La pathologie en pisciculture tropicale et l'approche écopathologique : méthodologie et étude de cas sur les élevages de Pangasiidae

Domenico Caruso

IRD
UR 175 (IRD/GAMET)
361, rue Jean-François-Breton
BP 5095
34196 Montpellier cedex 05
France
<domenico.caruso@ird.fr>

Résumé

L'ampleur croissante des productions aquacoles tropicales conduit à une intensification et à des changements profonds des systèmes d'élevage traditionnels, notamment dans les pays du Sud-Est asiatique. L'estimation de l'impact socioéconomique et environnemental des épizooties et enzooties en pisciculture tropicale est délicate à évaluer ; mais les conséquences se chiffrent en centaines de millions de US $ chaque année. De nombreuses maladies pisciaires, reconnues pour leur impact en pisciculture tropicale, sont de nature multifactorielle et leur intensité dépend de divers facteurs biotiques et abiotiques. La maîtrise sanitaire par les éleveurs asiatiques est presque exclusivement basée sur la chimiothérapie avec un risque d'accumulation des résidus de productions, de création et de transfert des facteurs d'antibiorésistance entre les bactéries. La connaissance des multiples facteurs de risque est essentielle pour une meilleure gestion sanitaire des cheptels, mais l'épidémiologie des maladies pisciaires est encore peu développée, en particulier, dans le contexte de la pisciculture tropicale. L'écopathologie, très rarement utilisée en aquaculture, est une branche de l'épidémiologie analytique qui explore et analyse les composants d'un système de production en vue d'individualiser les facteurs de risque responsables d'une pathologie d'élevage. Le présent article passe en revue les problématiques sanitaires de la pisciculture asiatique et synthétise les résultats d'une étude écopathologique réalisée au Vietnam sur les mortalités de *Pangasius* spp. élevées en cages flottantes dans le fleuve Mékong.

Mots clés : Asie du Sud-Est ; écopathologie ; épidémiologie ; impact socio-économique ; maladie des poissons ; Pangasiidae.

Thèmes : pathologie ; pêche et aquaculture ; productions animales.

Abstract

Pathology in tropical fish culture and the ecopathological approach: Methodology and case study on Pangasiidae farming

The profound changes in breeding and rearing systems along with the intensification of tropical aquaculture production, especially in South-East Asia, tend to increase the occurrence of epizooties and enzootic diseases, of which the socio-economic and environmental impacts amount to hundreds of millions of US $ per year. Because of the variety of cultured species and culture environments, diseases are numerous and their natures are generally multi-factorial, thus complicating health management. Until now, Asian fish-culturists have explored exclusively or essentially the chemotherapeutic register, which is known to result in the accumulation of residues in the environment and/or fish flesh, and to promote antibiotic resistance, including through the transfer of resistance between bacterial species. Alternatives to this chemical strategy are urgently needed to secure the health management of cultured fish, in particular in the field of epidemiology and ecopathology. Ecopathology is a branch of analytical epidemiology that explores and analyzes the different variables of an animal production system in order to individualize the risk factors responsible for creating the setting of a pathogen or disease breakthrough. This holistic approach, which regards pathology as one of the outcomes of a productive system, is very rarely used in aquaculture. This article provides a synthesis on the health issues of fish breeding systems in the tropics, with emphasis on South

Tirés à part : D. Caruso

doi: 10.1684/agr.2009.0285

East Asia, and illustrates the benefits of an ecopathological strategy that was deployed to elucidate then alleviate the mortality of *Pangasius* spp. reared in floating cages in the Mekong River, Vietnam.

Key words: ecopathology; epidemiology; Fish diseases; Pangasiidae; socioeconomic impact; South-East Asia.

Subjects: animal productions; fishing and aquaculture; pathology.

Le commerce mondial et la demande croissante des produits de la pêche ont, depuis la dernière décennie, complètement bouleversé le paysage de l'aquaculture tropicale, notamment asiatique, laquelle réalise, à elle seule, plus de 90 % des productions aquacoles mondiales. Certaines espèces, notamment d'eau douce, ont atteint des niveaux de croissance et de production très importants, et leur augmentation est due à un grand nombre de nouveaux pisciculteurs, mais aussi à un changement notable des pratiques productives. L'introduction de nouvelles espèces allochtones, de nouveaux modes de production et l'intensification, induisent et amplifient les phénomènes pathologiques, considérés comme une contrainte majeure pour l'élevage et la durabilité de ces filières de production (Bondad-Reantaso *et al.*, 2005). Mais la pathologie aquacole n'est pas exclusivement liée à la récente intensification et à l'augmentation des productions et, déjà en 1935, Buschkiel (1935) faisait part du préjudice économique provoqué par des infestations massives du protozoaire cilié *Ichthyophthirius multifilis* dans les élevages en Indonésie. Dans les années 1980, la mortalité excessive a été la cause principale d'abandon de l'élevage de *Clarias sp* par les pisciculteurs thaïlandais (Panayotou *et al.*, 1982). De même, au Népal qui ne connaît pas l'essor productif des autres pays asiatiques, l'incidence élevée de la pathologie était considérée comme une limite au développement de la carpiculture (Sharma et Leung, 1998). Le phénomène est sensible à toutes les échelles de production ; ainsi au Bangladesh, ce sont les petits pisciculteurs, parmi les plus pauvres et dotés d'une technicité réduite, qui subissent les pertes les plus élevées (19,6 %) (Faruk *et al.*, 2004). À défaut d'une collecte organisée des données et d'une méthodologie d'analyse, les conséquences socioéconomiques des pathologies piscicoles sont peu connues et se limitent essentiellement à des enquêtes réalisées au cours d'épizooties majeures. Au Bangladesh, dans les années 1988 et 1989, l'EUS (*epizootic ulcerative syndrome* ou SUE, syndrome ulcératif épizootique) fut reconnu responsable de plus 3,4 millions de US $ de pertes économiques (Khan et Lilley, 2002). En Chine, entre 1990 et 1992, les pertes dues aux bactériémies septicémiques à *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia ruckeri* et *Vibrio fluviatilis,* ont été estimées à plus 120 millions de US $ (Wei, 2002). Aux Philippines, l'impact d'un épisode d'infection streptococcique sur les élevages de tilapias dans le lac Taal a été estimé à plus de quatre millions de US $ et, au niveau mondial, les pertes ont été évaluées à plus de 150 millions de US $ par an (Shoemaker *et al.*, 2000).

Dans l'île de Java en 2002, chez les carpes comestibles et d'ornements, l'épizootie de KHV (*Koi herpesvirus*, herpès virus du Koï) a provoqué des pertes chiffrées à 5,5 millions de US $, en 2003, et chez les populations de carpes sauvages dans deux lacs du Japon, elle a induit une perte estimée à 1,4 million de US $ (Bondad-Rentaso, 2004).

Les pertes économiques dues aux pathologies enzootiques sont encore moins connues, mais elles sont loin d'être négligeables. Le *tableau 1* présente une estimation des pertes subies en 2000 par les éleveurs vietnamiens de *Pangasius spp.* Pour les usines de transformation, les pertes en chiffre d'affaires sont d'environ 10 300 000 US $ (coefficient de filetage moyen 30 % ; prix kg/filets 3,12 US $). Les pathologies enzootiques constituent donc un handicap important pour ces filières soumises à une forte concurrence et aux règles commerciales mondiales.

Tableau 1. Pertes brutes causées par les mortalités subies par les pisciculteurs de la filière Pangasius au Vietnam sur une production annuelle estimée de 100 000 tonnes pour un prix au kilo correspondant à 0,90 US $.

Table 1. Gross loss caused by deaths in the Pangasiidae pisculture branch in Vietnam for an annual production estimated at 100 000 tons at a price of 0.90 US$ per kilo.

Par cycle d'élevage en période d'embouche	Niveau ou valeur des pertes (moyenne)	Volumes concernés	Valeur/kg (US $)	Valeur totale des pertes (US $)
Mortalité	7 % du cheptel	7 000 tonnes	0,90	6 300 000
Médicaments	571 US $ par éleveur	4 000 éleveurs		2 284 000
Poissons impropres au filetage (*red fillets*)	4 % du cheptel	4 000 tonnes	0,90	3 600 000
Total				12 184 000

Quelques entités pathologiques en élevage tropical et leurs conséquences

L'expression et l'intensité des maladies pisciaires provoquées par des pathogènes, primaires ou secondaires, sont modulées par de multiples facteurs biologiques, techniques et économiques. Quelques exemples, sur des pathogènes connus en aquaculture tropicale, permettent d'illustrer ce propos.

L'EUS est provoqué par *Aphanomyces invadans* (= *piscicida*) un oomycète histolytique qui affecte plus de 100 espèces de poissons d'eaux douce et saumâtre. Endémique dans le Sud-Est asiatique, sa distribution est en expansion. Cette maladie est également présente aux États-Unis et en Afrique où elle a été récemment reconnue responsable de mortalités massives de poissons sur le *Chuba river* au Zimbabwe (FAO/AAHRI/NACA, 2007). L'épidémiologie de l'EUS est largement dépendante de divers marqueurs et facteurs de risque. Certaines espèces telles que l'*Ophiocephalus striatus*, *Clarias batrachus, Trichogaster pectoralis, Mugil sp.* et *Puntius* sp sont connues pour leur grande sensibilité à ce pathogène. La baisse de la température et de la qualité de l'eau (demande en oxygène, chute d'alcalinité et de salinité) en eau douce pendant les mois froids et en eau saumâtre pendant la saison de la mousson, (Bondad-Reantaso *et al.*, 1992 ; Pathiratne et Jayasinghe, 2001) sont des marqueurs de risque de la maladie. La connaissance de ces marqueurs et des facteurs de risque, mis en évidence par les enquêtes épidémiologiques réalisées en 1999 au Bangladesh par Khan et Lilley (2002), a probablement contribué à réduire la gravité des épidémies successives.

Les *Streptococcus spp*, en particulier le *S. iniae,* sont des pathogènes primaires qui affectent l'élevage d'*Oreochromis niloticus* et d'autres espèces tropicales. Malgré sa pathogénicité, la morbidité et la mortalité de *S. iniae* sont modulées par divers facteurs biotiques et abiotiques tels que :

– la sensibilité de l'espèce et la température de l'eau (Perera *et al.*, 1997) ;

– la concentration en oxygène dissous et en nitrites (Bunch et Bejerano *et al.*, 1997) ;

– la densité de poissons en élevage ;

– la charge infectieuse (Shoemacker *et al.*, 2000) et le parasitisme cutané provoqué par *Gyrodactylus niloticus* (Xu *et al.*, 2007).

Tous ces facteurs rendent l'impact de cette pathologie très variable (allant de 5 à 75 % de mortalité) et, de fait, elle est normalement plus élevée en production que dans les essais expérimentaux.

La MAS (*Motile Aeromonas Septicemia*) est une septicémie hémorragique provoquée par des bactéries de la famille des *Aeromonadaceae*. Leur caractère ubiquiste dans le milieu aquatique, la variabilité phénotypique ainsi que l'isolement sur des poissons apparemment sains ou avec d'autres pathologies rendent difficile l'appréciation du réel pouvoir pathogénique de ces bactéries. *Aeromonas hydrophila, A. cavie* et *A. sobria* sont communément reconnues comme responsables de cette pathologie, mais des études taxonomiques et génétiques associent à cette maladie au moins dix autres taxons d'*Aeromonas* mobiles. La pathogénicité de ces bactéries dépend de nombreux facteurs intrinsèques aux souches. Cipriano (2001) suggère que la combinaison d'une activité protéolytique et hémolytique correspond à une meilleure mesure de la virulence des souches de *A. hydrophila* et *A. sobria*. Cependant, la maladie dépend aussi de l'environnement d'élevage (température, charge organique, densité, concentration bactérienne, etc.), ainsi que de l'état du poisson (Yambot, 1998). Même des pathogènes stricts comme les virus sont température-dépendants (Ahne *et al.*, 2002) laquelle agit à la fois sur la capacité de réplication virale, ainsi que sur l'efficacité des défenses immunitaires du poisson (Alcorn *et al.*, 2002).

Les pathologies pisciaires ont souvent une origine anthropogénique, liée aux pratiques d'élevages, qui prédisposent les poissons à des pathogènes opportunistes ou les provoquent, comme la *jaundice disease* chez le *catfish* en Thaïlande (Chinabut, 2002). De même, l'introduction accidentelle d'agents pathogènes allochtones peut être dramatique (Bondad-Reantaso *et al.*, 2005). À défaut d'une compréhension approfondie du phénomène pathologique, la prise en charge thérapeutique ou préventive en aquaculture peut s'avérer complexe, inefficace, voire dangereuse. Or, l'usage intensif des produits thérapeutiques et chimiques est une pratique largement répandue en aquaculture asiatique, et cela pose des questionnements forts sur les risques sanitaires et environnementaux. Les conséquences écologiques de ces pratiques sont encore méconnues, mais les risques de résistance croisée aux agents thérapeutiques, déjà décrits en aquaculture (Hernandez-Serrano, 2005), et la transmission de facteurs de résistances d'origine plasmidique entre *Edwardsiella ictaluri* et *Escherichia coli* sont connus chez le *Pangasianodon hypophthalmus* au Vietnam (Dang *et al.*, 2007). Le risque de résidus dans les produits d'aquaculture tropicale est bien réel et pose un problème de santé publique, mais aussi économique pour les filières destinées à l'exportation. En vertu du règlement 2377/90 (CEE) du 26 juin 1990, la fréquence des saisies pour cause de résidus est passée de 31 à 71 % du total en moins de quatre ans (Gandini *et al.*, 2002). Les saisies, qui peuvent déterminer l'interdiction à l'exportation, sont extrêmement préjudiciables pour ces filières émergentes. À titre d'exemple, entre 1998 et 2002, l'interdiction d'importation pour cause sanitaire (choléra) dans la CE des produits de la pêche, a coûté plus de 332 millions de US $ à la Tanzanie, au Mozambique, au Kenya et en Ouganda, (Kimball *et al.*, 2005).

Gestion des pathologies en aquaculture tropicale

La diversité des aspects pathologiques et la variabilité des systèmes de production imposent des voies d'approches diversifiées faisant appel à des actions préventives, prophylactiques et thérapeutiques concertées, adaptées aux conditions de production de l'espèce et au contexte technique local. La vaccination, qui a permis des progrès considérables dans la maîtrise des pathologies bactériennes, n'est pas courante dans l'aquaculture asiatique (Grisez et Tan, 2005), cela malgré les avancées scientifiques dans le domaine. En revanche, l'arsenal chimiothérapeutique est très important, sans oublier la vaste pharmacopée traditionnelle (Direkbusarakom, 2004), encore méconnue et qui pourrait offrir des alternatives intéressantes pour le développe-

ment d'une aquaculture « durable ». Mais une approche de l'ichtyopathologie tropicale, exclusivement basée sur la prophylaxie ou la thérapie, ne suffit pas. La révolution pasteurienne et les postulats de Koch ont fait converger la médecine vers la théorie de la causalité ou de l'agent étiologique ; cette approche essentielle, occulte cependant les interactions complexes entre les divers facteurs qui déterminent la pathologie. Or, les pathologies enzootiques ou épizootiques piscicoles tropicales sont essentiellement d'origine multifactorielle et donc la connaissance de leurs facteurs et marqueurs de risque est fondamentale. La compréhension de l'épidémiologie d'un état pathologique pourrait significativement améliorer la qualité des productions, les stratégies de gestion préventive et le contrôle des maladies en élevages (Ogut et Reno, 2005). Néanmoins, malgré la synergie entre l'épidémiologie et l'ichtyopathologie, leur collaboration est encore débutante, en particulier, en aquaculture tropicale où les besoins exprimés sont, pourtant, importants (Subasinghe, 2005). En aquaculture tropicale, la pathologie des poissons demande une approche systémique ou holistique connue sous le terme de SMA (*system management approach*) proposée par Phillips (1996). Sortant du cadre strictement pasteurien, l'ichtyopathologie tropicale offre à l'épidémiologie et à l'écopathologie, en particulier, un nouveau domaine d'application. Les bases historiques de l'écopathologie sont anciennes, et, déjà, Hippocrate incluait le rôle « des airs, des eaux et des lieux » dans le déterminisme des pathologies (Rioux, 2007). Le concept d'écopathologie a été proposé par Tuffery (1977) comme « l'étude des facteurs, pathologiques et écologiques, dont les actions individuelles ou intégrées ont pour effet de provoquer des mortalités pisciaires… ».

Dans cette approche systémique, la pathologie est la résultante des interactions entre l'organisme animal et son environnement, et elle est considérée comme une des sorties du système de production (Faye et *al.*, 1999). Peu d'études, écopathologiques ou holistiques, considérant l'environnement de l'élevage, ont été réalisées en pisciculture (Ortega *et al.*, 1995 ; Ghittino *et al.*, 2004) et peu ont été réalisées en aquaculture tropicale, y compris pour les élevages de crevettes (Leung et Tran, 2000 ; Corsin *et al.*, 2001 ; Pathiratne et Jayasinghe, 2001 ; Khan et Lilley, 2002).

L'approche holistique en ichtyopathologie : le cas des *Pangasius spp.* élevés dans le Mékong

En 2000, la production des poissons-chats du genre *Pangasius* en cage flottante dans le Delta du Mékong (Province de An Giang, Vietnam) a connu une croissance explosive accompagnée par une cohorte de problèmes pathologiques et sanitaires préoccupants pour toute la filière. L'amélioration des connaissances au sujet des mortalités de *Pangasius spp* pendant la phase d'embouche et la proposition de nouvelles stratégies de gestion sanitaire des cheptels étaient essentielles pour répondre aux difficultés rencontrées par la filière. Une étude écopathologique a donc été organisée et réalisée au niveau de la ville de Chau Doc, considérée comme le berceau de la pangasiculture en cage flottante au Vietnam. Dans la zone d'étude, située près de la frontière cambodgienne, 822 cages flottantes étaient distribuées de part et d'autre des deux rives du fleuve Mékong et de la rivière Chau Doc (Bassac) sur une distance de 6 km. Pour répondre aux divers objectifs, l'étude a été articulée autour de trois axes *(figure 1)*.

Description épidémiologique et analyse rétrospective des mortalités journalières

Les mortalités journalières sont observées et répertoriées dans les cahiers d'élevage (17 cages, cinq ans et 102 cycles d'élevage). Les taux de prévalence et d'incidence journalière de la mortalité ont été déterminés. Ces taux ont également été analysés en relation avec les données environnementales issues du bureau météorologique et hydrographique local et des équipes de recherche Cirad et Agifish.

Analyse de facteurs et marqueurs de risque en élevage pendant la phase d'embouche

Réalisées par une enquête transversale rétrospective sur un échantillon de 117 cages choisies aléatoirement – après stratification de la zone selon la densité des cages présentes – les cages sélectionnées correspondaient à des critères d'inclusion préétablis, par exemple : la taille de la

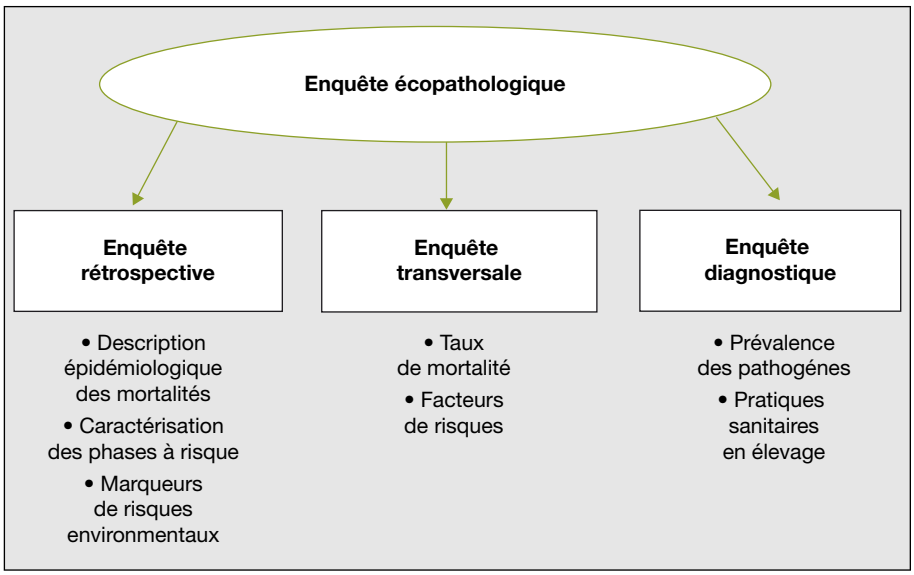

Figure 1. Organisation de l'étude écopathologique sur la filière d'élevage Pangasius en cage flottante pendant la phase d'embouche au Vietnam.

Figure 1. Organisation of the ecopathological study of Pangasius reared in floating cages during the fattening stage in Vietnam.

cage supérieure à 200 m^3, la pangasiculture comme activité exclusive du pisciculteur, etc. Les enquêtes réalisées ont permis de collecter une centaine de variables descriptives des caractéristiques de l'éleveur, de la cage, des poissons et des pratiques d'élevage. Pour la comparaison, les taux de mortalités ont été transformés en taux d'incidence journalière des sujets à risque en élevage. Ensuite, les élevages ont été classés en deux catégories : élevages à faible mortalité ou à haute mortalité selon une valeur seuil déterminée par la moyenne harmonique des taux d'incidence incrémentée de la valeur de l'intervalle de confiance au risque de 10 %. Les risques putatifs corrélés positivement ou négativement avec la mortalité journalière ont fait l'objet des analyses de risques épidémiologiques suivantes : χ^2 de Pearson $\alpha = 0,05$; RR (risque relatif), RA (risque attribuable), $FÊR_e$ et $FÊR_{pc}$ (fraction étiologique du risque chez les exposés et la population cible). Les analyses multivariées ont fait appel à la régression logistique (2 *log-likehood*), à la régression linéaire multiple, et à l'analyse discriminante.

Enquête diagnostique

L'enquête diagnostique a porté sur plus de 70 élevages aléatoirement choisis dans la zone d'étude. Chaque aquaculteur a été invité à répondre à un court questionnaire et à fournir un échantillon (deux à quatre poissons par cage). Ces poissons ont fait l'objet d'une autopsie, d'un examen parasitologique et bactérien ainsi que d'antibiogrammes selon des procédures standardisées.

Les principaux résultats ont montré que la population cible est assujettie à une mortalité enzootique en augmentation en saison sèche. Indépendamment de la période de stockage, deux phases à risque se distinguent nettement, en particulier, le premier mois suivant l'empoissonnement de la cage, où presque 70 % de la mortalité cumulée du cycle d'élevage est concentrée ; puis lorsque l'élevage se prolonge au-delà de 12 mois.

L'augmentation de la mortalité en saison sèche est liée à des modifications de la qualité de l'eau d'élevage (température élevée, variations du courant, augmentation du pH, élévation de la concentration en nitrites). L'augmentation de la température et du pH agit également, défavorablement, en saison des pluies et leur incidence sur la mortalité varie en fonction des phases d'élevage, en particulier pendant le stockage des *fingerlings* (juvéniles). Le taux de mortalité journalière est lié à divers facteurs et marqueurs de risque *(figure 2)*. Le *P. hypophthalmus* présente un risque plus marqué de forte mortalité que celui de *P. bocourti*, principale espèce élevée en cage flottante dans les années 1990. Les deux espèces présentent des facteurs de risques communs mais aussi spécifiques. Parmi les facteurs de risque identifiés, les plus importants sont liés à l'intensification excessive, (densité initiale d'empoissonnement, fréquence de nourrissage, distance entre les cages, vide sanitaire trop court ou absent). L'origine des *fingerlings*, le transport et les qualités sanitaires de la nourriture du poisson sont également fortement incriminés dans le déterminisme des mortalités de *Pangasius* en cage flottante. La prévalence des agents isolés est présentée dans le *tableau 2*. La mortalité d'élevage était plus importante dans les infections par les Aeromonadaceae, lesquels affectaient moins fréquemment *P. bocourti que P. hypophthalmus*. Cette dernière espèce présentait aussi une plus forte pression parasitaire spécifique (*Myxosporidium* spp. *Microsporidium* spp., nématodes, etc.) que *P. bocourti*. Ces observations confortaient donc le résultat d'une plus grande incidence de la mortalité

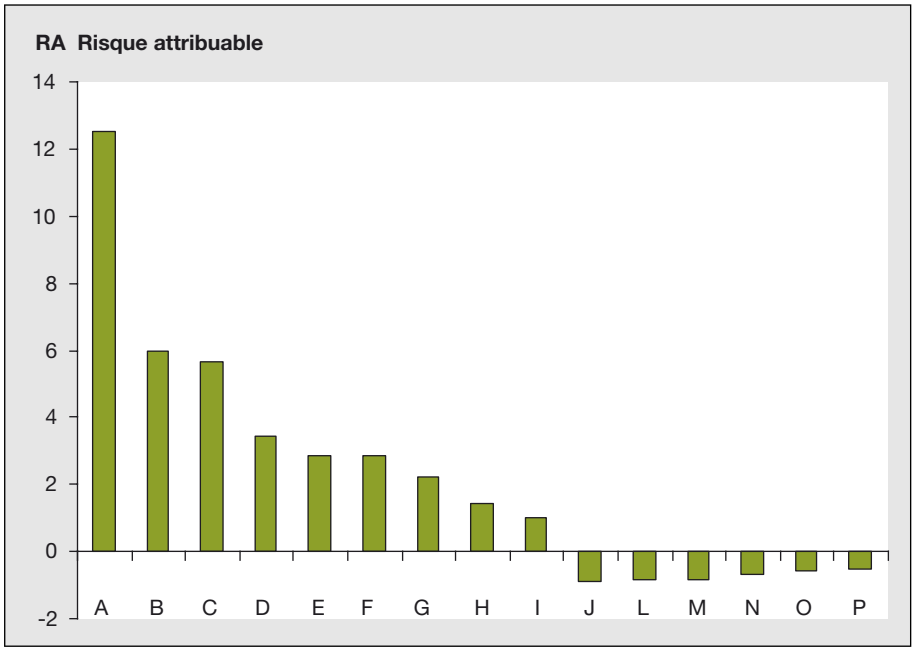

Figure 2. Facteurs et marqueurs de risque issus de l'enquête transversale.

Figure 2. Risk factors and markers from the transveral enquiry.

Dans l'axe *Y* est représenté le risque attribuable d'un facteur donné pour haute mortalité. A) *P. hypophtalmus* ; B) *Fingerlings* d'écloserie ; C) Étang ou bassin d'écloserie ; D) Alimentation avec granulés ; E) Taux de conversion alimentaire inférieur à 1 ; F) Distance de la cage amont inférieure à 20 mètres ; G) Alimentation plus d'une fois par jour ; H) Granulés et aliment traditionnel mélangés ; I) Aucune autre espèce de poisson ; J) *P. bocourti* ; L) *Fingerlings* de capture ; M) *Fingerlings* issus d'autres cages ; N) Vitamines ; O) Aliment traditionnel ; P) Distribution de la nourriture en fin de journée.

Tableau 2. Principaux isolats bactériens pendant l'enquête diagnostique.

Table 2. Main bacterial isolates during the diagnostic enquiry.

	N	Aeromonadaceae (%)	Vibrionaceae (%)	Enterobacteriaceae (%)
P. hypophthalmus	98	47*	44,70	8,20
P. bocourti	47	27	34,70	12,70

* L'astérisque indique une prévalence significativement différente entre les deux espèces.
N : nombre de taxons bactériens identifiés.

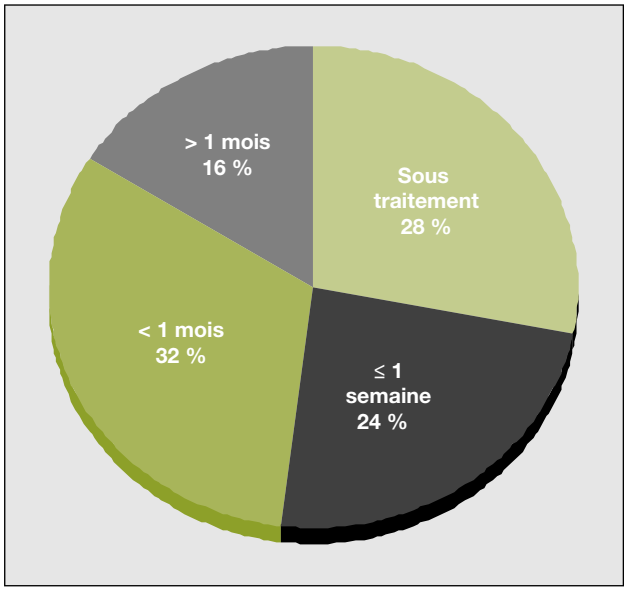

Figure 3. Délais entre le dernier traitement et la visite sur les cages (70 cages).

Figure 3. Delay between the last treatment and the visit of cages (70 cages).

dans les élevages de *P. hypophthalmus* observée par l'enquête transversale. Les pratiques sanitaires se résumaient à une thérapie à outrance *(figure 3)* avec un résultat thérapeutique très modeste et à la constitution de fortes antibiorésistances.

Les résultats obtenus par cette étude ont permis de fournir des indications concrètes et rapidement intégrées par les aquaculteurs, de proposer des mesures claires pour les autorités locales et de formuler des hypothèses de recherche dans le domaine de la pathologie des *Pangasius* spp élevés en cage flottante au Vietnam.

Conclusion

La pathologie aquacole constitue un frein et une menace réelle à l'expansion et à la pérennité même de l'aquaculture tropicale et de multiples questions se posent sur la façon d'appréhender et de maîtriser la pathologie piscicole tropicale. Les conséquences de la pathologie aquacole vont au-delà des mortalités en élevage et les effets socioéconomiques de santé publique et environnementale demandent des nouveaux outils d'étude et d'évaluation spécifiques. La mise en place de tout moyen de surveillance apte à garantir la salubrité du produit est incontournable et les réglementations sanitaires mondiales ont imposé une réorganisation des organismes de contrôle dans les pays exportateurs. Mais il ne faut pas oublier que les mesures thérapeutiques sont souvent le dernier rempart du pisciculteur asiatique face à la mortalité en élevage. Dans la plupart des pays d'Asie, des instituts de référence et des laboratoires offrent des capacités techniques d'expertise, de diagnostic et d'expérimentation qui ont permis aux organisations nationales et supranationales (NACA/OIE/FAO) de mettre en place, sur ce continent, un réseau de surveillance des maladies notifiables et/ou significatives en aquaculture. Le rôle de ces institutions est indiscutable, cependant, il demeure capital que les progrès obtenus puissent être applicables aux réalités de l'aquaculture asiatique. Une des clés du succès dans la maîtrise de l'ichtyopathologie tropicale passe par la sensibilisation et la formation des aquaculteurs à la gestion sanitaire. Le nombre estimé des aquaculteurs asiatiques avoisine 11 millions (près de 2,3 millions pour la seule Indonésie) et donne une idée des efforts à fournir. Ce développement doit s'accompagner d'une meilleure identification des facteurs qui provoquent ou potentialisent les pathologies d'élevage. Par son approche systémique, l'écopathologie et son outil l'écoépidémiologie, rallient l'intérêt des décideurs et des scientifiques. Par sa nature opérationnelle et par l'intime interdépendance avec le milieu de production, l'écopathologie peut fédérer les pisciculteurs et assurer un transfert rapide des acquisitions cognitives issues des enquêtes d'étude, comme le démontre l'expérience vietnamienne. L'approche écopathologique pourrait rendre moins immédiat et plus instable le concept classique de pathologie (Sabatier *et al*., 2005), mais il ne lui est pas antithétique. L'étude de nombreuses variables peut induire des problèmes de fiabilité des données recueillies et de colinéarité, mais une approche experte lors de la préparation des enquêtes ainsi que des méthodes statistiques appropriées permettent à l'écopathologie de répondre avec fiabilité aux multiples questionnements posés par l'ichtyopathologie tropicale. Le passage d'une approche cognitive réductionniste à celle d'une connaissance holistique d'un système biologique est un nouveau challenge de la connaissance scientifique (Levi-Montalcino et Calissano, 2006) et l'écopathologie peut devenir un atout majeur pour la gestion sanitaire durable de l'aquaculture. ■

Références

Ahne W, Bjorklund HV, Essbauer S, Fijan N, Kurath G, Winton JR. Spring viremia of carp (SVC). *Dis Aquat Org* 2002 ; 52 : 261-72.

Alcorn SW, Murray AL, Pascho RJ. Effects of rearing temperature on immune functions in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Fish Shellfish Immunol* 2002 ; 12 : 303-34.

Bondad-Reantaso MG, Lumanlan SC, Natividad JM, Phillips MJ. Environmental monitoring of the epizootic ulcerative syndrome (EUS) in fish from Munoz, Nueva Ecija in the Phillipines. In : Sharrif IM, Subasinghe RP, Arthur JR, eds. *Diseases in Asian aquaculture*. Manila (Philippines) : Fish Health Section, Asian Fish. Soc, 1992.

Bondad-Reantaso MG. Trans-boundary aquatic animal diseases: focus on Koi herpes virus (KHV). *Aquaculture Asia* 2004 ; 2 : 24-8.

Bondad-Reantaso MG, Subasinghe RP, Arthur JR, *et al.* Disease and health management in Asian aquaculture. *Vet Parasitol* 2005 ; 132 : 249-72.

Bunch EC, Bejerano L. The effect of environmental factors on the susceptibility of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* to streptococcosis. *Isr J Aquacult* 1997 ; 49 : 67-76.

Buschkiel AL. Neue beitrage zur Kenntnis des *Ichthyophthirius multifilis* Fouquet. *Arch Neerland Zool* 1935 ; 2 : 178-224.

Chinabut S. Jaundice disease in catfish, a case study demonstrating a decline in incidence as a result of research output. In : Arthur JR, Phillips MJ, Subasinghe RP, Reantaso MB, MacRae IH, eds. *Primary aquatic animal health care in rural, small-scale, aquaculture development*. FAO Fisheries Techical Papers, n° 406. Rome : FAO, 2002.

Cipriano RC. *Aeromonas hydrophila* and motile aeromonad septicemias of fish. *Rev Fish Dis Leaflet* 68 *(1984)* 2001 : 1-25.

Corsin F, Turnbull JF, Hao NV, *et al*. Risk factors associated with white spot syndrome virus infection in a Vietnamese rice-shrimp farming system. *Dis Aquat Org* 2001 ; 47 : 1-12.

Dang LT, Tu DT, Kondo H, Hirono I, Aoki T. *First determination of transferable antimicrobial resistance plasmids (R. plasmids) in* Edwardsiella ictaluri *isolated from diseased freshwater catfish* Pangasius hypophthalmus *(Sauvage) in Vietnam*. Book of Abstracts of the 13th International Conference of fish and shellfish diseases 17th-21st September 2007, Grado, Italy.

Direkbusarakom S. Application of medicinal herbs to aquaculture in Asia Walailak. *J Sci Tech* 2004 ; 1 : 7-14.

Faye B, Waltner-Toews D, McDermott J. From "ecopathology" to "agroecosystem health". *Prev Vet Med* 1999 ; 39 : 111-28.

FAO/AAHRI/NACA investigates EUS in the Chobe-Zambezi River affecting several countries in Africa. 2007. www.fhs-afs.org/devemergingissues.htm.

Faruk MAR, Sarker MMR, Alam MJ, Kabir MB. Economic losses from fish diseases on rural freshwater aquaculture of Bangladesh. *Pakistan J Biol Sci* 2004 ; 7 : 2086-91.

Gandini G, Anichini L, Guidi A, Gianfaldoni D. *Produits de la pêche importés de pays tiers : alertes communautaires années 1999, 2000, 2001, et 2002 (du 1 janvier au 31 mars)*. Communication orale au 27th World Veterinary Congress, WorldVet Tunis 25-29 September 2002, Tunisia.

Ghittino C, Colussi S, Angelillo M, *et al*. Ecopatologia delle ectoparassitosi nella fauna ittica dulciacquicola. *Ittiopatologia* 2004 ; 1 : 140-8.

Grisez L, Tan Z. Vaccine development for Asian aquaculture. In : P. Walker P, R. Lester R, Bondad-Reantaso MG, eds. *Diseases in Asian Aquaculture V, Fish Health Section*. Manila : Asian Fisheries Society, 2005 : 483-94.

Hernandez Serrano P. *Responsible use of antibiotics in aquaculture*. FAO Fisheries technical paper. Rome : FAO, 2005.

Kimball AM, Wong KY, Taneda K. An evidence-based for International Health Regulations: quantitative measurement of the impacts of epidemic disease on international trade. *Rev Sci Tech* 2005 ; 24 : 825-32.

Khan MH, Lilley JH. Risk factors and socio-economic impacts associated with epizootic ulcerative syndrome (EUS) in Bangladesh. In : Arthur JR, Phillips MJ, Subasinghe RP, Reantaso MB, MacRae IH, eds. *Primary aquatic animal health care in rural, small-scale, aquaculture development*. FAO Fisheries Technical Paper, n° 406. Rome : FAO, 2002.

Leung P, Tran LT. Predicting shrimp disease occurrence: artificial neural networks *vs.* logistic regression. *Aquaculture* 2000 ; 187 : 35-49.

Levi-Montalcino R, Calissano P. The scientific challenge of the 21st century: from a reductionist to a holistic approach via systems biology. *BMC Neurosci* 2006 ; 7 : 1-3.

Ogut H, Reno PW. Evaluation of an experimental *Aeromonas salmonicida* epidemic in chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum). *J Fish Dis* 2005 ; 28 : 263-9.

Ortega C, Muzquiz JL, Docando J, Planas E, Alonso JL, Simon MC. Ecopathology in aquaculture: risk factors in infectious disease outbreak. *Vet Res* 1995 ; 26 : 57-62.

Panayotu T, Wattanutcharyia S, Isvilanonda S, Tokrisna R. *The economics of catfish in central Thailand*. ICLARM Technical Report n° 4. Bangkok ; Manila : Kasetsart University Research and development Institute ; ICLARM, 1982.

Pathiratne A, Jayasinghe RPPK. Environmental influence on the occurrence of epizootic ulcerative syndrome (EUS) in freshwater fish in the Bellanwila-Attidiya wetlands, Sri Lanka. *J Appl Ichthyol* 2001 ; 17 : 30-4.

Perera RP, Johnson SK, Collins MD, Lewis DH. *Streptococcus iniae* associated mortality of *Tilapia nilotica* x *T. aurea* hybrids. *J Aquat Anim Health* 1994 ; 6 : 335-40.

Phillips MJ. Better health management in the Asia-Pacific through systems management. In : Subasinghe RP, Arthur JR, Shariff M, eds. *Health management in Asian aquaculture. Proceedings of the Regional Expert Consultation on Aquaculture Health Management in Asia and the Pacific*. FAO Fisheries Technical Paper n° 360. Rome : FAO, 1996.

Rioux JA. Le paradigme « écopathologie ». Son application à l'épidémiologie des Leishmanioses. *Bulletin de l'Académie des sciences et des lettres de Montpellier* 2007 ; 37 : 21-9.

Sabatier P, Bicout DJ, Durand B, Dubois MA. Le recours à la modélisation en épidémiologie animale. *Epidemiol Santé Anim* 2005 ; 47 : 15-33.

Shoemaker CA, Evans JJ, Klesius PH. Density and dose: factors affecting mortality of *Streptococcus iniae* infected tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 2000 ; 188 : 229-35.

Sharma KR, Leung P. Technical efficiency of carp production in Nepal: an application of stochastic frontier production function approach. *Aquaculture Economics and Management* 1998 ; 2 : 129-40.

Subasinghe RP. Epidemiological approach to aquatic animal health management: opportunities and challenges for developing countries to increase aquatic production through aquaculture. *Prev Vet Med* 2005 ; 67 : 117-24.

Tuffery G. *Recherches sur la bucéphalose à* Bucephalus polymorphus *Baer, 1827. Introduction à l'écopathologie des systèmes piscicoles*. Thèse doctorat d'écologie, université Pierre et Marie Curie, Paris-VI, 1977.

Wei Q. Social and economic impacts of aquatic animal health problems in aquaculture in China. In : Arthur JR, Phillips MJ, Subasinghe RP, Reantaso MB, MacRae IH, eds. *Primary aquatic animal health care in rural, small-scale, aquaculture development*. FAO Fisheries Technical Paper, n° 406. Rome : FAO, 2002.

Xu DH, Shoemaker CA, Klesius PH. Evaluation of the link between gyrodactylosis and streptococcosis of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *J Fish Dis* 2007 ; 30 : 233-8.

Yambot AV. Isolation of *Aeromonas hydrophila* from *Oreochromis niloticus* during fish disease outbreaks in the Philippines. *Asian Fish Sci* 1998 ; 10 : 347-54.