

**IFREMER – Centre du Pacifique**

**Département Aquaculture en Calédonie**

**BP 2059 – 98846 Nouméa cedex – Nouvelle-Calédonie**

Hugues Lemonnier

Yoann Thomas

Alexandre Legrand

Jean-Louis Martin

Alain Herbland

Juin 2006

Impact de la crevetticulture calédonienne sur l'environnement : Etat des lieux, recherche de traceurs des effluents et définition d'un programme de recherche pluriannuel.



Vue aérienne de la ferme La Sodacal

Rapport final du contrat du Ministère de l'Outre-Mer

Titre du Projet : Impact de la crevetticulture calédonienne sur l'environnement. Etat des lieux, recommandations et recherche de bio-indicateurs des effluents.

**Organisme et Laboratoire demandeur :**

**Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer**

Département Aquaculture en Calédonie (DAC)

✉ : BP 2059 – 98846 NOUMEA cedex – Nouvelle Calédonie

☎ : (687) 28 51 71

fax : (687) 28 78 57

**Laboratoires partenaires :**

1) **Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer**

Centre de Recherche en Ecologie Marine et en Aquaculture (CREMA)

✉ : B.P. 5 / 13137 L'Houmeau / France

☎ : 00 (33) 05 46 50 06 12

fax : 00 (33) 05 46 50 06 00

**Dossier suivi par :**

Yves Harache

[yharache@ifremer.fr](mailto:yharache@ifremer.fr) :

Délégué IFREMER

Hugues Lemonnier

[hlemonni@ifremer.fr](mailto:hlemonni@ifremer.fr) :

Responsable du programme Environnement du DAC

Alain Herbland

[aherbland@ifremer.fr](mailto:aherbland@ifremer.fr)

Animateur scientifique du programme DESANS

Jean-Louis Martin

[jlmartin@ifremer.fr](mailto:jlmartin@ifremer.fr)

Cadre IFREMER du CREMA

Denis Coatanea

[dcoatanea@ifremer.fr](mailto:dcoatanea@ifremer.fr)

Responsable du DAC Koné

**Objectifs :**

- Etablir un état des lieux de l'impact de l'aquaculture de crevettes sur l'environnement.
- Dégager les recommandations à court terme pour un développement durable de la filière et les axes de recherches prioritaires à plus long terme.
- Recherche des bioindicateurs permettant de suivre le devenir des effluents dans le milieu receveur (mangrove, lagon).

**Justificatif :**

L'élevage de crevettes connaît actuellement un essor important. La production annuelle est aujourd'hui de 1800 tonnes et représente la deuxième source d'exportation de la Nouvelle Calédonie, derrière le nickel. Douze fermes de grossissement représentant 500 hectares de bassins sont installées en arrière de mangrove sur 400 km de côtes de l'Ouest de la Grande Terre. L'importance de cette activité devrait se renforcer puisqu'il est prévu de produire en 2007, 5000 tonnes de crevettes par an sur une surface d'environ 1000 ha. Du fait des pratiques culturales mises en œuvre, et des quantités relativement faibles produites, on a considéré jusqu'à aujourd'hui que l'aquaculture calédonienne était respectueuse de l'environnement et qu'elle avait un impact modéré sur la biodiversité littorale, patrimoine local à préserver. Cette image, favorable à la filière, s'oppose à celle qu'à la plupart des filières « Crevettes » à travers le monde. Toutefois, la multiplication des fermes et l'augmentation de la production sont susceptibles d'augmenter la pression sur l'environnement. Un état des lieux des connaissances au niveau mondial et local est aujourd'hui nécessaire pour que la filière puisse mettre en avant, sur des bases objectives, son image « environnementalement correcte », et ainsi d'assurer que l'aquaculture calédonienne n'hypothèque pas la préservation de la biodiversité littorale. Ce travail sera l'occasion d'apporter des recommandations pour accompagner un développement durable de la filière. Une recherche de bio-indicateurs à destination des acteurs de la recherche et des « développeurs » permettant de suivre le devenir des effluents dans le milieu receveur sera conduite (eau du lagon).

	Fonctionnement	Missions	Investissement	Personnel	TOTAL (KE)
Budget TOTAL (KE)	3,9	8,5	15,1	34,3	64,8
Financement propre (KE)	6,4	5,5	0	34,3	46,2
<b>Subvention demandée (KE)</b>	<b>0,5</b>	<b>3,0</b>	<b>15,1</b>	<b>0</b>	<b>18,6</b>

# Résumé

Dans un contexte d'essor de la filière crevette de Nouvelle Calédonie, des actions de recherche doivent être envisagées (i) pour assurer que cette production n'hypothéquera pas la qualité de l'environnement littoral et sa biodiversité dont elle dépend et (ii) pour que la filière puisse mettre en avant, sur des bases objectives, son image «environnementalement correcte» garante de la bonne commercialisation de son produit. Dans le cadre de ce projet MOM, plusieurs actions ont été menées :

**Action 1 :** Une synthèse bibliographique de l'impact de l'aquaculture de crevettes sur l'environnement littoral a été réalisée en prenant en compte les travaux conduits à travers le monde et en Nouvelle-Calédonie afin de dégager les principales problématiques concernant le Territoire. Il apparaît nécessaire comme première priorité d'être capable d'évaluer le devenir et l'impact des effluents sur l'environnement littoral.

**Action 2 :** A ce titre, un travail de recherche d'un ou de plusieurs indicateurs, parmi les variables environnementales du lagon, de l'influence des rejets aquacoles sur l'environnement littoral a été mené. Les premiers résultats sont présentés dans ce rapport.

**Action 3 :** Parallèlement, il a été défini en relation avec nos partenaires présents en Nouvelle-Calédonie un programme pluriannuel prenant en compte les différents aspects du problème dans sa globalité et sa complexité. Pour cela, un séminaire intitulé « Écosystèmes et crevetticulture » organisé par l'Ifremer en Nouvelle-Calédonie avec le soutien de l'IRD s'est tenu à Nouméa du 22 au 24 juin 2005. Ce séminaire a permis d'élaborer des perspectives de recherche sur le benthos, sur le fonctionnement de l'écosystème lagon et sur l'évolution des mangroves soumis à des apports de matière organique issus des élevages.

# Sommaire

<b>RESUME .....</b>	<b>3</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Contexte général lors de la demande MOM .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Contexte Scientifique - Résultats déjà obtenus.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Actions présentées dans le cadre de cette demande: .....</b>	<b>7</b>
<b>CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART .....</b>	<b>9</b>
<b>1<sup>ère</sup> partie : Etat des lieux.....</b>	<b>10</b>
1.1. Les déchets d'élevage : les effluents et les boues d'élevage .....	10
1.2. La destruction des mangroves .....	15
1.3. Introduction d'espèces non - natives .....	15
1.4. Prélèvements des crevettes dans le milieu naturel.....	16
1.5. Les farines de poissons et de crustacés.....	16
<b>2<sup>ème</sup> partie : Vers une aquaculture responsable.....</b>	<b>19</b>
2.1. Les codes de conduites.....	20
2.2. Les BMP's (Best Management Practices).....	20
2.3. La législation .....	22
2.4. Quelles solutions pour limiter les impacts ?.....	22
2.5. Synthèse .....	30
<b>CHAPITRE 2 : IMPACT DE L'AQUACULTURE SUR L'ENVIRONNEMENT EN NOUVELLE CALEDONIE .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1. Schéma conceptuel de l'étude d'impact de la crevetticulture sur l'environnement littoral .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2. Modèle prédictif des flux azotés et phosphorés .....</b>	<b>35</b>
<b>2.3. Recherche d'indicateurs des effluents d'élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie.....</b>	<b>37</b>
2.3.1. Introduction .....	37
2.3.2. Matériel et méthode.....	37
2.3.3. Résultats .....	42
2.3.4. Conclusion – Perspectives.....	46
<b>2.4. Les effets sur l'environnement littoral .....</b>	<b>47</b>
2.4.1. Des études passées (1995-1998) sur la baie de Chambeyron.....	47
2.4.2... aux études récentes (2004-2005) sur la mangrove .....	47
<b>CHAPITRE 3 : LES BASES D'UN PROGRAMME PLURIANNUEL .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. Séminaire Écosystèmes et crevetticulture .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2. Perspectives et voies de recherche .....</b>	<b>51</b>
3.2.1. Baie de Chambeyron : 10 ans après. ....	51

3.2.2. Indicateurs d'effluents et effets sur les communautés planctoniques microbiennes dans les baies de Chambeyron et de Teremba .....	51
3.2.3. La mangrove et sa biodiversité.....	52

**BIBLIOGRAPHIE .....** 53

**Bibliographie générale.....** 53

**Bibliographie Calédonienne.....** 66

**ANNEXE.....** 69

# INTRODUCTION

## 1. Contexte général lors de la demande MOM

La production annuelle en Nouvelle-Calédonie est passée de 65 tonnes en 1986 à 2200 tonnes en 2004. Cette filière génère 1000 emplois à temps plein ou à temps partiel, soit 330 équivalents temps plein pour un chiffre d'affaire de l'ordre de 20 millions d'Euros en 2002. Bien que connaissant quelques difficultés conjoncturelles de croissance, les perspectives de développement de la filière sont importantes puisque les objectifs fixés par les responsables politiques territoriaux et des 2 provinces productrices sont de l'ordre de 5000t/an.

Du fait du type de construction, du nombre limité de fermes et de leurs pratiques culturales, on a considéré jusqu'à présent que l'aquaculture calédonienne était respectueuse de l'environnement. C'est ainsi que pour leur implantation, Lemonnier et Herlin estimaient en 1999 à seulement 2 ha la superficie de mangrove arrachée sur l'ensemble de la Calédonie pour la construction de toutes les fermes réunies. De même les travaux de Chevillon (1999), Garrigue et al., (1999) ont mis en évidence un impact modéré sur la biodiversité littorale, patrimoine local à préserver.

Mais la multiplication des fermes, l'augmentation de la production et le risque d'intensification des systèmes d'élevage en Nouvelle-Calédonie sont susceptibles d'augmenter la pression sur l'environnement et il ne faudrait pas que ce développement se traduise à terme par des modifications sensibles, insidieuses et même irréversibles de la mangrove et du lagon.

A cette fin, des actions de recherche doivent être envisagées pour que la filière puisse mettre en avant, sur des bases objectives, son image «environnementalement correcte» (Demande du Groupement des Fermes Aquacoles, colloque « Styli 2003 »), et ainsi assurer que l'aquaculture calédonienne n'hypothéquera pas la qualité de l'environnement littoral et sa biodiversité.

## 2. Contexte Scientifique - Résultats déjà obtenus

Le devenir des déchets issus des élevages et leurs impacts sur l'environnement sont les problèmes le plus souvent engendrés par l'aquaculture de la crevette dans le monde.

**Les déchets :** Plusieurs expérimentations ont été conduites en saison chaude et en saison fraîche en faisant varier la densité d'élevage (Lemonnier, 1997 ; Martin et al., 1998) ou le taux de renouvellement (Lemonnier et al., 2003 ; Lemonnier & Faninoz., 2006). Ces travaux ont été en partie valorisés dans le cadre du programme européen STD3 (Fuchs et al., 1998) et ont fait l'objet d'une synthèse (Martin et al., 2004) dans le cadre du colloque « Styli 2003 » organisé par l'IFREMER du 2 au 6 juin 2003. A partir de ces résultats, la quantification des effluents rejetés par les fermes peut être réalisée.

**L'impact sur l'environnement:** La baie de Chambeyron a fait l'objet d'une attention toute particulière. Vierge de toute activité aquacole jusqu'en 1995, la ferme aquacole "Pénéides de Ouano" a été construite au fond de cette baie et a débuté son activité en avril 1995. Un programme de recherche inter-organisme (LAC, IRD) avait été bâti pour étudier les conséquences écologiques sur le benthos des rejets des bassins d'aquaculture de cette ferme. Un premier état des lieux (état 0) a été réalisé en avril 1995. Un second a été réalisé en mai 1997, 2 ans après la mise en service de la ferme et un troisième plus spécifique à la flore benthique en mai 1998. Les résultats montrent une évolution de la composition faunistique (essentiellement augmentation de l'abondance et de la biomasse des gastéropodes dépositivores, et diminution des bivalves filtreurs) à certaines stations de l'herbier proches du littoral, de même qu'une augmentation de la fraction sédimentaire fine dans la partie centrale de la baie (Chevillon, 1998 ; 1999 ; Garrigue et al., 1998 ; 1999a). Toutefois les apports sédimentaires, responsables de l'envasement seraient d'origine terrigène, et très vraisemblablement liés aux très fortes précipitations, qui ont caractérisé la période de deux ans s'étant écoulée entre les campagnes de prélèvement, par rapport aux années précédentes. A ce jour, aucun lien avéré entre ces changements et les rejets de la ferme aquacole n'a pu être mise en évidence.

En conclusion, si les déchets exportés (nature et quantité) par les effluents sont aujourd'hui relativement bien connus, leur devenir ainsi que leur impact à long terme sur la mangrove et le lagon nécessite des études complémentaires.

### **3. Actions présentées dans le cadre de cette demande:**

**Action 1 :** Etablir, sous forme d'une synthèse bibliographique en prenant en compte les travaux réalisés à travers le monde et en Nouvelle-Calédonie, un état des lieux de l'impact de l'aquaculture de crevettes pour évaluer comment se situe la crevetticulture calédonienne en matière de relation aquaculture - environnement.

**Action 2 :** Rechercher à court terme, parmi les variables environnementales du lagon celles qui pourraient être des indicateurs de l'influence des rejets aquacoles. Ces indicateurs seront recherchés

dans l'eau de la baie de Chambeyron sur la commune de La Foa, pour assurer la continuité avec les études menées entre 1995 et 1998 et dans la baie de Teremba sur la commune de Moindou..

**Action 3 :** Définir avec nos partenaires présents en Nouvelle Calédonie (IRD, Université, autres ?) un programme pluriannuel prenant en compte les différents aspects du problème dans sa globalité et sa complexité. Ce programme pourrait intégrer des actions de recherche prévues ou à définir dans d'autres structures de programmation de la recherche (ZONECO, PNEC ?). Le but final de ce programme sera d'évaluer l'impact réel (ou potentiel) de l'aquaculture sur son environnement et de fournir des recommandations pour la préservation du littoral et de sa biodiversité.

# **Chapitre 1 : Etat de l'art**

En raison d'une surexploitation par la pêche des ressources naturelles, l'aquaculture joue un rôle de plus en plus important sur la commercialisation des produits de la mer (Anonyme, 2001a). L'aquaculture a connu ces dernières années une croissance forte et de nombreuses organisations environnementales critiquent son comportement irresponsable envers son environnement et particulièrement la crevetticulture que ce soit sur le plan social, économique et biologique (Goldburg & triplett, 1997 ; Naylor et al., 2000 ; EJF, 2003a ; EJF, 2003b ; Thornton et al., 2003). Pour la suite de cette synthèse, nous entendons par environnement, l'environnement biologique.

Il existe de nombreuses publications scientifiques relatant de l'effet négatif de la crevetticulture sur l'environnement (Chua et al., 1989 ; Primavera, 1991 ; Páez-Osuna, 2001). Les impacts les plus fréquemment rencontrés sont listés dans le tableau 1. Il est aujourd'hui nécessaire pour la viabilité de la crevetticulture mais aussi pour la préservation de l'environnement de s'orienter vers une aquaculture responsable et soucieuse de son environnement.

Cette synthèse, dans une première partie, présente un état des lieux des connaissances. La seconde partie rapporte différentes méthodes appliquées dans les principaux pays producteurs afin d'éviter ou de limiter les impacts de la production sur l'environnement littoral.

## **1<sup>ère</sup> partie : Etat des lieux**

Les 5 catégories d'impacts les plus cités dans la littérature sont les déchets d'élevage exportés vers le milieu environnant, la destruction de habitats lors de la construction des fermes, le prélèvement des crevettes dans le milieu naturel pour la croissance et/ou la reproduction, l'introduction d'espèces non natives et l'utilisation de farines de poisson.

### **1.1. Les déchets d'élevage : les effluents et les boues d'élevage**

#### *1.1.1 Les effluents*

La liste des effets « négatifs » de l'aquaculture sur l'environnement citées en introduction n'est pas exhaustive, mais ce qui retient généralement l'attention des principaux auteurs est la pollution du milieu récepteur par les effluents (Chua et al., 1989 ; Primavera, 1991 ; Tookwinas, 1996; Boyd & Gautier, 2000; Boyd and Tucker, 2000 ; Wolanski et al., 2000). Ces effluents doivent être gérés pour éviter ou minorer les impacts (O'Bryen and Lee, 2003)

Tableau 1: Impacts négatifs de l'aquaculture de crevettes sur le milieu naturel et sur l'aquaculture de crevettes (d'après Moss *et al.*, 2001; Wolanski *et al.*, 2000; Boyd, 2003)

<b>Impacts</b>	<b>Effet sur l'environnement</b>	<b>Effet sur les élevages</b>	<b>Bibliographie</b>
<b>Modification de l'habitat</b>	Destruction des nurseries (mangrove, ...) Augmentation de l'érosion Augmentation de la vulnérabilité aux ouragans	Diminution de la productivité du à l'acidité des sols Exposition aux ouragans Exposition aux vecteurs de maladies Vidange des bassins plus difficile	
<b>Pollution de l'eau (fertilisants, aliment, ...)</b>	Eutrophisation bloom d'algues toxiques Mortalité des populations naturelles	Polution des bassins Introduction de pathogènes	
<b>Utilisation d'antibiotiques</b>	Augmentation la résistance des pathogènes Modification de l'équilibre écologique	Augmentation la résistance des pathogènes	Primavera 1991, Primavera 1993, Primavera 1997, Primavera 1998b,
<b>Utilisation de protéines marines dans les aliments</b>	Sur-pêche	Sur coût pour les éleveurs introduction de pathogènes	Flaherty et Karnjanakesorn 1995, Graaf et Xuan 1998
<b>Introduction d'espèce non native</b>	Modification de la structure des populations natives Modification du patrimoine génétique Modification de la biodiversité Introduction de nouveaux pathogènes	Introduction de pathogènes	
<b>Prélevement de géniteurs sauvages</b>	Surexploitation de la population sauvage Appartion des problèmes liés à la surpêche	Introduction de pathogènes Absence de contrôle de la variabilité génétique	

Dans les élevages extensifs, l'échange d'eau est nécessaire car il est la source même d'alimentation de l'élevage (Hopkins et al., 1995c). Les effluents sont rejetés en dehors des bassins en continu et sur l'ensemble du cycle d'élevage. En élevage semi-intensif et intensif, l'échange est nécessaire car il permet de limiter l'eutrophisation du milieu, l'élimination des produits toxiques créés au cours de l'élevage et permet ainsi le maintien d'une eau de bonne qualité compatible avec l'élevage (Hopkins et al., 1993). Des effluents sont donc émis lors des renouvellements des bassins, lors des grosses pluies (Teichert-Coddington et al., 1999) mais aussi lors des vidanges (Boyd and Queiroz, 2001a ; Boyd 2000b).

Les effluents, en fonction du système d'élevage et des pratiques, sont composés de (Tacon & Forster, 2003)

- Matières organiques issues de l'aliment, des animaux en élevages et de l'environnement bassin,
- Résidu spécifique de composants alimentaires tel que les médicaments ou les additifs alimentaires, et les fertilisants (tableau 2),
- Matières minérales issues de l'érosion des sols et des digues des bassins ou de l'érosion des sols agricoles suite à la déforestation,
- Pathogène aquatique, animal mort ou moribond, et des animaux vivants (Gill, 2000; Goldberg et al., 2001; Subasinghe et al., 2001).

De nombreuses études ont été menées pour caractériser et quantifier les composés rejetés au niveau des fermes (Briggs et Funge-Smith, 1994 ; Paez-Osuna et al., 1997 ; Funge-Smith and Briggs, 1998 ; Preston et al., 2000 ; Teichert-Coddington et al., 2000 ; Burford et al., 2001 ; Jackson et al., 2003 ; Thakur et Lin, 2003 ; Wahab et al., 2003 ; Islam et al., 2004 ; Jackson et al., 2004 ; Samocha et al., 2004) et/ou en relation avec des pratiques culturelles (Hopkins et al., 1993 ; Martin et al., 1998 ; Lemonnier et al., 1993 ; Lemonnier et Faninoz, 2006)

Dans différentes études, les effluents ont été analysés en fonction de leur teneur en azote et en phosphore (Burford et al., 2001) ; Les deux principales formes d'azote dissous que l'on retrouve dans les effluents sont l'ammonium (TAN) et l'azote organique dissous (DON) (Burford et al., 2001). Sur une étude conduite dans une ferme australienne, Preston et al. (2000) démontrent que 57 % de l'azote ajouté au bassin est rejetée de façon journalière. Plus de 90 % de l'azote présent dans le milieu provient de l'aliment artificielle (Funge-Smith and Briggs, 1998 ; Preston et al., 2000). Au moment de la pêche, sur l'ensemble de l'aliment distribuée au cours de l'élevage, seul 15 à 22 % de l'azote est transformé en chair de crevette (Burford et al., 2001).

Boyd (2000b) compare, sur la base des deux variables (BOD et TSS) les plus communément utilisés pour la surveillance de la pollution, la qualité des effluents déversée par un bassin d'élevage de crevettes sur une période de 120 jours et la qualité des effluents lors de sa vidange (tableau 3). Il met en évidence que 35 % des effluents rejetés par un bassin le sont au cours de la vidange finale de ce dernier.

La qualité et la quantité des effluents sont affectées par de nombreux facteurs, notamment le climat, le type de sol sur lequel est élevé les animaux, le taux de renouvellement, la qualité de l'aliment, la gestion de l'aliment, le taux de nutrition, la densité d'élevage (figure 1) et l'espèce élevée (Ziemann et al., 1992 ; NAA, 1998; Boyd & Queiroz, 2001b).

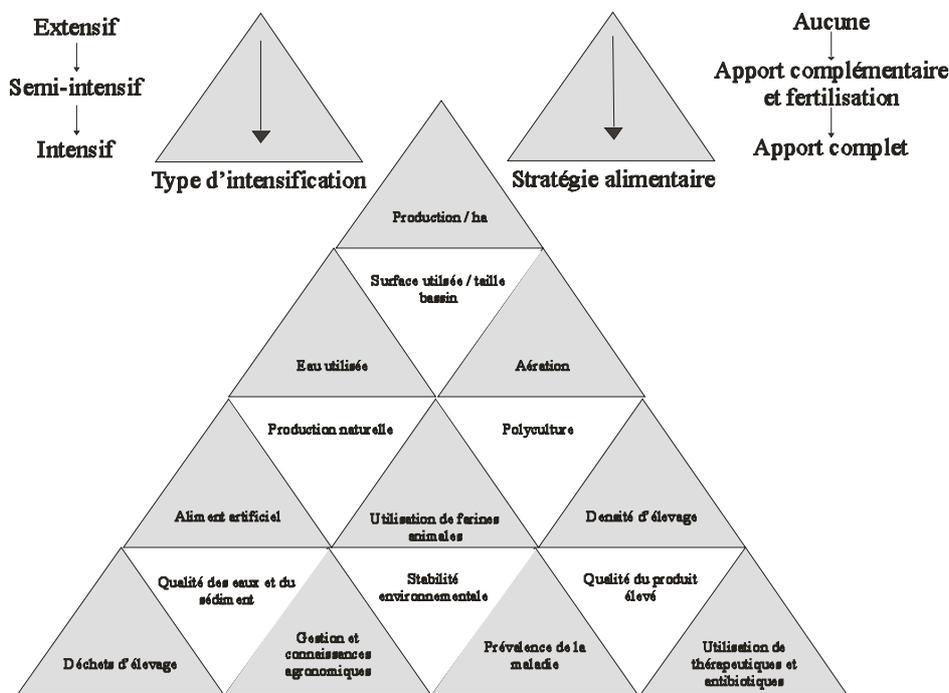


Figure 1: Impacts des formes d'intensivité du système de culture sur l'utilisation de l'espace et le risque environnemental (d'après Tacon et Forster, *In press*)

Toutefois, les aliments représentent la cause majeure de pollution dans les effluents. Le taux excessif en composé azoté et phosphoré dans les effluents est dû en grande partie à un aliment de mauvaise qualité, à sa mauvaise gestion, à une gestion inadéquate des bassins et à un « surnourrissage » ; tendance qui augmente avec l'intensivité (Lawrence & Lee, 1997 ; Lawrence et al., 2001). La composition des effluents peut être affectée par les propriétés physiques des aliments telle qu'un fort taux de fines (mauvaise manipulation des sacs), un taux excessif en nutriments, une mauvaise stabilité de l'aliment à l'eau, une mauvaise taille des granulés.

La qualité des eaux des bassins est en grande partie affectée par l'eau de pompage (Teichert-Coddington et al., 2000). Une pollution des eaux de renouvellement par ses propres effluents peut à terme être dangereuse pour la production de la ferme (Boyd et Musig, 1992 ; Csavas, 1994). Cependant, l'impact négatif des eaux de rejet sur le milieu récepteur dépend aussi de la qualité du milieu récepteur. Ainsi, à Hawaï, où l'eau est de qualité océanique et donc très pauvre en nutriment, un effluent même avec des concentrations en composant très modéré provoquera un enrichissement du milieu (Ziemann et al., 1992). A contrario, un rejet d'effluent dans un milieu eutrophique aura peu ou pas d'impact. Hopkins et al. (1993) notent que le rejet en TAN, Nitrite, Nitrate, orthophosphate, MES et MOP d'une ferme intensive (renouvellement de 25 % par jour) dans un milieu estuarien ne sont pas différents du milieu récepteur. Weston (1991) rapporte qu'un rejet peut même avoir un effet « positif » sur les biotopes inhabités. Mais généralement, les effluents des bassins présentent des caractéristiques en nutriment, en plancton, en matières en suspension et en oxygène nettement différentes à celles milieu récepteur (Schwartz and Boyd, 1994b). Ils sont donc une source potentielle de modification du milieu receveur et de pollution.

Des effets sur le milieu environnant ont été montrés par plusieurs auteurs (Páez-Osuna et al., 1998 ; Trott an Alongi, 2000 ; Wolanski et al., 2000 ; Jones et al., 2001a ; McKinnon et al., 2002a ; 2002b ; Páez-Osuna et al., 2003 ; Biao et al., 2004 ; Costanzo et al., 2004, Trott et al., 2004). Les effluents peuvent être responsables d'une eutrophisation et d'un envasement du milieu (Wolanski et al., 2000). Les effets sont généralement décrits comme limités que ce soit au niveau spatial et/ou au niveau temporel. Toutefois, on peut considérer, comme Páez-Osuna en 2001, que le nombre d'études est encore trop limité pour pouvoir correctement gérer la relation entre l'aquaculture crevette et l'environnement côtier dans un souci de protection des écosystèmes.

Les effluents peuvent aussi être vecteurs de pathogènes (Lotz, 1997 ; Moss et al., 1998 ; Lotz et Lightner, 2000). Ainsi, les effluents d'une ferme peuvent polluer les eaux de renouvellement d'une autre ferme entraînant ainsi la dissémination du ou des pathogènes. Cependant, il n'y a aujourd'hui aucune méthode standardisée et validée par la communauté internationale pour mesurer les pathogènes dans les effluents et limiter leur impact dans l'environnement littoral (LaPatra, 2003).

### *1.1.2. Les boues d'élevage*

Elles s'accumulent durant de l'élevage, peuvent être prélevées pendant l'élevage ou à la fin du cycle ou laissées dans le bassin. Dans ce dernier cas, un assec est pratiqué avec pour objectif l'oxydation des composés organiques qui se sont accumulés. (Tacon et Forster, 2003). L'accumulation des boues d'élevage sur le fond des bassins a pour conséquence la formation des métabolites qui en milieu

anoxique peuvent être toxique pour les crevettes et une dégradation de la qualité des effluents (Avnimelech, 2001).

## **1.2. La destruction des mangroves**

La crevetticulture est impliquée depuis de nombreuses années dans la destruction des mangroves pour la construction des fermes (Hatcher et al., 1989 ; Primavera, 1991 ; Primavera, 1995 ; Naylor et al., 2000). Wolanski et al (2000) notent trois raisons influençant la destruction des mangroves :

L'abattage des arbres pour la construction des bassins et autres structures, qui même dix ans après l'abandon de la ferme n'ont pas repoussé suite à la modification des sols par les différents élevages, La construction des canaux de rejet qui ont une influence sur les cycles tidaux, provoquant la modification de la baie (O'Brien and Motts, 1980), suite aux érosions des alentours de la ferme, Le rejet des effluents riches en nutriment dissous et particulaire provoquant une modification de la structure de la mangrove.

Les mangroves sont d'une importance écologique fondamentale. En plus d'être une nurserie pour de nombreuses espèces de poissons et de coquillages (Robertson et Duke, 1987 ; Primavera, 1998a), elles permettent de limiter l'érosion des terres, elles servent de protection des terres lors de cyclones et sont une source de nourriture et d'énergie pour les populations locales (Lugo et Snedaker, 1974 ; Hatcher et al., 1989). Naylor et al. (2000) estiment que la majorité des baisses des populations marines naturelles est due à une diminution des habitations mais aussi à la construction des fermes d'élevage. Fast et Menasveta (2000) estiment que 47 % de la mangrove a disparu au profit de l'expansion de la crevetticulture depuis 1961. Pourtant, les sols des mangroves sont très riche en M.O. et souvent associés à de fortes acidités (Simpson et al., 1983 ; Gaviria et al., 1986), caractéristiques contraires à la culture de crevettes. De plus, ces sols ne sont généralement pas adéquats pour des raisons topographiques.

## **1.3. Introduction d'espèces non - natives**

Les activités aquacoles amènent parfois à utiliser des espèces importées et ainsi favoriser l'introduction d'espèces non - native dans le milieu naturel. Cela peut entraîner une altération des communautés aquatiques, une modification du patrimoine génétique des populations natives et aussi une réduction de la biodiversité (Beveridge et al., 1994 ; Goldberg et Triplett, 1997 ; Naylor et al., 2000). Boyd (1996) ne rapporte pas de problème écologique particulier lié à l'introduction d'espèces exotiques dans le milieu naturel.

Toutefois, une conséquence directe d'élever des espèces exotiques est l'introduction de pathogènes dans un milieu environnant sain (Naylor et al., 2000). L'introduction de l'IHHNV, du HPV et du MBV dans des milieux auparavant sains est la conséquence d'importations d'espèces exotiques pour la crevetticulture (Lightner et al., 1992).

#### **1.4. Prélèvements des crevettes dans le milieu naturel**

Dans beaucoup de pays producteurs, les crevettes sont prélevées dans le milieu naturel pour un grossissement ou pour obtenir des géniteurs. L'effet négatif de ces pêches n'est pas très bien documenté mais Landesman (1994) rapporte que la capture des populations naturelles a modifié la structure des espèces dominantes. En Indonésie, la pêche par dragage a provoqué une diminution de la biomasse, un changement dans la composition des espèces et une modification du poids moyens des individus dans le milieu naturel (Naamin, 1987). En plus, la pêche des crevettes implique une perte énorme d'espèces attrapées accidentellement qui ne seront pas exploitées (Naylor et al., 2000). Silas (1987) estime que 10 kg de prises non exploitées sont attrapées pour un kilo de crevettes pêchées.

L'exploitation de ces espèces sauvages peuvent être la source d'introduction d'un grand nombre de virus ou de bactéries pouvant provoquer la perte de nombreuses exploitations (Lo et al., 1996 ; Kuo et al., 1997a ; Kuo et al., 1997b ; Wang et al., 1997 ; Baldock, 1999).

Un autre désavantage à élever des crevettes sauvages est le fait de ne pas pouvoir profiter des effets bénéfiques de la génétique ou de la domestication (Argue et Alcivar-Warren, 2000). Par exemple, la domestication permet de produire de la crevette en circuit fermé (ne pas être dépendant des aléas de la nature) avec de fort taux de production sur des cycles courts (Moss et al., 1999).

#### **1.5. Les farines de poissons et de crustacés**

Les protéines d'origine marine sont une composante très importante dans la fabrication des aliments pour crevettes (Naylor et al., 2000). Dans les élevages semi-intensif et intensif, il est utilisé entre 2 et 5 kg de poissons (sous forme de granulés) pour produire 1 kg de produit (Tacon, 1996). Ceci amène à une surexploitation des ressources naturelles (Goldburg et Triplett, 1997 ; Naylor et al, 1998 ; Naylor et al, 2000). L'aliment est composé en moyenne de 30 % de protéines. Tacon et Forster (2000) estime que pour produire 1 kg de crevettes, il faut pêcher en moyenne 2.18 kg de poissons.

Cependant, à première vue, les poissons utilisés pour la fabrication des granulés, sont de petits poissons pélagiques (anchois, pilchard, ...) (Tacon, 1996), qui sont peu ou pas utilisé pour l'alimentation humaine (Suresh et Zendejas, 2000). Mais, Goldburg et Triplett (1997) estiment qu'il

existe un effet écologique d'une pêche massive des petits poissons pélagiques. Cela entraîne un déséquilibre de la chaîne trophique. Il semble donc que la fabrication de l'aliment pour crevette à un impact négatif mais indirect sur l'environnement. Toutefois, Chamberlain et Barlow (2000) soulignent que malgré une augmentation significative de l'aquaculture ces dix dernières années, la pêche est restée stable de l'ordre de 6 à 7 millions de tonnes excepté durant le phénomène El Nino en 1998. Il souligne ainsi que même si les protéines de poissons étaient éliminées de l'aliment, la pêche resterait du même ordre. Cependant Starkey (2001) met en garde contre une augmentation sans cesse croissante de la demande en farines animales qui pourrait bien ne pas être satisfaite.

Tableau 2: Principaux composés chimiques utilisés en aquaculture (D'après Tacon et Forster, *In press* compilés d'après GESAMP, 1997; Boyd et Massaut, 1999; FAO/Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (NACA)/World Health Organization (WHO), 1999; Arthur *et al.*, 2000; Barrows, 2000).

Catégories	Type	Exemple
Composés associés à une structure	additif plastique	Stabilizers, pigments, antioxydants,...
	Antifouling	tributyltin
Traitement des eaux et des sols	Flocculant	alum, EDTA, gypse,...
	Contrôleur d'alcalinité	chaux
	Contrôleur d'ammoniac	zeolite, extrait de graines de raisin,...
	Osmorégulateur	sodium chloride, gypse
	Précipitant de H <sub>2</sub> S	Oxide de fer
Fertilisants	Sels inorganiques	chaux, maerl, nitrates, ...
	Fertilisants organiques	urée, manures,...
Désinfectants	General	Formalin, Hypochlorite
	Iodophores	PVPI, sulphonamides, ozone
	Actuel	Ammonium quaternaires, ...
Agents antibactériens	H-Lactams	Amoxycillin
	Nitrofurans	Furazolidone, Nifurpirinol
	Macrolides	Erythromicine
	Quinolones	Acide nalidixique, Acide oxolinique, ...
	Rifampicin	
	Sulphonamides	
	Tetracyclines	Oxytetracycline, chlortetracycline, ...
Contaminants	Metaux lourds	Mercure, Plomb, Mercure, ...
	Insecticides	DDT, dieldrin, lindane, PCBs et Dioxines
Thérapeutique et autres anti-bactériens		Acriflavine, composés ferrique, dimetridazole, ..
Pesticides		Ammoniac, Azinphos ethyl, ....
		roténone, saponin, trichlorofon, ....
		Urée, triphenyltin, sulfate de fer
Herbicides / Algicides		2,4-D, Dalapon, Paraquat, ....
		ricinoleate, cuivre,...
Additif alimentaires	acidifiants	citrates
	Anti-oxydants	butylated hydroxyanisole, ...
	Liant	animal protein, mineral (bentonite, magnesite), ....
	Enzymes	
	Emulsifiant / surfactants	
	Minéraux	
	Pigments	
	Colorant alimentaire	carotenoids (natural, synthetic)
	Vitamines	
	Acides aminés	
	Attractant alimentaires	
Immunostimulants		
Anesthésique		benzocaine, carbon dioxide, ...
Hormones	Hormones de croissance	methyl-testosterone, oestradiol, ....
Lubrifiant et essence		kerosene, petrol, diesel, oil

## **2<sup>ème</sup> partie : Vers une aquaculture responsable.**

La première partie a été l'occasion de dresser un bilan des différents impacts et de leurs causes relevés à travers le monde. Cette deuxième partie va nous permettre de lister les différentes méthodes pour limiter les impacts des fermes.

Toute activité économique crée un impact sur l'environnement, y compris l'industrie de la crevette (Clay, 1997). Cependant, une stratégie spécifique à chaque site doit être adoptée pour limiter au maximum les effets négatifs sur l'environnement tout en favorisant la prospérité des entreprises (Moss et al., 2001b). Au cours de cette dernière décennie, de nombreuses recommandations pour limiter l'impact sur l'environnement de la crevetticulture ont été publiées sur le choix du site (Hajek et Boyd, 1994 ; Boyd 1998), la construction des fermes (Boyd, 1998), les effluents, la nutrition (Wang, 1990 ; Hopkins et al., 1995b ; Browdy et al., 1998 ; Calvo, 1998 ; Lawrence et al., 1998) et sur les sources d'approvisionnement en protéines (Wyban et al., 1993 ; Lotz et al., 1995 ; Pruder et al., 1995). Ces recommandations ont été adoptées par un grand nombre de sociétés (Moss et al., 2001b). Des codes de conduite ont été développés par divers organismes ; notamment la FAO (Fisheries department code of conduct for responsible fisheries), le « GAA (codes of practice for responsible shrimp farming) (Boyd et al., 2001). De nombreuses associations les ont adoptés notamment en Thaïlande (Fegan, 1999) et en Equateur (Chamberlain, 1999).

Certains pays régulent fortement le développement des activités aquacoles : classement des zones côtières, évaluation de l'impact environnementale (EIA), permis, taxes, engagements de performances, mise en place de normes, permis pour le déversement des effluents, utilisation limitée d'espèces indigènes, restrictions sur l'utilisation de drogues et autres produits chimiques, formulation des granulés, règles sur certaines pratiques de gestion (Boyd et al., 2001).

Les succès à long terme de l'aquaculture dépendent de la bonne qualité de l'environnement des bassins. Hors, cet environnement est directement lié à l'écologie des zones côtières (Floke et Kautsky, 1989 ; Hopkins et al., 1995b), zone où sont déversés les effluents des fermes. Il est donc dans le plus grand intérêt des producteurs de maîtriser la qualité de leur rejet, et ainsi d'adopter une conduite responsable.

Cependant, la perception individuelle ou de groupe d'un impact environnemental acceptable diffère très largement et est donc très difficile à définir. La réalisation effective d'un plan de gestion peut protéger et permettre une utilisation raisonnable des ressources.

Quelles sont les méthodes généralement appliquées

## 2.1. Les codes de conduites

Un code de conduite est une liste avec pour objectif une meilleure gestion des fermes (Boyd, 2003). Un grand nombre d'associations de producteurs, d'agences gouvernementales, organisations internationales de développement et d'organisation environnementale non gouvernementale (ONG) ont développé des codes de conduites pour l'aquaculture (Tableau 4).

Tableau 3 : liste non exhaustive des organisations ayant adopté un code de conduite

Agro Eco Consultancy	Florida Department of Agriculture and Consumer Services
Alabama Catfish producers	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Aquaculture Foundation of India	Marine Shrimp Farming Industry of Thailand
Australia Aquaculture Forum	Missouri Department of Natural Resources
Australian Prawn Farmers Association	Naturland
British Columbia Salmon Farmers' Association	Ornamental Fish Industry (United Kingdom)
British Trout Association	Shrimp Farming Industry of Belize
Catfish Farmers of America	Soil Association (United Kingdom)
Coastal Resources Center (University of Rhode Island)	

De nombreux codes sont basés sur le code de conduite développé par la FAO (FAO, 1995, 1997) pour la pêche. Ces codes ne présentent généralement aucun aspect légal, l'adoption est volontaire. Ces codes de conduite sont en général complétés par des codes de pratiques qui sont des listes de BMP's (voir en dessous).

Par exemple, le code de « l'Australian Prawn Farmers Association » a été préparé par Dallas Donavan en 1997. Il fait suite à une discussion entre des ONG environnementales, des agences gouvernementales de l'environnement et des éleveurs. La partie du code nommée « Pratique de gestion appropriée » indique les bonnes conduites à adopter pour la sélection du site, la construction, la gestion des effluents, l'utilisation des produits chimiques, ... Les pratiques citées sont une simple liste sans obligation d'application.

## 2.2. Les BMP's (Best Management Practices)

Les BMP's ou GMP's sont des pratiques exemplaires permettant de réduire les impacts environnementaux, et une utilisation à long terme des ressources (Hairston et al., 1995). Il existe un grand nombre de BMP en aquaculture, il serait impossible de tous les énumérer. Il est courant de grouper les BMP's en fonction de l'action à mener. Nous en donnerons deux exemples.

**(i) Le rejet des matières en suspension (MES) dans le milieu.** Les MES ont pour origine l'érosion des digues, des fonds de bassin lors de la vidange des canaux et/ou des bassins. Ces rejets augmentent

la turbidité et donc la sédimentation dans le milieu receveur. Les pratiques recommandées pour limiter l'érosion sont :

- Une bonne compaction des digues lors de leur construction ;
- Une bonne conception des canaux et des structures des rejets pour minimiser l'érosion des digues;
- Favoriser le développement des arbres sur les pentes et le dessus des digues ;
- Favoriser le développement des surfaces herbeuses sur le dessus des digues ;
- Positionner les aérateurs de manière à limiter l'érosion du fond et des digues ;
- Fermer les moines des bassins vides afin de limiter l'érosion en cas de pluie ;
- Interdire le passage d'animaux sur les digues ou sur le fond des bassins.

Cette liste n'est pas exhaustive.

**(ii) Les nutriments dans les effluents.** Ils peuvent conduire à une eutrophisation du milieu receveur.

Les pratiques développées pour limiter ce type de rejets sont :

- Les fertilisants ne doivent être utilisés qu'en cas de nécessité ;
- Le taux de nutrition et les densités à l'ensemencement ne doivent pas excéder les capacités d'assimilation du bassin ;
- Les aliments doivent être stables dans l'eau, de très bonne qualité et contenir des concentrations en azote et en phosphore optimales ;
- S'assurer d'un bon taux de conversion de l'aliment ;
- Limiter les renouvellements en eau des bassins;
- En milieu intensif, appliquer un taux d'aération suffisant pour limiter l'apparition de taux d'oxygène trop bas, et ainsi favoriser le processus de nitrification et autres processus aérobies naturels de purification des eaux ;
- Tenter de contenir les volumes d'eau provenant des grosses pluies afin de minimiser les inondations ;
- Si possible, de déverser les effluents à travers une végétation ;
- Réutiliser l'eau des effluents autant que possible.

Cette liste n'est pas exhaustive.

De nombreux BMP's ne sont en fait qu'une liste de suggestions telles que décrites ci-dessus (Boyd et al., 2001).

## **2.3. La législation**

### *2.3.1. Les normes*

Ce sont des normes définies pour différents domaines comme la composition des aliments, la qualité des effluents, définies par des organisations gouvernementales ou non (GAA par exemple). Elles se doivent d'être appliquées afin d'éviter des sanctions légales ou commerciales.

### *2.3.2. La certification*

Elles ont été développées par des producteurs afin de valoriser leur produit. Il s'agit de EMS basé sur un enregistrement des données et l'application de BMP's. Un exemple d'EMS est l' ISO 14001 (Système de standard pour une protection de l'environnement) (von Zharen, 1996). En pratique, le producteur développe un EMS et une inspection des services ISO vérifie la bonne application ou non de l'EMS et donc la délivrance de la norme ISO 14001.

La GAA et l'ACC ont collaboré et développé une certification pour l'aquaculture de crevette. De nombreuses organisations telles que « Naturland » et « Soil association » ont aussi développé d'autres programmes de certifications pour l'aquaculture, plus orientés sur la protection de l'environnement.

## **2.4. Quelles solutions pour limiter les impacts ?**

### *2.4.1. Choix du site*

Le mauvais positionnement des fermes est une des raisons principales des échecs en terme de production mais aussi en terme d'image négative pour l'aquaculture (Boyd et Clay, 1998). Certains pays encouragent la construction des fermes sur les arrières de mangroves, notamment au Vietnam (Binh et al., 1997, Bador et al., 1998a ; 1998b). La construction sur ces sites nus présente de nombreux avantages : protection lors des cyclones de la ferme par la ceinture végétale, « traitement » des effluents par les palétuviers (Robertson et Phillips, 1995). Chamberlain et Barlow (2000) montrent un effet économique bénéfique. Toutefois, une évaluation de site doit être réalisée avant construction et doit inclure une analyse de la qualité des eaux pour le pompage, une étude des conditions climatiques, le schéma des marées, l'étude de la disponibilité en eau douce, une évaluation des risques d'inondation, l'étude du terrain pour la construction, l'étude des facteurs édaphiques pour la production, une évaluation de la couverture végétale et de sa composition (Boyd et al., 2001).

Toutes les informations nécessaires à l'évaluation des sites doivent être inclus dans un EIA. Un EIA doit inclure une description détaillée du projet, l'identification des potentiels impacts sur

l'environnement, une évaluation des risques, la proposition d'un plan pour limiter les impacts négatifs (Wood, 1995). L'étendue et la complexité de l'EIA dépendent de la taille du projet.

De nombreux pays ont devancé le développement spectaculaire de l'aquaculture en mettant en place un schéma de développement des zones côtières en spécifiant les zones réservées au développement industriel dont l'aquaculture. Ces plans peuvent aussi être développés avec un objectif uniquement aquacole comme cela a été fait en Norvège avec le LENKA (Nationwide Assessment of the Suitability of the Norwegian Coastal Zone and Rivers Aquaculture).

#### 2.4.2. Les effluents

Les normes : Afin de limiter les impacts liés aux effluents, les agences gouvernementales aux Etats-Unis ont adopté des normes pour leur émission (Goldsteen, 1999 ; Gallagher et Miller, 1996; Boyd, 2000a). Ces normes ont été définies par des organisations non gouvernementales telles que la « Global Alliance Aquaculture » (GAA) (Tab. 5).

Tableau 4 : Valeurs maximales et optimales des standards pour les effluents des fermes creveticolles préconisées par le GAA (Boyd et Gautier; 2000).

<b>Variables</b>	<b>Valeur maximale</b>	<b>Valeur optimale</b>
pH (unité standard)	6.0 - 9.5	6.0 - 9.0
MES (mg / l)	100 ou moins	50 ou moins
P total (mg / l)	0.5 ou moins	0.3 ou moins
TAN (mg / l)	5 ou moins	3 ou moins
BOD (mg / l)	50 ou moins	30 ou moins
O2 (mg / l)	4 ou plus	5 ou plus

Les valeurs quantitatives et qualitatives des normes dépendent de la nature des effluents et aussi des caractéristiques du milieu récepteur. Parfois, les permis nécessitent seulement l'application de pratiques spécifiques, les BMP's, et dans d'autre cas les permis nécessitent des BMP's et le suivi de la qualité des eaux. Mais généralement, les permis ne sont délivrés que sous condition d'application des BMP's, sans un suivi des normes (Boyd et Tucker, 2000; Boyd et Hulcher, 2001). L'application des BMP's est un moyen simple, efficace et peu coûteux et facile à mettre en place.

Gestion du renouvellement en eau : Browdy et al. (1993) démontrent que la réduction du taux de renouvellement ne compromet pas la croissance et la survie des animaux si l'O2 est maintenu dans une gamme de valeur optimale. Hopkins et al. (1991) corroborent ces résultats. Il est donc d'après ces auteurs possible de diminuer de manière significative les taux de renouvellement sans affecter la production.

Structure de traitements des effluents : La nécessité de réduire l'impact a conduit au développement de traitement biologique des eaux dans des bassins de rétention aussi à la mise en place des systèmes de

recirculation (Funge-Smith et Briggs, 1998). Preston et al. (2000) mettent en évidence une diminution de 21 % de l'azote dans les effluents après le passage dans une zone de décantation. Un temps de résidence de 2 à 3 jours est optimal pour réduire l'azote et le phosphore de manière significative. Teichert-Coddington et al. (1999) trouvent des rendements de l'ordre de 34 % chez *L. vannamei* et *L. stylirostris*. Jones et al (2001b) démontrent une réduction de 71 % de l'azote dans les effluents après un passage dans une zone de décantation peuplée par des huîtres et des macroalgues. Ces techniques ne marchent pas sur l'azote organique dissous, autre composant important des rejets. Il semble que la limitation de ce composé dans les effluents pourrait dépendre d'une augmentation de la stabilité à l'eau de l'aliment et une augmentation de assimilation de l'azote par les crevettes (Burford et al., 2001).

Boyd (2000b) estime que le bassin de décantation est la meilleure solution pour traiter les effluents, notamment lors de la vidange du bassin. Il estime que 60 à 80 % de la TSS et 15 à 30 % de la BOD pourraient être éliminées suite à un passage dans un bassin de rétention de 6 à 8 heures. Pour un taux de renouvellement de 2 %, Jackson et al. (2003) démontrent que les bassins de décantation sont très performant pour la réduction des TSS (60 % de réduction après 0.7 jour de résidence) mais moins efficace pour le traitement de nutriments dans les eaux (35 % pour le P et 23 % pour le TN avec un temps de résidence 2 jours). Boyd (2000b) estime que pour une ferme de 500 ha, le bassin de rétention se doit de représenter 2 % de la surface de la ferme, et de l'ordre de 10 à 20 % pour des petites fermes.

### 2.4.3. Gestion de l'aliment

L'aliment est la source principale de pollution. L'objectif global de l'optimisation de la gestion de l'aliment est de maximiser la croissance, le taux de survie, la production totale et le poids moyen tout en minimisant le taux de conversion. On distingue une action possible au niveau des provendiers, et une action au niveau des fermiers (Tab. 6).

Tableau 5 : Résumé des niveaux d'action possible pour limiter l'impact des aliments sur la pollution des effluents

Lieux d'action	Type d'action
<b>Ferme</b>	Utilisation de mangeoires (partiel ou totale)
	Production naturelle
	Répartition spatiale et temporelle de l'aliment
	Stockage de l'aliment
<b>Provendiers</b>	Protéines
	Phosphates
	Stabilité de l'aliment
	Attractabilité de l'aliment
	Biodisponibilité des aliments
	Taille des granulés

## Les provendiers

Le taux d'excrétion en azote par les animaux est directement lié aux concentrations de protéines dans l'aliment et à son absorption par l'animal (Kaushik, 1980 ; Beamish et Thomas, 1984, Lawrence et al., 2001). Velasco et al (1999) relatent des concentrations d'ammonium de 0,1 ppm à 6,5 ppm relargué dans le milieu par *Litopenaeus vannamei* pour des concentrations de protéines dans l'aliment de 10 à 33 %. De plus, ils soulignent que l'assimilation de l'azote diminue lorsque la concentration en protéines augmente dans l'aliment (assimilation azoté de 83,5 % ; 70,9 % ; 48,2 % et 37 % pour des concentrations en protéines de 10 % ; 18 % ; 25 % et 33 % respectivement). De plus, les taux de croissance ne diffèrent pas pour des concentrations en protéines de 18 %, 25 % et 33%. Seule la concentration de 10 % montre un taux de croissance significativement inférieur. Au vu de ces résultats, Lawrence et Lee (1997) démontrent qu'une réduction de 30 % à 15 % des protéines dans l'aliment permettrait une diminution de 60 % de l'azote inorganique total dans les effluents. Il est donc envisageable de réduire les concentrations en protéines afin de limiter au minimum les rejets d'azote dans le milieu tout en diminuant le coût de l'aliment.

Le phosphore est un élément capital pour les animaux aquatiques. Il intervient dans les processus physiologiques et dans la composition de la carapace des crustacés. Cependant un excès de phosphore peut stimuler une croissance excessive algale créant des conditions de milieu défavorables à l'élevage (Lawrence et al., 2001). L'accumulation de phosphore inorganique dans le milieu est proportionnel à sa concentration dans l'aliment (Velasco et al., 1998, 1999). Aucune différence de croissance n'a été montrée par ces auteurs avec un rapport Ca/P = 1 quelles que soient les concentrations de phosphore dans l'aliment (0,4 %, 0,8 % ou 1,2 %). Lawrence et Lee (1997) estiment qu'une réduction de 1 % à 0,5 % de la quantité de phosphore dans l'aliment permettrait de diminuer de 70 % le phosphore rejeté dans le milieu. Velasco et al., 1998, 1999 ont déterminé la croissance et le rejet de phosphore réactif dans l'eau (TRPAW) pour une concentration de 0,8 % de phosphore dans l'aliment. Un ratio de Ca/P = 1 et trois sources différentes de phosphore ( $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) ont été utilisés lors de cette expérimentation sur *Litopenaeus vannamei*. Il n'existe aucune différence de croissance entre ces trois sources de phosphore mais le TRPAW est significativement plus faible avec des aliments fabriqués avec du  $\text{CaHPO}_4$ . Ces données mettent en évidence que la quantité et la qualité du phosphore dans l'aliment ont un impact significatif sur la quantité de phosphore retrouvé dans le milieu récepteur.

Burford et al. (2001) soulignent qu'il est nécessaire d'améliorer la stabilité de l'aliment à l'eau afin de réduire le lessivage de l'azote organique dissous et de diminuer les concentrations dans les effluents. Il est très important que le granulé soit très attractif afin d'être consommé dans un minimum de temps et ainsi minimiser la perte de nutriment (Lawrence et al., 2001). Aranyakananda et Lawrence (1994)

démontrent que l'incorporation de 2 % d'*Artemia* dans un aliment semi-purifié augmente significativement le taux d'ingestion de 300 % chez *Litopenaeus vannamei*. De plus, ils soulignent qu'un même taux de croissance est obtenu avec une ration comprenant 45 % ou 25% de protéines et supplémentée avec de 2 % d'Artémia en poids sec.

La taille des granulés joue un rôle primordial. Lall (1991) rapporte que si le grain n'est pas correctement ajusté, le phosphore n'est pas digéré correctement et une plus grande quantité est relargué dans le milieu. Si les granulés distribués ne conviennent pas à la crevette, la crevette ne se nourrit pas, il y a donc une perte de gain pour l'éleveur mais aussi un sur enrichissement du milieu par les aliments ce qui provoque une pollution du milieu récepteur.

La valeur nutritive réelle de l'aliment est fonction de la biodisponibilité des nutriments. Les valeurs de digestibilité des protéines, phosphates, des carbohydrates et des lipides sont une composante importante de la lutte contre la pollution. Mais il est aussi important de l'effet de l'environnement sur cette digestibilité (Lawrence et al., 2001). Un second facteur pouvant affecté la disponibilité des nutriments est le processus de fabrication de l'aliment. Davis et Arnold (1995) mettent en évidence que la gélatinisation produite par extrusion humide augmente la digestibilité des farine de maïs mais n'a aucun effet ou très peu sur la farine de riz. Il semble aussi que l'utilisation d'ingrédient purifié (caséine, gluten, protéine de soja et gélatine) à la place d'ingrédient naturel (riz, poisson, ...) réduit largement la part de composés azotés relâché dans le milieu (Lawrence et al., 2001).

### Les fermiers

C'est principalement en fin d'élevage que le gestion de l'aliment est capitale (Lawrence et al., 2001). En effet, on relève environ 6 fois plus de nourriture, donc de protéines, et donc d'azote potentiellement relargué dans le milieu, par jour d'élevage en fin d'élevage qu'en début d'élevage. Augmenter la fréquence de distribution journalière produit des bénéfices car elle limite le lessivage des aliments et donc la perte en nutriment dans le milieu. En Asie, il est courant de nourrir 6 à 7 fois par jour. Le nombre optimal de distribution journalière est et sera sûrement un sujet continu de discussion, dépendant largement des expériences des différents fermiers (Jory et al., 2001). Toutefois, Clifford (1998) préconise pour *L. stylirostris* de nourrir deux fois par jour durant les 30 premiers jours d'élevage puis 3 fois et 4 fois en fin d'élevage. Robertson et al. (1993b) rapportent que la distribution alimentaire chez *L. vannamei* est aussi efficace de jour comme de nuit, mais que la ration journalière distribuée en quatre fois donne une meilleure croissance que si elle est distribué en 1 ou 2 fois. Scura (1995) rapporte chez *L. vannamei* que le nourrissage de nuit durant la saison sèche permet une amélioration de croissance de l'ordre de 60 %. Feller (1998) note que les adultes sont plus actives la nuit que le jour. Nunes et Suresh (2001) rapportent que les crevettes se nourrissent continuellement

Cabrera et al. (1998) mettent en évidence que les facteurs physico-chimiques tels que la température et l'oxygène dissous sont les principaux régulateurs du rythme alimentaire de *L. vannamei* d'où la nécessité de suivre la qualité de son milieu d'élevage. Molina et al (2000) démontrent qu'une distribution en fonction du stade de mue et des pics d'alimentation naturelle maximise le FCR et limite la dégradation des eaux de rejet.

L'utilisation de mangeoires, dans le but de déterminer le pourcentage de granulés non ingérés, et ainsi d'optimiser la ration, est la méthode la plus communément utilisée (Burford et al., 2001). Cela permet une nette réduction de l'aliment introduit dans les bassins tout en optimisant les croissances (Viacava, 1995 ; Nunes et Suresh, 2001). Le problème majeur de leur utilisation est le coût lié à la main d'œuvre. Très tôt au cours du cycle d'élevage, il est important de distribuer l'aliment sur l'ensemble du bassin. Dans la plupart des fermes, l'alimentation se fait à partir de bateau suivant un trajet bien défini. Au cours de l'élevage, les fermiers ne modifient pas ces trajets de distribution, et ne tiennent donc pas compte de la variabilité des microhabitats dans l'espace et le temps. Les crevettes pourtant éviteront les zones d'accumulation de sédiment anoxiques. Il est important de prendre en compte cette distribution non uniforme des crevettes au cours de l'élevage afin de limiter une distribution inefficace pouvant affecter l'indice de conversion.

La productivité naturelle joue un rôle majeur dans un bassin d'élevage. Elle permet de maintenir une bonne qualité d'eau (Jory et al., 2001). Burford (2001) met en évidence la part importante de l'alimentation naturelle (soit 30 % de son alimentation) chez des juvéniles de 1 gramme de *Penaeus monodon*. La production naturelle est sous estimée par de nombreux nutritionnistes, qui jouent sûrement un rôle fondamental dans les systèmes semi-intensif (Tacon, 1993, 1995). De nombreuses études démontrent la part importante de la productivité naturelle dans l'alimentation de la crevette. Ainsi, Anderson et al (1987) estiment que 53-77 % du carbone constitutif de la croissance provient du grazing chez *L. vannamei*. Clifford (1998) souligne que chez *L. stylirostris*, une population mixte de faune benthique et de zooplancton stimule significativement sa croissance chez les jeunes crevettes alors que *L. vannamei* préfère un mélange de phytoplancton et de zooplancton. Les microorganismes peuvent aussi favoriser significativement la croissance des crevettes en servant de source alimentaire (Leber et Pruder, 1988 ; Moss et al., 1992 ; Moss, 1995 ; Moss et Pruder, 1995). De plus, ils peuvent affecter l'abondance et les espèces présentes dans la flore intestinale des crevettes (Moss et al., 2000), stimuler l'activité d'enzyme digestive chez les crevettes (Moss et al., 2001a) et provoquer une réponse immunitaire non spécifique en stimulant le sérum d'agglutination (Primavera et al., 2000).

Ainsi, une meilleure prise en compte de l'alimentation naturelle, en début d'élevage notamment (Burford, 2001), pourrait limiter le FCR et limiter le déversement de dérivés alimentaires dans le milieu naturel.

L'aliment est une denrée hautement périssable. Il est donc très important de le stocker avec précaution. Si sa qualité est mauvaise, il peut être la source de maladie, ne pas être consommée, provoqué une accumulation des boues stressante pour les animaux en élevage. Sa gestion doit respecter les règles suivantes (Jory et al., 2001) :

- Stockage dans un endroit frais, sec et bien ventilé,
- Appliquer la règle du « premier arrivée, premier partie »,
- Les sacs doivent être stockés sur des palettes afin de permettre une circulation de l'air, et à 50 cm des murs,
- Séparer clairement les différents types de granulés,
- Manier les sacs avec précaution afin de limiter le broyage des pellets en fines,
- Protéger les sacs du soleil et de la pluie.

#### *2.4.4. Gestion des boues d'élevage*

Avnimelech (2001) propose de concentrer les boues d'élevage dans des régions restreintes par l'intermédiaire d'aérateurs placé à 45° par rapport à la digue. Cette méthode favorise la dégradation de la matière organique et les processus de transformation de l'azote (oxydation de l'ammonium en nitrate). Burford et al., (2001) ont démontré que la majeure partie de l'ammonium était produite au niveau du sédiment et en particulier dans les boues d'élevage. Ils estiment que si les boues sont retirées continuellement au cours de l'élevage, 60 % des flux d'ammonium du sédiment vers les eaux seront ainsi éliminés. Hopkins et al., (1995a) précisent que l'élimination des boues d'élevage diminue nettement l'ammonium dans les bassin mais aussi l'orthophosphate.

Afin de prévenir une trop forte accumulation de boue d'élevage, et ainsi la réduire de manière significative, Burford et al. (2001) proposent de recouvrir en partie ou en totalité les digues des bassins, car une grande partie des boues d'élevage proviennent de l'érosion des digues (Burford et al., 1998 ; Peterson, 1999).

#### *2.4.5. Domestication et la sélection des races*

Beaucoup de recherches pour l'élimination des déchets azotés se sont focalisées sur le traitement des déchets ou sur la qualité de l'aliment. La domestication ou la sélection des races peut aussi être un moyen de lutte, ainsi, chez le saumon, la sélection des races après 5 générations a permis une meilleure rétention de l'azote (passant de 35 % à 44 %) et en parallèle une augmentation de la croissance de 78 % (Gjederm, 1998).

Mais la recherche dans ce secteur chez la crevette est peu développée. Chez *M. japonicus*, Hetzel et al (2000) révèlent une amélioration de la croissance de 11 %. Or le F.C.R. est probablement fortement

corrélé à la croissance (Burford et al., 2001). Cela laisse une porte ouverte à la sélection sur le F.C.R., associé à une meilleure rétention de l'azote (Benzie et al., 1997).

#### *2.4.6. La Mangrove : un biofiltre*

Les mangroves sont considérées comme le système le moins onéreux et le plus efficace pour traiter des rejets (Clough et al., 1983 ; Breaux et al., 1995 ; Corbitt et Bowen, 1994 ; Ye et al., 2001 ). Les sols de mangrove sont connus pour leur activité dénitrifiante (Ye et al., 2001). Jenssen et al. (1997) ont démontré que l'azote des eaux de rejet était plus facilement capté que le phosphore par les plantes. Tam et Wong (1993, 1995) soulignent que les sols piègent facilement le phosphore, lequel à moins de solubilité et de mobilité que l'azote.

#### *2.4.7. Les farines animales*

Qu'il existe ou non un impact négatif de la pêche sur l'environnement pour la fabrication des farines alimentaires, il existe d'autres arguments plus incitatifs pour trouver des alternatives. Le coût des ingrédients d'origine marine est très élevé par rapport aux autres (Tacon, 2000). De plus, ces ingrédients peuvent être vecteur de maladies si le proceeding n'est pas scrupuleusement respecté (Moss et al., 1998). Il est donc important que cette voie de recherche soit développée. De plus, les premiers résultats de substitution sont encourageants (Tacon, 2000 ; Argue et al., 2001).

#### *2.4.8. Aspects économiques*

Aux Etats-Unis, les produits importés sont beaucoup moins chers que les produits fabriqués localement. La promotion des produits locaux se fait sur une image respectueuse de l'environnement, basée sur un suivi scientifique. Par exemple, pour réduire le déversement de phosphore dans le milieu, un aliment moins riche en phosphore a été fabriqué, fabrication qui a augmenté son coût de 10 %. Les consommateurs ont accepté ce surcoût. Au contraire, en Europe du nord, la demande est venue des consommateurs qui voulaient une aquaculture respectueuse de l'environnement (Naylor et al., 1998, 2000). Ceci à entraîner un surcoût, que les consommateurs étaient prêts à payer.

## 2.5. Synthèse

Citons les 12 principales directives prises par les gouvernements des principaux pays concernés par la production aquacole en général (poissons, crevettes) pour minimiser ou réduire l'impact négatif des déchets alimentaires sur l'environnement par l'intermédiaire des effluents (Tacon et Forster, 2003).

- 1-** Obligation d'un traitement des effluents avant leur déversement dans le milieu, par utilisation de bassin de décantation, de filtration, de systèmes de traitement des eaux, ... Exemples : Australie (Donovan, 1997), Danemark (European Commission, EC, 1995);
- 2-** Limitation les concentrations des matières spécifiques dissoutes / particulières et inorganiques / organiques et / ou nutriments contenus dans les effluents. Exemples : Canada (Colombie britannique: Anon., 2001a), USA (Hardy, 2000; Goldberg et al., 2001), Pays Européen (European Commission, EC, 1995);
- 3-** Etablissement des taux maxima de nutriment spécifique (comme le phosphore et l'azote) que les fermes sont autorisés à déverser sur une période de temps donnée. Exemples : Australie (Donovan, 1997), Danemark (European Commission, EC, 1995);
- 4-** Limitation du nombre total de licences de construction de ferme et / ou la taille des fermes (et donc de la production) en fonction de la proximité des autres fermes et de la capacité d'assimilation de l'écosystème environnant. Exemples : Australie (Donovan, 1997), Danemark (European Commission, EC, 1995), Norvège (Anon., 2001c);
- 5-** Limitation ou fixation de la quantité totale d'aliment distribué sur une période donnée. Exemples : Danemark (European Commission, EC, 1995), Norvège (Anon., 2001b);
- 6-** Optimisation des nutriments dans la composition des aliments en fonction de l'espèce d'élevage. Exemples : Danemark (European Commission, EC, 1995), Thaïlande (Boonyaratpalin et Chittiwan, 1999; Corpron et Boonyaratpalin, 1999);
- 7-** Interdiction d'utiliser des aliments potentiellement à haut risque tel que des animaux vivants ou morts (Donovan, 1997);
- 8-** Interdiction d'utiliser certains produits chimiques, incluant les agents thérapeutiques et les pesticides / herbicides. Exemples : Australie (Donovan, 1997), USA (Boyd et Massaut, 1999; Goldberg et al., 2001), Asie / général (GESAMP, IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/ UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection, 1997; Arthur et al., 2000);
- 9-** Prescription de critères de performance minimum, tels que le taux de fines, l'ensachage de l'aliment, l'efficacité alimentaire, ou la digestibilité de l'aliment. Exemples : Australie (Donovan, 1997), Danemark (European Commission, EC, 1995);
- 10-** Application d'un code de conduite, incluant les BMP's, la fabrication et l'utilisation des aliments, et la gestion environnementale. Exemples : Australie (Environmental Code of Practice

for Australian Prawn Farmers: Donovan, 1997), Belize (Dixon, 1997), Canada (Colombie britannique: Anon., 2001a), Europe (Irish Salmon Growers Association, 1991; British Trout Association, 1995), Thaïlande (Tookwinas et al., 2000), Elevage de crevettes (Boyd, 1999; Boyd et al., 2001), Gestion de l'aliment (Davis, 2001), Fabricant de l'aliment (FAO, 2001), Ordre général (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 1997; Boyd et al., 2001; Tacon et Barg, 2001);

**11-** Obligation du développement de stratégies pour la gestion des sédiments. Exemples: Australie (Donovan, 1997);

**12-** Obligation de mise en place d'un suivi environnemental. Exemples: Australia (Donovan, 1997), Canada (Colombie britannique: Anon., 2001b), Norvège (Anon., 2001c; Ervik et al. 1997), USA (Goldburg et al., 2001), EU (European Commission, EC, 1995; Black, 2001;), Général (Barg, 1992; Wu, 2001).

## **Chapitre 2 : Impact de l'aquaculture sur l'environnement en Nouvelle-Calédonie**

## **2.1. Schéma conceptuel de l'étude d'impact de la crevetteculture sur l'environnement littoral**

La gestion de l'environnement littoral par les services compétents nécessite à la fois une bonne connaissance de la qualité et des quantités de déchets exportés par les fermes d'élevage, la possibilité de suivre le devenir de ces déchets dans le milieu receveur et de connaître l'impact de ces déchets sur l'environnement littoral.

En conséquence les objectifs du programme Aquaculture – Environnement littoral du DAC sont (Fig. 2):

- 1-** de rechercher des indicateurs permettant de suivre le devenir des effluents dans le milieu receveur (eau du lagon).
  
- 2-** de concevoir un modèle prédictif des flux azotés et phosphorés qui prend en compte les paramètres de gestion des élevages (densités, fertilisants, renouvellements en eau)
  
- 3-** de déterminer les effets sur l'écosystème mangrove et sur le lagon et la capacité d'assimilation des différents milieux.

L'application du modèle permettra de déterminer les flux de déchets exportés vers l'environnement littoral en fonction des paramètres de gestion. A terme, il s'agira de pouvoir contrôler les rejets par la mise en place des normes de production en relation avec la capacité d'assimilation du milieu.

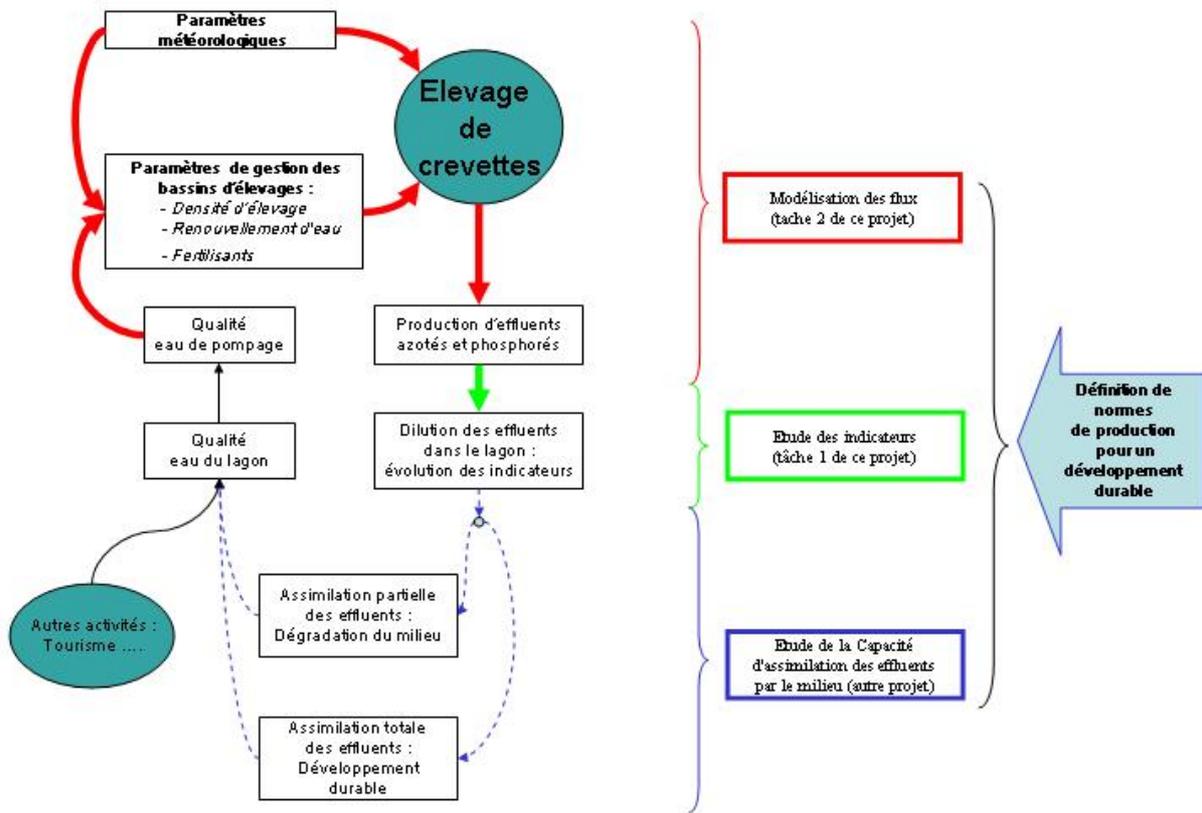


Figure 2 : Schéma général du projet pour l'étude de l'impact de l'aquaculture sur l'environnement littoral

## 2.2. Modèle prédictif des flux azotés et phosphorés

Différentes études conduites en Nouvelle-Calédonie par le laboratoire IFREMER ont montré que les effluents sont principalement constitués de matières organiques particulières et dissoutes et de phytoplancton (Martin et al., 1998 ; Lemonnier et al, 2003 ; Lemonnier et Faninoz, 2006). Les rejets en sels nutritifs azotés sont très faibles, les bassins assimilant même les sels apportés par l'eau de renouvellement. En revanche pendant la saison chaude, les rejets sont riches en azote organique dissous (NOD) (Lemonnier et Faninoz, 2006) et que l'intensification du système favorise les déchets particuliers et organiques (Lemonnier, 1997).

L'analyse des différents travaux (Martin et al., 2004) montre que les éléments de gestion des bassins à disposition des producteurs permettent d'optimiser les performances de production avec une minimisation des déchets. Parmi ces éléments, la densité à l'ensemencement apparaît comme un paramètre capital. Son augmentation, sans un apport énergétique proportionné (aération, renouvellement) a pour effet de diminuer les performances de production. De plus, à production égale, les quantités de déchets sont supérieures pour des densités d'élevage élevées. Le renouvellement de l'eau apparaît être plus un élément permettant un assainissement des bassins (dilution des blooms, élimination des déchets...) qu'un élément ayant une action directe sur les performances de production et sur la quantité de déchets formés. Enfin, la quantité de radiation solaire atteignant la surface de l'eau apparaît être un paramètre important dans la réussite des élevages. Ce paramètre pourrait rendre compte des baisses de performances saisonnières observées en Nouvelle Calédonie.

Si les différentes études réalisées jusqu'ici permettent de connaître le devenir des déchets à l'échelle de l'élevage, nous ne sommes actuellement pas en mesure de déterminer les rejets journaliers d'un élevage industriel. Pour ce faire, dans le cadre du programme Zonéco, un modèle déterministe à l'échelle de l'heure intégrant les paramètres de gestion (date d'ensemencement, densité, renouvellements...) est en cours d'élaboration afin de simuler les flux d'azote et de phosphore dans les bassins d'élevage. Le modèle est calibré sur la base de données historiques issues d'expérimentations mises en œuvre à la station Ifremer ainsi que sur les informations extraites d'une base de données regroupant les paramètres d'un certain nombre de fermes. Des expérimentations permettent en parallèle d'apporter des informations sur le processus d'excrétion de *L. stylirostris* et une campagne d'échantillonnage (nov.2004-sept.2005) des eaux d'entrée et de sortie de bassins répartis sur deux fermes (une intensive 35 ind/m<sup>2</sup> et une semi-intensive 20ind/m<sup>2</sup>) permettront de valider le modèle.

Le modèle (fig. 3) se subdivise en différents compartiments entre lesquels existe des flux entrant et sortant. Cinq compartiments sont ainsi identifiés : l'aliment, la biomasse de crevettes, la colonne

d'eau, le phytoplancton et le sédiment. Un sixième compartiment nommé « déchets », qui émane du gaspillage de l'aliment et des fécès, est intégré. Dans la colonne d'eau différentes formes chimiques dissoutes sont identifiées ; pour l'azote : l'azote ammoniacal total (TAN), l'azote organique dissout (NOD), les nitrites et nitrates (NOx). Pour le phosphore, la fraction organique présentant une solubilité très faible, seule la fraction inorganique va se trouver dissoute sous forme de phosphate ou Phosphore réactif dissout (DRP) (Montoya et al., 2000). Dans les autres compartiments, représentant la fraction particulaire des éléments, les flux se font en moles d'azote et de phosphore.

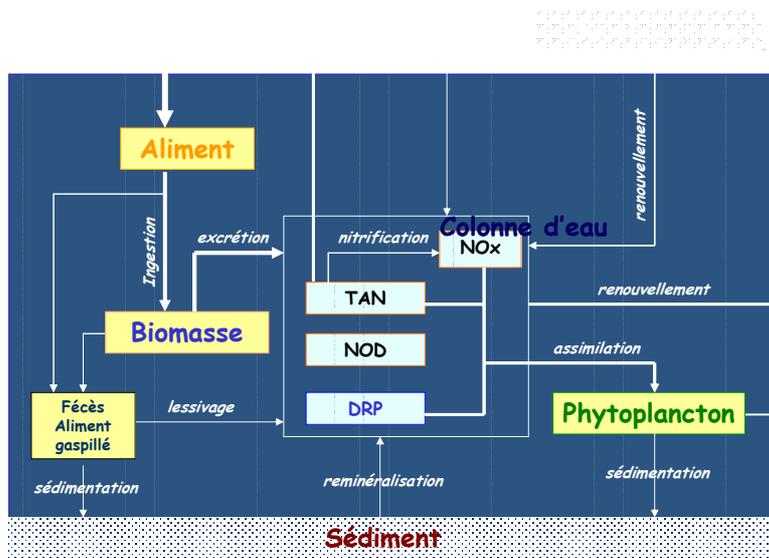


Figure 3 : Schéma conceptuel du modèle

## **2.3. Recherche d'indicateurs des effluents d'élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie**

### **2.3.1. Introduction**

Le système de production (semi intensif) pratiqué dans les fermes de crevette en Nouvelle-Calédonie induit une interaction notable entre les bassins et l'environnement littoral. Les taux de renouvellement, visant à réguler les paramètres hydrologiques et biologiques des bassins, varient entre 5 et 30% au cours de l'élevage. Or, ces eaux de rejets présentent des caractéristiques (charge en MES, phytoplancton, MOD...) très différentes du milieu receveur. Leur rejet direct est donc susceptible d'avoir un impact sur l'environnement littoral. Ainsi, dans un contexte d'essor de la filière il apparaît nécessaire d'être capable d'évaluer le devenir de ces effluents dans le milieu receveur. En conséquence, la présente opération vise à rechercher des indicateurs pertinents, permettant le suivi spatio-temporel des effluents des fermes de production.

### **2.3.2. Matériel et méthode**

#### *2.3.2.1. Les sites sélectionnés*

Les traceurs des effluents sont recherchés dans la colonne d'eau des baies de Chambeyron et de Teremba (Fig.1). Ces baies reçoivent les effluents de 2 fermes aquacoles aux caractéristiques différentes. Celle de Chambeyron correspond à une ferme intensive de moyenne importance, la Pénéide de Ouano (29 ha), celle de la baie de Teremba à une ferme semi-intensive de très grande superficie, La sodacal (129 ha, la plus grande ferme de Nouvelle Calédonie).

#### *2.3.2.2. Les variables mesurées*

Les variables environnementales susceptibles d'être les plus sensibles à l'influence des rejets sont les suivantes :

Variables physiques : température, salinité, oxygène dissout, turbidité, matières en suspension (MES), PAR (Photosynthetic Available Radiation).

Variables chimiques : sels nutritifs (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, Si(OH)<sub>4</sub>), Matière Organique Particulaire (MOP) et Matière Organique Dissoute MOD (carbone, azote et phosphore).

Variables biologiques : Chlorophylle-a totale et phéopigments (avec fractionnement en classes de taille), diversité phytoplanctonique (cytométrie en flux), particules exopolymériques transparentes.

### 2.3.2.3. Stratégie d'échantillonnage

Elle doit permettre de répondre aux questions suivantes : Quelle est l'étendue de la zone concernée par les rejets ? Quelle est la variabilité temporelle de cette étendue en fonction de l'intensité des rejets ?

Pour répondre à ces questions la stratégie suivante a été adoptée (la même pour chaque baie) :

Les stations (fig.4) :

→ Une radiale de 5 stations depuis l'eau de rejet (station n°5), 3 stations en aval du rejet le long d'un gradient côte large (stations n°2 à 4) et une station de référence dans le lagon hors de toute influence (station n°1).

→ Une station dite de « référence » (uniquement pour la baie de Chambeyron, station n°3), avec une bouée instrumentée d'une sonde multiparamétrique (installée à -4m) en continu (fréquence de mesure de 15 minutes) mesurant : température, salinité, oxygène dissout, turbidité, pH et fluorescence in vivo.

La stratégie (sur chaque station):

→ Campagnes de prélèvement faites à l'étalement de marée haute.

→ Un prélèvement d'eau en vue d'analyses au laboratoire sur chaque station.

→ Un profil avec une sonde CTD SeaBird enregistrant la fluorescence in vivo, la turbidité (NTU), la salinité, la température et le PAR (Photosynthetic Available Radiation). Ces enregistrements permettent de disposer de profils verticaux sur les stations présentant une profondeur suffisante (OA1 à OA4) et d'enregistrements de surface pour les autres.

→ Une mesure directe du pH et de l'oxygène dissout.

→ La fréquence de base est de 2 sorties par mois pendant un an, les opérations de terrain ayant débuté en Septembre 2004.

De manière à évaluer l'aspect représentatif de la radiale établie et pour disposer d'une vision spatialisée à l'échelle de la baie d'une partie des paramètres mesurés, des campagnes visant à couvrir la baie de Chambeyron ont été initiées en décembre 2004. Ainsi, 19 stations ont été établies en plus des 5 stations de la radiale (Fig. 5). Sur chacune de ces stations, un profil avec la sonde SeaBird est pratiqué ainsi qu'un prélèvement d'eau sur les stations les plus extérieures (Fig.5) pour mesure de MES, MOP, MM et Chl-a totale.



Fig. 4 : Localisation des Baies, fermes et stations d'échantillonnage.



Fig. 5 : Identification des stations d'échantillonnage pour la couverture géographique en baie de Chambeyron. Stations de la radiale (triangle), stations supplémentaires (rouges), stations avec prélèvement d'eau (carré rouge).

#### 2.3.2.4. Traitements et analyses

##### Les échantillons d'eau

*Chlorophylle-a et phéopigments* : Trois filtrations sont effectuées : une filtration sur filtre GF/F pour la Chl-a totale, une filtration sur GF/F avec préfiltration sur maille de 20 $\mu$ m pour la fraction <20 $\mu$ m et une filtration sur filtre millipore 2 $\mu$ m pour la fraction >2 $\mu$ m. Trois classes de taille sont ainsi identifiées après calcul : <2 $\mu$ m, 2 $\mu$ m<<20 $\mu$ m et >20 $\mu$ m. Les dosages de Chl-a et Phéopigments sont faits après extraction au méthanol et lecture au fluorimètre selon la méthode de Holm-Hansen et al. (1965).

*Fraction particulaire* : Un échantillon d'eau est filtré sur filtre Whatman GF/C calciné pré pesé. Après séchage à l'étuve les filtres sont pesés afin d'extraire la concentration en MES. Les filtres sont ensuite passés au four 4 heures à 450°C afin de distinguer les fractions minérale et organique de la MES. Trois paramètres sont ainsi extraits : la matière en suspension totale (MES en mg.l-1), la matière minérale (MM en mg.l-1) et la matière organique particulaire (MOP en mg.l-1). L'identification des éléments de la MES (Carbone, hydrogène, azote) est faite par mesure CHN (Ifremer, laboratoire du CRELA, L.Joassard), après filtration sur filtre GF/F calciné. La concentration en phosphore total est mesurée (Université de Nouvelle-Calédonie) sur un échantillon brut de 50ml d'eau. La concentration en particules exopolymériques transparentes (TEP en  $\mu$ gC.l-1) est mesurée par une méthode colorimétrique (IRD Nouméa) après fixation au formol d'un échantillon brut de 120 ml d'eau. L'identification des communautés picoplanctoniques est faite par la cytométrie en flux (CNRS Banyuls) sur des échantillons brut de 1.5 ml d'eau fixés dans 7.5  $\mu$ L de Glutaraldéhyde et maintenu à -80°C après passage à l'azote liquide.

*Fraction dissoute* : L'ensemble des éléments dissout est mesuré sur un échantillon d'eau pré filtré sur filtre GF/F calciné. Les concentrations en sels nutritifs : NH<sub>3</sub>,4, Si(OH)<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, sont mesurées au laboratoire du DAC par des méthodes colorimétriques. Le phosphore dissout total (PD) est mesuré à l'Université de Nouvelle-Calédonie. Les nitrites, nitrates (NO<sub>x</sub>) et l'azote organique dissout (NOD) sont dosés à l'IRD de Nouméa par auto-analyseur (technicon). La concentration en matière organique dissoute (MOD) est mesurée au DAC selon la méthode Pagès (spectre d'absorption au spectrophotomètre).

##### Les sondes CTD

*La sonde SeaBird* : Un enregistrement est pratiqué sur chaque station visitée (paramètres : fluorescence in vivo, turbidité (NTU), salinité, température, PAR, profondeur). Pour les stations présentant une profondeur suffisante (OA1 à 4) des profils verticaux sont effectués à raison d'une moyenne de 4 enregistrements par seconde au cours de la descente. Pour les stations peu profondes les

paramètres sont enregistrés à une profondeur unique proche de -1m. Les mesures sont enregistrées dans la sonde dans un format spécifique (.hex). Après extraction, les données sont converties dans un format texte (.cnv) permettant leur archivage. Les enregistrements sont ensuite extraits au format Excel et intégrés dans une base de données spécifique.

*La sonde YSI* : Les enregistrements de la sonde YSI sont récupérés à chaque campagne et transférés dans un data logger. Ils correspondent à 15 jours d'enregistrement à raison d'une mesure toutes les 15 minutes (paramètres : Fluorescence *in vivo*, turbidité (NTU), température, salinité, oxygène dissout). Ces données sont transférées sur un PC sous deux formats : un format (.dat) permettant leur lecture sur le logiciel EcoWatch et un format (ASCII) (texte). Le format texte est transféré dans une base de données Excel dans lequel sont archivés toutes les campagnes.

#### Les mesures directes

Le pH, l'oxygène dissout et la température sont mesurés *in situ* à chaque station à l'aide d'appareils de terrain. Les résultats des mesures sont archivés dans une base de données spécifique.

#### 2.3.2.5. Archivage des données au format Access

Une base de données Access a été établie permettant l'archivage dans un fichier unique de l'ensemble des résultats et la visualisation et extraction ciblée de données enregistrées au cours de l'opération. Cette base permet, outre l'archivage de l'ensemble des données :

- de visualiser, extraire et imprimer les stations d'une campagne donnée
- de visualiser, extraire et imprimer les données par station
- de visualiser, extraire et imprimer les données par campagne
- de visualiser, extraire et imprimer les profils verticaux enregistrés par la sonde SeaBird

L'accès aux tables de la base permet en outre d'établir des requêtes spécifiques donnant accès à tout ou partie des données enregistrées. Cette base de données sera, à terme, mise à disposition du programme Zonéco.

### 2.3.3. Résultats

Certaines analyses étant en cours, les résultats sont partiels. Une communication au cours du Séminaire « Ecosystèmes et Crevetticulture en Nouvelle-Calédonie », organisé par l’Ifremer (Auditorium de l’IRD, Nouméa, 22-24 juin 2005) a permis d’exposer les résultats préliminaire de cette opération et les perspectives envisagées. Les données sont actuellement analysées dans le cadre d’un stage de Master 2. A l’issue de ce stage, un rapport sera rédigé. Un poster a été présenté dans le cadre du congrès international de la World Aquaculture Society qui a eu lieu à Florence en Italie du 9 au 13 mai 2006 (El Hewe et al., 2006).

#### 2.3.3.1. Paramètres des fermes

L’activité des fermes est centrée sur la période estivale. La figure 6 présente l’évolution des biomasses sur la ferme La Sodacal pour la saison 2004-2005. L’activité de la ferme est importante entre décembre et mai. Entre 50 et 100 tonnes de crevettes sont en moyenne pêchées chaque mois entre décembre et juin.

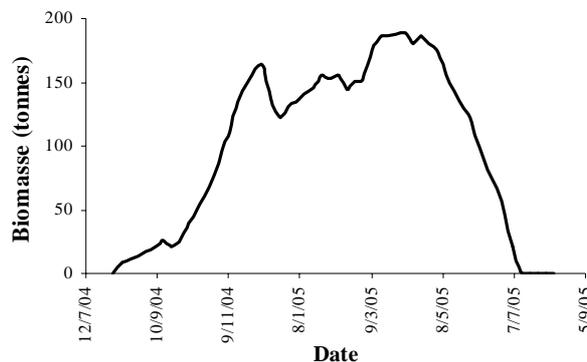


Fig. 6 : Evolution des biomasses en élevage sur la ferme La Sodacal sur la saison 2004-2005 (Source : La Sodacal)

Les résultats du suivi des différents paramètres dans les bassins des deux fermes sont en concordance avec les données de la littérature qui indiquent une prédominance de la production phytoplanctonique au regard des autres paramètres tels que les nutriments (fig. 7). Les concentrations dans l’eau d’entrée sont en effet nettement inférieures aux concentrations mesurées dans les bassins. En revanche, il n’apparaît aucune différence entre les concentrations en ammoniacque entre l’eau d’entrée et de sortie pour les deux fermes.

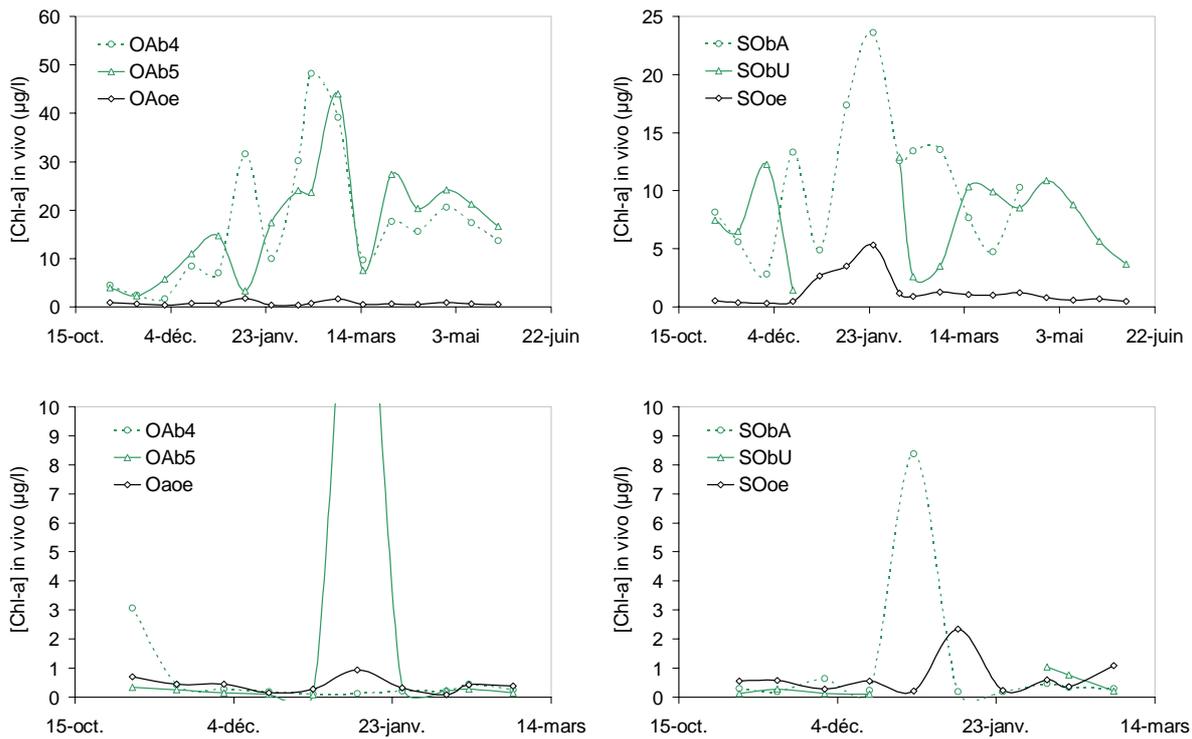


Figure 7 : profil de la chlorophylle in vivo et de l'ammoniaque mesurés dans les bassins des deux fermes et dans leur eau d'entrée.

### 2.3.3.2. Les marqueurs dans la baie

#### Aspect spatial

Les concentrations en Chl-a pour chaque station des deux baies aux différentes dates sont exposées en figure 8. Elles sont confrontées aux concentrations dans les bassins. Les stations de fond de baie présentent à certaines dates des concentrations importantes en Chl-a. Exclusivement localisées en station 5 à Ouano (station de fond de baie), les fortes concentrations semblent se répartir plus largement à Teremba.

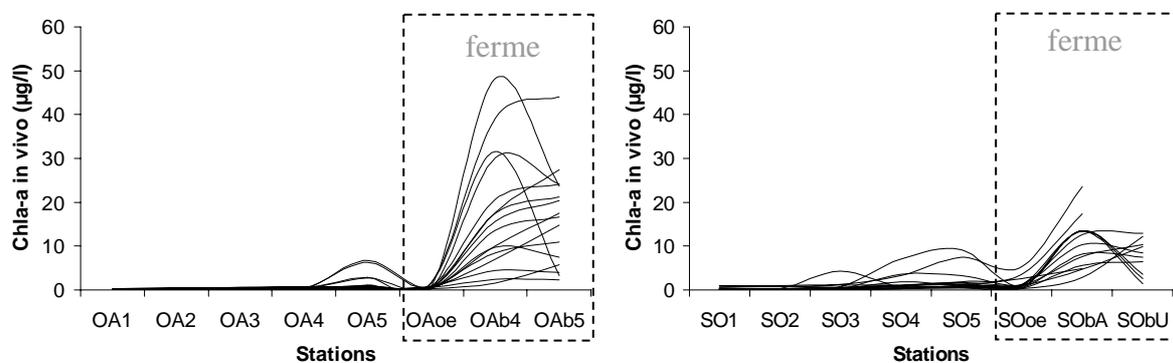


Figure 8 : profils des concentrations en Chl-a in vivo pour différentes dates au niveau des stations des deux baies et deux fermes.

### Aspect spatio-temporel

Les concentrations en Chl-a in vivo aux cinq stations des baies et des eaux d'entrée au cours du temps sont confrontées à la concentration moyenne dans les bassins des deux fermes (fig. 9). Alors que les concentrations aux stations 1 à 4 en baie de Ouano restent stables à de faibles concentrations, la concentration mesurée en station 5 présente un profil croissant qui s'accroît en fin de période, au moment des pêches. Les fortes vidanges des bassins au cours des pêches de fin d'élevage seraient à l'origine d'une expulsion importante de phytoplancton en fond de baie. En baie de Teremba, les effluents semblent se répartir de façon plus importante vers la sortie de la baie. En effet, les stations 4 et 5 présentent des concentrations importantes au regard des autres stations de la baie au moment des pêches qui débutent autour de j100.

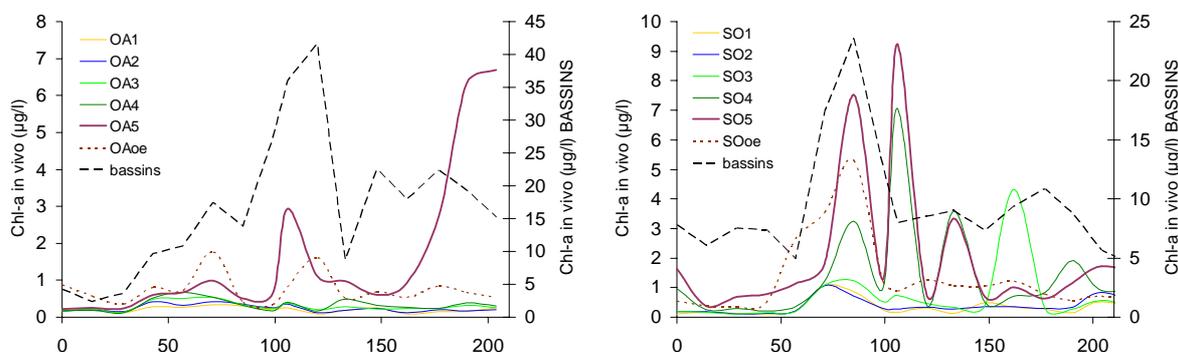


Figure 9 : profils des concentrations en Chl-a in vivo au cours du temps aux stations des baies, dans l'eau d'entrée des deux fermes et en moyenne dans les bassins.

Les concentrations en Chl-a dans les eaux d'entrée laissent penser que les fermes pourraient pomper partiellement leurs propres rejets. Ceci peut être vrai pour la ferme de la baie de Ouano dont le canal d'entrée se situe à proximité des rejets, mais pour la ferme de Teremba, qui pompe son eau dans une baie adjacente, l'éventualité d'un recyclage des effluents est exclu.

Les résultats des campagnes de couverture spatiales effectuées en baie de Ouano permettent d'avoir une image à marée haute de la répartition du marqueur (ici la Chl-a) sur toute la zone (fig. 10). Ainsi, il est notable qu'à marée haute, les effluents semblent se « cantonner » en fond de baie avec des concentrations croissantes au cours de la saison. Les concentrations mesurées en fond de baie atteignent plus de  $8\mu\text{g.l}^{-1}$  en mai là où elles se limitaient à  $0,59\mu\text{g.l}^{-1}$  en décembre.

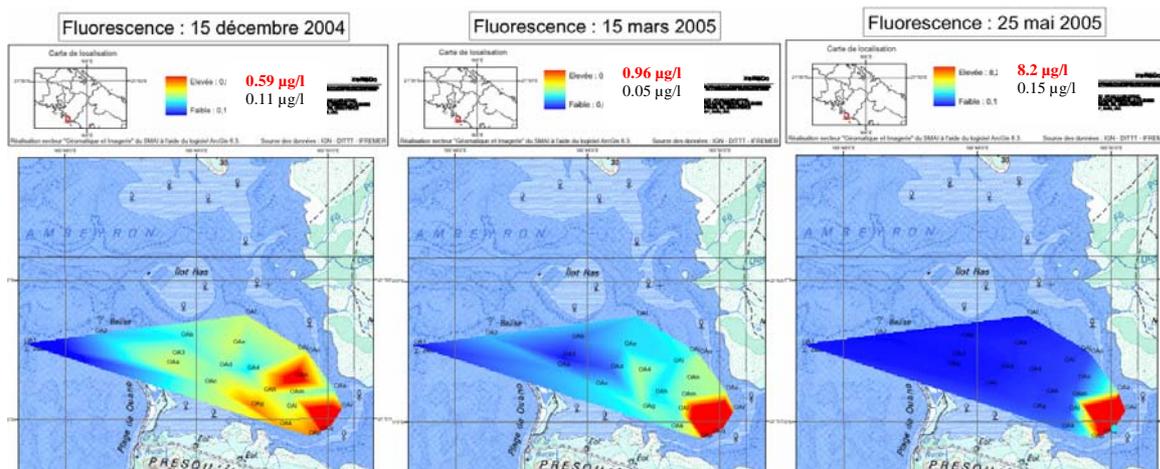


Figure 10 : cartographie de la répartition du marqueur Chl-a en baie de Ouano pour trois dates (Cartographie établie par D. Buisson de la Direction des Technologies et des Services de l'Information (DTSI) Service Géomatique & Télédétection).

Les enregistrements de la sonde fixée en baie de Ouano (à la st N°3) permettent d'identifier une éventuelle cinétique dans la répartition des effluents. Ainsi il est possible d'identifier des cycles dans l'évolution des paramètres enregistrés (fig. 11). Les cycles principaux sont ajustés sur une période de 24h (flèches noires) donc sur un double cycle de marée. Les pics étant centrés au moment des basses mers tous les deux cycles. Il existe une bonne concordance entre les cycles de la Chl-a et de la turbidité. Ces enregistrements montrent que les effluents, concentrés en fond de baie à marée haute, sont susceptibles de circuler dans la baie. Les cycles de 24h mettent en évidence un fonctionnement probablement complexe, dépendant de l'hydrodynamisme de la baie.

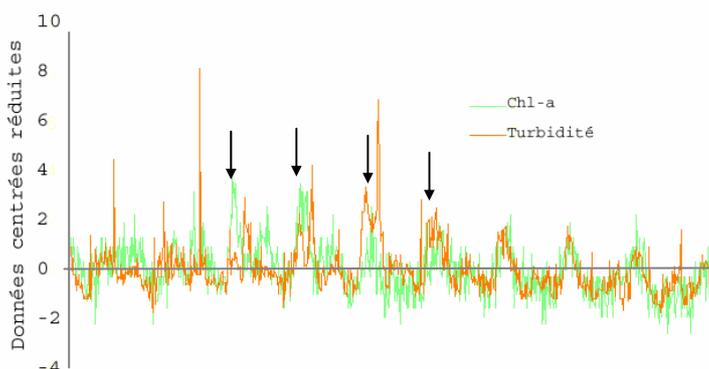


Figure 11 : données centrées réduites de l'évolution de la Chl-a et turbidité in vivo enregistrées par la sonde YSI en baie de Ouano entre le 20 mai et le 30 mai.

#### **2.3.4. Conclusion – Perspectives**

Une Base de données a été mise en place, permettant de regrouper l'ensemble des résultats acquis au cours des campagnes de prélèvement qui se sont poursuivies jusqu'en septembre 2005. Un certain nombre d'analyse restant à effectuer, les résultats devront être intégrés à cette base.

Au regard des premiers résultats, le phytoplancton apparaît comme un indicateur d'intérêt. Aisément identifié dans les baies en aval des fermes, il semble bien corrélé au niveau de production des élevages. Les études de cytométrie en flux apporteront des précisions sur la composition des communautés phytoplanctoniques qui présentent des particularités marquantes au sein des bassins d'élevage (Courties, com. séminaire, 2004).

D'autre part, l'ensemble des paramètres devra être intégré à l'étude, en l'occurrence les différents nutriments non encore analysés. Des précisions sur la composition de la matière organique (particules exopolymériques transparentes, NOD...) devraient apporter de nouveaux éléments dans la recherche de traceurs pertinents des effluents.

La définition d'indicateurs de la production des fermes au cours de l'élevage devrait permettre de mettre en relation la cinétique et les particularités de l'élevage avec la dynamique des marqueurs dans la baie. En parallèle, il apparaît nécessaire d'être en mesure d'identifier les particularités des baies (typologie) afin d'extraire l'effet propre du milieu.

Enfin, l'étude fine des enregistrements en continu, couplée à une acquisition de connaissance sur l'hydrodynamique de la baie (travaux de l'IRD) devrait permettre d'accéder à une vision plus précise de la dynamique de dispersion à courte échelle de temps des marqueurs dans la Baie.

## 2.4. Les effets sur l'environnement littoral

### 2.4.1. Des études passées (1995-1998) sur la baie de Chambeyron...

Que ce soit au plan de la sédimentologie ou des compartiments benthiques (méga-faune, macrofaune, macroflore et microflore, aucun lien entre les changements observés et les rejets d'une ferme après deux (ou trois) années d'exploitation n'ont pu être mis en évidence. On a effectivement constaté des changements sédimentologiques (augmentation de l'envasement, des apports terrigènes, de la finesse des sédiments et de leur teneur en matière organique) (Chevillon, 1999) et biologiques (diminution de la diversité taxonomique, transformation de la structure de la communauté benthique des petits fonds d'herbier se traduisant par une disparition des mollusques bivalves filtreurs au profit de petits mollusques gastéropodes dépositivores sélectifs), (Garrigue et al., 1999) mais les conditions climatiques très particulières survenues entre le début et la fin de l'étude pourraient suffire à expliquer les modifications observées dans la sédimentologie de la baie, et donc celles de la faune associée.

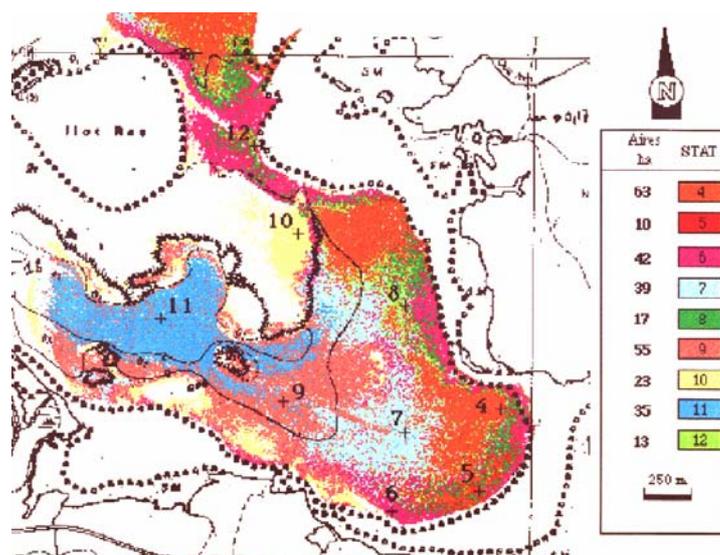


Figure 12 : Estimation des biomasses végétales dans la baie par utilisation de l'imagerie aérienne (Garrigue et al., 1998).

### 2.4.2... aux études récentes (2004-2005) sur la mangrove

Une étude d'un éventuel impact des effluents aquacoles sur la mangrove a été lancée dans le cadre du programme calédonien ZoNéCo (Virly et al., 2005). L'analyse des photographies aériennes depuis 1954 jusqu'en 2004 a mis en évidence sur les sites proches de fermes aquacoles une progression et une densification des palétuviers *Rhizophora* vers l'intérieur des terres (Fig. 13). Cette évolution qui

existait mais était minime avant construction des fermes est plus marquée et semble s'être accélérée depuis. Dans l'arrière-mangrove, une raréfaction des *Avicennia sp.* a également été notée sur les sites proches des fermes. En revanche, peu de changements ont été observés sur le site vierge. Parallèlement, un développement de zones envasées et l'apparition de trouées dans la végétation ont été observés sur les sites exploités depuis l'établissement des fermes. La description de la végétation et les mesures des paramètres physico-chimiques et chimiques montrent des différences significatives entre sites et au sein même d'un site sans qu'il soit possible d'attribuer ces variations à un impact de l'aquaculture.

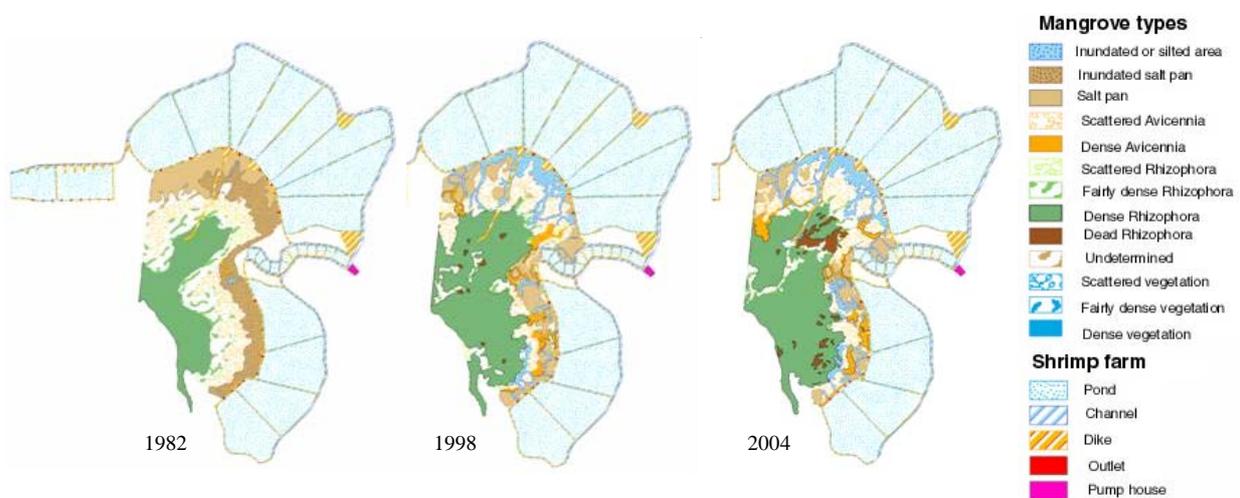


Figure 13 : Evolution des mangroves en bordure d'une ferme de crevettes entre 1982 et 2004 (d'après Virly et al., 2005)

# **Chapitre 3 : Les bases d'un programme pluriannuel**

### 3.1. Séminaire Écosystèmes et crevetticulture

Un séminaire intitulé « Écosystèmes et crevetticulture » organisé par l'Ifremer en Nouvelle-Calédonie avec le soutien de l'IRD s'est tenu à Nouméa du 22 au 24 juin 2005. Il a réuni des chercheurs du Département Aquaculture en Calédonie, de l'Université et de l'IRD de Nouvelle-Calédonie, des consultants calédoniens mais aussi des chercheurs métropolitains de l'Ifremer, du CNRS et du Muséum d'Histoire Naturelle. Ce séminaire, ouvert aux professionnels de l'aquaculture calédonienne a permis des échanges entre scientifiques et avec la profession.

La première journée a été consacrée au fonctionnement de « l'écosystème bassin » en relation avec l'apparition des syndromes d'été et d'hiver, deux maladies à *Vibrio* qui touchent la filière et qui sont étudiées dans le cadre du programme de recherche DESANS (DEfi SANté Stylirostris) du laboratoire.

Au cours de la seconde journée, les différents travaux sur la mangrove, le milieu lagunaire et l'impact des fermes d'élevage sur ces milieux ont été présentés. Ces études sont préliminaires et ne permettent pas de conclure aujourd'hui à un effet notable et durable de l'aquaculture sur l'environnement. Cependant quelques indices comme une progression de la mangrove en aval des fermes ou l'évolution des proportions d'espèces de palétuviers méritent que ces études soient poursuivies de manière à pouvoir faire la part entre une évolution naturelle et un impact réel de l'aquaculture sur la mangrove et les fonds de baie. Des outils de modélisation sur le fonctionnement de l'écosystème bassin et sur la circulation des masses d'eau côtières ont montré leur intérêt dans l'optique d'une meilleure gestion des écosystèmes côtiers et comme aide à la décision pour l'implantation de nouvelles fermes. Les résumés de différentes présentations de cette seconde journée sont présentés en annexe 1.

Une session de restitution (le troisième jour) a permis de présenter aux partenaires institutionnels et aux professionnels, une synthèse des principaux résultats, et des futures orientations de recherche.

Les collaborations actuelles seront poursuivies et même amplifiées pour mieux renforcer les recherches menées par l'équipe du Département Aquacole en Calédonie.

## **3.2. Perspectives et voies de recherche**

Ce séminaire a permis d'élaborer des perspectives de recherche.

### **3.2.1. Baie de Chambeyron : 10 ans après.**

Les participants du Séminaire sont tous tombés d'accord sur la nécessité de revisiter le site de la baie de Chambeyron. La ferme est maintenant en exploitation depuis 10 ans et la comparaison avec les résultats obtenus en 1997 et 1998 serait du plus grand intérêt.

Bien que ce serait préférable pour des raisons évidentes de rigueur, il n'apparaît pas nécessaire de répéter à l'identique les opérations passées. Quelques points bien choisis avec un échantillonnage stratifié devraient permettre d'apprécier l'évolution des situations sédimentologique, macrophytique et macrobenthique.

*Cette action pourrait typiquement s'inscrire dans le cadre du futur projet Zonéco, axé sur le concept de développement durable.*

### **3.2.2. Indicateurs d'effluents et effets sur les communautés planctoniques microbiennes dans les baies de Chambeyron et de Teremba**

Les résultats à venir (TEP, Cytométrie, Chl-a, caractéristiques de la MOD...) complétés par des indices d'activité des fermes au cours de l'année de suivi permettront de choisir les indicateurs les plus pertinents ainsi que d'obtenir une idée assez précise de la dynamique spatio-temporelle des effluents. La comparaison entre les deux systèmes de production (intensif et semi-intensif) ajoutera une dimension supplémentaire à l'analyse des résultats.

*Une stagiaire de DEA, Yasmine El Hewe (janvier 2006 – juin 2006) doit dépouiller l'ensemble des données du suivi de terrain acquises pendant 10 mois.*

Mais il est recommandé de ne pas se satisfaire de cette « simple » description. Une étude du fonctionnement (mesure de la production primaire, des activités bactériennes) des communautés planctoniques à 3 ou 4 moments clés (saison froide, saison chaude, fermes en pleine activité, en activité réduite) comme celle qui a été réalisée par l'IRD dans le lagon sud-ouest est nécessaire pour apprécier les modifications des communautés planctoniques.

*Ce thème fait partie intégrante du sujet de la thèse de Ronan Lucas retenue et cofinancée par IFREMER démarrant en novembre 2005 (Direction Alain Herbland).*

*Cette thèse s'inscrit aussi dans la problématique du chantier PNEC Nouvelle-Calédonie qui la finance partiellement (Annexe 2).*

*Enfin le modèle de production des effluents mérite d'être poursuivi et validé.*

### **3.2.3. La mangrove et sa biodiversité.**

Les premiers résultats obtenus sur la mangrove excitent la curiosité et appellent des observations complémentaires à la fois dans l'espace et le temps pour être en mesure de conclure sur un véritable effet des effluents aquacoles sur la mangrove.

Il est donc recommandé de :

- Collecter des données sur les facteurs liés à la topographie, l'hydrologie, la sédimentologie et les bassins versants,
- Rechercher les facteurs explicatifs de l'apparition des trouées,
- Définir un pas de temps d'un suivi de photo-interprétation,
- Développer une étude qui permettrait d'appréhender la capacité de rétention d'une mangrove.

*Cette action pourrait typiquement s'inscrire dans le cadre du futur projet Zonéco, axé sur le concept de développement durable.*

*Mais il est aussi souhaitable de profiter de ces études d'impact pour réaliser une étude de la Biodiversité de la mangrove de la Nouvelle-Calédonie en fonction d'une modification de l'habitat. En effet les faunes associées aux formations végétales des palétuviers et les invertébrés marins n'ont pratiquement pas été étudiés (Richer de Forge).*

*Un projet intitulé « Biodiversité de la mangrove en Nouvelle-Calédonie et aquaculture de crevettes » est en cours de rédaction avec les objectifs suivants :*

- Améliorer la connaissance sur la biodiversité des mangroves en Nouvelle-Calédonie
- Suivre l'évolution des peuplements faunistiques compte tenu des modifications de la structure des formations végétales sous influence de l'aquaculture de crevettes.

*Ce projet (montage IRD, IFREMER) est en recherche de financement.*

# Bibliographie

## Bibliographie générale

- Anderson R.K., Parker P.L., Lawrence A.A., 1987. A  $^{13}C/^{12}C$  tracer study of the utilization of presented feed by a commercially important shrimp *Penaeus vannamei* in a pond growout system. *Journal of the world aquaculture society*, 18: 148-155.
- Anonymous, 2001a. Status of world aquaculture 2000. *Aquaculture Magazine Buyer's Guide* 30: 6 – 38.
- Anonymous, 2001b. Aquaculture Waste Control Regulation. Ministry of Water, Land and Air Pollution: Aquaculture Waste Control Regulation.  
(<http://wlapwww.gov.bc.ca/main/newsrel/fisc0102/january/nr38b.htm>).
- Anonymous, 2001c. State of Environment Norway: Discharges of nutrients from the fish farming industry: Better feed quality, feeding routines and monitoring.  
([http://www.environment.no/Topics/Water/eutrophication/fish\\_farms/fishfarms2.stm](http://www.environment.no/Topics/Water/eutrophication/fish_farms/fishfarms2.stm))
- Aranyakananda P., Lawrence A.L., 1994. Efectos de la tasa de ingestion sobre los requerimientos alimenticios en proteina y energia y la relacion optima proteina-energia para *Penaeus vannamei*. Pages 157-169. In : Alfaro R.E.M., Suarez L.E.C., et Marie D.R., editors. Segundo Simposium internacional de Nutricion Acuicola. Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico.
- Argue B.J., Alcivar-Warren A., 2000. Genetics and breeding applied to the penaeid shrimp farming industry. Pages 29-54. In: Bullis R.A. et Pruder G.D., Editors. Controlled and biosecure production systems. Proceedings of a special session – Integration of shrimp and chicken Models. The Oceanic institute, Waimanalo, HI USA.
- Argue BJ, Cody J, Arce SM, Forster IP, Moss SM, Tacon AGJ, 2001. Performance of selectively bred Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed low protein and vegetable protein diets. Conference of the World Aquaculture Society 2001, Book of Abstracts, 26 p.
- Arthur J.R., Lavilla-Pitogo C.R., Subasinghe R.P. (Eds.), 2000. Use of Chemicals in Aquaculture in Asia. Proceedings of the Meeting on the Use of Chemicals in Aquaculture in Asia, 20–22 May 1996, Tigbauan, Iloilo, Philippines. Southeast Asian Fisheries Development Center (SEAFDEC), Tigbauan, Iloilo, Philippines. 235 pp.
- Asian Development Bank and Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (ADB/NACA), 1998. Aquaculture sustainability and the environment. Report on a regional study and workshop on aquaculture sustainability and the environment. Bangkok, Thailand. 492 pp. Asian Development Bank and Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific.
- Avnimelech Y., 1999. Carbon / Nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176: 227-235.
- Avnimelech Y., 2001. Aeration, Mixing, and sludge control in shrimp ponds. *Global aquaculture advocate*, 4(3): 51-53.
- Beamish F.W.H., Thomas E., 1984. Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 41: 359-371.

- Benzie J.A.H., Kenway M., Trott L., 1997. Estimates for the heritability of size in juvenile *Penaeus monodon* prawns from half-sib matings. *Aquaculture*, 152: 49-53.
- Bador R., Gautier D., Newmark F., 1998a. Examples of design and operation of semi-intensive shrimp farms in harmony with mangroves. *In: Jory D.E., editors. Proceedings of the first latin american shrimp farming congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.*
- Bador R., Scura E.D., Ducharme F., 1998b. Sustainable shrimp farming and mangrove protection : a case study along the mozambique channel coast. Page 28 *In: World Aquaculture Society, Baton rouge, LA USA (Abstract only).*
- Baldock C., 1999. Environmental impact of the establishment of exotic prawn pathogens in Australia. Australian Quarantine and Inspection pathogens Service, Canberra, Australia. 106 pp.
- Barg U.W., 1992. Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Fisheries Technical Paper, vol. 328. FAO, Rome, Italy, pp. 1 –122.
- Barrows F.T., 2000. Feed additives. *In: Stickney, R.R. (Ed.), Encyclopedia of Aquaculture. Wiley, New York, pp. 335–340.*
- Beveridge M.C.M., Ross L.G., Kelly L.A., 1994. Aquaculture and biodiversity. *Ambio*, 23: 497-502.
- Biao X., Zhuhong D., Xiaorong W., 2004. Impact of the intensive shrimp farming on the water quality of the adjacent coastal creeks from Eastern China . *Marine Pollution Bulletin* 48: 543-553
- Binh T., Phillips M.J., Demaine H., 1997. Integrated shrimp-mangrove farming systems in the Mekong Delta of Vietnam. *Aquaculture Research*, 28:599-610.
- Black K.D. (Ed.), 2001. Environmental Impacts of Aquaculture. Sheffield Academic Press, Sheffield, England, UK. 228 pp.
- Boonyaratpalin M., Chittiwan V., 1999. Shrimp feed quality control in Thailand. *International Aquafeed* 3 : 23–26.
- Boyd C.E., 1996. Shrimp farming and the environment: a white paper. Shrimp council, National Fisheries Institute, Arlington, Virginia, 8 pp.
- Boyd C.E., 1998. Best management practices to reduce negative impacts of shrimp farming. *In: Jory D.E., editor. Proceedings of the first latin american shrimp farming congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.*
- Boyd C.E., 1999. Codes of Practice for Responsible Shrimp Farming. Global Aquaculture Alliance, St. Louis, MO. 42 pp.
- Boyd C.E., 2000a. Water Quality, an Introduction. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA. 330 pp.
- Boyd C.E., 2000b. Farm effluent during draining harvest. *Global aquaculture Advocate* 3(4): 26-27.
- Boyd C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226: 101-112.
- Boyd C.E., Musig Y., 1992. Shrimps pond effluents : Observations of the nature of the problem on commercial farm. Pages 195-197. *In: Chamberlain G.W., Villalon J. and Wyban J. editors. Proceedings of the special session on shrimp farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.*
- Boyd CE; Clay JW, 1998. Shrimp aquaculture and the environment. *Scientific American* 278(6): pp. 58-65.
- Boyd C.E., Massaut L., 1999. Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 20 : 113– 132.

- Boyd C.E., et Gautier D., 2000. Effluent composition and water quality standards. *Global Aquaculture Advocate* 3 : (5) 61– 66.
- Boyd C.E., Tucker C.S., 2000. Rule-making for aquaculture effluents in the US. *Global Aquaculture Advocate* 3 : (6), 81– 82.
- Boyd C.E., Hulcher R.F., 2001. Best management practices for channel catfish farming in Alabama. *Highlights of Agricultural Research*, vol. 48. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, AL, pp. 1 – 4. Fall.
- Boyd C.E., Queiroz J., 2001a. Feasibility of retention structures, settling basins, and best management practices in effluent regulation for Alabama channel catfish farming. *Reviews in Fisheries Science* 9, 43– 67.
- Boyd C.E., Queiroz J., 2001b. Nitrogen, Phosphorus loads vary by systems. *Global Aquaculture Advocate*, 4(6): 84-86.
- Boyd C.E., Hargreaves J.A., Clay J.W., 2001. Codes of conduct for marine shrimp aquaculture. In: Browdy, C.L., Jory, D.E., Eds., *The New Wave. Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.
- Breaux A.S., Farber S., Day J., 1995. Using natural coastal wetlands systems for wastewater treatment: an economic benefit analysis. *Journal of environmental management*, 44: 285-291.
- Briggs M.R.P., Funge-Smith S.J., 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp pond in Thailand. *Aquaculture and Fisheries Management* 25: 789-811.
- British Trout Association, 1995. *Code of Practice for the Production of Rainbow Trout*. British Trout Association, London. 14 pp.
- Browdy C.L., Holloway J.D., King C.O., Stokes A.D., Hopkins J.S., Sandifer P.A., 1993. IHNV virus and intensive culture of *Penaeus vannamei*: effects of stocking density and water exchange rates. *Journal of crustacean biology*, 13: 87-94.
- Browdy C.L., Bratvold D., Hopkins J.S., Stokes A.D., 1998. Progressive pond management strategies for improving sustainable shrimp production. In: Jory D.E., editor. *Proceedings of the first latin american shrimp farming congress*. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.
- Burford M.A., 2001. Fate and transformation of dietary nitrogen in penaeid prawn aquaculture ponds. Ph.D. thesis, 158 pp.
- Burford M.A., Peterson E.L., Baiano J.C.F., Preston N.P., 1998. Bacteria in shrimp pond sediment: their role in mineralizing nutrients and some suggested sampling strategies. *Aquaculture Research*, 29: 843-849.
- Burford M.A., Jackson C.J., Preston N.P., 2001. Reducing nitrogen waste from shrimp farming: An integrated approach. Pages 35-43 In Browdy C.L. and Jory D.E, editors. *The New wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001*. The world aquaculture society, Baton Rouge, LA USA.
- Cabrera T.R., Duarte J., Jory D.E., 1998. Ritmos de alimentacion del camaron blanco del pacifico (*Penaeus vannamei* Boone 1931) bajo cultivo semi-intensivo durante el estacion lluviosa en el NE de Venezuela. Np. In: Jory D.E., editor. *Proceedings of the first latin american shrimp farming congress*. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.

- Calvo L., 1998. Use of feed trays to control pollution in shrimp culture ponds and to reduce F.C.R. *In:* Jory D.E., editor. Proceedings of the first latin american shrimp farming congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.
- Chamberlain G.W., 1999. Ecuador formally adopt GAA codes. *Global Aquaculture Advocate*, 2(6): 5.
- Chamberlain G.W., Barlow S.M., 2000. A balanced assessment of aquaculture. *Global Aquaculture Advocate* 3(4): 7.
- Chua T.E., Paw J.N., Gaurin F.Y., 1989. The environmental impact of aquaculture and the effects of pollution on coastal aquaculture development in Southeast Asia. *Marine pollution bulletin*, 20: 335-343.
- Clay J., 1997. Towards sustainable shrimp aquaculture. *World Aquaculture*, 28: 32-37.
- Clifford III H.C., 1998. Manejo de piscinas sembradas con camaron azul *Litopenaeus stylirostris*. *In:* Jory D.E., editor. Proceedings of the first latin american shrimp farming congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.
- Clough B.F., Boto K.G., Attiwill P.M., 1983. Mangrove and sewage: a reevaluation. *In:* Biology and Ecology of Mangroves. Tasks for vegetation science series, Ed. Teas H.J., vol.8, pp. 151-162. Dr W. Junk Publishers, Lancaster.
- Corbitt R.A., Bowen P.T., 1994. Constructed wetlands for wastewater treatment. *In:* Applied wetlands science and technology, Kent D. Eds. pp. 221-242. Lewis publishers.
- Corpron K.E., Boonyaratpalin M., 1999. Aquaculture feedmilling in Thailand. *International Aquafeed*, 3: 12-14.
- Costanzo S.D., O'Donohue M.J., Dennison W.C., 2004. Assessing the influence and distribution of shrimp pond effluent in a tidal mangrove creek in north-east Australia. *Marine Pollution Bulletin* 48: 514-525.
- Csavas I., 1994. Important factors in the success of shrimp farming. *World Aquaculture*, 25: 34-56.
- Davis D.A., 2001. Best management practices for feeds and feeding practices. Book of Abstracts. Aquaculture 2001, The Annual International Conference and Exhibition of the World Aquaculture Society, Jan 21- 25, 2001. Orlando, FL. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, p. 166.
- Davis D.A., Arnold C.R., 1995. Effects of two extrusion processing conditions on the digestibility of four cereal grains for *Peneaus vannamei*. *Aquaculture*, 133: 287-294.
- Dixon H., 1997. Environmental Code of Practice for the shrimp farming industry of Belize. Report to the Shrimp Farming Industry of Belize. Belize City, Belize. 23 pp.
- Donova D.J., 1997. Environmental Code of Conduct for Australian Prawn Farmers. Australian Prawn Farmers Association, Bribie Island, Queensland, Australia. 32 pp.
- EJF, 2003a. Risky Business: Vietnamese Shrimp Aquaculture - Impacts and Improvements. Environmental Justice Foundation, London, UK. 44 pp.
- EJF, 2003b. Smash & Grab: Conflict, Corruption and Human Rights Abuses in the Shrimp Farming Industry. Environmental Justice Foundation, London, UK.
- Ervik A., Hansen P.K., Aure J., Stigebrandt A., Johannessen P., Jahnsen T., 1997. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. The concept of the MOM system (Modelling On growing fish farm Monitoring). *Aquaculture* 158: 85-94.
- European Commission (EC), 1995. Aquaculture and the Environment in the European Community. Directorate General of Fisheries. Office for Official Publications of the European Community. Luxembourg. 89 pp.

- Flaherty M., Karnjanakesorn C., 1995. Marine shrimp aquaculture and natural resource degradation in Thailand. *Environmental Management*, 19: 27–37.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 1995. Code of Conduct for Responsible Fisheries. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 41 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1997. Aquaculture development. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. FAO, Rome. 40 pp. (<http://www.fao.org/WAICENT/FAO INFO/FISHERY/agreem/codecond/codecon.htm>)
- FAO/Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (NACA)/World Health Organization (WHO), 1999. Report of the FAO/NACA/WHO Study Group on Food Safety Issues Associated with Products from Aquaculture. WHO Technical Report Series 883, WHO-HQ, Geneva, Switzerland. 55 pp. (<http://www.who.int/fsf/trs883.pdf>)
- FAO, 2001. Good aquaculture feed manufacturing practice. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries, vol. 5.1. FAO, Rome, pp. 1 – 50.
- Fast A.W., Menasveta P., 2000. Some recent issues and innovations in marine shrimp pond aquaculture. *Reviews in fisheries Science*, 8: 151-233.
- Fegan D., 1999. White spot virus, export issues, and codes of conduct. *Global Aquaculture Advocate*, 2(4/5): 20-21.
- Feller R.J., 1998. Estimating gut passage times: relevance for feeding regimes in cultured shrimp. Np. *In*: Jory D.E., editor. Proceedings of the first latin american shrimp farming congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.
- Folke C, Kautsky N, 1989. The role of ecosystem for a sustainable development of aquaculture. *Ambio* 18(4): 234-243.
- Funge-Smith S.J., Briggs M.R.P., 1998. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: Implications for sustainability. *Aquaculture*, 164: 177-133.
- Gallagher L.M., Miller, L.A., 1996. Clean Water Handbook, 2nd ed. Government Institutes, Rockville, MD. 439 pp.
- Gaviria J.I.M., Schmittou H.R., Grover J.H., 1986. Acid sulfate soils: identification, formation and implications for aquaculture. *Journal of aquaculture in the tropics*, 1: 99-109.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection), 1997. Towards safe and effective use of chemicals in coastal aquaculture. Rep. Stud. GESAMP, No. 65. 40 pp.
- Gill T.A., 2000. Waste from processing aquatic animals and animal products: implications on aquatic animal pathogen transfer. FAO Fisheries Circular, vol. 956. FAO, Rome, pp. 1 – 26.
- Gjedrem T., 1998. Selective breeding in aquaculture. *Infofish International*, 3: 44-48.
- Goldburg R., Triplett T., 1997. Murky waters: Environmental effects of aquaculture in the united states. The environmental defense fund, EDF publications, Washington, D.C., 196 pp.
- Goldburg R.J., Elliot M.S., Naylor R.L., 2001. Marine Aquaculture in the United States: Environmental Impacts and Policy Options. Pew Oceans Commission, Arlington, VA. 33 pp.
- Goldstein J.B., 1999. The ABCs of Environmental Regulations. Government Institutes, Rockville, MD. 294 pp.

- Hajek B.F., Boyd C.E., 1994. Rating soil and water information for aquaculture. *Aquacultural engineering*, 13: 115-128.
- Graaf (De) G.J., Xuan T.T., 1998 Extensive shrimp farming, mangrove clearance and marine fisheries in the southern province of Vietnam. *Mangroves and Salt Marshes*, 2: 159–166.
- Hairston J.E., Kown S., Meetze J., Norto, E.L., Dakes P.L., Pyne V., Rogers K.M., 1995. Protecting water quality on Alabama farms. Alabama soil and water conservation committee, Montgomery, AL. 124 pp.
- Hardy R.W., 2000. Advances in the development of low-pollution feeds for salmonids. *Global Aquaculture Advocate*, 3 (2): 63-74.
- Hatcher B.G., Johannes R.E., Robertson A.I., 1989. Review of research relevant to conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanography and Marine Biology an Annual review*, 27: 337-414.
- Hetzel D.J.S., Crocos P.J., Davis G.P., Moore S.S, Preston N.P., 2000. Response to selection for growth in the Kuruma prawn, *Penaeus japonicus*. *Aquaculture*, 181: 215-223.
- Hopkins J.S., Sandifer P.A., Stokes A.D., Browdy C.L., 1991. The effect of minimal water exchange on the water quality and production of intensive marine shrimp ponds. Pages 33. *In: Book of Abstracts. Aquaculture'91*, WAS, Baton rouge, LA USA (Abstract only).
- Hopkins J.S., Hamilton R.D., Sandifer P.A., Browdy C.L., Stokes A.D., 1993. Effect of water exchange rate on the production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets in intensive shrimp ponds. *Journal of the World aquaculture society*, 24: 304-320.
- Hopkins J.S., Sandifer P.A., Browdy C.L., 1995a. Effect of two protein levels and feed rate combinations on water quality and production in intensive shrimp ponds operated without water exchange. *Journal of the world aquaculture society*, 26: 93-97.
- Hopkins J.S., Sandifer P.A., Browdy C.L., 1995b. A review of water management regimes which abate the environmental impacts of shrimp farming. Pages 157-166. *In: Browdy C.L. and Hopkins J.S., editors. Swimming through troubled water, proceedings of the special session on shrimp farming*. WAS, Baton Rouge, LA USA.
- Hopkins J.S., DeVoe M.R., Holland A.F., Browdy C.L, Stokes A.D., 1995c. Environmental impacts of shrimp farming with special references to the situation in the continental United states. *Estuaries*, 18: 25-42.
- Irish Salmon Growers Association, 1991. *Good Farmers, Good Neighbors*. Irish Salmon Growers Association, Dublin, Ireland. 78 pp.
- Islam M.d.S., Sarker M.d.J. Yamamoto T., Wahab M.d.A., Tanaka M., 2004. Water and sediment quality, partial mass budget and effluent N loading in coastal brackishwater shrimp farms in Bangladesh. *Marine Pollution Bulletin* 48: 471-485.
- Jackson C.J., Preston N., Thompson P.J., Burford M.A., 2003. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. *Aquaculture* 218: 397-411.
- Jackson C.J., Preston N., Burford M.A., Thompson P.J., 2003. Managing the development of sustainable shrimp farming in Australia: the role of sedimentation ponds in treatment of farm discharge water. *Aquaculture*, 226: 23-34.
- Jackson C.J., Preston N., Thompson P.J., 2004. Intake and discharge nutrient loads at three intensive shrimp farms. *Aquaculture Research* 35, 1053-1061.

- Jenssen P.D., Krogstad T., Mhlum T., 1997. Wastewater treatment by aerated ponds and constructed wetlands in the Norwegian climate: results and design considerations. *In: Ecological engineering for wastewater treatment*. Etnier C., Guterstam B., eds. pp. 237-250. CRC Press, Ann Arbor.
- Jones A.B., O'Donohue M.J., Udy J., Dennison W.C., 2001a. Assessing Ecological Impacts of Shrimp and Sewage Effluent: Biological Indicators with Standard Water Quality Analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52: 91-109.
- Jones A.B., Dennison W.C., Preston N.P., 2001b. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture*, 193: 155-178.
- Jory D.E., Cabrera T.R., Dugger D.M., Fegan D., Lee P.G., Lawrence A.L., Jackson C.J., McIntosh R.P., Castaneda J., 2001. A global review of shrimp feed management: Status and Perspectives. Pages 104-152. *In : Browdy C.L., et Jory D.L., editors. The New wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.*
- Kaushik S.J., 1980. Influence of nutritional status on the daily patters of nitrogen excretion in the carp (*Cyprinus carpio*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Reproduction and Nutritional Development*, 20: 1751-1785.
- Kuo G.H., Chen C.-H., Ho C.-H., Lo C.-F., 1997a. White spot syndrome virus (WSSV) in wild-caught black tiger shrimp: WSSV tissue tropism with a special emphasis an reproductive organs. Pages 262-263. *In: Book of abstracts, World aquaculture'97. World aquaculture society, Baton Rouge, LA USA (abstract only).*
- Kuo G.H., Ho C.-H., Chen C.-H., Hsu H.-C., Lo C.-F., 1997b. White spot syndrome baculovirus (WSBV) detected in cultured and captured shrimps in Taiwan . Pages 263-264. *In: Book of abstracts, World aquaculture'97. World aquaculture society, Baton Rouge, LA USA (abstract only).*
- LaPatra S.E., 2003. The lack of scientific evidence to support the development of effluent limitations guidelines for aquatic animal pathogens. *Aquaculture* 226: 191-199.
- Lall S.P., 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. Pages 21-36. *In: Cowey C.B. and Cho C.Y., editors. Proceedings of the international symposium on Feeding fish in our water: Nutritional strategies in management of Aquaculture Waste. University of Guelph, June 5-8, 1990, Guelph, Ontario, Canada.*
- Landesman L., 1994. Negative impacts of coastal aquaculture development. *World Aquaculture*, 25: 12-17.
- Lawrence A.L., Lee P.G., 1997. Research in the Americas. Pages 556-587. *In: D'Abramo L.R., Conklin D.E., et Akiyama D.M., editors. Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture, Vol. 6, World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.*
- Lawrence A.L., Velasco M., Montoya R., Samocha T.M., 1998. Shrimp feed management effect on effluent water quality. *In: Jory D.E., editor. Proceedings of the first latin american shrimp farming congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos. October 6-10, 1998. Panama City, Panama.*
- Lawrence A.L., Castille F., Samocha T., Velasco M., 2001. Environmentally Friendly or Least Polluting Feed and Feed management for aquaculture. Pages 84-96. *In : Browdy C.L., et Jory D.L., editors. The New wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.*

- Leber K.M., Pruder G.D., 1988. Using experimental microcosms in shrimp research: the growth enhancing effect of shrimp pond water. *Journal of the world aquaculture society*, 19: 197-203.
- Lightner D.V., Redman R.M., Bell T.A., Thurman R.B., 1992. Geographic dispersion of the viruses IHNV, MBV, and HPV as a consequence of transfers and introductions of penaeid shrimp to next regions for aquaculture purposes. Pages 155-173. *In*: Rosenfield A., et Mann R., Editors. Dispersal of living organisms into aquatic Ecosystems. Maryland Sea Grant College, University of Maryland, MD USA.
- Lo C.F., Ho C.-H., Peng S.-E., Chen C.-H., Hsu H.-C., Chiu Y.-L., Chang C.-F., Liu K.-F., Su M.-S., Wang C.-H., Kou G.-H., 1996. White spot syndrome baculovirus detected in cultured and captured shrimp, crabs and other arthropods. *Diseases of Aquatic organisms*, 27: 215-225.
- Lotz J.M., 1997. Disease control and pathogen status assurance in an SPF-based shrimp aquaculture industry, with particular reference to the United States. Pages 243-254. *In*: Flegel W., et McRae I.H., Editors. Diseases in Asian Aquaculture III. Fish Health Section, Asian Fisheries Society, Manila, Philippines.
- Lotz J.M., Browdy C.L., Carr W.H., Frelter P.F., Lightner D.V., 1995. USMSFP Suggested procedures and guidelines for assuring the specific pathogen status of shrimp broodstock and seed. Pages 66-75. *In*: Browdy C.L., Hopkins J.S., editors. Swimming through troubled water, proceedings of the special session on shrimp farming. WAS, Baton Rouge, LA USA.
- Lotz J.M., Lightner D.V., 2000. Shrimp Biosecurity : Pathogens and pathogen exclusion. Pages 67-74. *In*: Bullis R.A. et Pruder G.D., editors. Controlled and Biosecure production systems. Proceedings of a special session – Integration of shrimp and chicken Models. The oceanic Institute, Waimanalo, HI USA.
- Lugo A.E., Snedaker S. C., 1974. The ecology of mangroves. *Annual review of ecology and systematics*, 5: 39-64.
- McKinnon A.D., Trott L.A., Alongi D.M., Davidson A., 2002a. Water column production and nutrient characteristics in mangrove creeks receiving shrimp farm effluent. *Aquaculture Research* 33: 55-73.
- McKinnon A.D., Trott L.A., Cappo M., Miller D.K., Duggan S., Speare P., Davidson A., 2002b. The Trophic Fate of Shrimp Farm Effluent in Mangrove Creeks of North Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55: 655-671.
- Molina C., Cadena E., Orellana F., 2000. Alimentacion de camarones en relacion a la actividad enzimatica como una respuesta al ritmo circadiano y ciclo de muda. Pages 358-380. *In*: Cruz-Suarez L.E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Olvera-Novoa M.A., et Civera-Cerecedo R., editors. Avances en Nutricion Acuicola V. Universidad Autonoma de Nuevo Leon. Monterrey, NL. Mexico.
- Moss S.M., 1995. Production of growth-enhancing particles in a plastic-lined shrimp pond. *Aquaculture*, 132: 253-260.
- Moss S.M., Pruder G.D., 1995. Characterization of organic particles associated with rapid growth in juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, reared under intensive culture conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 187: 175-191.
- Moss S.M., Pruder G.D., Leber K.M., Wyban J.A., 1992. Relative enhancement of *Penaeus vannamei* growth by selected fractions of shrimp pond water. *Aquaculture*, 101: 229-239.
- Moss S.M., Reynolds W.J., Malher L.E., 1998. Design and economic analysis of a prototype biosecure shrimp growout facility. Pages 67-74. *In*: Moss S.M., Editors. Proceedings of the U.S. marine shrimp farming program biosecurity Workshop. The oceanic institute, Waimanalo, HI USA.

- Moss S.M., Argue B.J., Arce S.M., 1999. Genetic improvement of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at the Oceanic Institute. *Global Aquaculture Advocate*, 2(6): 41-43.
- Moss S.M., LeaMaster B.R., Sweeney J.N., 2000. Relative abundance and species composition of gram-negative, aerobic bacteria associated with the gut of juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in oligotrophic well water and eutrophic water. *Journal of the World Aquaculture Society*, 31: 255-263.
- Moss S.M., Divakaran S., Kim B.G., 2001a. Stimulating effects of pond water on digestive enzyme activity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, 32: 125-132.
- Moss S.M., Arce S.M., Argue B.J., Otsu C.A., Calderon F.R.O., Tacon A.G.J., 2001b. Greening of the blue revolution: efforts toward environmentally responsible shrimp culture. In Browdy C.L. and Jory D.E, editors. *The New wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001*. The world aquaculture society, Baton Rouge, LA USA. pp. 1-19.
- Naamin N., 1987. Consequences of excessive fishing effort on fishery resources in Indonesia. Pages 291-305. In: Indo-Pacific Fishery commission, paper presented at the symposium on the exploitation and management of marine fishery resources in Southeast Asia. Darwin, Australia.
- National Aquaculture Association (NAA), 1998. U.S. aquaculture and environmental stewardship. July 1998. (<http://www.natlaquaculture.org/EnvirPaper.htm>)
- Naylor R.L., Goldburg R.J., Mooney H., Beveridge M., Clay J., Folke C., Kautsky N., Lubchenco J., Primavera J., Williams M., 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*, 282: 883– 884.
- Naylor R.L., Goldburg R.J., Primavera J.H., Kautsky N., Beveridge M.C.M., Clay J., Folke C., Lubchenco J., Mooney H., Troell M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405: 1017– 1024.
- Nunes A.J.P., 2000. Purina feeding manual for marine shrimp. Agribrands do Brasil Ltda. Paulinia, Sao Paulo, Brazil. 400 pp.
- Nunes A.J.P., et Suresh A.V.V, 2001. Using feeding trays in Brazilian shrimp farms: improved technique for efficient feed management. *Global Aquaculture Advocate*, 4(1): 23-26.
- O'Brien A.L., Motts W.S, 1980 .Hydrogeologic evaluation of wetland basins for land use planning. *Water Resour. Bull.*, 16(5): 785-789.
- O'Bryen P.J., Lee C.-S., 2003. Management of aquaculture effluents workshop discussion summary. *Aquaculture*, 226: 227-242.
- Páez-Osuna F., Guerrero-Galvan S.R., Ruiz-Fernandez A.C., Espinaza-Angulo R., 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in North-Western Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 34: 290-297.
- Páez-osuna F., Guerrero-Galvan S.R., Ruiz-Fernandez A.C., 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 36: 65-75.
- Páez-Osuna F., 2001a. The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. *Environmental Pollution* 112: 229-231.
- Páez-Osuna F., 2001b. The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects, and mitigating alternatives. *Environmental management* 28: 131-140.
- Páez-Osuna F., Gracia A., Flores-Verdugo F., Lyle-Fritch L.P., Alonso-Rodríguez R., Roque A., Ruiz-Fernandez A.C., 2003. Shrimp aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion. *Marine Pollution Bulletin* 46: 806-815.

- Peterson E.L., 1999. Benthic shear stress and sediment condition. *Aquacultural engineering*, 21: 85-111.
- Phillips, M.J., 1997. Tropical mariculture and coastal environmental integrity. In: De Silva, S.S. (Ed.), *Tropical Mariculture*. Academic Press, New York, pp. 17– 70.
- Preston N., Jackson C., Thompson P., Austin M., Burford M., 2000. Prawn farm effluent: composition, origin and treatment. Fishing research and development corporation Final Report 95/162. FRDC, Canberra, Australia.
- Primavera J.H., 1991. Intensive prawn farming in the Philippines: ecological, social, and economic implications. *Ambio*, 20 (1): 28-33.
- Primavera, J. H. 1993. A critical review of shrimp pond culture in the Philippines. *Reviews in Fisheries Science*, 1: 151–201.
- Primavera J.H., 1995. Mangroves and brackishwater pond culture in the Philippines. *Hydrobiologia*, 295: 303-309.
- Primavera J.H., 1997. Socio-economic impacts of shrimp culture. *Aquaculture Research*, 28: 815–822.
- Primavera J.H., 1998a. Mangroves as nurseries: shrimp populations in mangrove and non-mangrove habitats. *Estuarine Coastal shelf science*, 46 : 457-464.
- Primavera J.H., 1998b. Tropical shrimp farming and its sustainability. In: *Tropical Mariculture* (de Silva, S., ed.). Academic Press, New York, pp. 257–289.
- Primavera J.H., LeaMaster B.R., Moss S.M., 2000. Environmental induction of *Vibrio Harveyi* serum agglutinins in the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. In : Abstracts of the 8th Congress of the International Society of developmental and comparative immunology, *Developmental and comparative immunology*, Vol. 24, supplement 1, p. S4. (Abstract only).
- Pruder G.D., Brown C.L., Sweeney J.N., Carr W.H., 1995. High health shrimp systems: seed supply – theory and practice. Pages 40-52. In: Browdy C.L. et Hopkins J.S., editors. *Swimming through troubled water*, proceedings of the special session on shrimp farming. WAS, Baton Rouge, LA USA.
- Robertson L., Lawrence A.L., Castille F., 1993a. Interaction of salinity and feed protein level on growth of *Penaeus vannamei*. *Journal of applied Aquaculture*, 2: 43-53.
- Robertson L., Lawrence A.L., Castille F., 1993b. Effect of feeding frequency and feeding time on growth of *Penaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture and Fisheries Management*, 24: 1-6.
- Robertson A.I., Phillips M.J., 1995. Mangroves as filters of shrimp pond effluent: predictions and biogeochemical research needs. *Hydrobiologia*, 295: 311-321.
- Schwartz M.F., Boyd C.E., 1994b. Effluent quality during harvest of channel catfish from watershed ponds. *Progressive Fish-Culturist*, 56 : 25–32.
- Scura E.D., 1995. Dry season production problems on shrimp farms in Central America and the Caribbean Basin. Pages 200-213. In: Browdy C.L. and Hopkins J.S., editors. *Swimming through troubled water*, proceedings of the special session on shrimp farming. WAS, Baton Rouge, LA USA.
- Silas E.G., 1987. Significance of the mangrove ecosystem in the recruitment of fry and larvae of finfishes and crustaceans along the east coast of India, particularly the Sunderbans. Pages 19-34. In: Report of the workshop on the conversion of mangroves areas to aquaculture. UNDP/UNESCO Regional project on Research and its implication to the management of the mangroves of Asia and the Pacific, New Delhi, India.

- Simpson H.J., Ducklow B., Deck B., Cook H.L., 1983. Brackish-water aquaculture in pyrite-bearing tropical soils. *Aquaculture*, 34: 333-350.
- Starkey T., 2001. Fishmeal, Fish Oil Update. *Global aquaculture advocate*, 4(3): 16.
- Subasinghe R.P., Bonad-Reantaso M.G., McGladdery S.E., 2001. Aquaculture development, health and wealth. *In: Subasinghe R.P., Bueno P., Phillips M.J., Hough C., McGladdery S.E., Eds., Aquaculture in the Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20–25 February 2000, Network of Aquaculture Centers in Asia and the Pacific, Bangkok, pp. 167–192.*
- Suresh V., Zendejas J., 2000. Environmentally friendly feeds: trends and recent developments. *Global Aquaculture Advocate*, 3(2): 39-42.
- Tacon A.G.J., 1993. Feed formulation and on-farm feed management. Pages 61-74. *In: New M.B., Tacon A.G.J., and Csavas I., Eds. Farm-made Aquafeeds. Proceedings of the FAO/AADCP Regional expert consultation on Farm-made Aquafeeds. FAO-RAPA/AADCP, Bangkok, Thailand.*
- Tacon A.G.J., 1995. Feed formulation and on-farm feed management. Pages 61-74. *In: New M.B., Tacon A.G.J., and Csavas I., editors. Farm-made Aquafeeds. FAO Fisheries Technical paper N° 343, FAO, Rome.*
- Tacon A.G.J., 1996. Feeding tomorrow's fish. *World Aquaculture*, 27: 20-32.
- Tacon A.G.J., 2000. Rendered animal by-product. *Global Aquaculture Advocate*, 3(4): 18-19.
- Tacon A.G.J., 2001. Minimizing environmental impacts of shrimp feeds. *Global Aquaculture Advocate*, 4 (6): 34–35.
- Tacon A.G.J., Phillips M.J., Barg U.C., 1995. Aquaculture feeds and the environment. *Water Science Technology*, 31 (10): 41–50.
- Tacon A.G.J., Forster I.P., 2000. Trends and challenges to aquaculture and aquafeed development in the new millennium. *In: Cruz-Suarez L.E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Olvera-Novoa M.A., et Civera-Cerecedo R., Eds. Avances en Nutricion Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutricion Acuicola. Merida, Yucatan, Mexico.*
- Tacon A.G.J., Barg U.C., 2001. Responsible aquaculture for the next millennium. *In: Garcia, L.M.B., Ed., Proceedings of the Seminar-Workshop on Responsible Aquaculture Development in Southeast Asia organized by the SEAFDEC Aquaculture Department, 12– 14 October 1999, Iloilo City, Philippines. Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo City, Philippines, pp. 1– 26.*
- Tacon A.G.J., Forster I.P., 2003. Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*. 226: 181-189.
- Tam N.F.Y., Wong Y.S., 1993. Retention of nutrients and heavy metals in mangrove sediment receiving wastewater of different strengths. *Environmental Technology*, 14: 719-729.
- Tam N.F.Y., Wong Y.S., 1995. Mangrove soils as sinks for wastewater-borne pollutants. *Hydrobiologia*, 295: 231-242.
- Teichert-Coddington D.R., Rouse D.B., Potts A., Boyd C.E., 1999. Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural engineering*, 19: 147-161.
- Teichert-Coddington D.R., Martinez D., et Ramirez E., 2000. Partial nutrient budgets for semi-intensive shrimp farms in Honduras. *Aquaculture*, 190: 139-154.

- Thakur D.P., Lin C.K., 2003. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Aquacultural Engineering* 27: 159-176.
- Thornton C., Shanahan M., Williams J., 2003. From Wetlands to Wastelands: Impacts of Shrimp Farming. *SWS Bulletin*, March 2003: 48-53.
- Tookwinas S., 1996. Environmental impact assessment for intensive marine shrimp farming in Thailand. *Thai Fisheries Gazette*, 49: 119– 133.
- Tookwinas S., Dirakkait S., Prompoj W., Boyd C.E., Shaw R., 2000. Thailand develops code of conduct for shrimp farming-includes operating guides and good management practices. *Aquaculture Asia* V (1): 25–28.
- Trott L.A., McKinnon A.D., Alongi D.M., Davidson A., Burford M.A., 2004. Carbon and nitrogen processes in a mangrove creek receiving shrimp farm effluent. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59: 197-207.
- United States Environmental Protection Agency, 1995. Guide Manual on NPDES Regulations for Concentrated Animal Feeding Operations. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. EPA 833-B-95-001, 23 pp.
- Velasco M, Lawrence AL, Neill WH, 1998. Effects of dietary phosphorus level and inorganic source on survival and growth of *Penaeus vannamei* postlarvae in zero-water exchange culture tanks. *Aquat. Living Resour.* 11(1): 29-33.
- Velasco M, Lawrence AL, Castille FL, 1999. Effect of variations in daily feeding frequency and ration size on growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture* 179(1-4): 141-148.
- Viacava M., 1995. Feeder trays for commercial shrimp farming in Peru. *World aquaculture magazine*, 26(2): 11-17.
- Von Zharen W.M., 1996. ISO 14001 Understanding the Environmental Standards. Government Institutes, Rockville, MD. 213 pp.
- Wahab M.A., Bergheim A., Braaten B., 2003. Water quality and partial mass budget in extensive shrimp ponds in Bangladesh. *Aquaculture* 218: 413-423.
- Wang C.-S., 1990. Managing shrimp pond water to reduce discharge problems. *Aquacultural engineering*, 9: 61-73.
- Wang C.-S., Tsai Y.-J., Kou G.-H., Chan S.-N., 1997. Detection of white spot disease virus infection in wild-caught greasy back shrimp, *Metapenaeus ensis* (de Haan) in Taiwan. *Fish pathology*, 32: 35-41.
- Weston D.P., 1991. The effects of aquaculture on indigenous biota. Pages 534-567. *In: Brune D.E., et Tomasso J.R., Eds. Aquaculture and Water quality. Advances in World aquaculture. Vol. 3, World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.*
- Wolanski E., Spagnol S., Thomas S., Moore K., Alongi D.M., Trott L., Davidson A., 2000. Modelling and visualizing the fate of shrimp pond effluent in a mangrove-fringed tidal creek. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 85-97.
- Wu R.S.S., 2001. Environmental impacts of marine fish farming and their mitigation. *In: Garcia L.M.B. (Ed.). Proceedings of the Seminar-Workshop on Responsible Aquaculture Development in Southeast Asia organized by the SEAFDEC Aquaculture Department, 12– 14 October 1999, Iloilo City, Philippines. Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo City, Philippines, pp. 157–172.*

- Wyban J.A., Swingle J.S., Sweeney J.N., et Pruder G.D., 1993. Specific pathogen free *Penaeus vannamei*. *World aquaculture*, 24: 39-45.
- Ye Y., Nora F., Tam Y., Wong Y.S., 2001. Livestock wastewater treatment by a mangrove Pot-cultivation system and the effect of salinity on the nutrient removal efficiency. *Marine Pollution Bulletin*, 42(6): 513-521.
- Ziemann D.A., Walsh W.A., Saphore E.G., Fulton-Bennett K., 1992. A survey of effluent from Hawaiian aquaculture facilities. *Journal of the world aquaculture society*, 23: 180-191.

## Bibliographie Calédonienne<sup>1</sup>

- Chevillon C., 1998. Influence des rejets d'une ferme aquacole sur l'environnement littoral : "la Pénéide de Ouano" ; Sédimentologie (Rapport Intermédiaire). Conventions Sciences de la mer, Biologie Marine, 22: 19 p. 98.
- Chevillon C., 1999. Influence des rejets d'une ferme aquacole sur l'environnement littoral «la Pénéide de Ouano» : Sédimentologie (rapport final). Rapport n°24 de la convention Sciences de la Mer ORSTOM/IFREMER/GIE-RA 96/1212586 du 12 novembre 1996.
- Chevillon C. and Lemonnier H., 1999. Effect of an aquaculture farm effluent on the shore environment in the bay of Chambeyron (New Caledonian West coast): a sediment study. Poster présenté à la World Aquaculture '99 "Bridging the gap" 26 april – 2 may 1999, Sydney, Australia.
- Cullell, N., 2000. Développement et gestion de la crevetticulture en Nouvelle Calédonie. Mémoire de Maîtrise de Géographie tropicale (Année 1999/2000) présenté à l'Université Michel-de-Montaigne Bordeaux 3.
- Das Neves, M., 2004. Contribution à la requalification des sites aquacoles dits "pollués par l'activité minière" : approche géomorphologique et géochimique comparative. Rapport de stage de fin d'étude de l'INSA Lyon.
- El Hewe, Y., Thomas, Y., Lemonnier, H., Courties, C., Marteau, A-L., Herbland, A., 2006. Candidate indicators of shrimp farm effluents in the Caledonian lagoon: First results. "The International conference and exhibition of World Aquaculture Society" AQUA 2006, May 9-13, 2006 Firenze, Italy. Poster.
- El Hewe, Y., 2006. Recherche d'indicateurs des effluents d'élevage des crevettes dans le lagon de la Nouvelle Calédonie. Rapport de Master 2 Recherche : Exploitation Durable des Ecosystèmes Littoraux, Université de La Rochelle. Co-encadrement avec A. Herbland (Ifremer Nouvelle Calédonie).48p.
- Garrigue C., Richet de Forges B., Bach C., Bargibant G., Hamel P., Laboute P., Lapetite A., 1998. Influence des rejets d'une ferme aquacole sur l'environnement littoral « la Pénéide de Ouano » : Organismes benthiques (rapport intermédiaire). Rapport n°23 de la convention Sciences de la Mer ORSTOM/IFREMER/GIE-RA 96/1212586 du 12 novembre 1996. 26p.
- Garrigue C., Bach C., Richet de Forges B., Bargibant G., Hamel P., Laboute P., Lapetite A., 1999a. Influence des rejets d'une ferme aquacole sur l'environnement littoral « la Pénéide de Ouano » : Organismes benthiques (rapport final). Rapport n°25 de la convention Sciences de la Mer ORSTOM/IFREMER/GIE-RA 96/1212586 du 12 novembre 1996.
- Garrigue, C., Bach, C., Lemonnier, H., 1999b. Prawn farm impact on a coastal ecosystem: the example of the macrozoobenthos of the Chambeyron bay, New Caledonia. Poster présenté à la World Aquaculture'99 "Bridging the gap" 26 april – 2 may 1999, Sydney, Australia.
- Guelorget O., Lefebvre A., Martin J.L.M., Lemonnier H., Fuchs J., Favry A., 1998. Characterisation of ecosystems and follow-up of their evolution under the impact of shrimp aquaculture development in 3 geographic areas Mekong delta (Vietnam) Lampung Province (Indonesia) and North and Central parts of New Caledonia. in « Assessment of tropical shrimp aquaculture impact on the environment in tropical

---

<sup>1</sup> Les références ne sont pas toutes citées dans le texte. L'objectif est d'essayer de répertorier l'ensemble travaux sur le thème « crevetticulture en Nouvelle Calédonie et sa relation avec l'environnement Littoral ».

- countries, using hydrobiology, ecology and remote sensing as helping tools for diagnosis ». Rapport final du contrat RS3-CT 94-00284. Rapport Interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER, DRV/RA/RST/98-05, 262 p.
- Le Guen T., 1996. Développement et anthropisation du littoral de la côte ouest de Nouvelle-Calédonie (de Dumbéa à Poum). Mémoire de l'Université de Bretagne Occidentale : DEA de Géomorphologie et Aménagement des Littoraux. Nouméa, ORSTOM. 80 p.
- Lemonnier H., 1997. Effet de l'intensification des élevages de crevettes *Penaeus stylirostris* sur la production de déchets en période estivale. Rapport scientifique et technique, Ifremer. 52 pp.
- Lemonnier H., et Herlin J., 1999. New-Caledonia : a case of friendly shrimp aquaculture. Book of abstract, The annual international conference and exposition of the world aquaculture society, World Aquaculture'99, WAS. 853 pp.
- Lemonnier H., et Brizard R., 2001. Number of shrimp crops and shrimp density effects on sediment accumulation on earthen pond bottoms. Pages 346. In: Browdy C.L. and Jory D.E, editors. The New wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001. The world aquaculture society, Baton Rouge, LA USA.
- Lemonnier H., Martin J.L.M., Brizard R., Herlin J., 2003. Effect of water exchange rate on waste production in semi-intensive shrimp ponds during the cold season in New Caledonia. *Journal of the World Aquaculture Society* 34(1): 40-49.
- Lemonnier, H., Faninoz, S., 2006. Effects of water exchange rate on effluent and sediment characteristics and on partial nitrogen budget in semi-intensive shrimp ponds in New Caledonia. *Aquaculture Research* 37(9): 938-948.
- Martin JLM., H. Lemonnier et P. Garen, 2004. Influence des pratiques zootechniques et de paramètres environnementaux sur les performances de production et sur la formation et le devenir des déchets dans les élevages de crevettes. In : styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes Colloq., 38, 134-141.
- Martin J-L.M., Veran Y., Guelorget O., Pham D., 1998. Shrimp rearing: Stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. *Aquaculture*, 164: 135-149.
- Martin J.L.M., Cuzon G., Garen P., Lemonnier H., Veran Y., 1998. Identification and quantification of sewage produced by shrimp farming at the level of animals and ponds in semi-intensive and intensive rearing conditions. in « Assessment of tropical shrimp aquaculture impact on the environment in tropical countries, using hydrobiology, ecology and remote sensing as helping tools for diagnosis ». Rapport final du contrat RS3-CT 94-00284. Rapport Interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER, DRV/RA/RST/98-05, 262p.
- Thomas, Y., Pagand, P., Marteau, A-L., Lemonnier, H., Herbland, A., 2006. Modelling the flows of nutrients at exit of the shrimp farms of New-Caledonia: First results. "The International conference and exhibition of World Aquaculture Society" AQUA 2006, May 9-13, 2006 Firenze, Italy. Communication orale.
- Thiercelin, C., 1997. Etude de l'influence d'une ferme aquacole de crevettes en baie de Ouano. Rapport de stage "Maîtrise des Sciences et Techniques Génie des transformations de la matière et Environnement". 23p.

- Virly, S., Buisson, D., Lemonnier, H., 2006. First assessment of the impact of shrimp aquaculture on the mangroves in New Caledonia. "The International conference and exhibition of World Aquaculture Society" AQUA 2006, May 9-13, 2006 Firenze, Italy. Poster.
- Virly S., Buisson D. Clough B., Lemonnier H., Richer de Forges B., 2005. Evaluation de l'impact de l'aquaculture de crevettes sur les mangroves de Nouvelle-Calédonie. Rapport final du Programme ZoNéCo. 99 p.

# ANNEXE

## Annexe 1

**Résumés des présentations du séminaire « Ecosystèmes et Crevetticulture en Nouvelle Calédonie » - journée Environnement Littoral - organisé par l'IFREMER avec le soutien de l'IRD qui s'est tenu à Nouméa le 23 juin 2005.**

### **1- Le développement de la filière crevettes en Calédonie**

Coatanéa Denis, Herlin José, Soulard Benoit  
IFREMER, BP2059, 98846 Nouméa Cedex

La filière crevettes en Nouvelle-Calédonie constitue un exemple d'intégration recherche-développement qui se poursuit depuis plus de 30 ans, dans un contexte mondial de forte progression de cette activité (1,8 millions de tonnes de crevettes d'aquaculture en 2003).

Les premiers travaux exploratoires des années 70 (mise au point des techniques, maîtrise de la reproduction en captivité, choix de l'espèce cible) ont permis dans les années 80 un transfert vers le secteur professionnel. Un secteur privé dynamique s'est progressivement développé des années 90 à ce jour, qui a permis d'assurer en 2004 une production de 2200 tonnes de *Litopenaeus stylirostris* sur 660 hectares de fermes semi-intensives et intensives.

Ce développement qui intègre des acteurs privés (fermes, écloseries, provendiers, usines de conditionnement), des acteurs institutionnels (Etat, Provinces) et un soutien de la recherche (IFREMER, services vétérinaires), s'est toujours basé sur un objectif permanent de qualité, et de respect de l'environnement, permettant de produire un produit haut de gamme valorisable sur des marchés-niches.

Malgré un contexte mondial très concurrentiel, cette filière calédonienne devrait connaître dans les années à venir une progression de son activité, dans un objectif de doublement des surfaces en élevage et de la production.

### **2- Un rappel fondamental sur la structure des communautés planctoniques lagunaires et l'influence des activités anthropiques sur leur fonctionnement.**

Torréton, Jean-Pascal et Jacquet Séverine  
UR Camélia IRD, Centre de Nouméa

Evaluer les conséquences potentielles des rejets issus des activités aquacoles sur la structure et le fonctionnement planctonique lagunaire exige au préalable (1) la compréhension de la structure et du fonctionnement des communautés planctoniques lagonaires, (2) d'apprécier leur(s) facteur(s) de contrôle et (3) d'examiner les conséquences des altérations actuellement connues en milieu lagunaire.

A cet effet, cet exposé se focalisera sur 3 points :

la structure (composition du picophytoplancton et du nanophytoplancton) et le fonctionnement (biomasses et productions phytoplanctonique et bactérienne) du milieu lagunaire non perturbé. Ceci, en examinant en particulier ce que l'on connaît de la saisonnalité des processus afin d'identifier les périodes clefs et la représentativité de mesures ponctuelles,

Les éléments déterminants la structure et le fonctionnement planctonique lagunaire en examinant les rapports N/P et Si/N, leurs évolutions temporelles et leurs variations spatiales

Les conséquences des enrichissements par les apports naturels et ceux issus des activités humaines en examinant et en interprétant les variations spatiales de la structure et du fonctionnement des communautés planctoniques lagonaires.

A partir de ces informations, il est possible d'anticiper sur les effets potentiels des rejets issus des activités aquacoles sur la structure et le fonctionnement planctonique lagunaire, de proposer des variables clefs attestant de ces effets, et de suggérer une stratégie temporelle d'échantillonnage pour les observer.

### **3- Influence des rejets d'une ferme aquacole (La Pénécide de Ouano) sur l'environnement littoral : Sédimentologie –**

Christophe Chevillon

UR Camélia IRD, Centre de Nouméa

Afin de surveiller l'impact d'une ferme aquacole de crevettes sur la sédimentologie de la baie de Ouano, deux campagnes de collecte de sédiments ont été réalisées. La première (point zéro) a eu lieu au début de l'activité de la ferme, en avril 1995 et la seconde (premier suivi) deux ans plus tard en avril 1997. Treize stations régulièrement réparties dans la baie et en arrière-mangrove ont été échantillonnées. Les prélèvements de sédiments ont été étudiés du point de vue de leur couleur, teneur en matière organique, granulométrie, teneur en carbonates et composition géochimique. Les résultats de la première campagne ont permis de caractériser la structure sédimentaire de la baie et sa dynamique et ceux de la deuxième campagne d'examiner les changements intervenus au cours des deux années. L'évolution des paramètres étudiés montre que la tendance est à une augmentation de l'envasement, des apports terrigènes, de la finesse des sédiments et de leur teneur en matière organique. A l'exception de l'envasement et de la taille des grains, les écarts restent faibles et statistiquement non significatifs à l'échelle de la baie. Néanmoins, au niveau de certaines stations, des

changements extrêmement importants sont parfois observés, avec notamment la station du chenal (St. 11) qui présente des variations record pour la plupart des variables examinées. Les précipitations ont été deux fois plus importantes durant la période d'étude (2 ans) que sur la période équivalente antérieure au point zéro. Cette fluctuation climatique suffit à expliquer les modifications observés dans sédimentation de la baie, alors que les activités de la ferme apparaissent, tout au moins sur la période de temps considérée, sans incidence significative.

#### **4- Impact des rejets d'une ferme aquacole sur l'environnement : Le macrobenthos de la baie de Chambeyron, presqu'île de Ouano**

Claire Garrigue et Carole Bach

Un suivi de l'évolution des peuplements benthiques de la baie de Chambeyron, presqu'île de Ouano, a été réalisé entre mai 1995 et décembre 1998 afin d'évaluer l'impact, sur l'environnement, des rejets d'une ferme aquacole de crevettes. La première campagne a eu lieu en avril et mai 1995, lors de la mise en eau de la ferme. Quatre campagnes ont ensuite été réalisées, deux en saison chaude et deux en saison fraîche. Treize stations, réparties de l'arrière mangrove jusque vers la sortie de la baie, ont été visitées. Les prélèvements ont porté sur la majeure partie des compartiments benthiques : mégafaune, macrofaune, macroflore et microflore. Ils ont permis de caractériser l'environnement benthique et d'examiner les changements intervenus au cours du suivi. Trois écosystèmes sont présents dans la baie : des fonds envasés, un platier corallien partiellement mort et un herbier de phanérogames. Chaque écosystème a été étudié en terme de composition et de structure benthique. L'évolution des paramètres étudiés montre une diminution de la diversité taxonomique de la baie ainsi qu'une transformation de la structure de la communauté benthique des petits fonds d'herbier qui se traduit par une disparition des mollusques bivalves filtreurs au profit du développement de petits mollusques gastéropodes appartenant au groupe trophique des dépositivores sélectifs. Aucun lien entre les changements observés et les rejets de la ferme aquacole n'a pu être mis en évidence jusqu'à maintenant et l'on pense que les conditions climatiques très particulières survenues au cours des derniers mois de l'étude pourraient avoir eu un effet sur l'environnement benthique de la baie.

## **5- Modélisation des flux de nutriments en sortie des élevages de crevettes de Nouvelle-Calédonie » (Programme ZoNéCo)**

Yoann Thomas, Pascal Pagand, Anne-Laure Marteau, Hugues Lemonnier et Alain Herbland  
IFREMER, BP2059, 98846 Nouméa Cedex  
Université de Nouvelle-Calédonie

Les effluents des élevages de crevette en Nouvelle-Calédonie représentent, en volume, l'équivalent de 5 à 30% du bassin par jour, de l'ensemencement à la pêche finale. Or, la multiplication des fermes et le risque d'intensification des systèmes d'élevage sont susceptibles d'augmenter la pression sur l'environnement. Il a en effet été démontré que les densités d'animaux, les renouvellements et les pratiques d'alimentation agissent directement sur la quantité de déchets produits et In fine susceptibles d'être exportés. C'est pourquoi il apparaît à présent nécessaire d'être capable d'évaluer, en fonction des pratiques culturales, la nature et les quantités de déchets exportés dans les effluents des élevages de crevette.

En conséquence, un modèle déterministe intégrant les paramètres de gestion (date d'ensemencement, densité, renouvellements...) est construit afin de simuler les flux d'azote et de phosphore dans les bassins d'élevage.

Ces flux se répartissent entre différents compartiments que sont : l'aliment, le sédiment, la colonne d'eau, le phytoplancton et les effluents. La biomasse de crevette constituant un compartiment supplémentaire qui va jouer un rôle central dans la dynamique des flux en contrôlant l'aliment qui représente la source majoritaire d'azote et de phosphore dans le bassin. Ainsi, un modèle de croissance empirique intégrant une modulation saisonnière, couplé à un modèle de mortalité permet de simuler l'évolution de la biomasse de crevettes. L'azote ammoniacal total (TAN), l'azote organique dissous (NOD), les nitrites et nitrates (NOx) et le phosphore réactif dissous (DRP) constituent la fraction soluble des flux. Bien que mesurés à des concentrations faibles, ces éléments soutiennent la croissance phytoplanctonique qui va constituer la part majoritaire des déchets organiques particuliers exportés par les bassins. Une attention particulière est donc portée sur les paramètres intégrés à un modèle de croissance phytoplanctonique (Intensité lumineuse, nutriments, température(?)).

Le modèle est calibré sur la base de données historiques issues d'expérimentations mises en œuvre à la station Ifremer de Nouvelle-Calédonie ainsi que sur les informations extraites d'une base de données regroupant les paramètres d'un certain nombre de fermes Calédoniennes.

Des expérimentations dans le cadre de l'opération permettent en parallèle d'apporter des informations sur le processus d'excrétion de *P. stylirostris*.

Enfin, une campagne d'échantillonnage (nov.2004-05) des eaux d'entrée et de sortie de 4 bassins répartis sur deux fermes (une intensive 35 ind/m<sup>2</sup> et une semi-intensive 20ind/m<sup>2</sup>) devra permettre de valider le modèle.

## **6- Recherche de traceurs des effluents des élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie. Premiers résultats (Programme ZoNéCo).**

Yoann Thomas, Hugues Lemonnier, Anne-Laure Marteau et Alain Herbland  
IFREMER, BP2059, 98846 Nouméa Cedex

Le système de production (semi intensif) pratiqué dans les fermes de crevette en Nouvelle-Calédonie induit une interaction notable entre les bassins et l'environnement littoral. Les taux de renouvellement, visant à réguler les paramètres hydrologiques et biologiques des bassins, varient entre 5 et 30% au cours de l'élevage. Or, ces eaux de rejets présentent des caractéristiques (charge en MES, phytoplancton, MOD...) très différentes du milieu receveur. Leur rejet direct est donc susceptible d'avoir un impact sur l'environnement littoral. Ainsi, dans un contexte d'essor de la filière il apparaît nécessaire d'être capable d'évaluer le devenir de ces effluents dans le milieu receveur.

En conséquence, la présente opération vise à rechercher des indicateurs pertinents, permettant le suivi spatio-temporel des effluents des fermes de production.

Ces indicateurs sont recherchés dans la colonne d'eau de la baie de Chambeyron qui accueille une ferme intensive de moyenne importance (29 ha), et dans la baie de Teremba qui accueille une ferme semi intensive de grande superficie (129 ha). Dans chaque baie, une radiale de 5 stations se répartissant du fond de la baie à la sortie permet d'évaluer l'étendue spatiale des rejets (mesures : NOD, NO<sub>3,2</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, P<sub>total</sub>, P<sub>dissous</sub>, Si(OH)<sub>4</sub>, MES, MOP, MOD, CHN, [Chl-a] et [Phéo] en fraction de taille, Particules Exopolymère Transparentes, Cytométrie en flux). Des traits de sonde SeaBird apportent en parallèle des informations sur les profils verticaux (fluorescence, turbidité, salinité, température, PAR). Deux échantillonnages par mois (à marée haute) sur une année (nov.04-nov.05) permettent d'aborder la dynamique temporelle qui devra être mise en relation avec l'intensité de production des fermes. En parallèle, en baie de Chambeyron, une sonde (YSI) au mouillage permet de disposer d'enregistrements en continu (fluorescence, turbidité, température, salinité, oxygène dissous, pH, rédox). Enfin, avec une fréquence d'environ 3 mois, une couverture spatiale étendue (19 stations supplémentaires) permet de disposer d'une image « instantanée » à l'échelle de la baie (Chambeyron).

Les premiers résultats indiquent que les bassins d'élevage rejettent principalement des particules de nature phytoplanctonique (en accord avec la littérature), la concentration en éléments minéraux dissous étant comparable à celle de l'eau de renouvellement. Les distributions spatiales montrent une concentration des rejets en fond de baie à marée haute. Mais l'observation de cycles (principalement de [Chl-a] *in vivo*) sur les enregistrements en continu laissent à penser que les effluents circulent dans la baie (évacuation ? Dilution ?...).

Les résultats à venir (TEP, cytométrie, [Chl-a], caractéristiques de la MOD...) complétés par des indices d'activité des fermes au cours de l'année de suivi devraient permettre d'extraire des indicateurs

fiables ainsi qu'une idée assez précise de la dynamique spatio-temporelle des effluents. Enfin, une comparaison entre les deux systèmes de production (intensif et semi-intensif) ajoutera une dimension supplémentaire à l'analyse des résultats.

## **7- Evaluation de l'impact de l'aquaculture de crevettes sur les mangroves de Nouvelle Calédonie: conclusions et perspectives (Programme ZoNéCo)**

Sabrina Virly, Damien Buisson, Hugues Lemonnier

L'aquaculture de crevettes *Litopeneus stylirostris*, qui est apparue en 1970 en Nouvelle-Calédonie, est devenue une activité économique importante aujourd'hui avec 17 fermes en production et un tonnage de 2000 tonnes en 2004. Situées sur des zones d'arrière mangrove, les fermes exercent une pression sur l'environnement limitrophe, notamment les mangroves. Le rejet des eaux usées des fermes aquacoles dans le lagon semble constituer le principal impact sur l'environnement côtier.

La présente étude qui a été lancée dans le cadre du programme ZoNéCo a pour principal objectif l'évaluation d'éventuels impacts de l'aquaculture sur les mangroves de Nouvelle-Calédonie. Elle s'attache :

- d'une part à étudier l'évolution des différentes strates végétales d'une mangrove en terme de structure et de superficie par le biais d'analyses diachroniques de photographies aériennes de 3 sites (2 sites jouxtant des fermes aquacoles aux caractéristiques différentes et 1 site vierge) ;
- d'autre part à analyser *in situ* quelques paramètres physico-chimiques et chimiques (pH, potentiel d'oxydo-réduction, concentrations d'azote et de phosphore totaux dans l'eau, le sédiment et les feuilles de palétuviers) et biologiques (richesse spécifique et densité des organismes mégabenthiques du sédiment à proximité des bassins) sur ces trois sites et voir dans quelle mesure ils peuvent être utilisés comme indicateurs d'impacts.

L'analyse diachronique des photographies aériennes depuis 1954 jusqu'en 2004 a mis en évidence sur les sites proches de fermes aquacoles une progression et une densification des palétuviers *Rhizophora* vers l'intérieur des terres. Cette évolution qui était minime avant construction des fermes est plus marquée depuis. En revanche, peu de changements ont été observés sur le site vierge. Parallèlement, un développement de zones envasées et l'apparition de trouées ont été observés sur les sites exploités depuis l'établissement des fermes. La description de la végétation et les mesures des paramètres physico-chimiques et chimiques montrent des différences significatives entre sites et au sein même d'un site sans qu'il soit possible d'attribuer ces variations à un éventuel impact de l'aquaculture. D'autres études sur d'autres sites, vierges ou non sont nécessaires pour confirmer ou non ces premiers résultats.

## 8- Autres systèmes d'élevage

Jacques Patrois

IFREMER, BP2059, 98846 Nouméa Cedex

Les élevages de crevettes se font traditionnellement dans des bassins en terre de plus ou moins grandes dimensions. Dans ces bassins, les principaux moyens de gestion des élevages sont les changements d'eau et l'aération lorsque les densités sont supérieures à 22-25 crevettes/m<sup>2</sup>. Les assecs entre élevages (de 1 à 3 mois) permettent d'oxyder la matière organique contenue dans les dépôts accumulés et éventuellement de les éliminer mécaniquement.

Le besoin d'optimiser l'utilisation des structures d'élevages (augmentation des densités et fréquence des cycles d'élevage), de lutter contre les pathogènes, de mieux contrôler le milieu d'élevage et de limiter les effluents a entraîné la mise au point de nouveaux types de bassins et de fermes : bassins de plus petites dimensions, utilisation de liners, forte aération, limitation ou absence de renouvellement d'eau durant l'élevage, bassins de préparation de l'eau avant utilisation, bassins de traitement des effluents avant leur réinjection dans le cycle d'élevage (recirculation) ou leur sortie dans le milieu naturel, utilisation de probiotiques, et parfois la présence de serres pour les plus petites surfaces.

Les milieux d'élevage deviennent rapidement hétérotrophes. Ces flocs bactériens, outre leur pouvoir d'épuration de l'eau, présentent l'avantage d'être stables et nutritifs. Leur gestion devient une partie intégrante de l'élevage.

Parallèlement à ces innovations au niveau des structures de production, des systèmes d'élevage plus spécialisés se sont développés, basés sur la recirculation, pour des élevages en eau claire ou en flocs. La petite taille de ces enceintes d'élevage permet de les abriter dans des structures qui facilitent le contrôle des paramètres physico-chimiques du milieu d'élevage. Elles pourraient être utilisées pour produire tout au long de l'année et dans des conditions d'élevage constantes, des animaux « standard » qui serviraient de témoins dans toute expérience visant à comprendre les interactions entre l'animal et les différents écosystèmes d'élevage. La disponibilité d'animaux « sains » et exempt de pathogènes peut être envisagée sur le moyen terme en Calédonie et permettrait également de mieux comprendre les interactions entre l'animal et les pathogènes présents dans l'environnement.

## **9- Hydrodynamique et transport particulaire dans le lagon : état des connaissances et outils disponibles**

Douillet P., Ouillon S., Jouon A.

UR Camélia, IRD Nouméa

Le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie est le chantier principal de l'Unité de Recherche Camélia de l'IRD. En hydrodynamique, les mesures ont démarré dès la fin des années 80 pour étudier la propagation de la marée dans le lagon puis les courants. Un modèle numérique a ensuite été implanté dans le courant des années 90, en étroite collaboration avec l'équipe de la DEL/AO d'Ifremer Brest : modèle 2D, puis modèle 3D. Depuis 5 ans, nous avons étendu cette étude au transport en suspension de vase et de sable, et au champ de vagues généré dans le lagon par le vent. Chacun de ces thèmes fait l'objet de mesures spécifiques et de développement ou d'adaptation de modèles numériques appelés à terme à être couplés. La présentation fait le point sur les différents instruments dont nous disposons, sur les modèles et leurs applications (par exemple sur le temps de résidence des masses d'eaux), et sur les projets à court terme (couplage à un modèle atmosphérique, étude des échanges entre l'océan et le lagon par la barrière récifale).

## **Annexe 2**

### **Influence des effluents organiques de la crevetticulture calédonienne sur l'environnement (PNEC Nouvelle Calédonie)**

#### **Thème abordé**

Influence des effluents organiques d'origine aquacole sur la qualité des eaux et les réseaux trophiques planctoniques du lagon. Comparaison avec les apports naturels, urbains et industriels.

#### **Contexte**

L'élevage de crevettes en Nouvelle Calédonie connaît actuellement un essor important. Seize fermes de grossissement, représentant 550 hectares de bassins, sont installées en arrière de mangrove sur 400 km de côtes à l'ouest de la Nouvelle-Calédonie. Elles produisent actuellement environ 2000 tonnes de crevettes par an mais cette activité devrait se renforcer puisqu'il est prévu à l'horizon 2007, d'en produire annuellement 5000 tonnes sur une surface d'environ 1000 ha. Il ne faudrait pas que la multiplication des fermes, l'accroissement de la production et le risque d'intensification des systèmes d'élevage augmentent la pression sur l'environnement et se traduisent à terme par des modifications sensibles ou insidieuses, voire irréversibles du lagon.

Il faut au contraire se donner les moyens de les préserver et de garder l'image « respect de l'environnement » dont bénéficie aujourd'hui la production aquacole et donc in fine assurer, pour cet aspect, la durabilité de cette activité fortement dépendante de la qualité de son milieu environnant.

Bien que les paramètres zootechniques soient strictement réglementés (moins de 400 g/m<sup>2</sup> de charge en élevage, durée des élevages supérieure à 4 mois, durée d'assec minimum de un mois) les bassins aquacoles sont des milieux eutrophes en comparaison du lagon environnant dont le caractère oligotrophe doit être préservé. Les aliments distribués et l'activité métabolique des crevettes elles mêmes génèrent des quantités de matières organiques (carbone et azote principalement) et de nutriments minéraux (azote principalement) qui ne sont pas totalement recyclés dans le bassin et sont donc évacués dans l'eau de renouvellement.

La Matière Organique Particulaire (MOP) et Dissoute (MOD) sont quantitativement les principaux constituants des effluents des fermes aquacoles de crevettes (Martin et al, 1998 ; Lemonnier et al., 2003 ; Lemonnier & Faninoz, 2006), c'est pourquoi l'accent sera porté sur leur études, et ce à deux niveaux : composition et effets.

Composition de la matière organique dans les effluents aquacoles, Comparaison avec les apports naturels (des rivières) ou d'autres apports anthropiques (urbains)?

De nombreuses données existent en baies de Dumbea, Boulari (apports terrigènes), Ste Marie (urbains), Gde Rade (urbains et industriels) et « lagon moyen » (chenal central) sur les concentrations en sels nutritifs organiques et minéraux, MOP (PNEC, première phase).

Une estimation équivalente dans l'environnement d'une ou deux fermes (judicieusement choisies par exemple en fonction d'une hydrologie différente) permettrait des comparaisons directes sur les concentrations en nutriments, MOP et MOD générées par l'activité aquacole.

Cette approche permettrait de « relativiser » les apports organiques aquacoles par rapports aux autres apports organiques naturels et anthropiques.

### **Effet des apports sur la structure et le fonctionnement du plancton**

Dans la première phase du chantier les données obtenues par l'IRD ont permis de mettre en relation « *in situ* » la structure du phytoplancton (classes de taille par exemple) et l'azote minéral dissout ou d'autres variables forçantes potentielles (très souvent liées entre elles), et plusieurs approches indépendantes suggèrent que l'azote est le premier macronutriment potentiellement limitant (Torréon comm. pers.). De manière comparable, des relations empiriques existent entre activités (production primaire et production bactérienne) et ces variables « forçantes » potentielles.

Nous proposons donc d'entreprendre une étude comparable, bien que beaucoup plus réduite pour les rejets aquacoles en répondant aux cinq questions suivantes :

Comment ces apports organiques interagissent-ils avec les réseaux trophiques planctoniques du lagon, et plus spécifiquement sur le bactérioplancton, le phytoplancton et le zooplancton ?

Existe t'il des modifications des niveaux de biomasse de ces organismes planctoniques?

Leur structure de taille est-elle perturbée ?

Les équilibres entre auto- et hétérotrophes sont ils modifiés ?

Quelles sont les échelles temporelles et spatiales concernées par ces réponses ?

Ces réponses, déjà existantes pour d'autres apports organiques, permettraient dans un premier temps d'examiner l'étendue (spatiale et temporelle) de l'impact potentiel avec des mesures restreintes aux sels nutritifs, MOD, MOP, et à quelques variables biologiques simples comme les biomasses chorophyllienne et zooplanctonique, sans nécessairement investir d'emblée dans des mesures complexes de structure des communautés et d'activité planctonique ?

En fonction des moyens humains disponibles, cette étude pourrait débuter au premier semestre 2007

### **Partenaires**

Ifremer Nouvelle Calédonie ; IRD Nouvelle Calédonie ; CRELA l'Houmeau ; OSU Banyuls.