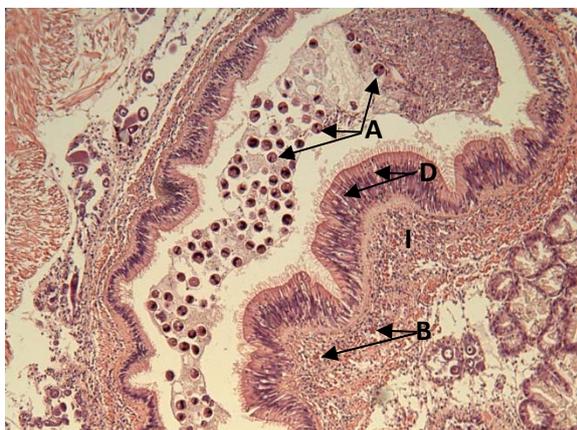


Figure 4A : Système digestif d'une palourde exposée à l'algue toxique *Alexandrium ostenfeldii*. Présence d'*A. ostenfeldii* (A) dans la lumière de l'intestin, infiltration hémocytaire (I), hémocytes en diapédèse (D) et présence de « brown cells » (B). Ces palourdes sont préalablement infestées par *Perkinsus* qui peut induire des dégâts cellulaires similaires.

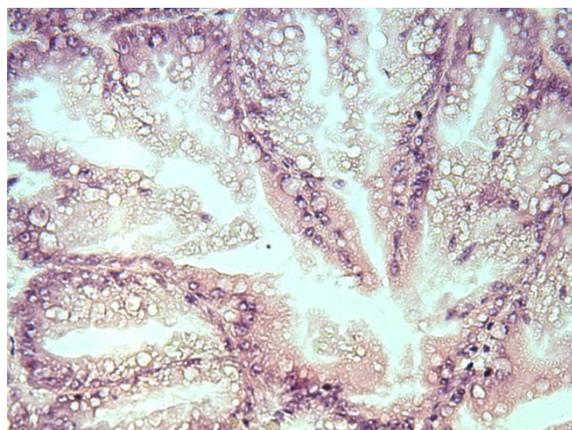


Figure 4B : Vacuolisation des tubules digestifs de palourde exposée à *A. ostenfeldii*

Il y a peu de variation saisonnière de l'intensité parasitaire par *Perkinsus* mais, nous situant juste au-dessous d'un seuil délétère évalué à 10^{-6} cellules/g branchie, cette intensité peut être considérée comme préoccupante. Elle a largement justifié la prise en compte de ce paramètre dans les diverses expériences de contamination, la notion de système-parasite-hôte (SPH) prenant ici toute sa signification et dépassant la notion d'espèce hôte : c'est le SPH qui doit répondre aux agressions ponctuelles, étant donné que des palourdes saines de perkinsose sont une exception.

Les interactions entre la perkinsose et l'autre maladie grave du Bassin, la BMD³, ne sont pas évidentes mais les deux maladies sont particulièrement prévalentes dans des environnements à renouvellement d'eau relativement faible, et sur des estrans souvent découverts (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Corrélation entre d'une part la concentration en *Perkinsus*, la prévalence (= pourcentage de palourdes touchées) de la BMD et son intensité (MPI=Muscle Print Index), et d'autre part différents paramètres de l'environnement (N=34 stations). Les corrélations significatives sont en italique et en gras ($p < 0,05$) et permettent de voir quels facteurs de l'environnement sont corrélés à ces 2 maladies. F = fréquence de temps (par exemple où la salinité descend en-dessous de 13, etc).

		<i>Perkinsus</i> : concentration (Cellules/g de branchie)		BMD			
				Prévalence (%)		MPI	
		R	<i>p</i>	R	<i>p</i>	R	<i>p</i>
Sédiment	Médiane (μm)	-0.04	0.829	-0.27	0.141	-0.28	0.119
	Pélites (%)	0.25	0.149	<i>0.45</i>	<i>0.010</i>	<i>0.39</i>	<i>0.025</i>
	Matière organique (%)	<i>0.35</i>	<i>0.040</i>	<i>0.52</i>	<i>0.003</i>	<i>0.42</i>	<i>0.015</i>
	Couverture herbier (%)	0.09	0.594	0.07	0.713	-0.35	0.051
Salinité	Moyenne	0.29	0.101	-0.10	0.580	-0.26	0.145
	F < 13	-0.31	0.073	0.08	0.672	-0.03	0.865
	F < 28	-0.27	0.127	0.07	0.681	0.29	0.098
	F < 34	0.03	0.875	<i>0.37</i>	<i>0.039</i>	<i>0.72</i>	<i><0.001</i>
Température	Minimale	-0.29	0.093	<i>-0.37</i>	<i>0.034</i>	<i>-0.46</i>	<i>0.008</i>
	Maximale	0.29	0.090	0.12	0.514	-0.02	0.900
	Moyenne	0.09	0.614	0.12	0.6644	<i>0.66</i>	<i><0.001</i>
	F < 8°C	0.00	0.990	0.32	0.071	<i>0.65</i>	<i><0.001</i>
	F < 12°C	-0.26	0.131	0.18	0.330	0.21	0.245
	F < 16°C	<i>-0.35</i>	<i>0.043</i>	-0.00	0.987	-0.24	0.176
	F < 20°C	-0.17	0.344	-0.23	0.213	<i>-0.73</i>	<i><0.001</i>
	Courant F < 0.25m/s	0.09	0.626	-0.16	0.390	-0.20	0.270
	% temps d'émersion	<i>0.34</i>	<i>0.048</i>	0.13	0.491	0.03	0.875
	Densité de palourdes (ind/m ²)	0.10	0.569	-0.12	0.502	<i>0.37</i>	<i>0.037</i>
Distance (km)	Leyre	<i>0.43</i>	<i>0.011</i>	0.28	0.114	-0.28	0.113
	Canal des étangs	<i>-0.51</i>	<i>0.002</i>	<i>-0.60</i>	<i><0.001</i>	-0.20	0.260
	Océan Atlantique	-0.14	0.422	0.20	0.264	<i>0.62</i>	<i><0.001</i>

Il semble que la perkinsose soit cependant un moteur important de la remontée des palourdes à la surface (pour ce qui concerne les pathologies). Les palourdes se défendent « tièdement »

³ Biniás C, Biacchesi S, Bremont M, Caill-Milly N, Dang C, Gonzalez P, Heude C, Kellner K, Lucia M, Martinez P, Mathieu M, Merour E, Mesmer-Dudons N, Sauriau P-G, Savoye N, de Montaudouin X (2012a) Brown Muscle Disease in Manila clam *Ruditapes philippinarum* Physiomar 2012, Santiago de Compostela (Spain)

Do VT, Biniás C, Jude F, Plus M, de Montaudouin X (2010) Environmental factors contributing to the development of Brown Muscle Disease and perkinsosis in Manila clams (*Ruditapes philippinarum*) and trematodiasis in cockles (*Cerastoderma edule*) of Arcachon Bay 45th European Marine Biology Symposium, Edinburgh (United Kingdom)

par leur système immunitaire : le nombre total d'hémocytes (cellules impliquées dans les défenses immunitaires) n'est pas affecté, leur capacité de phagocytose est augmentée chez les palourdes en surface (donc aussi les plus affectées par la Perkinsose), réponse exacerbée pour le % de phagocytose chez les palourdes atteintes de BMD. Contrairement à ce qui avait été observé dans des études antérieures, mais avec d'autres espèces d'algues, aucune interaction entre *Perkinsus* et l'algue toxique *Alexandrium ostenfeldii* n'a été observée.

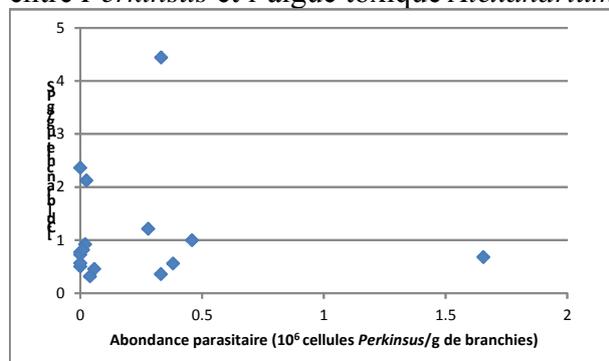


Figure 5 : Relation entre abondance parasitaire en *Perkinsus* dans les palourdes et bioaccumulation de cadmium dans les branchies en conditions expérimentales. Le niveau de contamination par ce métal n'est donc pas influencé par la charge en parasites (dans la limite des valeurs mesurées ici)

L'affaiblissement des palourdes par *Perkinsus* ne semble pas avoir d'effet sur la contamination expérimentale métallique (du moins par le cadmium) (**Figure 5**). Cependant, le suivi des palourdes sur 2 années a révélé que la contamination chronique ne concerne pas uniquement le cadmium. Sur les 12 métaux dosés, et par rapport à des valeurs nationales à utiliser avec précaution car issues d'analyses sur d'autres espèces de bivalves, le nickel (Ni), le chrome (Cr), le cuivre (Cu) et le plomb (Pb) apparaissent plutôt au-dessus des valeurs médianes nationales (aluminium et manganèse : présence, mais pas de possibilité de comparaison). Hormis le cuivre utilisé dans les peintures anti-salissures et le plomb dont la localisation nord bassin pourrait-être en lien avec d'anciennes activités de chasse ou de ball-trap, il est aujourd'hui prématuré d'interpréter ces valeurs qui restent globalement dans un intervalle « peu à pas pollué » (hormis le nickel qui pose question).

Ayant évoqué précédemment la notion de SPH pour qualifier le superorganisme « palourde-*Perkinsus* », le projet REPAMEP a démontré qu'il était sans doute nécessaire d'étendre la réflexion aux communautés de bactéries associées. Au-delà des études sur la diversité bactérienne (ayant nécessité des perfectionnements méthodologiques⁴) qui a notamment montré un appauvrissement de la diversité dans les palourdes par rapport à un « standard de bonne santé Arguin »⁵ (**Tableau 2**), nous avons mis en évidence l'existence d'une communauté de bactéries inféodée à la palourde, en plus de la communauté en relation directe avec le sédiment environnant et principalement localisée dans l'appareil digestif⁶.

⁴ Meisterhans G, Raymond N, Lebreton S, Salin F, Bourasseau L, de Montaudouin X, Garabétian F, Jude-Lemeilleur F (2011) Dynamics of bacterial communities in cockles (*Cerastoderma edule*) with respect to trematode parasite (*Bucephalus minimus*) infestation. *Microbial Ecology* 62:620-631

⁵ Meisterhans G, Raymond N, Lambert E, Girault E, Paul-Pont I, Bourasseau L, de Montaudouin X, Garabétian F, Jude-Lemeilleur F (2011a) L'état physiologique et/ou l'habitat de la palourde (*Ruditapes philippinarum*) conditionnent-ils la composition de son microbiote? AFEM symposium, Hammamet (Tunisia)

⁶ Girault E, Meisterhans G, Paul-Pont I, Jude-Lemeilleur F, Bourasseau L, Lambert C, de Montaudouin X, Garabétian F, Raymond N (2011) Is Manila clam bacterial community structure influenced by the bivalve sub-population intrinsic characteristic and/or habitat microbial communities? 5th European Conference on Coastal Lagoon Research, Aveiro (Portugal)

Tableau 2 : Richesse en ITS des communautés bactériennes des lots de palourdes A (Arguin) et B (vasière intra-bassin) sur 2 x 6 échantillons par branchie (Br), tube digestif (Td) et reste (Re). Ces valeurs donnent une idée de la diversité bactérienne dans les palourdes qui apparaît donc moindre dans la station représentant l'ensemble du bassin (B) que dans la station de référence en termes de bonne santé, (A).

	Lot A			Lot B			Individus	
	Br	Td	Re	Br	Td	Re	A	B
Richesse totale	112	143	163	147	135	126	196	177
% ITS constants	23	16	15	18	8	12	19	18

La consultation du REPHY (Ifremer : Réseau de Surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines) et l'analyse d'échantillons en 2010 et 2011 a révélé l'absence de toxines de type ASP, PSP et la présence de traces de spirolides (6-8 $\mu\text{g}/\text{kg}$) (**Figure 6**). Sachant que l'élimination de ces toxines peut prendre de plusieurs jours à plusieurs semaines, ces toxines constituent d'intéressants traceurs de ces efflorescences sur d'assez longues périodes. La culture des algues toxiques (et le contrôle de leur toxicité) restent cependant un défi qui a fait partie intégrante du projet REPAMEP⁷.

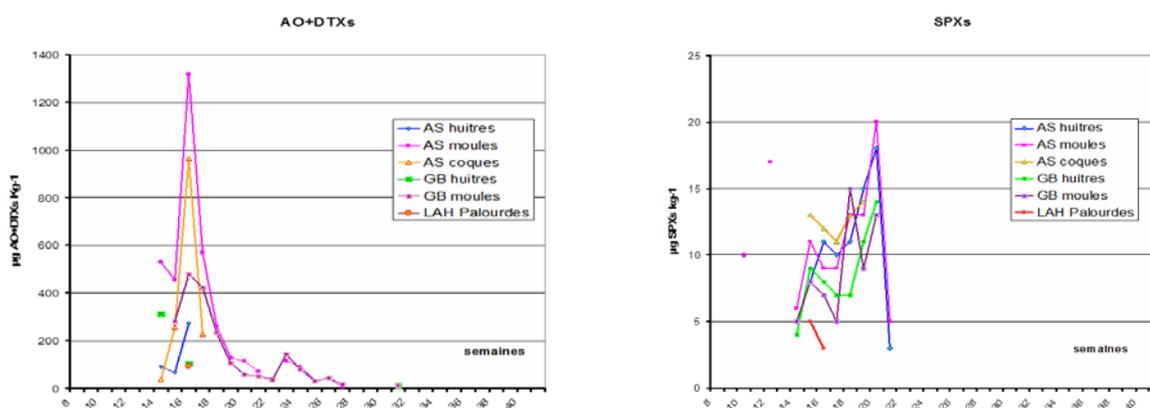


Figure 6 : Evolution des concentrations en toxines DSP (en μg eq. acide okadaïque par kg, à gauche) et des spirolides (en μg SPXs par kg à droite) en 2011 pour plusieurs espèces de bivalves filtreurs et fousseurs du bassin d'Arcachon et en différents sites. Globalement, on observe : moules > coques > huitres > palourdes pour AO+DTXs, et « tous coquillages » > palourdes pour les SPXs (spirolides). Les résultats sont représentés pour différentes espèces de bivalves, de février à octobre 2011 Limite d'interdiction de commercialisation : 160 μg eq. AO kg^{-1} .

⁷ Lelong A., Bucciarelli E., Hégaret H., Soudant P. (2013) Iron and copper limitations differently affect growth rates, photosynthetic and physiological parameters of the marine diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima*. *Limnology and Oceanography*, 58(2), in press.

Lelong, A., Hégaret, H., Soudant, P. (2011) Cell-based measurements to assess physiological status of *Pseudo-nitzschia multiseriata*, a toxic diatom. *Research in Microbiology* 162: 969-981.

Lelong, A., Hégaret, H., Soudant, P., Bates, S.S. (2012). *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: revisiting previous paradigms. *Phycologia* 51: 168–216.

Lelong A., Jolley D., Hégaret H., Soudant P. (2012). The effects of copper toxicity on *Pseudo-nitzschia* spp. physiology and domoic acid production. *Aquatic Toxicology*. 118– 119 :37–47

Medhioub, W., Séchet, V., Truquet, P., Bardouil, M., Amzil, Z., Lassus, P., Soudant, P. (2011) *Alexandrium ostenfeldii* growth and spirolides production in batch culture and photobioreactor. *Harmful Algae* 10(6) : 794-803.

Medhioub, W., Lassus, P., Truquet, P., Bardouil, M., Amzil, Z., Séchet, V., Sibat, M., Soudant, P. (2012) Spirolide uptake and detoxification by *Crassostrea gigas* exposed to the toxic dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii*. *Aquaculture* 358: 108-115.

Lelong A., Hégaret H., Soudant P. 2010. Development of cell-based physiological measurements on the toxic diatoms, *Pseudo-nitzschia* spp. Harmful Algal Bloom Conference HAB2010, Hersonissos, Crète.

Lelong A., Jolley D., Kraffé E., Hégaret H., Soudant P. The effects of copper toxicity on *Pseudo-nitzschia* spp. physiology and domoic acid production. *Phycological Society of America PSA2011*, Seattle, USA

Cette présence suggérerait que les palourdes du bassin d’Arcachon peuvent être confrontées à la présence d’algues toxiques comme *Alexandrium ostenfeldii*. Cette hypothèse est confortée par les dosages effectués lors des expériences de contamination qui ont révélé chez les palourdes témoins (ramassées dans le bassin d’Arcachon en février 2010 et nourries avec du plancton non-toxique) des concentrations de l’ordre de 25 µg/kg (Figure 7). Les valeurs de toxicité obtenues expérimentalement sont donc dans un ordre de grandeur qu’on pourrait attendre lors d’un évènement de bloom toxique (100 à 700 µg/kg selon situations, molécules concernées ou organes ciblés).

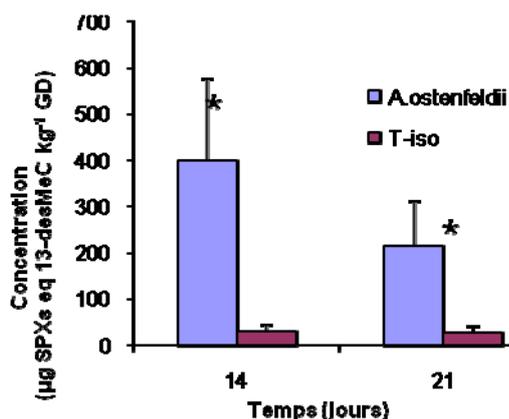


Figure 7 : Les palourdes exposées expérimentalement pendant 7 jours à l’algue toxique *Alexandrium ostenfeldii* ont accumulé des spirolides. Après la période de décontamination (T14 à T21), la quantité de spirolides perdure en quantité importante. Les palourdes "Contrôles" (ramassées dans le bassin) étaient elles aussi faiblement contaminées par des spirolides confirmant ainsi que les palourdes d’Arcachon sont naturellement exposées à *A. ostenfeldii*.

Les atteintes histologiques après expositions aux algues toxiques sont assez nettes (infiltration hémocytaire, diapédèse, désquamation, etc.) (Figure 4) avec ponctuellement des réactions immunitaires (Figure 8) et des perturbations de l’activité alimentaire (Figure 9)⁸. Sur la base d’une autre espèce d’algue toxique (*Pseudo-nitzschia multiseriata*), des perturbations de l’activité valvaire, en pourcentage d’ouverture comme en rythme (Figure 10), ont été enregistrées.

⁸ Hégaret, H., Henry, N., Bunel, M., Lassudrie, M., Le Goic, N., Lambert, C., Donval, A., Fabioux, C., de Montaudouin, X., Soudant, P. (2012). Impacts of *Alexandrium ostenfeldii* on behavioral and physiological responses of Manila clams *Ruditapes philippinarum* naturally infected with the parasite *Perkinsus olseni*. National Shellfisheries Association meeting NSA2012, Seattle, USA

Lassudrie, M., Hégaret, H., Henry, N., Lambert, C., Le Goic, N., Soudant, P., Fabioux, C. (2012). Impacts of *Alexandrium ostenfeldii* exposure upon antioxidant system of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* with varying parasite *Perkinsus olseni* burden. National Shellfisheries Association meeting NSA2012, Seattle, USA

Lassudrie, M., Hégaret, H., Henry, N., Lambert, C., Le Goic, N., Soudant, P., Fabioux, C. (2012). Impacts of *Alexandrium ostenfeldii* exposure upon antioxidant system of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* with varying parasite *Perkinsus olseni* burden. Milford Aquaculture Seminar MAS2012, CT, USA

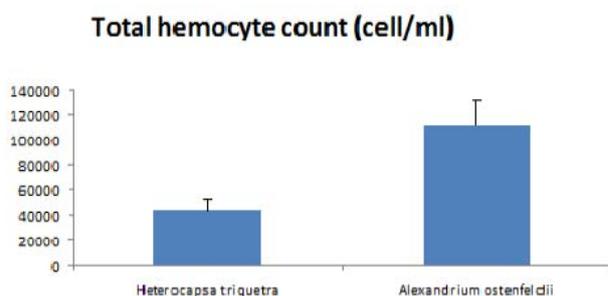


Figure 8 : 'Total Hemocyte Counts' qui traduit une réponse du système immunitaire des palourdes sur l'hémolymphe (« sang ») des palourdes exposées aux algues toxiques (*A. ostenfeldii*) et des palourdes témoins avec algues 'fourrage' (*H. triquetra*), au bout de sept jours d'exposition expérimentale.

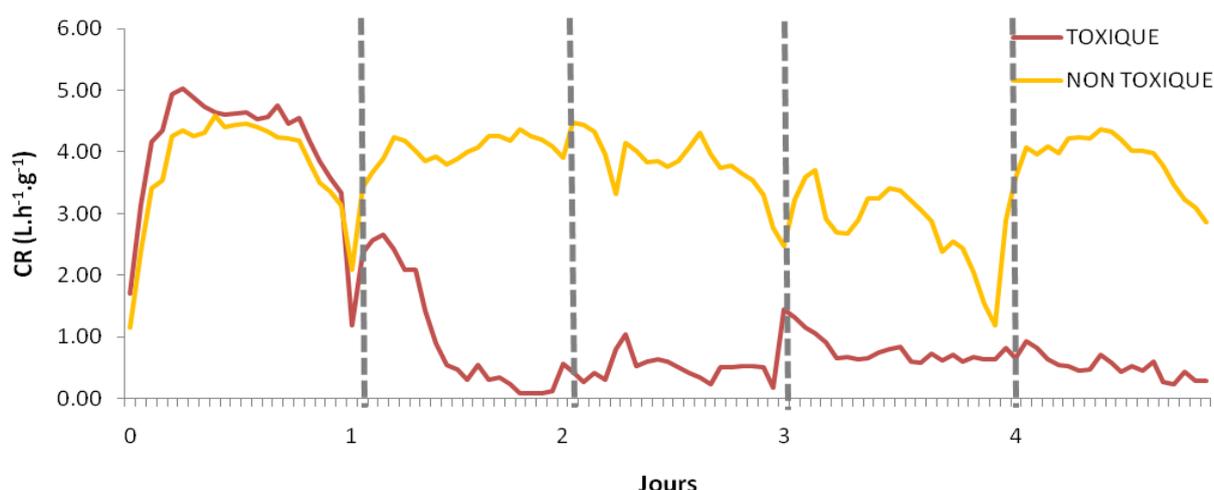


Figure 9 : Valeurs moyennes du taux de filtration par heure pour les palourdes recevant une alimentation toxique et non toxique. Dès que les palourdes reçoivent une alimentation toxique, leur taux de filtration diminue significativement et fortement ($CR_{\text{toxique}} = 0,71 \pm 1,60 \text{ L.h}^{-1}.\text{g}^{-1}$) alors que les palourdes recevant une alimentation non toxique maintiennent un taux de filtration élevé pendant toute l'expérience ($CR_{\text{non toxique}} = 3,62 \pm 0,48 \text{ L.h}^{-1}.\text{g}^{-1}$).

Comportement moyen des animaux exposés (n = 15)

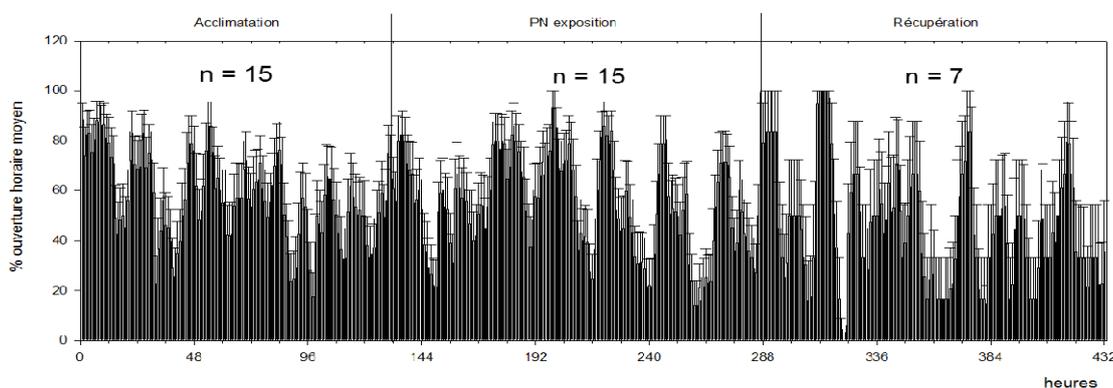


Figure 10. Durée d'ouverture horaire valvaire moyenne des palourdes « contrôles », nourries avec *Pseudo-nitzschia multiseries* (algues toxiques produisant toxines ASP) pendant la phase d'acclimation (6 jours), la phase correspondant à la phase d'exposition (7 jours) et la phase de récupération). n = 15 pour la phase acclimation et exposition, n = 7 pour la phase de récupération.

Une efflorescence toxique apparaissant dans un contexte de contamination métallique plus ou moins chronique, il était intéressant de tester expérimentalement l'effet conjoint métal/algue toxique sur la palourde. Cette expérience, complexe dans sa réalisation, a montré que les stress n'avaient pas la même dynamique. Le cadmium reste dans les organes (transfert des branchies vers la glande digestive, stimulation des défenses protéiques (métallothionéines) même après dépuración, là où les toxines (spiroïdes) retrouvent les valeurs plus faibles voire initiales (**Tableau 3**). Les marqueurs génétiques paraissent largement réactifs à cette double contamination alors que le système immunitaire réagit assez modestement, et uniquement en fin de phase de dépuración.

Tableau 3 : Toxicité en µg/kg de glande digestive (GD) des deux types de toxines (SPX) retrouvés dans les palourdes en fonction des conditions et des temps de prélèvements. Chez les individus témoin la concentration en spiroïdes est en deçà des limites de détection. En revanche, chez les organismes exposés à l'algue toxique *Alexandrium ostenfeldii* on note une présence significative de spiroïdes (SPX). Après 10 jours de décontamination (T14) les concentrations de spiroïdes ont significativement diminué dans les glandes digestives des palourdes.

		Toxicité en µg/kg de GD	
		SPX13,desmethyl-C	SPX13,19-didesmethyl-C
		Moyenne ± ES	Moyenne ± ES
T4	Témoin	<LD	<LD
	Contaminé	530 ± 320	350 ± 110
T14	Témoin	<LD	<LD
	Contaminé	120 ± 40	90 ± 30

Limite de détection (LD) = 5 µg/kg de GD

3 La vision du Comité des Pêches

Cinquante-sept licences de pêche permettant d'exploiter les palourdes dans le bassin d'Arcachon sont délivrées chaque année par le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins d'Aquitaine (CRPMEM Aquitaine), en partenariat étroit avec le Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de la Gironde (CDPMEM 33). Cette pêche concerne une centaine de marins-pêcheurs (jusqu'à deux pêcheurs par licence). Les palourdes représentent le second tonnage débarqué par les navires de pêche intra-bassin en 2011, avec 613 043 kg déclarés (Source : Base Pêche Aquitaine du CRPMEM Aquitaine). Elles sont pêchées à marée basse sur l'estran : il s'agit de pêche à pied.

La palourde japonaise est donc une ressource halieutique de première importance pour les navires de pêche du bassin d'Arcachon. Les pêcheurs professionnels ont d'ailleurs mis en place depuis de nombreuses années des mesures de gestion et une coopération avec les organismes scientifiques compétents, principalement le laboratoire EPOC (Université Bordeaux 1-CNRS) et le LRHA Ifremer.

Les travaux de REPAMEP ont permis de poursuivre et renforcer cette dynamique qui rassemble professionnels et scientifiques autour de la connaissance sur la palourde du bassin, au travers des actions suivantes.

3.1 Suivi des résultats scientifiques de REPAMEP

L'acquisition de ces connaissances est un atout pour le CDPMEM 33 et le CRPMEM Aquitaine, car ce sont des éléments indispensables pour mieux comprendre la dynamique du stock de palourdes dans le Bassin. De ce fait, avec l'accompagnement des structures scientifiques compétentes, ces connaissances ne peuvent que nous aider à améliorer la gestion de cette pêcherie.

Le suivi des résultats scientifiques par le CDPMEM 33 et le CRPMEM Aquitaine au travers d'échanges individuels ou lors de réunions de restitution, a porté en particulier sur les thématiques suivantes:

- avancée des connaissances sur les pathologies de la palourde du Bassin d'Arcachon (maladie du muscle marron, perkinsose);
- état des lieux des contaminations métalliques des palourdes dans le bassin d'Arcachon ;
- travaux sur *Alexandrium* et ses incidences sur la santé des palourdes ;
- travaux de microbiologie sur les communautés bactériennes associées aux palourdes.

3.2 Apports des travaux de REPAMEP pour les structures professionnelles

A l'heure où l'on se tourne de plus en plus vers une gestion écosystémique des pêches, et où de nouveaux outils de gouvernance comme le projet de « parc naturel marin du bassin d'Arcachon et son ouvert » sont en réflexion sur le territoire, des projets transdisciplinaires et d'approche intégrative comme REPAMEP nous sont essentiels. Ils nous aident à faire comprendre que la problématique « pêche » est bien plus complexe qu'une simple interaction entre une population halieutique et des prélèvements par la pêche. Il y a encore beaucoup de chemin à parcourir pour appréhender l'ensemble des facteurs impactant les populations halieutiques, et pour les intégrer dans la gestion des pêches.

Une restitution du programme aux professionnels est prévue, et sera organisée courant 2013. Elle permettra de porter à connaissance des pêcheurs de palourdes les résultats des travaux scientifiques qui peuvent répondre à leurs préoccupations (adaptation du contenu et du rendu aux problématiques concrètes rencontrées par les professionnels).

3.2.1 Renforcement des relations entre laboratoires scientifiques et structures professionnelles sur le bassin d'Arcachon

Certains partenariats ont pu être développés par le biais de REPAMEP, rapprochant ainsi les acteurs économiques et ceux de la recherche.

A titre d'exemple, le CDPMEM 33 a apporté son support technique dans le cadre des travaux sur les interactions entre palourdes et communautés bactériennes (Cf. 3.3.1), en mettant en relation le laboratoire EPOC et un établissement professionnel de purification des palourdes (société CODIMER) susceptible de disposer des infrastructures nécessaires pour le bon déroulement de l'expérimentation.

Ce type d'interactions concrètes a aussi été bénéfique pour le CDPMEM 33 : le laboratoire EPOC a pu prêter une benne Van Veen au CDPMEM 33 pour la réalisation de prélèvements

dans le cadre de la campagne d'évaluation du stock de palourdes menée par le CDPMEM 33 en 2012.

3.2.2 Valorisation des travaux sur les pathologies et partenariats de travail

Concernant l'avancée des travaux sur la BMD : le laboratoire EPOC a participé à la campagne d'évaluation du stock de palourdes menée par le CDPMEM 33 en 2010 et en 2012. La collaboration a été bénéfique pour les deux structures, en particulier en 2012 : le laboratoire EPOC a fourni des moyens humains pour aider à la réalisation de la campagne et au traitement des résultats (présence à bord lors des prélèvements pour garantir le respect du protocole, comptage et mesure des palourdes prélevées, identification des palourdes atteintes de BMD, constitution du fichier de données) ; le CDPMEM 33 a donné accès à ces données au laboratoire EPOC pour enrichir les informations sur la prévalence de la BMD dans le Bassin.

En 2013, les pêcheurs professionnels de palourde souhaitent mettre en place une opération « test » de transplantation de palourdes au sein du bassin d'Arcachon : des palourdes seront prélevées dans le Sud-est du Bassin, et ressemées dans une réserve de pêche située au Nord-ouest. Lors du montage de l'opération, une question importante s'est posée : existe-t-il un risque de disséminer des pathologies dans le Bassin par le biais de cette opération de transplantation ? Grâce à la dynamique de travail entre les partenaires de REPAMEP et aux connaissances acquises lors du projet, le CDPMEM 33 a pu avoir une réponse rapide du laboratoire EPOC. Les pêcheurs professionnels ont pu poursuivre leurs réflexions sur le projet de transplantation, en disposant de connaissances récentes sur la répartition des pathologies intra-bassin.

4 Valorisation pédagogique

VALORISATION ET CONCERTATION MUTUALISEES (EPOC - CDPMEM 33 – CRPMEM Aquitaine)

- Présentation du projet aux professionnels et au CDPMEM 33 (anciennement CLPMEM Arcachon) : le 13 décembre 2010 ;
- Association du laboratoire EPOC à toutes les réflexions du CDPMEM 33 et du CRPMEM Aquitaine sur la palourde japonaise, et en particulier :
 - Commission palourdes du CDPMEM 33 le 16/02/2012 : Présentation des derniers travaux scientifiques sur la palourde, par le laboratoire EPOC (en particulier BMD). Echanges avec les professionnels sur cette thématique.
 - Groupe de travail Palourdes du CDPMEM 33 : 09/10/2012, Participation du laboratoire EPOC aux discussions de ce groupe de travail, en particulier sur l'organisation et le suivi de la campagne d'évaluation du stock de palourdes réalisée en 2012
- A venir : restitution des travaux de REPAMEP aux pêcheurs professionnels de palourdes.
- Le poster de présentation du projet Liteau 3 REPAMEP a également été valorisé par le CRPMEM Aquitaine lors du Colloque national de l'Agence des Aires Marines Protégées (15 au 17 novembre 2010).

THESES

Biniac C (prévue fin 2013) Caractérisation de l'agent infectieux et épidémiologie de la Maladie du Muscle Marron, une pathologie émergente de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*.

- Do T (2012) Evaluation et santé des herbiers à *Zostera noltii* dans le Bassin d'Arcachon à travers la dynamique de la macrofaune associée. Thèse Université Bordeaux 1
- Lassudrie M. (2011-2014) Impact couplé de microalgues toxiques et des pathogènes sur les réponses physiologiques de mollusques bivalves. Ecole Doctorale Mer et sante, Brest.
- Lelong A. (2009-2011) Ecophysiologie de la diatomée toxique *Pseudo-nitzschia* sp. et interactions avec les eucaryotes et procaryotes sympatriques. Ecole Doctorale Mer et sante, Brest.
- Medhioub W. (soutenance le 9/05/2011) : Etude des mécanismes de contamination des mollusques bivalves par des neurotoxines à action rapide (FAT) & développement de procédés de détoxification
- Meisterhans G (2012) Dynamique de la structure génétique des communautés procaryotes en zone benthique côtière: caractérisation de la microflore des sédiments et des bivalves fouisseurs par empreintes moléculaires. Thèse Université Bordeaux 1.

DEVENIR DES DOCTEURS

- Meisterhans G est en post doctorat depuis mars 2012 pour 2 ans au Department Fisheries and Oceans Canada, Freshwater Institute, Winnipeg, sous la direction de Christine MICHEL.
- Do, V.T. est en poste à l'Université d'Hanoï, Vietnam

RAPPORTS UNIVERSITAIRES

- Abraham J (2012) Etude expérimentale des effets combinant Cd et algues toxiques (*Alexandrium ostenfeldii*) sur la palourde japonaise. Master STEE FDEA, 2^{ème} année, Université Bordeaux 1
- Binias C (2010) Etude zooépidémiologique d'une maladie de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* dans le Bassin d'Arcachon: la perkinsose. Master Sciences et Technologie, 2ème année Université Bordeaux 1
- Binias C (2010) Etude zooépidémiologique d'une maladie de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* dans le Bassin d'Arcachon: la perkinsose. Master Sciences et Technologie, 2ème année Université Bordeaux 1
- Bunel M. (2011). Etude de l'impact d'une efflorescence d'*Alexandrium ostenfeldii* sur l'activité des enzymes digestives de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*. Master 1 SBM, Brest, 2011.
- Dranguet P (2011) Bioaccumulation des métaux et réponse des métallothionéines chez la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* provenant du Bassin d'Arcachon. Master STEE Ecologie, 1^{ère} année, Université Bordeaux 1
- Girault H (2011) Caractérisation des communautés bactériennes associées à la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*. Master 2 Professionnel Diagnostic Microbiologique – Approches Innovantes, Université Toulouse 3.
- Henry N. (2011) Etude de l'impact d'une efflorescence d'*Alexandrium ostenfeldii* sur les tissus de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*. Master 1 SBM, Brest, 2011.
- Lassudrie M. (2011) Réponse Moléculaire de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* lors d'une exposition à la micro-algue Toxique *Alexandrium ostenfeldii*. Master 2 SBM, Brest.
- Le Croizier G. (2010). Etude de l'enfouissement de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* en fonction de certains facteurs de stress environnementaux. Master 1 SBM, Brest, 2010.
- Louis Dit Trieau C (2010) Etude en laboratoire de la bioaccumulation et des réponses biochimiques chez la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* exposée au cadmium. Master STEE Ecologie, 1^{ère} année, Université Bordeaux 1
- Nzimandoukou E (2011) Etude expérimentale des concentrations en métallothionéines chez la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* exposée au cadmium. Master STEE Ecologie, 1^{ère} année, Université Bordeaux 1.
- Provost M (2012) Suivi de la perkinsose et de son interaction avec la maladie du muscle marron chez la palourde japonaise dans le Bassin d'Arcachon. Master Sciences et Technique Terre Planète et Environnement, 2ème année Université de Nantes:24
- Richard G. (2012) Impact de l'exposition à *Alexandrium ostenfeldii* couplé à l'infection parasitaire par *Perkinsus olseni* sur les enzymes du système anti-oxydant de la palourde japonaise, *Ruditapes philippinarum*. Master 2 Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse, Brest.
- Rocher C (2011) Etude expérimentale de la bioaccumulation et du comportement valvaire chez la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* exposée au cadmium. Master STEE Ecologie, 1^{ère} année, Université Bordeaux 1.