

Sophie De Decker

juillet 2004

**L'aquaculture de crevettes :
Pathologies et solutions envisageables.**

Travail encadré par :

Cyrille Goarant
Emmanuel Goyard
Chantal Mugnier

Rapport bibliographique de DEA
Exploitation Durable des Ecosystèmes Littoraux
EDEL - Université de La Rochelle

1	LES PATHOGENES EN AQUACULTURE MARINE ET LEUR ECOLOGIE	3
1.1	Les viroses	3
1.2	Les bactérioses et particulièrement les vibrioses	4
1.2.1	Les facteurs de virulence des <i>Vibrio</i>	4
1.2.2	Ecologie et épidémiologie	5
2	LES DESCRIPTEURS DE SANTE DE LA CREVETTE	6
2.1	L'immunité des crevettes	6
2.1.1	Caractéristiques générales et causes des variations du statut immunitaire	6
2.1.2	Descripteurs de l'état immunitaire des crevettes	7
2.2	L'état physiologique des crevettes	8
2.2.1	Importance du stade de mue sur la physiologie des crevettes	8
2.2.2	Les descripteurs d'un état de stress non spécifique	8
3	GESTION DES PATHOLOGIES EN AQUACULTURE	9
3.1	Gestion de l'environnement d'élevage	9
3.1.1	Utilisation d'antibiotiques	9
3.1.2	Utilisation de probiotiques	9
3.1.3	Elevages sans pathogène : les populations « Specific Pathogen Free » (SPF)	10
3.1.4	Nutrition et gestion zootechnique	10
3.2	Gestion de l'hôte : l'amélioration génétique	11
3.2.1	La gestion de la variabilité génétique	11
3.2.2	La sélection génétique de populations résistantes à un pathogène	11
4	CONCLUSION	12
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	13

L'élevage des crevettes péneïdes a connu un développement spectaculaire à l'échelle mondiale depuis les années soixante-dix, en particulier grâce à la maîtrise de l'ensemble du cycle biologique en captivité de plusieurs espèces d'intérêt aquacole (Aquacop, 1979). Elle a en effet permis de s'affranchir de l'approvisionnement aléatoire en juvéniles de pêche et en géniteurs sauvages, et par voie de conséquence de domestiquer ces espèces, c'est-à-dire de les sélectionner spontanément pour de meilleures aptitudes à l'élevage. Cette évolution est similaire à celle de filières piscicoles. Cependant les pathologies infectieuses représentent un frein important au développement ultérieur de ces activités. De manière générale, une pathologie infectieuse est la conséquence d'une rupture d'équilibre entre un hôte, son environnement et un ou plusieurs pathogènes (Lightner & Redman, 1998). Toute tentative de lutte contre une pathologie nécessite une meilleure connaissance de ces 3 compartiments ainsi que leurs interactions.

Le présent rapport vise à synthétiser les informations scientifiques essentielles utiles à la mise au point de stratégies de lutte contre ces pathologies en pénéculture. Un premier point sur les pathogènes sera développé avant d'évoquer les principaux descripteurs de la santé de la crevette. Enfin, les différentes possibilités de gestion des pathologies en crevetticulture, dont l'une est la sélection génétique, seront passées en revue.

1 Les pathogènes en aquaculture marine et leur écologie

Les pathologies affectant le plus couramment les crevettes péneïdes sont d'origine virale et bactérienne (Lightner & Redman, 1998).

1.1 Les viroses

Tableau 1. Quelques exemples de viroses ayant affecté et affectant la pénéculture mondiale.

Virus	Répartition géographique
WSSV (White Spot Syndrome Virus)	Asie et Amérique
YHV (Yellow Head Virus) et apparentés (GAV, gill associated virus)	Asie et Amérique, Australie
TSV (Taura Syndrome Virus)	Amérique latine
IHHNV (Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis Virus)	Monde

Les viroses, dont les impacts en pénéculture sont souvent catastrophiques dans les régions productrices, font l'objet de nombreux travaux de recherche (Tableau 1). Les travaux du Dr Lightner et de son équipe de l'Université d'Arizona ont largement contribué à la caractérisation des

viroses en pénéculture et à la mise au point d'outils diagnostiques. Parmi ceux-ci, une méthode de détection par amplification génique du virus IHNV (Lightner, 1996) présent en Nouvelle-Calédonie est aujourd'hui utilisée en routine au Laboratoire d'Aquaculture de Calédonie dans le programme de suivi épidémiologique des élevages.

1.2 Les bactérioses et particulièrement les vibrioses

Les *Vibrio* sont à l'origine de la plupart des pathologies bactériennes en aquaculture marine et c'est également le cas en crevetticulture. On peut citer en exemple la « maladie de l'anneau brun » chez la palourde ou encore la « vibriose de l'eau froide » chez les Salmonidés et autres poissons d'élevage. D'autres bactéries sont parfois associées à des épisodes pathologiques, comme certaines α -Protéobactéries proches des Rickettsies (Frelier *et al.*, 1996 ; Lightner *et al.*, 1992 ; Lightner et Redman, 1994), des Rickettsies (Lightner, 1996), plus rarement des Mycobactéries (Lightner, 1996) mais leur impact économique demeure très inférieur à celui des vibrioses. La virulence des bactéries du genre *Vibrio* est encore mal connue (Gay *et al.*, 2004).

1.2.1 Les facteurs de virulence des *Vibrio*

L'étude des *Vibrio* affectant les espèces aquacoles et leur mécanismes de pathogénicité ont bénéficié en premier lieu des connaissances issues des nombreuses recherches menées sur la pathogénicité des bactéries du genre *Vibrio* présentant un caractère pathogène chez l'homme, comme *V. cholerae* et *V. parahaemolyticus*. Les schémas d'étude et de caractérisation de ces maladies et des facteurs de virulence ont commencé à être appliqués aux problèmes de santé des filières aquacoles mondiales. Il convient de mentionner qu'une même espèce de *Vibrio* peut présenter des virulences très différentes : il est donc nécessaire de mettre au point des outils diagnostiques pertinents, visant les facteurs de pathogénicité.

Tableau 2. Exemples de vibrioses et travaux associés en aquaculture marine.

<i>Vibrio</i>	Maladie	Références des études
<i>V. salmonicida</i>	vibriose d'eau froide	Wiik <i>et al.</i> , 1989
<i>V. tapetis</i>	maladie de l'anneau brun	Borrego <i>et al.</i> , 1996
<i>V. anguillarum</i>	nombreuses	nombreuses

C'est suite aux études portant sur *V. anguillarum* (Tableau 2), pathogène d'un grand nombre d'espèces aquacoles, qu'il a été mis en évidence différents types de facteurs de virulence, à savoir cytotoxiques (Krovacek *et al.*, 1987), hémolytiques (Toranzo *et al.*, 1983 ; Kodama *et al.*, 1984). Il a par ailleurs été montré dans cette espèce que nombre de ces facteurs de pathogénicité avaient un support plasmidique (Crosa *et al.*, 1977 et 1980).

Les premiers travaux sur les *Vibrio* affectant la crevetteculture ont été menés par Lightner dès 1975 (Lightner & Lewis, 1975 ; Boemare *et al.*, 1978 ; Lightner, 1988b). Plus tard, des facteurs de virulence portés par des bactériophages ont été identifiés chez *V. harveii* responsables de mortalités aussi bien en grossissement (Ruangpan *et al.*, 1999) qu'en éclosion (Oakey & Owens, 2000).

Alors que plusieurs études portant sur les mécanismes d'infection des *Vibrio* sont menées chez les poissons (Baudin-Laurencin, 1987), les travaux sur la pathogénie des vibrioses chez les pénéides se sont longtemps presque limités à ceux de Sung & Song (1996) qui ont suivi en immunohistochimie la localisation de *V. vulnificus* administrés par balnéation à des crevettes. Plus récemment, Alday Sanz *et al.* (2002) et Van de Braak *et al.* (2002) ont également contribué aux connaissances sur ce sujet.

Les études sur les facteurs de virulence des *Vibrio* passent par la mise en point de tests diagnostiques pertinents et de suivis épidémiologiques, notamment en Nouvelle-Calédonie où *V. nigripulchritudo* et *V. penaeicida* ont été identifiés comme les responsables respectifs des mortalités d'été (Syndrome d'été) et d'hiver (Syndrome 93) dans les élevages de pénéides.

1.2.2 Ecologie et épidémiologie

Les bactéries du genre *Vibrio*, mobiles grâce à un flagelle polaire, sont essentiellement marines.

La synthèse des études menées sur *V. cholerae* et *V. parahaemolyticus* écrite par Colwell (1983) a permis de mettre en évidence une corrélation de la présence de cette dernière espèce avec la température de l'eau dans la baie de Chesapeake - cette espèce n'était plus détectée en hiver -. D'autres travaux ont montré l'existence d'une part, d'interactions entre les *Vibrio* et les matières en suspension dans la colonne d'eau, favorisant leur prolifération (Kaneko & Colwell, 1978) et d'autre part, de différents types de relations, symbiotiques ou d'inhibition, avec le plancton (Huq *et al.*, 1983). C'est dans des bassins de crevetteculture que Lavilla-Pitago *et al.* (1998) ont montré une relation de cause à effet entre une modification de la flore bactérienne de l'eau des bassins et des épisodes de mortalités de crevettes causés par *V. harveii*.

Enfin, les études menées en Nouvelle-Calédonie sur les pathogènes affectant les bassins de production, à savoir *V. penaeicida* et *V. nigripulchritudo* ont mis en évidence l'expression d'exotoxines par les souches pathogènes de ces espèces (Goarant *et al.*, 2000). Concernant *V. nigripulchritudo*, il a été montré l'existence sur un même site d'élevage de plusieurs souches aux pouvoirs pathogènes très différents (Goarant *et al.*, 2003). De plus, concernant *V. penaeicida*, l'expression de ses exotoxines semble être induite à une température de 20°C, inférieure à celle de

la croissance optimale de ces bactéries. Cet élément coïncide avec les périodes de mortalité type Syndrome 93 observées suite à des chutes de températures (Goarant *et al.*, 2000), susceptibles d'être un facteur déclenchant. Un suivi épidémiologique, réalisé à l'aide d'amorces spécifiques de *V. penaeicida* (Saulnier *et al.*, 2000, Goarant *et al.*, 2004) a permis de mettre en évidence une forte prévalence de ces pathogènes dans l'hémolymphe des crevettes **en dehors** des périodes à risque, soit l'existence de crevettes porteuses saines soulignant l'importance des facteurs déclenchant et favorisant les flambées épizootiques. Ainsi, le déclenchement des pathologies de type vibriose ne s'explique pas par l'action d'un seul facteur qui serait la présence du *Vibrio*. La caractérisation de l'état physiologique et immunologique des crevettes, et de leur environnement, est indispensable à la compréhension de ces phénomènes de mortalité dans leur ensemble.

2 Les descripteurs de santé de la crevette

2.1 L'immunité des crevettes

2.1.1 Caractéristiques générales et causes des variations du statut immunitaire

Le système immunitaire des crustacés est un système inné, qui se distingue de celui des vertébrés par l'absence de système à mémoire et à haute spécificité (Bachère, 2000). Les réponses immunitaires des invertébrés se caractérisent par deux types de réactions rapides : les réactions cellulaires et les réaction humorales. L'initiation de la défense immunitaire et de la reconnaissance du non-soi se fait par l'implication de protéines comme les lectines, qui reconnaissent spécifiquement plusieurs types de molécules étrangères ou issues de l'infection, comme les lipopolysaccharides ou les peptidoglycans de bactéries ou les β -1,3-glucans de champignons (Söderhäll et Thörnqvist, 1997).

Les réponses immunitaires non spécifiques sont principalement assurées par les cellules circulantes de l'hémolymphe, les hémocytes (Bachère *et al.*, 1995). L'action de ces effecteurs peut être cellulaire, incluant des phénomènes d'agrégation, d'encapsulation, de phagocytose (Bauchau et Mengeot, 1978 ; Ratcliffe et Rowley, 1979), ou humorale, comme son intervention dans la réaction de mélanisation induite par le système prophénoloxydase (proPO) (Söderhäll et Häll, 1984). De plus, il existe d'autres types d'effecteurs humoraux comme des peptides à activité anti-microbienne types pénéidines (Destoumieux *et al.*, 1997 ; 1999 ; 2000).

Le statut immunitaire des crustacés est étroitement dépendant de variables de différents ordres :

- La présence du pathogène : il semblerait que dans des conditions de stress, le système immunitaire deviendrait déficient (Goarant, com. pers.) ;

- L'environnement : des études réalisées sur plusieurs espèces de crustacés ont montré le rôle des paramètres environnementaux dans la modification du statut immunitaire (Le Moullac et Haffner, 2000). Ainsi, Mermoud *et al.* (1998) ont montré que les mortalités dues au Syndrome 93 dans les élevages coïncidaient avec des variations de la température.
- La physiologie : les crevettes sont plus ou moins sensibles en fonction de leur stade de développement et de leur stade de mue (Mugnier *et al.*, 2004). La cuticule représente la première barrière physique à l'intrusion de corps étrangers ou de pathogènes et la crevette se trouve plus vulnérable au moment de sa mue.

2.1.2 Descripteurs de l'état immunitaire des crevettes

La caractérisation de l'état immunitaire des crevettes de différents stades, dans différentes conditions de stress ou d'infection est donc essentielle à la compréhension des phénomènes de mortalités. Les descripteurs les plus fréquemment utilisés sont décrits dans le tableau 3.

Tableau 3. Quelques exemples de travaux effectués sur les descripteurs immunologiques chez la crevette.

Descripteurs	Références bibliographiques	Intérêts
THC	Owens et O'Neill, 1997 Goarant et Boglio, 2000 Perazzolo <i>et al.</i> , 2002	Implication dans les réponses immunitaires
Système prophénoloxydase	Söderhall et Thörnqvist, 1997 Söderhall et Cerenius, 1998 Le Moullac <i>et al.</i> , 1997	Système de défense immédiat des crevettes quantifiable dans hémocytes
Production d'ions superoxydes	Munoz <i>et al.</i> , 2000	Indicateurs d'une stimulation des hémocytes
Activité antibactérienne plasma	Chisholm et Smith, 1995	Indicateur de présence de facteurs neutralisateurs de bactéries

La recherche et l'analyse de l'activité de certains **effecteurs immunitaires**, comme le lysozyme (Hikima *et al.*, 2003) ou les pénéidiness (Destoumieux *et al.*, 1997 ; 1999 ; 2000) qui détruisent les parois cellulaires bactériennes, ou **de facteurs impliqués dans les réponses immunitaires**, comme les facteurs de coagulation étudiés chez des crevettes atteintes d'une vibriose septicémique (Ligthner, 1988a ; Mermoud *et al.*, 1998), constituent également des descripteurs pertinents du statut immunitaire des crustacés.

Seul le comptage hémocytaire, THC, a pu être mesuré dans cette étude, les autres descripteurs n'étant pas encore au point au laboratoire ou nécessitant des volumes d'hémolymphe difficiles à prélever sur des crevettes de quelques grammes.

2.2 L'état physiologique des crevettes

2.2.1 Importance du stade de mue sur la physiologie des crevettes

Les variations de la capacité osmorégulatrice, qui diminue avant et après la mue (Lignot *et al.*, 1999), illustrent l'importance du cycle de mue sur l'état physiologique de la crevette. En prémue, l'animal est plus sensible à son environnement. De plus, il a été montré chez *L. stylirostris* que les crevettes en stade de prémue sont plus sensibles à une infection expérimentale à *Vibrio penaeicida* que les individus en intermue (Le Moullac *et al.*, 1997) et à un stress hypoxique (Mugnier et Soyez, 2001).

2.2.2 Les descripteurs d'un état de stress non spécifique

- Les ions impliqués dans l'osmorégulation :

Tableau 4. Quelques descripteurs physiologiques de l'osmorégulation.

Descripteurs	Références bibliographiques	Espèce étudiée	Facteurs influençant
Capacité Osmorégulatrice	Lignot <i>et al.</i> , 1999	<i>L. stylirostris</i>	Poids, nourriture, stade de mue, salinité, divers stress.
Magnésium	Boglio et Goarant, 1996 Justou et Mugnier, 2002	<i>L. stylirostris</i>	Température, densité, oxygène dissous, ammoniacque.
Calcium	Boglio, 1995	<i>P. monodon</i>	Oxygène dissous, densité de l'élevage.

- Les descripteurs d'une modification du métabolisme :

Tableau 5. Quelques descripteurs physiologiques d'une modification du métabolisme.

Descripteurs	Références bibliographiques	Espèce étudiée	Intérêt
Glucose	Lignot <i>et al.</i> , 1999	<i>L. stylirostris</i>	Stress aigu ou chronique
Lactate	Boglio, 1995	<i>P. monodon</i>	Augmentation du métabolisme anaérobie
Protéines totales	Justou et Mugnier, 2002	<i>L. stylirostris</i>	Stress aigu
Hémocyanine	Justou et Mugnier, 2002	<i>L. stylirostris</i>	Stress aigu

L'analyse des études faites sur les indicateurs physiologiques (Tableaux 4 et 5) des crustacés ne permet pas d'identifier un descripteur physiologique pertinent et caractéristique d'une infection. Ces descripteurs sont très liés aux nombreuses variables environnementales, comme la température, la salinité, l'oxygène dissous, la densité, le pH, la nature du substrat, le stress de pêche, qu'il est difficile de contrôler. On sait seulement interpréter les variations de ces descripteurs comme indicateurs de stress ou de situation d'inconfort sans pouvoir aujourd'hui identifier l'origine de ce stress.

3 Gestion des pathologies en aquaculture

Parmi les trois compartiments hôte, pathogène et environnement, l'aquaculteur soucieux de la santé de son cheptel tente d'agir généralement sur les compartiments hôte et environnement (au sens large du terme), le compartiment pathogène étant peu ou pas contrôlable. Or l'état physiologique et immunologique de l'hôte dépend lui même en fait de facteurs qui lui sont internes (son stade de développement et de mue, ses gènes...) et de facteurs qui lui sont externes et qu'il subit (son environnement). Ceci est généralement traduit par l'équation conceptuelle suivante, qui traduit une perception génétique :

$$P = G + E + GxE$$

où P est le phénotype, l'ensemble des performances mesurables de l'individu,
G est le génotype, l'ensemble des gènes de l'individu,
E est l'ensemble des paramètres environnementaux dans lequel l'individu se construit et évolue depuis sa naissance.
GxE représente les interactions entre G et E.

Autrement dit, seuls deux types de stratégies sont à envisager pour tenter de gérer les pathologies : il s'agit soit de gérer différemment l'environnement d'élevage au sens large (c'est-à-dire l'environnement biologique, physico-chimique et technique dans lequel le cheptel se développe et croît, ce qui peut correspondre à une action indirecte sur l'hôte ou sur le pathogène), ou il s'agit de sélectionner au sein du cheptel les génotypes les plus adaptés pour répondre aux agressions de l'environnement et plus spécifiquement à celle des pathogènes présents dans l'environnement.

3.1 Gestion de l'environnement d'élevage

3.1.1 Utilisation d'antibiotiques

Sans effet sur les virus, les antibiotiques constituent une solution facilement mise en œuvre lors d'épisodes de pathologies bactériennes dans les élevages. Si leur efficacité à court terme peut être bonne moyennant l'utilisation de doses adéquates, leur utilisation régulière sur le long terme est génératrice d'antibiorésistances (Brown, 1989) d'autant plus néfastes qu'ils sont utilisés en milieu ouvert propice à la diffusion de souches pathogènes résistantes qui peuvent avoir un impact en terme de santé humaine. Certaines filières aquacoles, et en particulier la filière crevetteicole de Nouvelle-Calédonie, basent leur développement sur des labels de production garantissant la non-utilisation d'antibiotiques dans les élevages.

3.1.2 Utilisation de probiotiques

Les probiotiques, qui peuvent être définis comme « complément alimentaire microbien qui affecte positivement l'animal-hôte par amélioration de la balance microbienne intestinale » constituent un mode de contrôle des pathologies aquacoles de plus en plus étudié et promu par les sociétés pharmaceutiques et les provendiers. Leurs modes d'actions sont multiples : ils peuvent être utilisés pour modifier directement le milieu d'élevage, soit en colonisant le milieu plus vite qu'un agent pathogène, soit en intervenant dans le recyclage de la matière organique dans les bassins. D'autres agissent par exclusion compétitive avec les bactéries pathogènes (émission de substance antibiotiques, compétition pour l'accès à l'espace, aux nutriments et à l'oxygène), par stimulation des réponses immunitaires humorale ou cellulaire ou enfin par altération du métabolisme du pathogène.

3.1.3 Elevages sans pathogène : les populations « Specific Pathogen Free » (SPF)

Pratiquer l'élevage dans un environnement sans pathogène constitue une solution qui semble maintenant possible moyennant :

- la décontamination des bassins avant ensemencement (ce qui implique des bassins recouverts de liners en polyéthylène par exemple) ;
- l'utilisation systématique d'animaux à statut sanitaire contrôlé « Specific Pathogen Free » (SPF) (Wyban et Swingle, 1999);
- une intensification des élevages pour contrebalancer les coûts d'infrastructures plus élevés et pour limiter ou annuler les renouvellements d'eau (« Zero water exchange » - Moss, 2004).

Ceci représente une pratique de plus en plus courante à l'échelle mondiale en crevetticulture. Cette pratique a permis en particulier à l'Asie de relancer sa production de crevettes en important des géniteurs de *L. vannamei* SPF issus du programme hawaïen encadré par l'USDA alors que sa production s'effondrait à cause du White Spot Virus (Montgomery-Brock *et al.*, 2004).

3.1.4 Nutrition et gestion zootechnique

L'adéquation de la ration alimentaire aux besoins des animaux peut le cas échéant avoir une action directe sur la santé des animaux. En particulier, la satisfaction des besoins en nutriments essentiels (vitamines, acides gras poly-insaturés, acides aminés essentiels,...) en période de stress environnemental est une voie de recherche pour stimuler les défenses immunitaires des crevettes (Chim *et al.*, 2001). Deux stratégies sont envisageables pour atteindre cet objectif : une meilleure formulation des granulés distribués, en particulier en période à risque, ou un meilleur contrôle par des pratiques zootechniques adaptées (aération, renouvellement d'eau) des blooms phyto- et zooplanctoniques qui se développent dans les bassins d'élevage et sont consommés par les crevettes et dont la qualité est variable.

D'une façon plus générale, l'amélioration des pratiques zootechniques peut permettre d'optimiser les conditions environnementales auxquelles sont soumis les élevages et diminuer les stress en élevage. Le contrôle de la température peut également limiter ou empêcher le développement de crises de White Spot (Sonnenholzner et Calderon, 2004 ; Rodriguez *et al.*, 2003 ; Vidal *et al.*, 2001).

3.2 Gestion de l'hôte : l'amélioration génétique

L'amélioration des cheptels passe par 2 approches génétiques différentes, mais complémentaires.

3.2.1 La gestion de la variabilité génétique

De nombreuses études portant sur les espèces d'intérêt aquacole montrent la perte de variabilité qu'ont subi les populations d'élevage reproduites à partir de stocks fermés par rapport à leurs populations sauvages d'origine (Sbordoni *et al.*, 1986 ; Sunden et Davis, 1991) ; cette perte de variabilité correspond à la fois à des pertes d'allèles (par dérive ou par sélection spontanée au cours de la domestication) et à une augmentation de la consanguinité dans ces populations domestiquées, ces deux facteurs menant à une diminution de l'hétérozygotie moyenne. Parallèlement, on a pu montrer chez les mollusques et chez les crustacés la corrélation entre hétérozygotie et croissance et entre niveau de consanguinité et survie en élevage (Bierne *et al.*, 2000 ; Crocos *et al.*, 2000). La gestion de la variabilité des stocks aquacoles constitue donc une priorité, en particulier dans le cas d'espèces introduites et domestiquées sans véritables considérations génétiques durant la phase pionnière de développement. La réintroduction de « sang neuf » constitue une option dont il convient d'étudier les modalités (en particulier réintroduction d'individus sauvages ou réintroduction d'individus domestiqués issus de populations différentes) et les conséquences potentielles en tenant compte des risques sanitaires associés (Goyard *et al.*, 2003).

3.2.2 La sélection génétique de populations résistantes à un pathogène

La sélection de lignées résistantes aux pathogènes est un des axes principaux de recherche privilégiés dans l'étude de nombreuses maladies chez les animaux, mais aussi chez les végétaux. Dans le domaine de l'aquaculture ont été sélectionnés chez les Salmonidés (Fjalestad *et al.*, 1993) des animaux à résistance accrue à certaines pathologies virales (SHV, NHI notamment) ou bactérienne (vibriose, furunculose, yersionose...).

De la façon la plus simple et la plus empirique, souvent au détriment de la variabilité génétique au sein de la population, cette sélection consiste à croiser entre eux des individus ayant

survécu à une pression de sélection suffisante, c'est-à-dire, dans le domaine des pathologies, souvent létale pour une proportion relativement importante de la population. Ce mode de sélection peut conduire plus ou moins rapidement à la sélection d'individus ayant une résistance génétique relative ou totale à la pathologie étudiée. Ainsi Embury et Hayford (1925, cités par Chevassus et Dorson, 1990), ont sélectionné comme géniteurs les truites survivantes à la furunculose et ont fait progresser la survie des truites à 6 mois de 2% à 60% en trois générations. C'est également ce mode de sélection qui a probablement conduit à l'isolement de la souche *P. stylirostris* « AQUACOP SPR 43 » résistante au virus IHNV (Weppe *et al.*, 1992). Cependant ce résultat est en l'occurrence le fruit d'une domestication en présence de ce pathogène autrement dit d'une sélection spontanée et non pas le fruit d'un programme de génétique spécifiquement développé pour un caractère donné. Plus récemment, des programmes de sélection ont été menés, principalement sur *L. vannamei*, afin de développer des souches résistantes au TSV (Argue *et al.*, 2002). Ces programmes trouvent leur application dans la production de souches sélectionnées dont le statut sanitaire SPF facilite techniquement la commercialisation à l'échelle mondiale (Montgomery-Brock *et al.* 2004).

En revanche, peu de travaux ont porté sur la sélection de résistance à des bactéries chez les crevettes. Récemment, des résultats encourageants ont été rapportés pour la sélection d'une résistance à *V. penaeicida* chez *L. stylirostris* (Goyard *et al.*, 2004).

Une autre approche en termes de sélection, qui est depuis peu explorée, consiste à sélectionner non pas sur un critère de survie à un pathogène donné mais sur le niveau d'expression en effecteurs antimicrobiens. En particulier, l'existence de peptides antimicrobiens chez les invertébrés et en particulier chez les crevettes (Destoumieux *et al.*, 1997 et 1999) suggère que leur niveau d'expression pourrait représenter un bon indicateur de rusticité et de résistance globale aux agressions microbiennes.

4 Conclusion

Le développement de l'aquaculture moderne passe nécessairement par une meilleure maîtrise des pathologies. Si la connaissance des pathogènes est une étape indispensable, les moyens de lutte font nécessairement appel à une meilleure maîtrise de l'environnement d'élevage pour éviter que les pathogènes puissent s'exprimer, ou pour les éliminer, mais aussi pour «doper» les animaux afin de les rendre plus résistants aux agressions microbiennes. Les moyens de lutte comportent aussi une composante « génétique » puisqu'il s'agit de préserver le mieux possible la diversité génétique au sein de la population élevée mais aussi de sélectionner les animaux les plus performants et/ou les plus résistants aux maladies.

Références bibliographiques

- Alday-Sanz V., Roque A., Turnbull J.F.** (2002). Clearing mechanisms of *Vibrio vulnificus* biotype I in the black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Diseases of Aquatic Organisms* 48:91-99.
- Aquacop** (1979). Penaeid reared broodstock: closing the cycle of *P. monodon*, *P. stylirostris* and *P. vannamei*. *Proceedings of the 10th Annual Meeting of World Mariculture Society* 10: 445-452.
- Argue B.J., Arce S.M., Lotz J.M., Moss S.M.** (2002). Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to Taura Syndrome Virus. *Aquaculture* 204 (3-4):447-460.
- Bachère E., Mialhe E., Noël D., Boulo V., Morvan A., Rodriguez J.** (1995). Knowledge and research prospects in marine mollusc and crustacean immunology. *Aquaculture* 132, 17-32.
- Bachère E.** (2000). Shrimp immunity and disease control - Introduction. *Aquaculture* 191:3-11.
- Bauchau A.G., Mengeot J.C.** (1978). Structure et fonction des hémocytes chez les Crustacés. *Arch. Zool. exp. gén.* 119:227-248.
- Baudin-Laurencin F.** (1987). Pathogénie de la vibriose: un exemple des relations entre organisme pathogène, hôte et environnement. *Océanis* 13, 115-123.
- Bierne N., Beuzart I., Vonau V., Bonhomme F., Bédier E., Aquacop** (2000). Microsatellite-associated heterosis in hatchery-propagated stocks of the shrimp *Penaeus stylirostris*. *Aquaculture* 184: 203-219.
- Boemare N., Cousserans F., Bonami J.R.** (1978). Épizootie à Vibrionaceae dans les élevages de crevettes Penaeidae. *Ann. Zool. Ecol. anim.* 10, 227-238.
- Boglio E.** (1995). Measurement of stress in broodstock leader prawns (*Penaeus monodon*) following capture by trawling and transport to hatcheries. Thèse de l'University of Queensland, 155p.
- Boglio E., Goarant C.** (1996). Hemolymph magnesium as a measure of acute physiological stress in wild broodstock *Penaeus monodon* and cultured broodstock *P. stylirostris*. In *Second International Conference on the Culture of Penaeid Prawns and shrimps*, p. 101. Iloilo, Philippines.
- Borrego J.J., Luque A., Castro D., Santamaria J.A.** (1996). Virulence factors of *Vibrio* P1, the causative agent of brown ring disease in the Manila clam, *Ruditapes philipinarum*. *Aquat. Liv. Res.* 9, 125-136.
- Brown J.H.** (1989). Antibiotics: their use and abuse in aquaculture. *World Aquaculture*, 20(2): 34-49.
- Chevassus B., Dorson M.** (1990). Genetics of resistance to disease in fishes. *Genetics in Aquaculture III*, *Aquaculture* vol. 85(n°1-4): 83-107.
- Chim L., Lemaire P., Delaporte M., Le Moullac G., Galois R., Martin J.L.M.** (2001). Could a diet enriched with n-3 highly unsaturated fatty acids be considered a promising way to enhance the immune defences and the resistance of Penaeid prawns to environmental stress? *Aquaculture Research* 32, 91-94.
- Chisholm J.R.S., Smith V.J.** (1995). Comparison of antibacterial activity in the hemocytes of different crustacean species. *Comparative Biochemistry and Physiology* 110A, 39-45.
- Colwell R.R.** (1983). *Vibrios in the environment*. Ed. John Wiley and sons, New York.
- Crocos P., Davis G., Preston N., Keys S.** (2000). Comparative growth, survival and reproductive performance of inbred and outbred lines of domesticated shrimp, *Penaeus japonicus*, in Australia. In *Book of abstracts, International Symposium for Genetic in Aquaculture, Townsville, Australia, 15-22/07/2000*, p. 45.
- Crosa J.H., Schiewe M.H., Falkow S.** (1977). Evidence for a plasmid contribution to the virulence of the marine fish pathogen *Vibrio anguillarum*. *Infect. Immun.* 18, 509-513.
- Crosa J.H., Hodges L.L., Schiewe M.H.** (1980). Curing of plasmids is correlated with an attenuation of virulence in the marine fish pathogen *Vibrio anguillarum*. *Infect. Immun.* 27, 897-902.

- Destoumieux D., Bulet P., Loew D., van Dorsselaer A., Rodriguez J., Bachère E.** (1997). Penaeidins, a new family of antimicrobial peptides isolated from the shrimp *Penaeus vannamei* (Decapoda). *J. Biol. Chem.* 272, 28398-28406.
- Destoumieux D., Bulet P., Strub J.M., Van-Dorsselaer A., Bachère E.** (1999). Recombinant expression and range of activity of penaeidins, antimicrobial peptides from penaeid shrimp. *European Journal of Biochemistry* 266, 335-346.
- Destoumieux D., Munoz M., Cosseau C., Rodriguez J., Bulet P., Comps M., Bachère E.** (2000). Penaeidins, antimicrobial peptides with chitin-binding activity, are produced and stored in shrimp granulocytes and released after microbial challenge. *Journal of Cell Science* 113, 461-469.
- Fjalestad K.T., Gjedrem T., Gjerde B.** (1993). Genetic improvement of disease resistance in fish : an overview. *Aquaculture* 111:65-74.
- Frelier P.F., Sis R.F., Bell T.A., Lewis D.H.** (1992). Microscopic and ultrastructural studies of necrotizing hepatopancreatitis in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) cultured in Texas. *Veterinary Pathology* 29:269-277.
- Gay M., Saulnier D., Faury N., Le Roux F.** (2004). Vers une étude épidémiologique des vibrioses. Actes du colloque "Styli 2003, 30 ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie". Sous presse.
- Goarant C.** (2000). Epidémiologie et facteurs de virulence des bactéries du genre *Vibrio* responsables de mortalité de crevettes d'élevage en Nouvelle-Calédonie. Perspective de lutte. Thèse de troisième cycle de l'Université de Polynésie Française. 174 p.
- Goarant C., Boglio E.** (2000). Changes in hemocyte counts in *Litopenaeus stylirostris* subjected to sublethal infection and to vaccination. *Journal of the World Aquaculture Society* 31:123-129.
- Goarant C., Herlin J., Ansquer D., Domalain D., Imbert F., Marteau A.L.** (2003). Bases des connaissances sur l'épidémiologie de *Vibrio nigripulchritudo*, agent étiologique du Syndrome d'été chez les crevettes d'élevage en Nouvelle-Calédonie. 2003. Rapport Interne IFREMER DRV / RST / RA / LAC 2003 - 02.
- Goyard E., Arnaud S., Vonau V., Bishoff V., Mouchel O., Pham D., Wyban J., Boudry P., Aquacop** (2003). Residual genetic variability in domesticated populations of the Pacific blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) of New-Caledonia, French Polynesia and Hawaii and some management recommendations, *Aquat. Living Resour.* 16 (2003) 501–508.
- Goyard E., Peignon J.M., Vonau V., Goarant C., Imbert F., Pham D., Patrois J.** (2004). Genetic Improvement of pacific Blue Shrimp addresses Syndrome 93 in New Caledonia. *Global Aquaculture Advocate*, Volume 7, issue 2, pp 86-87.
- Hikima S., Hikima J.I., Rojtinnakorn J., Hirono I., Aoki T.** (2003). Characterization and function of kuruma shrimp lysozyme possessing lytic activity against *Vibrio* species. *Gene* 316:187-195.
- Huq A., Small E.B., West P.A., Huq M.I., Rahman R., Colwell R.R.** (1983). Ecological relationships between *Vibrio cholerae* and planktonic crustacean copepods. *Appl. Environ. Microbiol.* 45, 275-283.
- Justou C., Mugnier C.** (2002). Effet de l'ammoniaque sur différents paramètres physiologiques chez la crevette *Litopenaeus stylirostris*. Fiche Biotechnique 2002.01 pp 20. IFREMER/LAC, Nouvelle-Calédonie.
- Kaneko T., Colwell R.R.** (1978). The annual cycle of *Vibrio parahaemolyticus* in Chesapeake bay. *Microb. Ecol.* 4, 135-155.
- Kodama H., Moustafa M., Ishiguro S., Miakami T., Izawa H.** (1984). Extracellular virulence factors of fish *Vibrio* : relationship between toxic material, hemolysin, and proteolytic enzyme. *Am. J. Vet. Res.* 45, 2203-2207.
- Krovacek K., Faris A., Mansson I.** (1987). Cytotoxic and skin permeability factors produced by *Vibrio anguillarum*. *Aquaculture* 67, 87-91.
- Lavilla-Pitogo C.R., Leño E.M., Paner M.G.** (1998). Mortalities of pond-cultured juvenile shrimp, *Penaeus monodon*, associated with dominance of luminescent vibrios in the rearing environment. *Aquaculture* 164, 337-349.

- Le Moullac G., Le Groumellec M., Ansquer D., Froissard S., Levy P., Aquacop** (1997). Haematological and phenoloxidase activity changes in the shrimp *Penaeus stylirostris* in relation with the moult cycle : protection against vibriosis. *Fish and Shellfish Immunology* 7, 227-234.
- Le Moullac G., Haffner P.** (2000). Environmental factors affecting immune responses in Crustacea. *Aquaculture* 191, 121-131.
- Lightner D.V., Lewis D.H.** (1975). A septicemic bacterial disease syndrome of penaeid shrimp. *Mar. Fish. Rev.* 37, 25-28.
- Lightner D.V.** (1988a). Hemocytic enteritis (HE) disease of penaeid shrimp. *Disease diagnosis and control in North American marine aquaculture*. Elsevier:89-92.
- Lightner D.V.** (1988b). *Vibrio* disease of Penaeid shrimp. In *Disease diagnosis and control in north American marine aquaculture*, vol. 17 (ed. C. J. Sindermann and D. V. Lightner), pp. 42-47. Miami, Florida, USA: Elsevier.
- Lightner D.V., Redman R.M., Bonami J.R.** (1992). Morphological evidence for a single etiology in Texas necrotizing hepatopancreatitis in *Penaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda). *Diseases of Aquatic Organisms* 13:235-239.
- Lightner D.V., Redman R.M.** (1994). An epizootic of necrotizing hepatopancreatitis in cultured penaeid shrimp in northwestern Peru. *Aquaculture* 122:9-18.
- Lightner D.V.** (1996). *A handbook of shrimp pathology and diagnosis procedures for disease of cultured Penaeid shrimp*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Lightner D.V., Redman R.M.** (1998). Shrimp diseases and current diagnostic methods. *Aquaculture* 164:201-220.
- Lignot J.H., Cochard J.C., Soyez C., Lemaire P., Charmantier G.** (1999). Osmoregulatory capacity according to nutritional status, molt stage and body weight in *Penaeus stylirostris*. *Aquaculture* 170, 79-92.
- Mermoud I., Costa R., Ferré O., Goarant C., Haffner P.** (1998). "Syndrome 93" in New Caledonian outdoor rearing ponds of *Penaeus stylirostris* : history and description of three major outbreaks. *Aquaculture* 164, 323-335.
- Montgomery-Brock D., Braun R., Corbin J.** (2004). SPF shrimp from Hawaii – Clarifying what the term SPF means for shrimp exports from Hawaii *World Aquaculture 2004. Book of Abstracts. Aquaculture Society Special Publication*: p. 409.
- Moss S.M.** (2004). Biosecure, zero-exchange shrimp production technology (Biozest): project overview; *World Aquaculture 2004. Book of Abstracts. Aquaculture Society Special Publication* : p. 415.
- Mugnier C., Soyez C.** (2001). Effect of temperature decrease, hypoxia and molt stage on osmoregulatory capacity and survival in the penaeid shrimp *Litopenaeus stylirostris*. In *Fifth International Crustacean Congress. Melbourne 9-13 July, Melbourne, Australia*.
- Mugnier C., Justou C.** et le personnel du LAC (2003). La crevette et le Syndrome d'été en Nouvelle-Calédonie : quelles réponses physiologiques et immunitaires ? Résultats préliminaires du programme DESANS, Colloque Styli 2003.
- Munoz M., Cedeno R., Rodriguez J., Van-der-Knaap W.P., Mialhe E., Bachère E.** (2000). Measurement of reactive oxygen intermediate production in haemocytes of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 191, 89-107.
- Oakey H.J., Owens L.** (2000). A new bacteriophage, VHML, isolated from a toxin-producing strain of *Vibrio harveyi* in tropical Australia. *J. Appl. Microbiol.* 89, 702-709.
- Owens L., O'Neil A.** (1997). Use of a clinical cell flow cytometer for differential counts of prawn *Penaeus monodon* haemocytes. *Diseases of Aquatic Organisms* 31, 14-153.
- Perazzolo L.M., Gargioni R., Ogliari P., Barracco M.A.A.** (2002). Evaluation of some hemato-immunological parameters in the shrimp *Farfantepenaeus paulensis* submitted to environmental and physiological stress. *Aquaculture* 214:19-33.
- Ratcliffe N.A., Rowley A.F.** (1979). Role of hemocytes in defense against biological agents. *Insect hemocytes-development forms, functions, and techniques*, Cambridge univ. Press.331-414.

- Ruangpan L., Danayadol Y., Direkbusarkeywordsom S., Siurairatana S., Flegel T.W.** (1999). Lethal toxicity of *Vibrio harveyi* to cultivated *Penaeus monodon* induced by a bacteriophage. *Dis. Aquat. Org.* 35, 195-201.
- Saulnier D., Avarre J.C., Le Moullac G., Ansquer D., Levy P., Vonau V.** (2000). Rapid and sensitive PCR detection of *Vibrio penaeicida*, the putative etiological agent of Syndrome 93 in New Caledonia. *Diseases of Aquatic Organisms* 40:109-115.
- Sbordoni V., de Matthaeis E., Sbordoni M.C., La Rosa G., Mattoccia M.** (1986). Bottleneck effects and the depression of genetic variability in hatchery stocks of *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda). *Aquaculture* 57: 239-251.
- Söderhäll K., Häll L.** (1984). Lipopolysaccharide-induced activation of prophenoloxidase activating system in crayfish haemocyte lysate. *Biochimica et Biophysica Acta* 797:99-104.
- Söderhäll K., Thörnqvist P.O.** (1997). Crustacean immunity - A short review. *Dev. Biol. Stand.* 90, 45-51.
- Söderhäll K., Cerenius L.** (1998). Role of the prophenoloxidase-activating system in invertebrate immunity. *Current Opinion in Immunology* 10, 23-28.
- Sunden S.L.F., Davis S.K.** (1991). Evaluation of genetic variation in a domestic population of *P. vannamei* (Boone): a comparison with three natural populations. *Aquaculture* 97: 131-142.
- Sung H.H., Song Y.L.** (1996). Tissue location of *Vibrio* antigen delivered by immersion to tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture* 145, 41-54.
- Toranzo A.E., Barja J.L., Colwell R.R., Hetrick F.M., Crosa J.H.** (1983). Haemagglutinating, haemolytic and cytotoxic activities of *Vibrio anguillarum* and related vibrios isolated from striped bass on the Atlantic Coast. *FEMS Microbiol. Lett.* 18, 257-262.
- Van-De-Braak C.B., Botterblom M.H.A., Taverne N., Van-Muiswinkel B., Rombout J.H.W.M., Van-Der-Knaap W.P.W.** (2002). The roles of haemocytes and the lymphoid organ in the clearance of injected *Vibrio* bacteria in *Penaeus monodon* shrimp. *Fish and shellfish immunology* 13:293-309.
- Vidal O.M., Granja C.B., Aranguren F., Brock J.A., Salazar M.** (2001). A profound effect of hyperthermia on survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles infected with White spot Syndrome Virus. *Journal of the World Aquaculture Society* 32:364-372.
- Weppe M., Bonami J.R., Lightner D.V., Aquacop** (1992). Demonstracion de altas cualidades de la cepa de *P. stylirostris*. (SPR 43) resistente al virus IHHN. *Memorias Congreso Ecuatoriano de Acuicultura*. CENAIM, November 1992, Guayaquil, Ecuador, 229-232.
- Wiik R., Andersen K., Daae F.L., Hoff K.A.** (1989). Virulence studies based on plasmid profiles of the fish pathogen *Vibrio salmonicida*. *Appl. Environ. Microbiol* 55, 819-825.
- Wyban J., Swingle J.** (1999). Selective breeding for fast growth and Taura Syndrome resistance in High Health *P. vannamei*. In *Book of abstracts, WAS 1999*, Sydney, Australia.