11 - PATHOLOGIE DES MOLLUSQUES BIVALVES ET PROTECTION DES CHEPTELS COQUILLIERS

Henri Grizel

"On ne peut passer sous silence, bien qu'on n'en connaisse pas les causes, la mortalité de 1920-22. Seules les huîtres plates furent atteintes sur les côtes occidentales d'Europe. De très grandes quantités périrent, sur les bancs et dans les parcs".
Ranson, G. 1951 - Les huîtres - biologie et culture.

"Nous n'avons pas à nous préoccuper d'évènements banaux qui arriveront certainement mais, même s'il est peu probable qu'une catastrophe se produise, sa probabilité doit retenir notre attention".
S. Makarov - Revue internationale du travail, 6 : 124.

1. Introduction

Les élevages conchylicoles présentent des particularités dont certaines sont déterminantes dans le déclenchement et la propagation des maladies infectieuses comme non infectieuses.

Pathologiste à l'IFREMER, Henri Grizel s'est consacré à l'étude des maladies des mollusques bivalves, notamment à celles qui ont décimé le cheptel français d'huître plate. Il s'est intéressé à la conception de stratégies prophylactiques adaptées aux particularités des élevages de mollusques en milieu marin. Il dirige le Laboratoire de pathologie et de génétique des invertébrés marins, créé à son instigation à la Tremblade (France) en 1986. Henri Grizel a soutenu auprès de l'Université de Montpellier une thèse de Doctorat ès sciences sur l'"Etude des récentes épizooties de l'huître plate, *Ostrea edulis*, et de leur impact sur l'ostréiculture bretonne".

A l'exception de quelques espèces, telle la palourde des Philippines (*Ruditapes philippinarum)* dont l'élevage dépend de la production artificielle de juvéniles, les différents systèmes d'élevage conchylicole reposent encore essentiellement dans les principaux pays producteurs (Corée, Espagne, France, Hollande, Japon, Etats-Unis, ...), sur le captage de juvéniles sauvages (naissain) à l'aide de collecteurs appropriés posés dans le milieu naturel. En Europe, cette possibilité avait été comprise, dès la fin du XIXème siècle, par Coste, qui avait préconisé la création et la protection de gisements de reproducteurs, afin d'assurer une collecte suffisante et régulière de naissain d'huître. La sédentarité des adultes a ainsi permis de créer des bancs d'huîtres autour desquels ont prospéré des centres de production ostréicole. Cette même sédentarité a grandement facilité le développement de la conchyliculture, en permettant un élevage privé sur des concessions délimitées, attribuées par l'administration aux conchyliculteurs sur le domaine public maritime (DPM).

Une autre caractéristique des bivalves est leur alimentation naturelle par filtration. Pour toutes les phases d'élevage se déroulant en milieu ouvert, les bivalves se nourissent de matière vivante (phytoplancton et bactéries) et inerte, sous forme figurée ou dissoute. Ainsi qualifie-t-on parfois la conchyliculture "d'aquaculture de transformation", par opposition aux "aquacultures de production" qui reposent sur un apport direct de nourriture de la part des éleveurs. Si la présence de géniteurs est nécessaire au captage des juvéniles, l'élevage ou l'affinage des produits peuvent se dérouler sur d'autres sites qui, par leurs caractéristiques écologiques, permettent d'obtenir une meilleure croissance et/ou une bonne qualité de chair. Cette observation ancienne avait été mise en pratique par le romain Sergius Orata (*in* Pline), qui avait observé que des huîtres transférées dans le lac Lucrin (Italie) acquéraient une saveur particulière. Ces caractéristiques biologiques des bivalves ont permis l'extension des élevages le long du littoral, en zone intertidale ou sublittorale, dans les rivières et les étangs. Ainsi la simplicité technique de l'aquaculture extensive a contribué à faire de la conchyliculture un mode majeur d'exploitation des ressources vivantes de la mer (tabl. 11.1).

Cependant les avantages que présentent pour l'élevage la sédentarité et l'alimentation par filtration des mollusques s'accompagnent d'inconvénients qui peuvent devenir sérieux lorsque la production s'intensifie. La production de nourriture naturelle est limitée dans le temps et l'espace ; elle n'est pas non plus répartie uniformément dans l'eau circulant sur les concessions. Les élevages dépendent donc directement de la

Tableau 11.1 - Production nationale de certains pays producteurs de mollusques en 1983 (d'après Troadec 1985).

Production (tonnes de poids vivant)		Canada	France	Allemagne	Italie	Japon	GB	USA	Total
Huîtres	pêchées	-	-	-	5 000	-	-	121 600	121 600
	cultivées	3 400	110 000	600	400	250 000	600	125 000	490 000
Moules	pêchées	-	10 000	16 000	-	-	5 200	14 500	45 700
	cultivées	900	42 000	16 000	100 000	-	800	1 500	161 200
Coquilles St Jacques	pêchées	-	12 200	-	-	100 000	7 800	185 000	305 000
	cultivées	-	300	-	200	300	-	4 300	5100
Valeur (millions $ US)		2.8	127	2.8	53	632	1	273	1 091.6
Emploi	temps plein et partiel	2 300	40 000	600	5 500	167 000	700	4 000	220 100
Potentiel (estimations)	huîtres	175 000	50 000	15 000	30 000	30 000	15 000	-	315 000
	moules	12 000	100 000	15 000	40 000	30 000	15 000	10 000	222 000

productivité des écosystèmes naturels (chapitre 7). Par ailleurs, les activités humaines qui se sont intensifiées et diversifiées au cours des dernières décennies, tant directement sur le littoral que dans les bassins versants, soumettent les élevages, localisés dans la frange littorale, à des pollutions d'origine diverse (chapitre 12). Celles-ci peuvent altérer le recrutement et la croissance, causer des mortalités anormales (maladies non infectieuses), et nuire à la qualité sanitaire ou gustative des produits. Ainsi, sous l'effet combiné de l'intensification de la production, des transferts de cheptels entre bassins d'élevage et de facteurs exogènes induits par des activités antagonistes, sont apparues des maladies, infectieuses et non infectieuses qui, dans les différents pays producteurs, ont sérieusement perturbé, à un moment ou un autre de leur histoire, les élevages de mollusques.

Ce chapitre porte uniquement sur les maladies infectieuses qui constituent aujourd'hui l'aléa majeur de la conchyliculture, tant par leur virulence que du fait de l'insuffisance des moyens de lutte disponibles. L'analyse épidémiologique repose pour l'essentiel sur l'exemple de la conchyliculture française. Mais les conclusions que l'on

peut en tirer sont de portée générale. Sont ensuite abordés les moyens de lutte thérapeutique et prophylactique. Cet examen met en relief les particularités des épizooties chez les mollusques bivalves et les contraintes qu'imposent à la lutte contre les maladies l'élevage en milieu ouvert et fluide, les pratiques culturales et les habitudes de consommation des produits à l'état vivant. Cet examen permet de proposer des stratégies de gestion sanitaire des cheptels adaptées aux particularités des élevages. Le chapitre se termine par une discussion sur la contribution que la recherche est susceptible d'apporter au progrès du secteur, pour une lutte plus efficace contre les épizooties.

2. Histoire des maladies

2.1. Impact économique des maladies

Malgré la multiplication des maladies à partir des années 50 dans les principaux pays producteurs, les évaluations de leur coût restent peu nombreuses. Cette situation tient à la difficulté d'obtenir des statistiques de production fiables de la part des conchyliculteurs et des pêcheurs, et au fait que peu d'économistes se sont encore intéressés aux termes de l'optimisation du secteur.

Malgré leurs insuffisances, les données disponibles révèlent la gravité des impacts des épizooties sur l'économie conchylicole. Ainsi, au Canada, lors de la maladie de Malpèque, la production de la région du Queens est passée, entre 1934 et 1940, de 9 000 barils à seulement quelques-uns. Consécutivement à l'épizootie à *Minchinia nelsoni*, la production huîtrière de Virginie est tombée de 3,5 millions de boisseaux en 1954, à 895 boisseaux en 1975 (Haven *et al* 1978). Suite à deux viroses successives, apparues à la fin des années 60, l'élevage d'huître portugaise (*Crassostrea angulata*) a disparu des côtes françaises, pour être remplacé par celui de l'huître japonaise (*Crassostrea gigas*). La production annuelle, qui atteignait environ 60 000 tonnes avant 1967, a été réduite à néant après 1972 (fig. 7.1, chapitre 7) ; les pertes estimées pour la période de fortes mortalités ont été de l'ordre de 60 millions de F.F.

L'impact des deux protozooses qui affectent, en Bretagne (France), les élevages d'huître plate (*Ostrea edulis*) (Meuriot et Grizel 1984) a été évalué. A partir de plusieurs hypothèses relatives à la production antérieure à l'apparition des épizooties, ces auteurs évaluent la réduction du chiffre d'affaire des entreprises ostréicoles bretonnes à 1,6 milliard de F.F (1983) pour la période de 1974 à 1982, soit une

diminution annuelle de 175 millions de F.F (1983). Au niveau de la région, la perte directe de richesse, calculée sur la base de la valeur ajoutée, a été pour la même période de 1,3 milliard de F.F (1983). Les emplois directs, à temps plein et saisonnier, créés par l'ostréiculture ont également diminué dans les quatre départements bretons. Cet impact économique, auquel il conviendrait d'ajouter les effets induits sur les activités amont et aval, a entraîné des modifications dans les pratiques et les techniques culturales et des changements structurels au niveau des entreprises : déplacement des élevages vers des zones plus profondes, remplacement de l'huître plate par l'huître creuse sur les parcs de la zone intertidale, diminution du nombre d'entreprises accompagnée d'un accroissement de certaines d'entre elles, et implantation d'ostréiculteurs allochtones (Grizel 1983).

Ces exemples montrent la grande vulnérabilité de la conchyliculture aux épizooties. Le risque encouru par les entreprises est encore accru par la pratique fréquente du mono-élevage : si, en France, une maladie épizootique venait, à l'image de celle qui a décimé le cheptel d'huître portugaise à la fin des années 60, frapper celui d'huître japonaise qui l'a remplacé, les pertes pourraient atteindre 140 000 tonnes, soit un chiffre d'affaires annuel, au niveau de la production, de 1,3 milliard de F.F. (sur la base d'un prix moyen de 9 F.F./kg). Plusieurs milliers d'entreprises et 20 000 emplois seraient menacés de disparition (Bonnet et Troadec 1985).

2.2. Les principales épizooties : leurs causes

La pathologie infectieuse des mollusques marins est relativement récente. Les premières observations de maladies attribuables à un agent pathogène datent de 1950, lors de la mise en évidence du rôle de *Perkinsus marinus* dans les graves mortalités d'huîtres survenues aux Etats-Unis (Mackin 1951). Cependant la tradition orale et des documents plus anciens révèlent que des épizooties importantes se sont produites antérieurement dans plusieurs pays. Parmi les plus célèbres, on peut citer, au Canada la maladie de Malpèque (Needler and Logie 1947), en Europe l'épizootie de 1920 à 1927 (Orton 1924a et b) et, au Japon, à partir de 1945, les mortalités de la baie d'Hiroshima. Dans ces trois exemples, aucun agent infectieux n'a été diagnostiqué, bien que Takeuchi *et al.* (1960) aient suspecté l'action d'un bacille (*Achromobacter*) chez l'huître japonaise, et que Rosenfield (1969) ait envisagé une étiologie virale pour expliquer la maladie de Malpèque.

Depuis, différentes maladies épizootiques ont été rapportées et étudiées dans divers pays. A ce jour, les plus sévères sont dues à des protozoaires du groupe des *Ascetospora*, qui comprend les haplosporidioses, les marteilioses et les bonamioses. Il faut y ajouter les perkinsioses, dont la classification parmi les protozoaires est

controversée, et mentionner les viroses, notamment les iridoviroses, qui ont affecté l'huître portugaise (Comps 1983).

Les facteurs qui déterminent l'expression d'un agent pathogène restent mal connus ; les connaissances scientifiques disponibles ne permettent d'ailleurs pas encore de décrire de façon satisfaisante l'apparition d'une nouvelle maladie. Si des hypothèses peuvent être avancées, de nombreuses questions restent à élucider.

A cet égard, l'exemple des maladies à *Iridovirus*, qui ont affecté en France les élevages d'huître portugaise, est instructif. La chronologie des faits connus révèle l'établissement progressif d'une situation épizootique caractérisée, de 1967 à 1972, par une première affection virale provoquant des lésions branchiales, suivie, au cours des années 1971 et 1972, d'une deuxième affection foudroyante, qui a décimé le cheptel des côtes atlantiques. Pendant cette période, trois évènements se sont produits, sans que leur séquence exacte soit connue de manière précise, et que l'on puisse établir avec certitude leur rôle respectif. Il y a eu importation d'huîtres portugaises en provenance directe du Portugal où cette maladie est signalée depuis 1967, introduction frauduleuse par un ou plusieurs producteurs français d'huîtres japonaises en provenance du Japon - la date de ces introductions, bien que difficile à déterminer du fait du caractère furtif des importations, se situerait en 1966- et affaiblissement progressif du cheptel par surcharge des bassins (chapitre 7). Cet ensemble de faits permet de formuler trois hypothèses sur l'origine de la maladie :

- le foyer de ces viroses était au Portugal et les introductions sont la cause du déclenchement de la maladie ;

- les agents pathogènes étaient des virus exotiques introduits avec l'huître japonaise, hôte porteur sain ;

- ces virus étaient déjà présents à l'état latent dans les stocks indigènes d'huître portugaise ou dans le milieu, mais la maladie ne s'est exprimée qu'après l'affaiblissement du cheptel consécutivement aux surcharges des bassins ;

hypothèses auxquelles il faut ajouter celle d'un effet synergique des causes précédentes.

Des observations plus récentes (Bougrier *et al.* 1986), réalisées au cours d'essais d'hybridation entre huîtres japonaise et portugaise, permettent de rejeter certaines de ces hypothèses, mais soulèvent d'autres questions. Des géniteurs d'huître portugaise importés directement du Portugal ont été utilisés pour les croisements indiqués ci-dessus, et les juvéniles issus des quatre combinaisons possibles ont été mis en élevage dans la baie de Morlaix et dans la rivière de la Trinité-sur-Mer (France). Lors de l'épizootie de l'huître portugaise, ces deux sites n'étaient pas des centres d'élevage de

cette espèce. Par contre, les parcs de la baie de Morlaix ont été ensemencés, à partir de 1975, pour partie en huître japonaise, alors que ceux de la rivière de la Trinité-sur-Mer ne l'étaient que très peu. Or, les lots d'huître portugaise sur lesquels ont porté les expériences d'hybridation ont présenté en baie de Morlaix des taux élevés d'infection par *Iridovirus* et ont subi des mortalités importantes. Par contre, les lots mis en élevage à la Trinité-sur-Mer à la même époque ne subirent pas de mortalités anormales, bien que la présence d'*Iridovirus* ait été diagnostiquée. Dans ces deux rivières, les performances de croissance de l'huître portugaise ont été tout à fait comparables à celles observées avant l'apparition des viroses.

La confrontation de ces observations conduit :

- à examiner l'hypothèse de la transmission verticale de la maladie, les géniteurs étant porteurs du virus qui serait transmis via les ovules ;

- à rejeter l'hypothèse de l'affaiblissement du stock, les surcharges ayant pu favoriser la propagation de la maladie sans en être le facteur causal ;

- à renforcer l'hypothèse du rôle de l'huître japonaise comme hôte porteur sain, la maladie s'étant exprimée rapidement et de manière intense (60% de mortalité avant retrait des huîtres) dans la rivière où un cheptel important d'huître japonaise était présent.

Ainsi les importations d'huître japonaise, si elles ont fourni une solution pratique à l'épizootie de l'huître portugaise, auraient pu en être aussi la cause majeure.

Dans certains cas, la création d'un foyer infectieux pourrait être aussi provoquée par l'introduction d'une espèce particulièrement sensible. C'est ce que montre l'introduction en France de l'huître de Nouvelle-Zélande *(Ostrea angasi)* (Bougrier *et al.* 1986). Ce test d'acclimatation, effectué à partir d'une première génération produite en écloserie, s'est traduit, après quelques mois d'élevage, par des mortalités élevées et la présence d'*Haplosporidium armoricanum* à de fortes prévalences. Ce parasite, qui n'est que très occasionnellement diagnostiqué chez l'huître plate, a trouvé chez *O. angasi* un hôte particulièrement vulnérable.

Par contre, les facteurs de propagation d'une maladie à partir d'une source infectieuse, soit à l'intérieur d'un pays, soit entre des pays différents, sont mieux connus. Ils ont été analysés pour les deux maladies de l'huître plate causées par les protozoaires *Marteilia refringens* et *Bonamia ostreae* (Grizel 1985). L'exploitation par les mêmes entreprises de concessions situées dans des bassins différents, le rassemblement des coquillages pour l'expédition, l'espoir non fondé d'obtenir une régression de la maladie par transfert de cheptels d'un site à un autre, le mythe de la qualité supérieure de

souches étrangères, les opérations commerciales, ..., sont autant de causes structurelles et conjoncturelles qui, par le biais de transferts, contribuent à la propagation des maladies. Cette responsabilité des transferts dans la propagation des maladies est confirmée par la chronologie d'apparition de la bonamiose dans les différents pays et la démonstration, faite par Elston *et al.* (1988), que les cellules initialement observées par Katkansky *et al.* (1973) sur le cheptel américain d'huître plate étaient assimilables à *B. ostreae.* Ces observations sont encore confortées par la comparaison sérologique des différentes souches américaines et européennes de *Bonamia*, qui a conclu à leur identité (Mialhe *et al.* 1988).

Ainsi, la protection des cheptels coquilliers de chaque bassin dépend de la mise en oeuvre d'un schéma de prévention sanitaire adapté, basé sur l'application effective de réglementations visant à contrôler les introductions de coquillages en provenance de l'étranger, mais aussi les transferts entre les bassins conchylicoles d'un même pays.

Ce besoin est renforcé par les risques additionnels liés aux introductions d'espèces étrangères, qui peuvent modifier les communautés indigènes. Ainsi, au cours d'une étude réalisée en baie de Bourgneuf (France), Gruet *et al.* (1976) ont identifié plusieurs espèces nouvelles (*Hydroides ezoensis, Apitasia pulchella, Anomia chinensis, Balanus amphitrite)*, vraisemblablement introduites avec les collecteurs lors des importations massives d'huître japonaise. Si le développement de ces espèces n'a pas eu, dans ce site, de répercussions notoires sur les élevages conchylicoles, il n'en est pas de même dans l'étang de Thau (France), où les importations de l'huître japonaise se sont accompagnées de l'implantation de plusieurs algues (*Laminaria japonica, Undaria pinnatifida* et *Sargassum muticum*) (Perez *et al.* 1984). Cette dernière entraîne maintenant une gène pour les élevages et, parfois aussi, pour la navigation.

3. Les maladies infectieuses

La présence d'agents pathogènes dans l'environnement ne suffit pas pour qu'une maladie se déclenche chez un hôte. Une pathologie est l'aboutissement d'une rupture d'équilibre entre le potentiel de résistance des sujets et le pouvoir pathogène de différents facteurs d'agression, dont certains peuvent seuls être déterminants (Ravaud 1984). Cette définition recouvre l'essentiel des travaux qu'il convient de conduire pour comprendre l'épidémiologie des maladies et combattre ces dernières. Elle rend compte, en effet, du rôle des agents pathogènes, de celui de l'environnement, des diverses pratiques et zootechniques culturales et, enfin, de la capacité des animaux à réagir à une agression, notamment de leurs mécanismes de défense. L'épidémiologie cherche à déterminer les relations entre les différents facteurs intervenant dans le déclenchement

et la propagation d'une épizootie. La complexité et l'importance des travaux de pathologie des mollusques dépendront de la nature et de la virulence du bio-agresseur étudié, ainsi que de la disponibilité de matériels biologiques et de techniques de laboratoire adaptées à l'expérimentation sur les hôtes à étudier.

3.1. Les principaux bio-agresseurs chez les mollusques

Les agents responsables des principales maladies infectieuses décrites à ce jour appartiennent à différents groupes de microorganismes et de parasites protozoaires et métazoaires. Parmi les différents types de virus rapportés dans la littérature, seule la présence d'*Iridovirus* dans les élevages d'huître portugaise (Comps 1983) et, en écloserie, chez les larves d'huître japonaise (Leibovitz *et al.* 1978, Elston and Wilkinson 1985), a été citée comme responsable de mortalités importantes.

A de rares exceptions près, les bactérioses qui sévissent surtout dans les élevages larvaires n'ont pas été un facteur limitant pour les élevages en milieu ouvert. Toutefois, le recours accru aux écloseries pour la reproduction des coquillages (palourdes, clams, huîtres, coquilles Saint-Jacques) nécessitera rapidement une meilleure maîtrise de ces infections. Elles restent mal connues et ne sont actuellement jugulées que par l'emploi empirique, et souvent abusif, d'antibiotiques.

Le nombre de rickettsioses rapportées dans la littérature a rapidement augmenté ces dernières années, depuis la première description de Harsbarger *et al.* (1977) chez *Mya arenaria*. Le tableau 11.2, établi à partir des données de Kinne (1983), illustre l'importance croissante de ce groupe, dont le rôle dans les mortalités observées chez des populations sauvages de telline, de *Donax* (Comps 1980) et de coquille Saint-Jacques (Le Gall *et al.* 1988, Elston 1986) n'est pas encore clairement établi.

Les protozoaires, en particulier le phylum des *Apicomplexa*, regroupent les agents pathogènes responsables du plus grand nombre d'épizooties. Le caractère endémique de ces protozooses a favorisé leur étude, notamment celle des haplosporidioses, de la marteiliose et de la bonamiose.

Tableau 11.2 - Tableau récapitulatif des cas de rickettsioses chez les mollusques marins.

Espèce	Organe	Rickettsies	Chlamydie	Source
Mytilus edulis		+	+	- Yevich et Barszcz (1980)
Mytilus californianus		+	+	- Yevich et Barszcz (1980)
Crassostrea virginica	glande digestive	+		- Harshbarger *et al.* (1977)
		+		- Otto *et al.* (1979)
		+		- Meyers (1981)
Crassostrea gigas	glande digestive	+		- Comps *et al.* (1977)
				- Comps (1980, 1983)
Crassostrea angulata	glande digestive	+	+	- Comps et Deltreil (1979)
			+	- Comps (1980, 1983)
Ostrea edulis	glande digestive	+		- Comps *et al.* (1979 a)
		+		- Comps (1980, 1983)
Pecten maximus	branchie	+		- Le Gall *et al.* (sous presse)
Placopecten magellanicus	branchie	+		- Marti (1982)
		+		- Gulka *et al.* (1983)
Argopecten irradians	glande digestive		+	- Morrison et Shun (1982)
	rein	+		- Morrison et Shun (1983)
Patinopecten yessoensis	branchie	+		- Elston (1986, a)
Macoma baltica				- Harshbarger *et al.*(1977)
Tagellus sp.				- Harshbarger *et al.* (1977)
Tellina tenuis	glande digestive	+		- Buchanan (1973, 1978, 1979)
Donax trunculus	glande digestive	+		- Comps et Raimbault (1978)
			+	- Comps (1980, 1983)
Ruditapes philippinarum	glande digestive		+	- Comps (1983)
Ruditapes decussatus	glande digestive		+	- Joly et Comps (1980)
		+		- Miahle *et al.* (1986)
Siliqua patula	branchie	+		- Elston et Peacock (1984)
		+		- Elston (1986b)
		+		- Elston *et al.* (1986)
Tapes japonica	branchie	+		- Elston (1986a)
Scrobicularia mercenaria	glande digestive		+	- Comps *et al.* (1979b)
			+	- Comps (1980, 1983)
Mercenaria mercenaria	glande digestive	+	+	- Otto *et al.* (1975)
			+	- Harshbarger *et al.* (1977)
			+	- Otto *et al.* (1979)
			+	- Meyers (1979)
		+	+	- Meyers (1981)
			+	- Page et Cutlid (1982)
Mya arenaria	glande digestive	+		- Harshbarger *et al.* (1977)
		+		- Otto *et al.* (1979)

Les métazoaires parasites, cause de nuisances dans les élevages conchylicoles, sont surtout des copépodes et des trématodes. Le cycle de développement de ces derniers comprend un ou plusieurs hôtes, en plus du mollusque d'élevage.

3.2. Le diagnostic des maladies

Contrairement à la majorité des autres animaux d'élevage, invertébrés et vertébrés, les maladies ne se manifestent pas chez les bivalves par des signes cliniques remarquables. Un déclin ou un arrêt de croissance peut être la seule manifestation notable : mais ce signe n'est pas spécifique de l'agression. Celle-ci peut être d'origine biologique ou physico-chimique, ou une réponse à un phénomène naturel, tel qu'une variation de la température ou un déficit alimentaire. L'observation macroscopique de l'intérieur des valves et du corps de l'animal permet d'observer des anomalies, également rarement spécifiques d'une infection. De plus, ces signes ne se retrouvent pas systématiquement chez tous les individus infectés. Ils n'ont qu'une signification relative. C'est pourquoi, s'il permet de déceler un mauvais état des cheptels, le suivi des taux de croissance et de mortalité sur les concessions ou des stocks sur les gisements naturels est insuffisant pour déterminer la cause des mortalités. Pour cela, de meilleures techniques de diagnostic sont nécessaires.

Dans le cas des mollusques, les techniques disponibles sont limitées, les plus courantes reposant sur l'histologie et la cytologie qui permettent de déceler la présence de microorganismes, de protozoaires et de métazoaires. Les bactéries peuvent être isolées et identifiées par les techniques classiques de bactériologie, mais il n'existe pas d'outil spécifique adapté à l'identification des souches bactériennes marines et à la détermination de la (ou des) souche(s) réellement pathogène(s) parmi les nombreuses populations identifiées. Les techniques de culture sur milieux appropriés sont utilisables pour le diagnostic de mycoses, ou de parasites du genre *Perkinsus*. Par ailleurs, les techniques d'ultracentrifugation permettent d'effectuer des recherches aveugles de virus, mais ces procédés sont lourds et onéreux, et leurs résultats aléatoires, notamment pour de faibles taux d'infection. Pour autant, ces procédés ne doivent pas être négligés du fait de l'absence de lignées cellulaires établies chez les mollusques marins, outil fréquemment employé en virologie. Enfin, il faut mentionner la mise au point récente d'un test ELISA[1], suite à l'obtention d'anticorps monoclonaux spécifiques de *B. ostreae* (Boulo *et al.* 1988). L'étude clinique a révélé une meilleure sensibilité de cette méthode, surtout dans les cas de faibles infections, abaissant ainsi le seuil de détection pour un coût d'analyse comparable à la technique de frottis (Boulo 1989).

1 ELISA (pour Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) : méthode de diagnostic utilisant des anticorps polyclonaux ou monoclonaux marqués avec un enzyme.

L'absence, chez les mollusques, de signes cliniques spécifiques et les difficultés inhérentes aux techniques de mise en évidence d'un parasite lorsque les infections sont natives, impliquent que, si l'on veut obtenir la signification voulue, les contrôles zoosanitaires portent sur des échantillons importants. Ceux-ci seront d'autant plus grands que le seuil désiré de détection de la prévalence d'une maladie sera bas (fig. 11.1). La réduction du travail d'échantillonnage nécessaire aux contrôles zoosanitaires dépend, au delà du recours à des plans d'échantillonnage appropriés, de l'amélioration qualitative et quantitative des techniques de diagnostic.

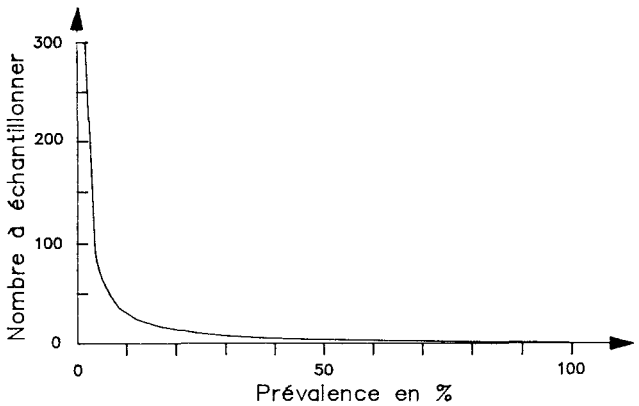

Figure 11.1 - Intensité d'échantillonnage (en nombre d'individus à échantillonner pour une probabilité de 95% de prélever un individu parasité) en fonction de la prévalence (en %) (d'après J.Mazurié 1987).

3.3. Aspects épidémiologiques

L'épidémiologie, qu'elle soit descriptive ou analytique, constitue la meilleure méthode d'acquisition des informations nécessaires au diagnostic des agents causaux, comme de formulation de propositions sur les mesures susceptibles de circonscrire et de faire régresser l'épidémie. Quatre ensembles de facteurs interviennent dans le développement d'une maladie : indépendamment des capacités réactionnelles propres de l'*hôte*, il dépend des *techniques culturales*, ou de modifications d'origine naturelle ou anthropogénique du *milieu*, qui pourront favoriser la pénétration et l'action pathogène d'*agents infectieux*. La connaissance des relations entre ces facteurs est indispensable pour déterminer les mesures de lutte, sachant que leur nature et leur choix sont réduits par les contraintes de l'élevage en milieu ouvert, ainsi que par la biologie et la

morphologie des animaux élevés. C'est pourquoi, indépendamment des difficultés de diagnostic déjà évoquées, le dépistage d'une maladie doit s'appuyer sur un plan d'analyse épidémiologique, destiné à répondre aux questions suivantes : quelle est la répartition géographique de la maladie ? quelle est la période d'infection ? quelle est sa cinétique de propagation ?

Ces questions, qui n'ont rien d'original en pathologie, nécessitent cependant la mise en oeuvre de procédés et de techniques adaptés aux mollusques, notamment pour l'épidémiologie analytique. Les observations spatio-temporelles donnent des clichés successifs de l'évolution de la maladie. La dynamique de cette dernière permet d'émettre, par analogie, des hypothèses sur la nature de l'agent causal. Ces hypothèses peuvent ensuite être vérifiées par des observations complémentaires et des expériences de laboratoire. Ce travail permet simultanément d'informer la profession et l'administration sur la localisation de la maladie, son évolution, sa morbidité et ses taux de mortalité. Les données, sur lesquelles il existe une littérature abondante (Andrews *et al.* 1962, Balouet *et al.* 1979, Comps 1970, Farley 1975, Grizel and Tigé 1982), conduisent à définir des mesures prophylactiques zoosanitaires appropriées. En pratique, lorsqu'il s'agit d'un agent pathogène non recensé, les difficultés se situent, d'un côté, au niveau des connaissances nécessaires à la compréhension du rôle de l'agent pathogène et, de l'autre, au niveau de la capacité de l'administration et de la profession à prendre et à appliquer les mesures préconisées.

Après cette première étape, qui peut être décisive si l'agent infectieux est très virulent, des recherches plus poussées et plus longues peuvent être entreprises pour mettre au point des prophylaxies zootechniques. La connaissance du cycle de développement, en particulier la période d'infection, et la reproduction expérimentale de la maladie ont fait l'objet de travaux qui ont abouti à l'élaboration de modèles expérimentaux spécifiques des mollusques. Ces expériences sont réalisées par l'introduction de coquillages provenant de zones réputées non contaminées dans des secteurs où sévit la maladie. Des infections expérimentales *in situ* ont été ainsi obtenues par Andrews *et al.* (1962) pour *Minchinia costalis*, parasite de l'huître de Virginie (*Crassostrea virginica*). Couch et Rosenfield (1968) ont pu, par des introductions répétées de lots sains, déterminer la période d'apparition des premiers stades de *M. nelsoni* et de *M. costalis*, et préciser le cycle de leur développement. Pour remédier aux inconvénients d'intervalles importants entre les introductions successives, Grizel et Tigé (1979) ont adopté un protocole plus complexe qui leur a permis de démontrer qu'en Bretagne, la période d'infection de l'huître plate par *M. refringens* se limitait à l'été, le seuil inférieur de température se situant autour de 17°C. Des observations effectuées par Comps (1979) en Méditerranée ont confirmé ce résultat. L'utilisation par Tigé et Grizel (1984) du même modèle expérimental a montré que *B. ostreae* était infectieux toute l'année, les symptômes de la maladie étant décelables 3 à 4 mois après l'introduction des huîtres dans une rivière contaminée. Cette durée, plus ou moins longue, de la période d'infection permet, comme dans le cas de la marteiliose,

d'envisager de modifier les cycles de culture, en utilisant de manière différente les concessions en zones contaminées.

La reproduction expérimentale de la maladie en laboratoire est également utile, car elle permet de confirmer le rôle pathogène d'un agent et de déterminer certaines conditions de propagation de l'épizootie. Jusqu'à 1985, les méthodes couramment employées consistaient à mettre des animaux sains en contact avec des animaux malades, soit dans un même bac, soit par l'intermédiaire des effluents de ces derniers, ou à introduire dans les bacs contenant des animaux sains des tissus contaminés ou, encore, à injecter dans les premiers des broyats de tissus contaminés. Ces différentes techniques ont permis de reproduire les maladies à *P. marinus* et à *B. ostreae*, mais leurs rendements restent faibles, surtout pour le deuxième parasite : par la technique d'inoculation, qui s'est avérée être la plus performante, les auteurs (Poder *et al.* 1982) rapportent des pourcentages de réussite compris entre 10 et 35 %.

La mise au point de techniques de purification des agents pathogènes à partir de broyats de coquillages (Mialhe *et al.* 1985, 1988) a permis des progrès significatifs. Outre l'obtention d'anticorps polyclonaux et monoclonaux spécifiques de *B. ostreae*, une approche analytique de la reproduction de la maladie a pu être entreprise. Ainsi, Bigot-Vuillemin (1987) a défini un premier modèle d'étude *in vivo* ; elle a obtenu, pour des doses infectieuses de 200 000 *B. ostreae* par huître, 100% d'infections, quatre mois après l'inoculation. Ce travail a également mis en évidence une relation entre la dose de parasites inoculés et la vitesse de développement de la maladie. L'application de ce protocole à d'autres espèces a montré l'absence de permissivité de coquillages, comme l'huître japonaise ou la palourde des Philippines, élevés à côté d'huîtres plates, démontrant ainsi que ces espèces n'étaient pas des porteurs sains de *B. ostreae*. Ces observations ont été confirmées par des expériences *in vitro* qui ont révélé, chez l'huître japonaise, une phagocytose de *B. ostreae* par les différents types de cellules hémocytaires dans lesquelles le parasite serait lysé (Mourton 1987).

Ces résultats ont donné lieu à des expériences *in situ* d'élevage mixte d'huître plate et d'huître japonaise à différentes densités, dont l'objet était de vérifier l'hypothèse du rôle de compétiteur de l'huître japonaise vis-à-vis de l'huître plate pour *B. ostreae*. Cet exemple, dont on ne connaît pas encore les résultats, montre la complémentarité directe des recherches cognitives et des travaux d'application. Les connaissances sur les mécanismes de défense des mollusques et d'échappement des agents pathogènes sont de nature à ouvrir le champ des investigations, dont les résultats pourraient déboucher sur des applications thérapeutiques et sur l'obtention, par la génétique, de souches résistantes.

Parallèlement aux travaux précédents, l'analyse épidémiologique permet de déterminer les effets des différentes pratiques culturales sur la propagation d'une

épizootie. Elle demande une bonne connaissance des pratiques techniques et zootechniques d'élevage. Comme pour les enquêtes d'épidémiologie descriptive, la reconstitution de l'histoire du cheptel dans un site donné présente un grand intérêt. C'est pourquoi la tenue par les conchyliculteurs de fiches d'élevage par parcs, ou mieux par semis, présenterait le très grand avantage de fournir immédiatement l'information nécessaire aux analyses épidémiologiques. En revanche, leur absence obligera l'expérimentateur à entreprendre des expériences sur un cheptel d'origine connue, selon divers scénarii susceptibles de révéler les facteurs à l'origine de la pathologie à diagnostiquer et à juguler.

De manière plus générale, seront recherchées les relations entre :

- les manifestations de l'épizootie : prévalence, degré d'infection, mortalités ;

- les caractéristiques des cheptels et des organismes cultivés : origine, âge, état physiologique, sexe, ... ;

- les pratiques culturales : élevage à plat (en zone intertidale ou en eau profonde), sur table ou en suspension, densités, cycles d'élevage, ... ;

- les caractéristiques de l'environnement et leurs composantes hydrodynamiques (courants, taux de renouvellement des eaux, ... et, éventuellement, pollutions).

Ces analyses doivent permettre de déterminer si un agent infectieux ou non infectieux (pollutions) est en cause et de le diagnostiquer. Ces analyses épidémiologiques débouchent sur la définition de mesures thérapeutiques ou de stratégies prophylactiques zootechniques, utilisables pour une maladie donnée dans un site déterminé.

4. Les prophylaxies zoosanitaires

Les possibilités de lutte et de prévention des maladies augmentent avec les fonctions biologiques des organismes et les conditions de milieu que les différents modes d'élevage permettent de contrôler. De ce point de vue, les élevages extensifs, parce qu'ils sont circonscrits au contrôle plus ou moins poussé de la reproduction (limité dans le cas de captage naturel, ouvrant l'élevage à la sélection génétique dans le cas de production de naissain en écloserie), et aux manipulations des cheptels selon les pratiques culturales, limitent en conchyliculture les possibilités de lutte contre les maladies. Celles-là sont, cependant, loin d'être négligeables. Mais, de façon générale,

dans les élevages extensifs, les stratégies préventives offrent plus de possibilités que les méthodes curatives.

Chez les vertébrés d'élevage, la prévention des épizooties s'effectue par l'application de normes zootechniques, la mise en oeuvre de plans de contrôle sanitaire s'appuyant sur une réglementation, et des campagnes de vaccination. Chez les invertébrés, en particulier chez les mollusques, les mesures prophylactiques se limitent aux deux premières formes d'action, l'absence de production d'anticorps spécifiques chez ces organismes ne permettant pas d'envisager la production de vaccins.

Pour être efficace, une politique de contrôle sanitaire doit combiner plusieurs composantes : gestion des cheptels par les éleveurs, contrôle zoosanitaire, réglementation. Ces éléments forment un tout, l'absence de l'un pouvant rendre caduc tout le système. Malheureusement, jusqu'à présent, les politiques de protection et de lutte zoosanitaires sont encore peu développées en conchyliculture. Leurs carences sont évidentes, même dans les pays où cette activité représente une composante essentielle du secteur des pêches et des cultures marines.

4.1. Les insuffisances de la réglementation

4.1.1. Au niveau international

Il n'existe pas à ce jour de réglementations internationales s'appliquant aux différentes formes du négoce international des mollusques vivants. Pourtant, le besoin de mesures prophylactiques adaptées à la biologie, aux techniques d'élevage ainsi qu'aux modes de consommation de ces animaux est illustré par les conséquences économiques graves d'importations commerciales mal contrôlées. Ce besoin est renforcé par le développement des écloseries et des nourriceries, qui facilite le transport entre pays de larves et de juvéniles et, au sein de la Communauté Economique Européenne, par l'ouverture des frontières et l'adoption d'une politique de libre échange des produits.

Le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) et la Commission Européenne Consultative pour les Pêches dans les Eaux Intérieures (CEPCI) ont bien publié un code et un guide pratique, applicables aux introductions d'espèces non indigènes et aux transferts de cheptels au sein d'un même pays (ICES 1983). Mais ces dispositions ne répondent qu'en partie aux besoins et n'ont pas un caractère légalement contraignant.

Concernant les essais d'acclimatation d'espèces non indigènes, le CIEM et la CEPCI recommandent que ceux-ci soient uniquement réalisés à partir d'oeufs ou de larves provenant de géniteurs, eux-mêmes élevés dans un secteur sans maladie déclarée, ou encore d'un stock de géniteurs destinés à produire, après passage en station de quarantaine, une première génération (F_1). Seule, cette génération pourra être transférée en milieu ouvert pour les tests d'acclimatation, d'étiologie et de sensibilité à des bio-agresseurs. Du projet d'introduire un stock de géniteurs jusqu'à la décision finale sur la suite à donner aux expériences, des enquêtes épidémiologiques doivent être effectuées aux différents stades de l'élevage. Ces essais doivent être complétés par des études de physiologie au laboratoire.

L'Office International des Epizooties (OIE) prépare un code donnant une liste des maladies réputées contagieuses.

4.1.2. Au niveau national

Les dispositions réglementaires varient beaucoup d'un pays à l'autre. Certains ne disposent pas de législation particulière pour les mollusques d'élevage ou de pêche, qu'ils soient d'origine locale ou qu'ils proviennent d'importations. D'autres ont bien des réglementations, mais celles qui portent explicitement sur la protection des cheptels et le contrôle du risque pour les élevages lié aux importations et aux transferts d'organismes vivants destinés à être réimmergés, sont l'exception. Parce qu'elle prête à des confusions entre produits destinés à la consommation immédiate et animaux d'élevage destinés à être reparqués pour l'élevage ou l'affinage, l'habitude de consommer vivants les coquillages est à l'origine d'un risque particulier de contamination des cheptels aquacoles. Même lorsque les textes se veulent très restrictifs en matière de protection zoosanitaire des cheptels nationaux, l'octroi courant de dérogations pour l'importation de coquillages vivants destinés à la consommation immédiate donne lieu à des reparcages ou des stabulations illicites dans le milieu naturel. Une réglementation et son application qui se veulent efficaces doivent distinguer les deux usages finals. Certaines réglementations ne considèrent que les importations, et non les transferts au sein d'un même pays, d'un bassin à un autre.

Une priorité immédiate porte sur l'établissement de listes de maladies réputées contagieuses. Rares sont, en effet, les législations nationales qui s'appuient sur un inventaire explicite des agents pathogènes. Cette carence laisse les administrations compétentes sans critères clairs de décision. Une réglementation bâtie sur le concept de la maladie conduirait à définir les seuils admissibles de prévalence et, donc, l'effort d'échantillonnage, la fréquence des contrôles, les secteurs géographiques formant une

entité d'élevage à surveiller, les conditions des mouvements de coquillages, les mesures à prendre en cas de diagnostic de maladies, les certificats sanitaires et l'agrément des laboratoires de contrôle.

La puissance publique pourrait, dans le cadre de plans d'aménagement des principaux bassins conchylicoles, inclure dans le cahier des charges des éleveurs l'obligation de tenir des fiches d'élevage par parc et d'adhérer à un plan de prophylaxie, en échange du droit d'usage des concessions qui leur sont accordées sur le domaine public maritime.

4.2. Les carences institutionnelles

Dans la plupart des pays, le diagnostic des épizooties est du ressort d'un ou de plusieurs organismes. Toutefois, les prérogatives des différents départements ministériels (Mer, Agriculture, Santé publique, Répression des fraudes, ...), comme celles des administrations nationales et régionales, ne distinguent pas toujours clairement les tâches de diagnostic, de celles de suivi et de contrôle, ni leur application aux niveaux du milieu, des cheptels, des établissements d'expédition, et des produits de consommation. Il en résulte des procédures souvent compliquées, ce qui ne contribue pas à l'efficacité du contrôle, chaque administration ne disposant que d'une partie de l'histoire antérieure des lots importés.

4.3. Les mesures techniques d'accompagnement

4.3.1. Les destructions de cheptel

Après le constat d'une maladie dans un bassin d'élevage, des mesures curatives et de désinfection peuvent être préconisées pour tenter de réduire les foyers infectieux et de contenir la propagation des agents pathogènes. Dans le cas de la bonamiose, des décisions de destruction totale de cheptels ont été prises en Hollande et en France (Grizel 1985, Van Banning 1987). Cette méthode n'a pas produit de résultats spectaculaires. Elle ne peut cependant pas être négligée, malgré les difficultés opérationnelles qu'elle soulève, notamment en zone sublittorale où il n'est pas possible de draguer la totalité du cheptel. En effet, selon la durée de survie de l'agent pathogène hors de son hôte et, dans les cas où l'agent pathogène passe par plusieurs hôtes et par des phases nageuses intermédiaires, la diminution de la pression parasitaire et de la densité des hôtes réduit la probabilité de rencontre. Mais, chaque maladie constitue un

cas particulier. La possibilité de définir des mesures de lutte efficaces dépend des connaissances disponibles sur la durée de vie de l'agent pathogène, son cycle de développement et la période d'infection.

4.3.2. Désinfection du matériel

La désinfection du matériel (dragues, bateaux, chaînes de tri) peut être envisagée, comme cela a été réalisé en Hollande lorsque des ostréiculteurs ont voulu transférer des équipements d'une zone parasitée par *Bonamia* vers un secteur indemne. De telles mesures, qui sont encore peu courantes en conchyliculture, devraient être systématiquement considérées lors de l'élaboration de plans de gestion zoosanitaire des bassins.

4.3.3. Mesures de compensation

Le recours à des mesures curatives d'éradication est, en conchyliculture, très souvent contrecarré par l'absence de système de compensation des destructions de cheptels, à l'inverse de ce qui est couramment pratiqué pour l'abattage des animaux d'élevage terrestre en cas de maladies déclarables. L'adoption de telles mesures mérite d'être envisagée, car le coût global des dédommagements au niveau d'un bassin serait vraisemblablement inférieur aux pertes que subissent les conchyliculteurs en situation épizootique, et aux différentes aides que l'Etat est amené à leur apporter.

Ces mécanismes compensatoires pourraient être de deux sortes. Le premier pourrait résulter d'une action commune de l'Etat, de compagnies d'assurances et de la profession, pour la création d'une caisse d'assurances mutuelles. Les risques couverts par celle-ci concerneraient les mortalités engendrées par des bio-agresseurs pathogènes. Le deuxième mécanisme, complémentaire, pourrait porter sur une aide financière à des taux d'intérêts préférentiels, destinée à faciliter la relance des entreprises ayant subi des pertes importantes de cheptel. Leur mise en oeuvre se ferait dans le cadre de plans de gestion des principaux bassins conchylicoles.

4.4. Participation de la profession à la gestion zoosanitaire des cheptels coquilliers

L'intérêt d'une gestion zoosanitaire des cheptels est encore insuffisamment apprécié des professionnels. Tous n'ont pas encore conscience des risques qu'ils encourent et qu'ils font courir lorsqu'ils importent ou transfèrent des mollusques vivants destinés à être réimmergés. De nombreuses entreprises pratiquent simultanément l'élevage et la commercialisation. Or, les intérêts de ces deux fonctions vis-à-vis des importations de mollusques divergent. Cela ne facilite pas l'adoption et l'application de mesures de protection sanitaire des cheptels. Une participation plus active et directe des conchyliculteurs à la gestion zoosanitaire des cheptels, comme à leur aménagement (chapitre 7), bassin par bassin, devrait stimuler leur intérêt pour la maîtrise de facteurs dont dépendent les performances économiques de leurs entreprises et la réduction des risques liés aux maladies. Cette maîtrise leur échappe actuellement en grande partie. Cela suppose la mise en place ou le renforcement des compétences de commissions d'aménagement des bassins associant directement éleveurs et autorité publique à la définition et à l'application de schémas d'aménagement spécifiques de chaque bassin (chapitre 15).

De tels schémas existent déjà en pisciculture d'eau douce, où la gestion de l'eau est réalisée par les groupes d'éleveurs opérant sur une même rivière. Ceux-ci établissent des contrats avec l'organisme officiel de contrôle et s'imposent une auto-régulation. La mise en place de telles structures, dans un cadre juridique formalisé, contribuerait à promouvoir l'adhésion et la participation de la profession à la gestion des bassins. Dans chaque bassin ainsi défini, les contrôles zoosanitaires pourraient être effectués par des organismes publics ou, sous la supervision de l'Etat, par la commission d'aménagement auprès de laboratoires officiellement agréés.

5. Traitement des maladies

L'idée d'appliquer des thérapies en conchyliculture peut surprendre : la conduite des élevages dans un milieu dispersif et les surcoûts de manutention, nécessairement élevés si les coquillages doivent être spécialement ramenés à terre en dehors des opérations courantes constituent des contraintes évidentes. Des possibilités existent néanmoins. Elles concernent surtout les phases jeunes, notamment mais pas uniquement, lorsque l'élevage s'effectue en milieu clos et contrôlé.

5.1. Les traitements en écloserie

Les traitements en écloserie sont actuellement appliqués aux larves, sujettes à des viroses ou des bactérioses. Contre ces dernières maladies sont utilisés, de manière souvent empirique tant en ce qui concerne leur choix que les doses, des antibiotiques : chloramphénicol, furazolidone, gentamycine, ... Leur emploi répétitif, sans changement de gamme et systématique à des doses bactériostatiques, accroît le risque d'apparition de souches résistantes. Ainsi certains chercheurs s'interrogent sur les conséquences de l'utilisation non réglementée d'antibiotiques à des doses élevées. En outre, la variété d'antibiotiques actuellement disponibles pour une utilisation dans l'eau de mer est limitée.

C'est pourquoi les mesures zootechniques et prophylactiques restent la meilleure arme. Elles demandent à être améliorées. Seul, le progrès dans la connaissance du rôle des populations bactériennes peut permettre celui des moyens de contrôle préventif des bactérioses.

Les mesures portent sur la gestion des filtres, le contrôle bactériologique permanent des points-clés de l'écloserie et les stratégies de vide sanitaire périodique systématique. Le corollaire de ces mesures est la réalisation de progrès dans la conception des filtres biologiques et dans leur utilisation, sachant qu'ils reposent sur l'équilibre de flores bactériennes dont les rôles, comme celui de la nitrification, sont importants. Ces populations bactériennes peuvent être affectées par l'emploi de bactéricides ou de produits anti-parasitaires (Melard, com. pers.).

5.2. Le traitement des cheptels

Le traitement des cheptels en mer ouverte peut être envisagé dans certaines conditions, notamment en cas d'infection limitée dans le cycle de culture et lorsqu'il peut être appliqué de façon simple, à l'occasion des manutentions normales des coquillages. A ce jour, aucun traitement thérapeutique applicable de façon courante aux mollusques n'est rapporté dans la littérature. Cependant, des travaux récents ont permis de sélectionner une molécule active contre *Mytilicola intestinalis*, parasite du tube digestif de la moule *(Mytilus edulis)*, et de définir une posologie (Blateau, com. pers.). Des essais cliniques conduits sur des cheptels faisant l'objet d'un élevage commercial ont permis de vérifier son efficacité pour des traitements appliqués à des quantités significatives de moules, et la faisabilité technique de ce traitement. Pour évaluer son intérêt économique, il reste à comparer les performances de croissance et de qualité des

lots de moules traitées et non traitées, et l'incidence du traitement sur les performances économiques des élevages. Ces études sont en cours.

6. Les mesures zootechniques

Les pratiques culturales (modes - à plat, en surélevé, en suspension - densités, cycles d'élevage, transferts, ...) sont couramment utilisées pour améliorer les performances économiques des élevages et améliorer la qualité des produits. Elles peuvent ainsi être utilisées dans des stratégies d'élevage qui minimisent la probabilité d'apparition des maladies.

La mise en évidence de relations entre la biomasse en culture au niveau d'un bassin et les taux de croissance et de mortalité des organismes et, donc, la production du cheptel (chapitre 7) démontre l'intérêt, pour améliorer les performances économiques des entreprises, d'une régulation des cheptels au niveau de chaque bassin. Cela implique l'adoption de plans d'aménagement des bassins, destinés à maîtriser les variables de choix qui échappent à l'emprise des entreprises. Lorsqu'un bassin est atteint par une épizootie, de tels plans pourraient être complétés par des mesures zoosanitaires. Les conditions et les cycles de développement étant spécifiques des différents agents pathogènes, les résultats des études d'épidémiologie descriptive et analytique peuvent servir à définir des cycles et des méthodes d'élevage susceptibles de minimiser la pathogénécité des maladies.

Une telle stratégie a été appliquée aux élevages d'huître plate en eau profonde à Cancale et dans la baie de Saint-Brieuc (France), qui avaient été décimés par la bonamiose. Une réduction de la densité des semis de naissain, de 5 t/ha à 2 t/ha, a permis de retrouver des taux de survie comparables à ceux obtenus avant la maladie.

Plus significatif encore a été le remplacement de l'huître portugaise par l'huître japonaise. Le constat d'absence de sensibilité de cette dernière espèce à l'*Iridovirus*, qui avait décimé l'huître portugaise, a conduit au remplacement complet d'une espèce par une autre, par l'importation de géniteurs de Colombie britannique et de naissain du Japon. Ces opérations, qui se sont déroulées en quatre ans (1971-1975), ont permis, au prix de modifications importantes du secteur, la survie de l'ostréiculture française. Dans plusieurs bassins, la substitution s'est même étendue à l'huître plate. Toutefois, de telles substitutions ne sont pas sans danger. On a vu qu'il n'était pas exclu que les importations d'huître japonaise aient contribué à la disparition de l'huître portugaise. Ces substitutions doivent donc garder un caractère exceptionnel et être menées selon

des protocoles qui minimisent les risques liés à l'introduction de maladies et d'espèces allochtones. Cela suppose l'acquisition préalable d'un certain nombre de connaissances, qui n'existaient pas lors de la substitution de l'huître portugaise par la japonaise. Enfin, il faut rappeler que de telles possibilités sont très limitées : les espèces susceptibles de permettre de tels remplacements sont très peu nombreuses, voire inexistantes.

7. Conclusion : la contribution potentielle de la recherche en pathologie des mollusques au progrès de la conchyliculture

L'histoire de la conchyliculture révèle que l'aléa majeur de cette activité reste l'apparition d'épizooties. Or, malgré l'impact économique de ces épizooties, les efforts de recherche restent encore insuffisants, comme le soulignent régulièrement différents organismes internationaux, tels l'Association Européenne de Pathologie des Poissons, le CIEM, ou encore le Groupe "Pathologie de l'aquaculture marine" (PAMAQ).

Par ailleurs, les travaux portent toujours davantage sur la description des évènements que sur la compréhension des phénomènes et le développement des moyens de lutte. Les efforts devraient porter sur :

- les techniques de laboratoire qui font cruellement défaut pour l'étude des maladies de mollusques ;

- la mise au point d'outils de diagnostic indispensables à l'amélioration des contrôles zoosanitaires ;

- l'immunologie, afin de comprendre les relations hôtes-agents pathogènes et de mettre au point des thérapies ou des applications génétiques ;

- la génétique, qui apparaît comme une discipline prometteuse dans la lutte contre les maladies.

7.1. Amélioration des techniques de laboratoire

La pathologie des mollusques, et des invertébrés marins en général, est handicapée par le manque de matériel biologique nécessaire à la conduite des expérimentations. Certains agents pathogènes, tels les *Iridovirus* qui ont eu un effet

foudroyant sur le cheptel, ont disparu avec leurs hôtes, sans que la recherche ait pu se doter de moyens techniques indispensables à leur reproduction *in vitro*. Ce matériel est nécessaire pour pouvoir les caractériser plus précisément et, surtout, étudier leurs mécanismes d'action sur les cellules. Le manque de maîtrise de l'approvisionnement en parasites a pendant longtemps été un frein à l'étude des maladies des vertébrés. La pathologie des invertébrés marins est aujourd'hui confrontée à la même difficulté. D'importants progrès ont été réalisés avec la mise au point de techniques de purification d'agents pathogènes à partir de broyats de tissus (Mialhe *et al.* 1988), mais ces techniques restent lourdes à mettre en oeuvre. La production d'agents pathogènes et la mise au point de méthodes de cryopréservation apparaissent comme une condition de l'avancement des recherches en pathologie des mollusques.

Il en est de même de l'obtention de lignées cellulaires d'invertébrés marins qui font défaut actuellement pour le diagnostic et l'étude des microorganismes cellulaires (virus, rickettsies), mais aussi pour bâtir des modèles immunologiques, ou encore pour développer des tests biologiques et sélectionner des molécules actives.

7.2. Amélioration des diagnostics

Le progrès dans les performances des contrôles sanitaires et l'abaissement de leur coût dépend de la mise au point d'outils de diagnostic fiables, spécifiques, qualitatifs et quantitatifs, destinés aux laboratoires de contrôle. En outre, une simplification des méthodes permettrait aux conchyliculteurs d'assurer eux-mêmes le suivi de leur cheptel. Un premier pas dans ce sens a été franchi avec la mise au point d'un kit ELISA pour la bonamiose. A l'avenir, d'autres agents pathogènes pourront être détectés par cette technique ou par d'autres méthodes, comme les sondes ADN biotinilées qui commencent à être employées avec succès pour les maladies des vertébrés.

7.3. Immunologie

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude des mécanismes de défense des mollusques (Chagot 1989). Ils portent sur la connaissance des cellules effectrices de l'immunité, l'étude des facteurs intervenant dans l'immunité humorale et, enfin, sur les réactions immunitaires. Cependant, si des modèles relatifs à l'immunité anti-infectieuse existent pour les gastéropodes, aucun modèle n'est disponible pour les bivalves.

Grâce aux progrès déjà mentionnés et à la production de primocultures, des modèles *in vitro* et *in vivo* permettent maintenant l'étude des mécanismes d'intervention de l'hémolymphe, totale ou séparée, vis-à-vis d'agents pathogènes spécifiques des mollusques. Ainsi, des différences ont été mises en évidence dans les mécanismes d'entrée de *B. ostreae* dans les hémocytes de l'huître plate et de l'huître japonaise. Une action de ce parasite sur les mécanismes de cytocidie par les hyalinocytes et les granulocytes a été décrite (Chagot 1989).

D'autres modèles relatifs aux *Iridovirus* (Bachère, com. pers.) et aux rickettsies (Le Gall *et al.* 1988) sont également disponibles, même s'ils demandent encore à être améliorés. A terme, la comparaison des mécanismes mis en jeu par différentes espèces hôtes, sensibles et non sensibles, sera de nature à apporter des connaissances utilisables pour les applications.

7.4. Génétique

La génétique apparaît comme un moyen d'action particulièrement approprié dans la lutte contre les maladies. En effet, les caractéristiques des élevages inhérentes à la morphologie et à la biologie des animaux, et les difficultés de traitement curatif sur des cheptels élevés en milieu ouvert rendent difficile l'action directe sur l'agent pathogène. Par contre, le recours à la reproduction artificielle (écloseries) pour la production de naissain permet d'envisager de recourir à la génétique pour la sélection de souches résistantes à une ou des maladies, comme pour l'amélioration des performances zootechniques de souches sélectionnées. Dans ce domaine, des progrès intéressants ont été réalisés chez les poissons, avec la sélection de lignées hybrides polyploïdes de truite arc-en-ciel et de saumons résistantes à la SHV[1] (Dorson et Chevassus 1985). Des résultats préliminaires ont été obtenus chez les mollusques (Haskin and Ford 1979) avec, notamment, la sélection de souches résistantes à *Minchinia nelsoni*. Toutefois, l'absence d'exploitation commerciale de ces résultats, alors que la protozoose sévit toujours, laisse penser que ceux-ci ne sont pas encore suffisamment fiables.

Plusieurs stratégies s'appuyant sur les connaissances acquises dans différentes filières aquacoles peuvent maintenant être envisagées pour la sélection chez les mollusques de souches résistantes. Les principales portent sur l'hybridation de souches polyploïdes, l'exploitation de la résistance génétique individuelle ou de souches géographiques à caractère particulier, ou encore l'application de techniques de transfert

1 SHV : septicémie hémorragique virale.

de gènes. Concernant ces dernières, le progrès des recherches dépend, en plus des progrès en biotechnologie des mollusques, des résultats qui pourront être obtenus en immunologie, en biochimie et en biologie moléculaire. Les transferts de gènes pourront être envisagés, soit par l'intégration de gènes de cellules hôtes codant des protéines intervenant dans les mécanismes de défense, ou de protéines favorisant les processus de croissance, soit par celle de gènes de l'agent pathogène qui, induisant dans les cellules hôtes la synthèse de protéines particulières du pathogène, bloqueraient la multiplication de cet agent.

Ces quelques exemples révèlent que la conchyliculture, en particulier l'ostréiculture et la mytiliculture, qui, jusque vers 1950, s'était développée de manière essentiellement empirique, peut maintenant faire utilement appel à la recherche pour réduire les risques qui l'affectent et progresser. L'importance économique et sociale atteinte par ce mode de production dans plusieurs pays, et ses perspectives de développement dans la plupart des autres pays, y compris ceux de la ceinture tropicale, justifient un tel investissement.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier Michel Comps et Eric Mialhe pour les commentaires dont ils l'ont fait bénéficier lors de la préparation de ce chapitre.

REFERENCES

Andrews, J.D., J.L. Wood and H.D. Hoese, 1962 - 'Oyster mortality studies in Virginia. III. Epizootiology of a disease caused by *Haplosporidium costale* Wood et Andrews'. *J. Invertebr. Pathol.*, 4: 327-343.

Bachère, E., D. Chagot and H. Grizel, 1988 - 'Separation of *Crassostrea gigas* hemocytes by density-gradient centrifugation and counterflow centrifugal elutriation'. *Developmental and Comparative Immunology*, **12**, 3: 549-559.

Balouet, G., A. Cahour et C. Chastel, 1977 (1979) - 'Epidémiologie de la maladie de la glande digestive de l'huître plate : hypothèse sur le cycle de *Marteilia refringens*'. *Haliotis*, 8: 323-326.

Bigot-Vuillemin, V., 1987 - 'Mise au point d'un modèle expérimental de reproduction et d'étude de la bonamiose, maladie hémocytaire de l'huître plate *Ostrea edulis*'. Rapp. D.E.A. Univ. Aix Marseille II, 29 p.

Bonnet, M. et J.-P. Troadec, 1985 - 'The shellfish industry in France'. International Seminar on shellfish culture development and management ; La Rochelle (France), March 1985. IFREMER Actes de colloques : 59-82.

Bougrier, S., G. Tigé, E. Bachère and H. Grizel, 1986 - '*Ostrea angasi* acclimatization to French Coasts'. *Aquaculture,* 58: 151-154

--------, -., G. Raguénés, E. Bachère, G. Tigé et H. Grizel, 1986 - 'Essai de réimplantation de *Crassostrea angulata* en France. Résistance au chambrage et comportement des hybrides *C. angulata - C. gigas*'. *Cons. inter. Explor. Mer,* CM. 1986/F, 38: 6 p.

Boulo, V., 1989 - 'Préparation d'anticorps polyclonaux et monoclonaux spécifiques de *Bonamia ostreae* (Ascetospora) et mise au point d'immunodosages. Applications taxonomiques et épidémiologiques'. Thèse E.P.H.E., Montpellier (France), IIème section.

-----, -., E. Mialhe, H. Rogier, F. Paolucci and H. Grizel, 1989 - 'Immunodiagnostic method of *Bonamia ostreae* (Ascetospora) parasite of *Ostreae edulis* and subcellular identification of epitopes by monoclonal antibodies'. *J. Fish. Dis.,* (in press).

Chagot, D., 1989 - 'Caractérisation morphologique et fonctionnelle des hémocytes d'*Ostreae edulis* et de *Crassostrea gigas*, mollusques bivalves. Etude *in vitro* de leurs interactions avec le protozoaire *Bonamia ostreae* (Ascetospora)'. Thèse E.P.H.E., Montpellier (France), IIème Section.

Comps, M., 1970 - 'Observations sur les causes d'une mortalité anormale des huîtres plates dans le bassin de Marennes'. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.,* **34**, 3: 317-326.

-----, -., 1979 - 'Etude du cycle de *Marteilia refringens* dans l'étang de Thau'. *Cons. inter. Explor. Mer.,* CM. 1979/F, 19, 5 p.

-----, -., 1980 - 'Infections rickettsiennes chez les Mollusques bivalves des côtes françaises'. ICES Special Meeting on Diseases of Commercially Important Marine Fish and Shellfish, Copenhagen, 1-3 Oct. 1980, Cont. N°40.

-----, -., 1983 - 'Recherches histologiques et cytologiques sur les infections intracellulaires des mollusques bivalves marins'. Thèse Doctorat d'Etat, Sciences Naturelles, Montpellier (France), 128 p.

Couch, J.A. and A. Rosenfield, 1968 - 'Epizootiology of *Minchinia costalis* and *Minchinia nelsoni* in oysters introduced into Chincoteague Bay, Virginia'. *Proc. Nat. Shellfish. Ass.,* 58: 51-59.

Dorson, M. et B. Chevassus, 1985 - 'Etude de la réceptivité d'hybrides triploïdes truite arc-en-ciel X saumon "coho" à la nécrose pancréatique infectieuse et à la septicémie hémorragique virale'. *Bull. Fr. Pêche pisci.*, 296: 29-34.

Elston, R.A., 1986 - 'Occurence of branchial rickettsia-like infections in two bivalve molluscs, *Tapes japonica* and *Patinopecten yessoensis*, with comments on their significance'. *J. Fish. diseases*, 9: 69-71

Elston, R.A. and M. Wilkinson, 1985 - 'Pathology management and diagnosis of oyster velar virus disease (OVVD)'. *Aquaculture*, 48: 189-210.

Elston, R.A., C.A. Farley and M.C. Kent, 1986 - 'Occurence and significance of bonomiasis in European flat oysters *Ostrea edulis* in North America'. *Dis. Aquat. Org.,* 2: 49-54.

Farley, C.A., 1975 - 'Epizootic and enzootic aspects of *Minchinia nesloni* (Haplosporida) disease in Maryland oysters'. *J. Protozool.*, **22**, 3: 418-427.

Grizel, H., 1983 - 'Impact de *Marteilia refringens* et de *Bonamia ostreae* sur l'ostréiculture bretonne'. *Cons. inter. Explor. Mer,* CM. Gen, 9, 30 p.

------, -., 1985 - 'Etude des récentes épizooties de l'huître plate *Ostrea edulis* Linné et de leur impact sur l'ostréiculture bretonne'. Thèse Doctorat Etat, Sciences Naturelles, Montpellier (France), 145 p.

------, -. et G. Tigé, 1977, 1979 - 'Observations sur le cycle de *Marteilia refringens*'. *Haliotis*, 8: 327-330.

------, -. and G. Tigé, 1982 - 'Evolution of the haemocytic disease caused by *Bonamia ostreae*'. XVth Annual Meeting of Soc. Inv. Pathology, September 6-10, Brighton (U.K.) : 254-257.

Gruet, Y., M. Héral et J.-M. Robert, 1976 - 'Premières observations sur l'introduction de la faune associée au naissain d'huîtres portugaises *C. gigas* Th. importé sur la côte atlantique française'. *Cah. biol. mar.*, 17: 173-184.

Harshbarger, J.C., S.C. Chang and S.V. Otto, 1977 - 'Chlamydiae (with phages) mycoplasmas and rickettsiae in Chesapeake Bay bivalves'. *Science,* N.Y., 196: 666-668.

Haskin, H.H. and S.E. Ford, 1979 - 'Development of resistance to *Minchinia nelsoni* (MSX) mortality in laboratory-reared and native oyster stocks in Delaware Bay'. *Mar. Fish. rev.*, 41: 54-63.

Haven, D.J., W.J. Hagis and P.C. Kendall, 1978 - 'The oyster industry of Virginia : its status, problems and promise'. VIMS, Spec. rep., 168.

Héral, M., 1985 - 'Evaluation of the carrying capacity of molluscan shellfish ecosystems'. International Seminar on shellfish culture development and managment on La Rochelle (France), March 1985. IFREMER Actes de colloques : 297-318.

-----, -., J.-M. Deslou-Paoli et J. Prou, 1986 - 'Dynamiques des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées *(Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas)* dans le bassin de Marennes-Oléron depuis un siècle'. *Cons. inter. Explor. Mer*, CM 1986/F, 4, 21 p.

ICES, 1983 - 'Guide lines for implementing the ICES code of practice concerning introductions and transfers of marine species'. *Cons. inter. Explor. Mer,* Cooperative Research Report, 130: 20 p.

Kinne, O., 1983 - 'Diseases of marine animals'. *Biologische anstalt Helgoland*, 2: 1-1038.

Le Gall, G., D. Chagot, E. Mialhe and H. Grizel, 1988 - 'Branchial rickettsiale-like infection associated with a mass mortality of the sea scallop *Pecten maximus*'. *Dis. Aquat. Org.*, 4: 229-232.

Leibovitz, L.R., R. Elston, V.P. Lipovsky and J. Donaldson, 1978 - 'A new disease of larval Pacific oyster (*Crassostrea gigas)*'. Proc. Ninth Ann. Meet. World Mariculture Society : 603-615.

Levine, N.D., 1978 - '*Perkinsus* gen. n. and other new taxa in the Protozoan phylum Apicomplexa'. *J.Parasitol.*, **64**, 3, 549.

Mackin, J.G., 1951 - 'Histopathology of infection of *Crassostrea virginica* (Gmelin) by *Dermocystidium marinum* Mackin, Owen and Collier'. *Bull. Mar. Sci. Gulf and Carrib.*, **1**, 1: 72-87.

Meuriot, E. et H. Grizel, 1984 - 'Note sur l'impact économique des maladies de l'huître plate en Bretagne'. *Rapport technique Inst. Scient. Tech. Pêches Marit.,* 12: 1-20.

Mialhe, E., E. Bachère, C. Le Bec et H. Grizel, 1985 - 'Isolement et purification de *Marteilia* (Protozoa, Ascetospora), parasite de bivalves marins. *Comp. Rend. Acad. Sci.*, Série D, Sciences Naturelles, 301: 137-141.

-----, -., E. Bachère, D. Chagot and H. Grizel, 1988 - 'Isolation and purification of the Protozoan *Bonamia ostreae* (Pichot *et al.* 1980), a parasite affecting the flat oyster *Ostrea edulis L'. Aquaculture*, 71: 293-299.

-----, -., V. Boulo, R. Elston, M. Hine, J. Montes, P. Van Banning and H. Grizel, 1988 - 'Serological analysis of *Bonamia* in *Ostrea edulis* and *Tiostrea lutaria* using polyclonal and monoclonal antibodies'. *Aquat. Living Resour.*, 1: 67-69.

Mourton, C., 1987 - 'Modèle d'étude in vitro de *Bonamia ostreae* (Ascetospora), parasite intrahémocytaire d'*Ostrea edulis*. Etude d'interactions cellulaires hôte-parasite'. Rapp. D.E.A., Univ. Clermont II , 25 p.

Needler, A.W.H. and R.R. Logie, 1947 - 'Serious mortalities in Prince Edward Island oysters caused by a contagious disease'. *Trans. Roy. Soc. Can.*, ser. 3, sec. 5, 41: 73-89.

Orton, J.H., 1924a - 'An account of investigations into the cause or causes of the unusual mortality among oyster in English oyster beds during 1920 and 1921. Part I'. *Min. Agr. Fish., Fish. Invest.* London, ser. 2, **6**, 3: 1-199.

-----, -., 1924b - 'An account of investigations into the cause or causes of the unusual mortality among oyster in English oyster beds during 1920 and 1921. Part II'. *Min. Agr. Fish. , Fish. Invest.*, London, ser. 2, **6**, 4: 3-14.

Pérez, R., R. Kaas et O. Barbaroux, 1984 - 'Culture expérimentale de l'algue *Undaria pinnatifida* sur les côtes de France'. *Science et Pêche*, Bull. Inst. Pêches Marit., 33: 3-15.

Poder, M., A. Cahour and G. Balouet, 1982 - 'Haemocytic parasitosis in European oyster *Ostrea edulis* L. : pathology and contamination. XVth Ann. Meet. Soc. Inv. Pathology, September 6-10, Brighton (U.K.), 254-257.

Ravaud, M., 1984 - 'Adaptation du service sanitaire aux contraintes de l'élevage industriel'. *Pisciculture française*, 76: 5-8.

Rosenfield, A., 1969 - 'Oyster diseases in north America and some methods for their control'. Proceedings of the Conference on artificial propagation of commercially valuable shellfish oysters. Oct. 22-23, 1969. College of Marine Studies, Univ. Delaware, 67-78.

Takeuchi, T., Y. Takemoto and T. Matsubura, 1960 - 'Hematological study of bacteria-infected oysters'. *Rep. Hiroshima Prefect. Fish. Exp. Sta.*, 22: 1-7.

Tigé, G. et H. Grizel, 1984 - 'Essai de contamination d'*Ostrea edulis* Linné par *Bonamia ostreae* (Pichot *et al.* 1979) en rivière de Crac'h (Morbihan)'. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **46**, 4: 1-8.

Troadec, J.-P., 1985 - 'Revue économique de la conchyliculture'. International Seminar on Shellfish Culture development and managment, La Rochelle (France), March 1985. IFREMER Actes de colloques : 17-22.

Van Banning, P., 1987 - ' Further results of the *Bonamia ostreae* challenge tests in the Dutch oyster culture'. *Aquaculture,* 67: 191-194.

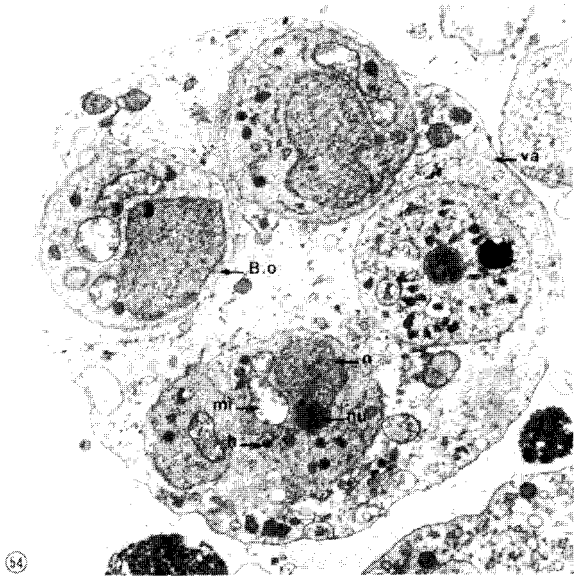

Photo 18. — Micrographie électronique d'un culot d'hémocytes d'huître plate *(Ostrea edulis)*, qui fait apparaître quatre parasites *Bonamia ostreæ* (B.O.) dans une cellule.
(Cliché H. Grizel – IFREMER).

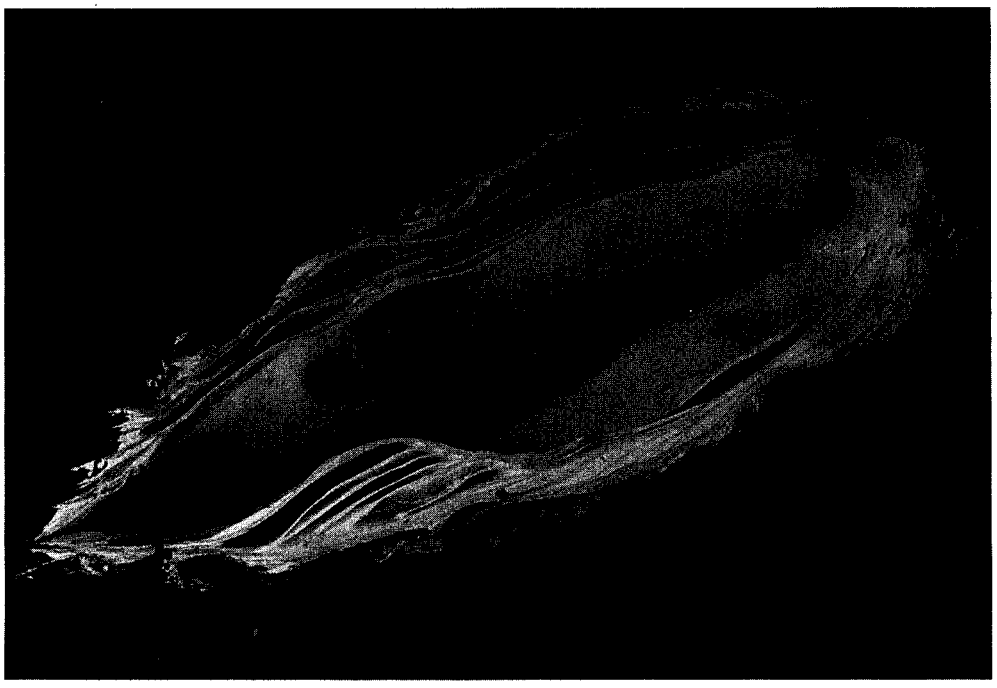

Photo 19. — Effet de la contamination par les sels organostanniques sur l'huître japonaise *(Crassostrea gigas)* : épaississement de la coquille par formation de chambres.
(Cliché O. Barbaroux – IFREMER).